



# Monitoring of Mediterranean Coastal Areas

PROBLEMS AND MEASUREMENT TECHNIQUES

SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
Livorno (Italy) September 28-29, 2016



edited by  
Claudio Conese



Proceedings e report

112



CNR - IBIMET  
Comune di Livorno

CeSIA - Accademia dei Georgofili  
Fondazione LEM - Livorno Euro Mediterranea  
Autorità Portuale Livorno

*Sixth International Symposium*

**MONITORING OF MEDITERRANEAN COASTAL AREAS:  
PROBLEMS AND MEASUREMENT TECHNIQUES**

*LIVORNO (ITALY) SEPTEMBER 28-29 2016*

*Patronage by*

**Accademia Nazionale dei Lincei**

**Provincia di Livorno**

**Regione Toscana**





# Sixth International Symposium. Monitoring of Mediterranean Coastal Areas

Problems and Measurement Techniques

Livorno (Italy) September 28-29, 2016

edited by  
CLAUDIO CONESE

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

2017

Sixth International Symposium. Monitoring of Mediterranean Coastal Areas : problems and Measurement Techniques : livorno (Italy) September 28-29, 2016 / edited by Claudio Conese. – Firenze : Firenze University Press, 2017.  
(Proceedings e report ; 112).  
<http://digital.casalini.it/9788864534282>

ISBN 978-88-6453-427-5 (print)  
ISBN 978-88-6453-428-2 (online)

Desktop publishing: Laura Bonora, Matteo De Vincenzi  
Graphic design: Gianni Fasano  
Front cover photo: Fortezza Vecchia Livorno (Italy)  
Cover graphic design: PaginaMaestra snc

#### *Peer Review Process*

All publications are submitted to an external refereeing process under the responsibility of the FUP Editorial Board and the Scientific Committees of the individual series. The works published in the FUP catalogue are evaluated and approved by the Editorial Board of the publishing house. For a more detailed description of the refereeing process we refer to the official documents published on the website and in the online catalogue of the FUP ([www.fupress.com](http://www.fupress.com)).

#### *Firenze University Press Editorial Board*

A. Dolfi (Editor-in-Chief), M. Boddi, A. Bucelli, R. Casalbuoni, M. Garzaniti, M.C. Grisolia, P. Guarnieri, R. Lanfredini, A. Lenzi, P. Lo Nostro, G. Mari, A. Mariani, P.M. Mariano, S. Marinai, R. Minuti, P. Nanni, G. Nigro, A. Perulli, M.C. Torricelli.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

This book is printed on acid-free paper

**CC** 2017 Firenze University Press  
Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy  
[www.fupress.com](http://www.fupress.com)  
*Printed in Italy*

## **ORGANIZING AUTHORITIES**

**National Research Council of Italy  
Institute of Biometeorology (CNR-IBIMET)**

**Accademia dei Georgofili  
Centre for the Application of  
Computer Science in Agriculture (Ce.S.I.A.)**

**Livorno Euro Mediterranea (L.E.M.) Foundation**

**Comune di Livorno**

**Livorno Port Authority**



## SCIENTIFIC COMMITTEE

### **Presidency:**

Claudio Conese (Symposiarch)	CNR-IBIMET Firenze
Filippo Nogarin	Mayor of Livorno Municipality and President of L.E.M. Foundation
Giuliano Gallanti	Commissioner of Livorno Port Authority
Fabrizio Benincasa	CNR-IBIMET Sassari
Matteo De Vincenzi	CNR-IBIMET Firenze
Coordinator of the Scientific Secretariat	

### ***Session Flora and Fauna of the littoral system: dynamics and protection***

Davide Travaglini	Dip. Gestione Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali - Università di Firenze
Carla Cesaraccio	CNR IBIMET Sassari
Lorenzo Chelazzi	Museo di Storia Naturale della Maremma - Grosseto
Roberto Tognetti	Dipartimento di Bioscienze e Territorio - Università del Molise

### ***Session Coastal landscapes: past and present aspects of human influence***

Biagio Guccione	Dipartimento di Architettura Università di Firenze
Marco Milanese	Dipartimento di Storia, Scienze dell'Uomo e della Formazione Università di Sassari
Carlo Natali	Dipartimento di Architettura Università di Firenze
Marinella Pasquinucci	Dip. di Civiltà e Forme del Sapere Università di Pisa
Olimpia Vaccari	Centro di Studi Storici Mediterranei "Marco Tangheroni" c/o Dip di Civiltà e Forme del Sapere Università di Pisa

### ***Session Morphology and evolution of coastlines and seabeds***

Giuliano Gabbani	Dip. Scienze della Terra, Università di Firenze
Filippo Catani	Dip. Scienze della Terra, Università di Firenze
Stefano Misericocchi	CNR-Istituto di Scienze Marine UOS Bologna
Sandro Moretti	Dip. Scienze della Terra, Università di Firenze

***Session Coastline geography: territory uses, processes and dynamics***

Donatella Carboni	Dip. Scienze Umanistiche e Sociali Università di Sassari
Michele Gutierrez	Dipartimento di Agraria Università di Sassari
Ilaria Lolli	Dipartimento di Giurisprudenza Università di Pisa
Carlo Natali	Dipartimento di Architettura Università di Firenze
Donato Romano	Dip. Scienze per l'Economia e l'Impresa Università di Firenze
Stefano Soriani	Dipartimento di Economia Università di Venezia

***Session Measures for environment and energy production in the coastal zones***

Marcantonio Catelani	Dip. Ingegneria dell'Informazione Università di Firenze
Laura Bonora	CNR-IBIMET Firenze
Carlo Carcasì	Dip. Ingegneria Industriale, Università di Firenze
Giampaolo Manfrida	Dip. Ingegneria Industriale, Università di Firenze

**Organizing Committee:**

Gianni Fasano, CNR – IBIMET Seat of Florence  
Rita Franchi, L.E.M.- Foundation Livorno  
Alessandro Materassi, CNR – IBIMET Seat of Florence  
Laura Pellegrino CNR – IBIMET Seat of Livorno  
Maurizio Romani CNR – IBIMET Seat of Florence

**Administrative secretariat:**

Anna De Carolis, CeSIA Accademia dei Georgofili Firenze  
CNR-IBIMET Area di Ricerca di Firenze Via Madonna del Piano 10,  
50019 Sesto Fiorentino (Florence- Italy)  
Phone +390555226025 +390555226030, e-mail: [segr.org@ibimet.cnr.it](mailto:segr.org@ibimet.cnr.it)

**Scientific Secretariat:**

CNR-IBIMET Area di Ricerca di Firenze Via Madonna del Piano 10,  
50019 Sesto Fiorentino (Florence - Italy)  
Phone +390555226552 +390555226030, e-mail: [simposio@ibimet.cnr.it](mailto:simposio@ibimet.cnr.it)

## INDEX OF PAPERS

<b>Introduction</b>	<b>XV</b>
C. Conese	XVII
<i>Aspetti generali della gestione delle aree costiere: situazione attuale e prospettive</i>	
<b>Session: Flora and Fauna of the littoral system: dynamics and protection</b>	<b>1</b>
<b>Chairman: D. Travaglini</b>	
J. Cabassi, C. Rossano, S. Gambineri, F. Fani, O. Vaselli, F. Tassi, L. Giannini, L. Lazzara, C. Nuccio, A. Buccianti, F. Capecchiacci, M. Mannucci, L. Massi, C. Melillo, G. Mori, F. Scapini	5
<i>Water quality in the Port of Viareggio: a geochemical and biological characterization</i>	
F. Coccon, C. Dabalà, N. E. Baldaccini	15
<i>Analysis of temporal evolution of bird communities to evaluate the impacts of the MOSE construction yards in Venice lagoon, Italy</i>	
M. C. de Francesco, A. Zuzolo, M. L. Carranza, L. Frate, A. R. Natale, A. Stanisci	27
<i>Copertura del suolo e biodiversità nella Costa Teatina (Abruzzo, Italy)</i>	
L. Durante, L. Massa	37
<i>Comunità planctoniche e bentoniche nello Stagno del Bellarosa maggiore (Sardegna meridionale) (habitat 1150*)</i>	
L. Durante, L. Massa	47
<i>Prime indicazioni sulla qualità dei sedimenti dello Stagno del Bellarosa maggiore (Sardegna meridionale) (habitat 1150*)</i>	
L. Durante, L. Massa	56
<i>Qualità delle acque dello Stagno del Bellarosa maggiore (Sardegna meridionale) (habitat 1150*)</i>	
M. Puxeddu, G. Citterio, R. Giannini	66
<i>Dinamiche spazio/tempo di alcune pinete costiere della Sardegna meridionale e centrale</i>	
A. Scartazza, O. Gavrichkova, S. Moscatello, M. C. Buia, M. Lauteri, A. Battistelli, M. Lorenti, C. Calfapietra, E. Brugnoli	75
<i>The effect of acidification on carbon and nitrogen metabolism of Posidonia oceanica in a natural CO<sub>2</sub> vent system</i>	
G. Serri, N. Sulas	80
<i>Monitoraggio della flora e della vegetazione nel nuovo argine del Bellarosa Maggiore - LIFE 10NAT/IT/00256 - MC-SALT - Action E3 Monitoring ex-post abiotic and biotic characteristics at the Molentargius</i>	



**Session: Coastal landscapes: past and present aspects of human influence 89**  
**Chairman: B. Guccione**

R. Balestieri, G.N.M. Giudici	93
<i>Modello di promozione gestionale del paesaggio costiero per la valorizzazione della qualità ambientale ai fini di un turismo di fascia alta e sostenibile</i>	
F. Canessa, F. Lucchesi	101
<i>Il porto di Livorno: una valutazione di efficienza del carico sull'ultimo miglio</i>	
C. Cirillo, G. Acampora, B. Bertoli, M. Russo, L. Scarpa	112
<i>Napoli e il paesaggio costiero: il recupero ambientale di Bagnoli e la rigenerazione del litorale flegreo</i>	
M. Di Natale, S. Di Ronza, C. Eramo, D. Ruberti, M. Vigliotti	119
<i>Indagine sperimentale per la verifica della capacità di trattenimento di una "trappola" a scogliera</i>	
S. Patrizio, F. Jannuzzi, G.N.M. Giudici	129
<i>Storia dell'antica polis di Elea: da città portuale a insediamento rurale</i>	
D. Pittaluga, F. Fratini	139
<i>Cogoleto and its coastal landscape modified by secular activities of lime production: initiatives for recovering the historical tracks</i>	
M. Russo	149
<i>I fari ottocenteschi del litorale napoletano</i>	
M. Scamporrino	159
<i>Rigenerare la città-porto partendo dal controllo visuale. Il caso di Livorno</i>	
R. Yildiz, N. Senlier, B. İmren Güzel	169
<i>Design Principles of Public Spaces in Urban Waterfronts. The case of İstanbul Ortaköy</i>	

**Session: Morphology and evolution of coastlines and seabeds 179**  
**Chairman: G. Gabbani**

M. Eryilmaz, C. Kaya, F. Yücesoy Eryilmaz	183
<i>Environment analysis with core data of Tarsus Delta Plain (SE Turkey)</i>	
M. Eryilmaz, F. Yücesoy Eryilmaz	193
<i>Recent sediment distribution and oceanography of Ildir Bay (Karaburun Peninsula-Aegean Sea)</i>	
S. Gorelli, J. Gomez-Enri, M. Rotonda, S. Vignudelli	203
<i>Sea level rise vulnerability on coastline. A geographical multicriteria analysis as a support tool for coastline develop planning</i>	
E. Grottoli, P. Ciavola, M. Molinelli	213
<i>Vulnerability assessment of two Adriatic mixed beaches for potential oil spill events</i>	

L. Sanna, M. Uda, V. Pascucci	223
<i>Geomorphological evidences of the eustatic control on the Quaternary evolution of Balai coastal karst area (North Sardinia, Italy)</i>	
S. Unguendoli, B. Zanuttigh	233
<i>Coastal monitoring for XBeach model calibration in the analysis of the coastal erosion at Cesenatico</i>	
<b>Session: Coastline geography: territorial dynamics and integrated protection</b>	<b>243</b>
<b>Chairman: D. Carboni</b>	
G. Benedetto, D. Carboni, A. M. Carta	245
<i>Le grotte del Bue Marino (Sardegna Nord-Orientale) nello sviluppo di un sistema turistico integrato</i>	
B. Brundu, A. Canu, G. Pellizzaro, I. Manca, G. V. Pintus	254
<i>Analisi di correlazione degli impatti delle attività turistiche nel territorio di Alghero</i>	
E. Poli, A. R. Candura	266
<i>Alcune considerazioni geografiche sulle aree costiere di Rosolina Mare e Albarella</i>	
I. Rodella, C. Corbau, U. Simeoni	275
<i>The relationship between beach geomorphology and sustainable tourism in sandy beaches: a case study of Rosolina Mare littoral (Veneto region)</i>	
B. Romano, A. Marucci, F. Zullo, L. Fiorini, S. Ciabò	285
<i>Urban pressure and planning management on Italian coastal areas</i>	
M. Simeone, P. Masucci, A. Usai, D. Giordano, C. De Vivo, O. Saccone, D. Grech, A. Pagliarani, G. De Luca, M. Genovese, M. Moraca, F. Tatino, A. Truccolo	299
<i>MedPAN Project "Territorial analysis for the integrated management of the Posillipo coastline" (Gulf of Naples)</i>	
S. Venturini, C. Paoli, F. Massa, P. Vassallo, G. Fanciulli, P. Povero, R. Bertolotto	309
<i>Monitoraggio ambientale relativo allo stazionamento di navi da crociera e interazioni nel complesso sistema delle attività antropiche che insistono nell'Area Marina Protetta (AMP) Portofino e nel Golfo del Tigullio (Mar Ligure)</i>	
<b>Session: Measures for environment and energy production in the coastal zones</b>	<b>319</b>
<b>Chairmen: M. Catelani, C. Carcasci</b>	
A. Caligiore, L. Amitrano, S. D'Andrea, S. Iacullo, M. Marcelli, G. Pacci, P. Puri, F. Sarti, V. Piermattei, C. Stefani, A. Madonia, S. Colella, J.P. Porter, G. Spaccavento	325
<i>Monitoraggio aereo delle praterie di Posidonia oceanica e valutazione degli algoritmi bio-ottici regionali per la stima della clorofilla a in un'area marina protetta caratterizzata dalla limitata attività antropica: il caso dell'Isola di Pianosa</i>	

M. De Vincenzi, G. Fasano	334
<i>Metodi grafico-analitici per la stima dei parametri che intervengono nei processi carsici</i>	
M. De Vincenzi, G. Fasano, A. Materassi	350
<i>Monitoraggio dei parametri fisici delle grotte costiere della Sardegna: l'esempio della Grotta Verde e del Bue Marino</i>	
R. dell'Erba	368
<i>High power leds as range finder in an underwater robotics swarms for environmental monitoring</i>	
V. Pennisi, L. M. Stancanelli, R. E. Musumeci, E. Foti	377
<i>Eco-friendly design of a small scale pressure retarded osmosis power plant close to the Simeto river mouth</i>	
<b>Index of Authors</b>	<b>389</b>

## PREMESSA

*Stiamo giunti alla sesta edizione del Simposio. È il risultato di un lavoro costante che, dall'idea iniziale che ha portato al primo svolgimento nell'ormai lontano 2006 in cui non avevamo neanche previsto che ci sarebbe stata una prosecuzione, è stato svolto con passione e convinzione da tutti i colleghi che hanno contribuito alla organizzazione di tutte le edizioni. La spinta che ogni volta ha portato alla decisione di continuare è stata fornita da una partecipazione sempre numerosa e sempre in crescita sia di autori che di partecipanti.*

*È doveroso notare, a mio avviso, che quest'anno per la prima volta si è registrata una sensibile diminuzione delle presenze ed è necessario chiedersi le ragioni. Si può affermare che non dipende da una perdita di interesse del tema trattato, sempre attuale e testimoniata da una presenza altamente qualificata. Si può piuttosto pensare che la crisi che tutt'ora colpisce la nostra società, e quello della ricerca è uno dei settori più penalizzati, fa sentire sempre più i suoi effetti. Le risorse per sviluppare le attività, con la conseguente produzione di nuovi risultati da divulgare, e per coprire le spese di partecipazione ai convegni sono sempre più ridotte e devono spesso essere utilizzate per esigenze più pressanti. Questa considerazione è sostenuta dall'osservazione dell'andamento di molti altri convegni, anche riguardanti argomenti e settori con un bacino di utenza molto più vasto del nostro: quasi ovunque si è verificato un calo significativo di partecipazione.*

*Il bilancio è comunque positivo. Come detto, la partecipazione è stata di alto livello ed ha coperto tutti gli argomenti delle linee di attività e ricerca che sono previste dalle varie sessioni e considerando le opportunità previste. Riteniamo necessaria una approfondita e serena riflessione, valutando le probabilità di sviluppare alcune modifiche, ma la volontà degli organizzatori è di continuare in questa esperienza che ha portato innegabili soddisfazioni nel corso di questi dieci anni.*

*Un personale ringraziamento in primo luogo a tutti coloro, colleghi ed amici, che hanno profuso tempo ed energie nell'organizzazione. Altrettanta gratitudine a tutti i partecipanti, che con la loro presenza hanno dimostrato di credere nella nostra iniziativa.*

*Il Simposiarca  
Claudio Conese*



# INTRODUCTION



## ***INTRODUZIONE***

### **ASPETTI GENERALI DELLA GESTIONE DELLE AREE COSTIERE: SITUAZIONE ATTUALE E PROSPETTIVE**

Claudio Conese

CNR – Istituto di Biometeorologia, Via Madonna del Piano 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI)

Tel. 055 556025, e-mail [c.conese@ibimet.cnr.it](mailto:c.conese@ibimet.cnr.it)



Quando si parla di gestione delle aree costiere, è ormai inevitabile passare immediatamente al concetto di gestione integrata, indicato con l'acronimo GIZC. Con esso si intende un processo decisionale per la gestione della costa, che impiega un approccio integrato, prendendo in considerazione tutti gli aspetti correlati alla fascia costiera, tra cui quelli geografico e politico, ambientale, culturale, storico, urbanistico ed economico per raggiungere, o almeno avvicinarsi il più possibile, gli obiettivi dello sviluppo sostenibile.

I primi impegni per una politica di gestione integrata della costa risalgono agli anni '70 quando soprattutto negli Stati Uniti la preoccupazione per la qualità degli ambienti marino-costieri portò alla creazione del primo strumento normativo nazionale, il *Coastal Zone Management Act* del 1972. I principi generali contenuti in questo documento sono stati in seguito ripresi nel 1992 a Rio de Janeiro durante il Summit della Terra, venendo così inseriti in Agenda 21.

In ambito europeo il documento fondamentale può essere considerato la Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2002, riguardante l'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa (2002/413/CE).

Tale raccomandazione nelle premesse testualmente recita: "... di fondamentale importanza attuare una gestione delle zone costiere sostenibile a livello ambientale, equa a livello economico, responsabile a livello sociale, sensibile a livello culturale, per tutelare l'integrità di questa importante risorsa tenendo conto al tempo stesso delle attività e delle usanze tradizionali locali che non costituiscono una minaccia per le zone naturali sensibili e per lo stato di preservazione delle specie selvatiche della fauna e della flora costiera."

In ambito Mediterraneo la Convenzione di Barcellona ha approvato un protocollo relativo alla Gestione integrata delle aree costiere, firmato a Madrid nel gennaio 2008, che risulta il primo strumento internazionale per i paesi delle Nazioni Unite, sia pure inerente ad un mare regionale.

In Italia la Direzione Generale per la Protezione della Natura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare è responsabile per l'implementazione del GIZC e dell'applicazione a livello nazionale degli adempimenti conseguenti alle Convenzioni Internazionali cui l'Italia aderisce.

Dopo questa sintetica illustrazione dei principali documenti a cui fare riferimento quando si parla di gestione delle aree costiere, analizziamo più in dettaglio le problematiche che devono essere prese in considerazione.

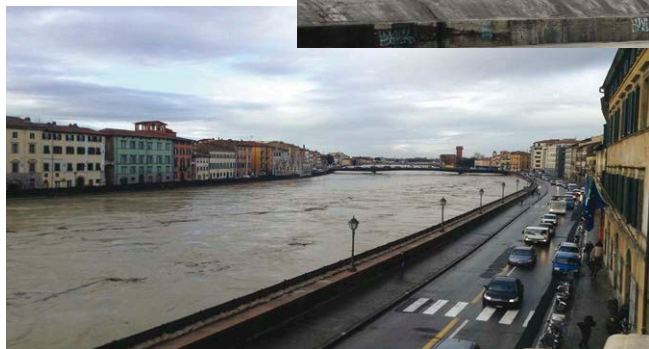
In tutti gli aspetti riguardanti lo studio delle aree costiere possono essere individuate due componenti: la componente terrestre che riguarda tutti i processi che avvengono sulla terraferma, e la componente marina, che comprende tutti i processi che si svolgono in mare. In entrambi i casi si devono considerare eventi che si verificano anche a distanze considerevoli dalla linea di costa, ma i cui effetti sono comunque su di essa percepibili. Entrambe possono essere di origine naturale o antropica.

### **Componente terrestre**

In essa possono essere compresi l'apporto di sedimento da parte dei corsi d'acqua, l'inquinamento, urbanizzazione, il turismo.

*Apporto di sedimento:* è il più considerato, perché ha una influenza diretta sulla dinamica della linea di costa e quindi sul fenomeno erosivo. È fuori dubbio che tale apporto

è diminuito in modo significativo ormai da un lasso di tempo considerevole; i motivi sono vari, ma i principali sono due. Il primo è il variato regime delle precipitazioni, aspetto del cambiamento climatico, che alterna lunghi periodi di siccità, con apporto nullo, ad eventi violenti che portano materiale che non si deposita ma si disperde in mare.



Il secondo è il prelievo massiccio, lungo il percorso dei fiumi, sia di acqua, tramite opere di regimazione, che di materiale solido destinato prevalentemente all'edilizia.



*Inquinamento*: qualsiasi forma di inquinamento arriva prima o poi al mare, andando ad influenzare tutti i processi biologici. Anche se sono stati fatti progressi importanti nel controllo e prevenzione, è molto difficile combattere l'abusivismo e l'inquinamento diffuso, proveniente da fonti anche piccole, che però essendo numerose portano, cumulandosi, ad un danno decisamente ingente. È purtroppo sufficiente una passeggiata appena fuori città per imbattersi in paesaggi compromessi.



*Urbanizzazione*: la continua crescita della popolazione costiera ha provocato una urbanizzazione che molto raramente ha tenuto anche solo parzialmente conto degli equilibri naturali. A questo si è unito in maniera massiccia il diffondersi negli anni passati delle

seconde case, fenomeno diminuito negli ultimi tempi a causa della maggior tutela del territorio e della crisi economica.



*Turismo:* come detto sopra ha comportato un incremento dell'urbanizzazione, nelle case di vacanza, ed attualmente un inquinamento crescente, anche se discontinuo perché concentrato su brevi periodi. Ma proprio per questo non raramente ha un forte impatto, perché l'investimento per le strutture di depurazione non viene ammortizzato e quindi quest'ultime non vengono realizzate.

### **Componente marina**

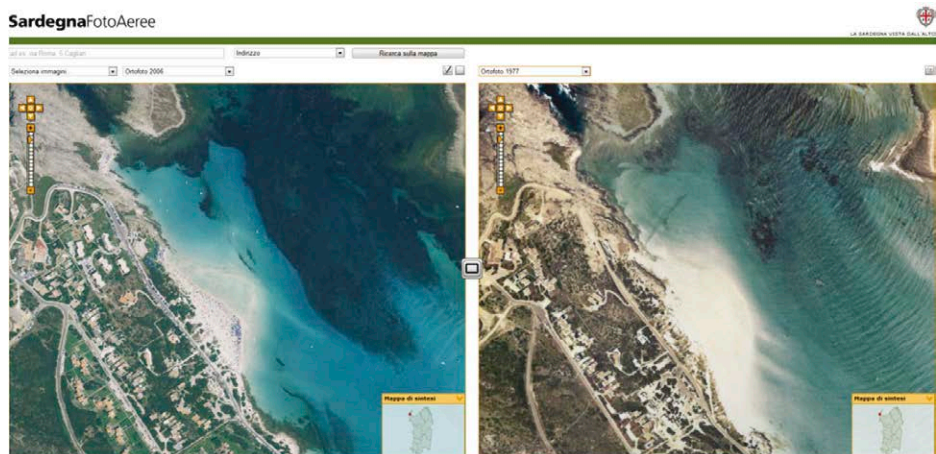
In essa sono compresi l'erosione, l'apporto di sedimento dovuto ai movimenti in acqua, l'inquinamento dovuto ai trasporti ed alle attività estrattive, il turismo nautico.



*Erosione*: è il fenomeno più studiato, essendo il più evidente, continuo e con ricadute dirette e immediate sull'ambiente umano. Sembra anche che la sua dinamica si sia accelerata negli ultimi tempi, sicuramente in relazione a quanto detto precedentemente riguardo all'apporto di sedimento da terra. È anche vero però che l'erosione è sempre esistita e fa parte della naturale evoluzione del nostro ambiente; quello che a volte la rende drammatica è anche il fatto che l'uomo è andato ad invadere con le sue opere aree che per loro propria situazione sono interessate da questo fenomeno. Da non dimenticare anche che l'erosione naturale delle acque e del vento ha dato origine a strutture che rendono unici e bellissimi molti paesaggi.



*Apporto di sedimento:* il sedimento che contribuisce al mantenimento delle spiagge non viene solo dai corsi d'acqua ma anche, e forse più dinamicamente, dal continuo movimento marino dovuto alle correnti. Questo fa sì che le spiagge “si muovano”, cioè mutano la loro forma crescendo o diminuendo nel corso di periodi di tempo più o meno lunghi. Ancora una volta, ciò che rende problematico questo processo naturale è la presenza umana, con tutto ciò che ad essa è correlato, che insiste su queste zone.



*Inquinamento:* il crescente traffico marittimo, soprattutto industriale, unito alle aumentate attività estrattive in mare, ha portato ad un incremento dello sversamento in mare di sostanze inquinanti che finiscono sulle coste. Nonostante le tecniche di contenimento e disinquinamento messe a punto, questi eventi hanno sempre conseguenze devastanti.



*Turismo nautico:* anche se concentrato in un periodo limitato nell'anno, produce effetti immediati sul livello di inquinamento e spesso irreversibili sulla conservazione degli habitat.



## **Differenziazioni geografiche**

### **Versante nord del bacino**

Nei paesi che si affacciano sulle coste nord, quelli europei, da vari decenni è cresciuta l'attenzione verso le problematiche legate alla conservazione delle coste, essenzialmente perché su di esse è aumentata la presenza antropica dovuta ad attività sia industriali sia turistiche.

Di conseguenza è stata eseguita una quantità notevole di studi e progetti e sono stati realizzati moltissimi interventi e opere di difesa, con effetti di volta in volta positivi, contrastanti, controproducenti. Comunque l'attenzione è continua e il problema è ben presente.

### **Versante sud del bacino**

Nei paesi nord-africani e medio-orientali è iniziata negli anni scorsi una attenzione verso la gestione e conservazione delle aree costiere, spinta anche dall'aumentato flusso turistico che portava importanti introiti agli stati interessati.

La situazione attuale che vede forti e continui conflitti e conseguente instabilità politica sicuramente ha relegato questo aspetto in secondo piano nelle attività dei vari governi. Se tale contesto generale non verrà sanato, oltre a tutti i problemi riguardanti la popolazione, che sono i più importanti, sicuramente anche la situazione ambientale delle coste ne risentirà in maniera consistente con effetti che, date le dimensioni ridotte del bacino, con tutta probabilità si faranno sentire quanto prima in tutta la sua estensione.

## **Recenti iniziative**

La più rilevante recente iniziativa è senz'altro il Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera. Dopo un lavoro preparatorio di circa un anno, esso è stato istituito il 6 aprile del 2016. Il coordinamento è svolto dal MATTM in collaborazione con ISPRA e ad esso partecipano le Regioni rivierasche, le Autorità di bacino ed Enti di ricerca.

L'obiettivo principale è l'elaborazione delle linee guida nazionali per la gestione della dinamica costiera e in particolare:

- la valutazione dei fenomeni erosivi ed i fabbisogni dei sedimenti,
- la definizione delle opere di difesa,
- la gestione dei sedimenti,
- il quadro normativo.

Saranno valutati tutti i relativi aspetti connessi, per cercare di evitare effetti collaterali indesiderati, come spesso è successo nel passato. Si terrà conto dei risultati raggiunti dalle varie attività e dai progetti fino ad oggi svolti.

Il lavoro verrà svolto tramite gruppi di lavoro coordinati da alcune Regioni:

- Stato dell'arte e dinamica costiera (Toscana)
- Analisi delle misure di adattamento (Calabria)
- Risorse sabbia (Lazio)
- Inquadramento normativo (Marche)

Queste quattro tematiche porteranno alla definizione delle

- Linee guida nazionali (Emilia Romagna)

che riguarderanno i seguenti argomenti:

- Indicazioni per la gestione della dinamica litoranea
- Opere di difesa costiera: indicazioni e aspetti ambientali
- I depositi di sedimenti relitti: parametri e metodi di acquisizione dei dati fisici e ambientali ai fini della gestione
- Conclusioni
- Indicazioni per la valutazione dei fenomeni erosivi.

## **Conclusioni**

Possiamo affermare che le conoscenze scientifiche riguardanti le varie problematiche connesse alle aree costiere sono sufficientemente progredite per permettere la programmazione di interventi mirati e con un buon grado di efficienza. È invece ancora piuttosto carente la volontà politica e l'intesa tra le varie parti coinvolte, perché gli interessi sono spesso contrastanti. Sarebbe quindi necessaria una autorità trasversale e al di sopra delle parti che agisse in modo tale da trovare e far accettare un inevitabile compromesso.

È anche necessaria una oggettiva valutazione, sia a priori che a posteriori, dell'efficacia e dell'efficienza degli interventi; questo ci porta all'argomento motore del Simposio, il monitoraggio.



Monitorare vuol dire misurare e controllare, nel senso più ampio del termine, fornendo le informazioni oggettive riguardo ad un determinato fenomeno, sia prima (previsione), che durante (effetti immediati e possibile difesa) e dopo (recupero).

Tocca poi a chi di dovere agire di conseguenza e questo, è inevitabile notarlo, non sempre accade. Ma il nostro compito, da ricercatori che devono sempre mantenersi indipendenti, è quello di proseguire i nostri studi.

## **SESSION**

### **FLORA AND FAUNA OF THE LITTORAL SYSTEM: DYNAMICS AND PROTECTION**

**Chairman: Davide Travaglini**  
**Dipartimento di Gestione dei Sistemi**  
**Agrari, Alimentari e Forestali**  
**Università degli Studi di Firenze**



## **FLORA E FAUNA DEL SISTEMA LITORALE: DINAMICHE E PROTEZIONE**

La sessione “Flora e fauna del sistema litorale: dinamiche e protezione” del Sesto Simposio Internazionale “Il Monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura” si è svolta mercoledì 28 settembre 2016. La sessione ha previsto sei relazioni orali e undici contributi poster.

I relatori hanno presentato e discusso aspetti del sistema litorale di grande attualità e di rilevante interesse scientifico, affrontando tematiche di ricerca che spaziano dallo studio della qualità delle acque all’analisi multitemporale delle comunità vegetali e animali degli ambienti costieri.

Cabassi et al. hanno effettuato una valutazione delle caratteristiche geochimiche e biologiche delle acque in aree portuali, zone, queste, soggette ad elevati impatti di origine antropica, e ne hanno esaminato le possibili fonti di inquinamento utilizzando come caso di studio il porto di Livorno (Toscana).

Coccon et al. hanno presentato i risultati di una indagine multitemporale, avviata nel 2005, finalizzata alla valutazione e al monitoraggio degli impatti causati dal cantiere del Mose sulle comunità ornitiche che frequentano la laguna di Venezia, con particolare riferimento ad alcune specie target per evidenziare variazioni sul lungo periodo, con l’obiettivo generale di conservare la funzionalità degli habitat e le specie presenti nelle aree interessate dai lavori.

de Francesco et al. hanno realizzato un elaborato cartografico dell’uso del suolo della costa Teatina (Abruzzo) in scala 1:5000, basato sul sistema di classificazione Corine Land Cover al III e IV livello tematico, prodotto per fotointerpretazione di immagini aeree acquisite nel 2013. La carta è stata poi utilizzata dagli autori per effettuare una analisi della biodiversità a scala di paesaggio, evidenziando l’importanza della cartografia tematica digitale come strumento di supporto per il monitoraggio, la pianificazione e la gestione sostenibile delle aree costiere.

Il lavoro presentato da Durante e Massa ha illustrato e discusso lo stato dei popolamenti bentonici e planctonici dopo gli interventi di riqualificazione ambientale eseguiti nell’ambito del progetto LIFE10NAT/IT/000256 “Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons” nello stagno del Bellarosa maggiore e nello stagno limitrofo del Perdabianca, nel Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline (Sardegna).

Puxeddu et al. hanno descritto ed esaminato i cambiamenti di destinazione ed uso di alcune pinete costiere impiantate in Sardegna tra il 1920 ed il 1960. Lo studio ha previsto l’analisi multitemporale delle coperture forestali per fotointerpretazione di una serie storica di immagini telerilevate ad alta risoluzione spaziale e la caratterizzazione delle strutture forestali sulla base di dati dendrometrici rilevati in aree di saggio.

Scartazza et al. hanno presentato e discusso i risultati di uno studio finalizzato a valutare gli effetti dell’acidificazione sul metabolismo di carbonio e azoto di *Posidonia oceanica* in ecosistemi marini del mediterraneo naturalmente arricchiti di CO<sub>2</sub>.

Prima di concludere questa breve introduzione desidero ringraziare i colleghi del Comitato Scientifico che hanno contribuito alla realizzazione della sessione “Flora e fauna del sistema litorale: dinamiche e protezione”: Lorenzo Chelazzi del Museo di Storia Naturale della Maremma, Carla Cesaraccio del CNR - IBIMET di Sassari, Roberto Tognetti del Dipartimento di Bioscienze e Territorio dell’Università degli Studi del Molise.

Davide Travaglini  
Dipartimento di Gestione dei Sistemi  
Agrari, Alimentari e Forestali  
Università degli Studi di Firenze

## WATER QUALITY IN THE PORT OF VIAREGGIO: A GEOCHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION

Jacopo Cabassi<sup>1</sup>, Claudia Rossano<sup>2</sup>, Simone Gambineri<sup>2</sup>, Fabiola Fani<sup>2</sup>, Orlando Vaselli<sup>1</sup>,  
Franco Tassi<sup>1</sup>, Luciano Giannini<sup>1</sup>, Luigi Lazzara<sup>2</sup>, Caterina Nuccio<sup>2</sup>, Antonella Buccianti<sup>1</sup>,  
Francesco Capecchiacci<sup>1</sup>, Mannuccio Mannucci<sup>2</sup>, Luca Massi<sup>2</sup>, Chiara Melillo<sup>2</sup>,  
Giovanna Mori<sup>2</sup>, Felicita Scapini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze e CNR-IGG – Istituto di  
Geoscienze e Georisorse, Via La Pira, 4 - 50121 Firenze, Tel. +39 055 2757507,  
Fax. +39 055 284571, e-mail: jacopo.cabassi@unifi.it

<sup>2</sup>Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Firenze – Laboratori di Zoologia ed Ecologia,  
Via Romana, 17 - 50125, Via Micheli, 1 - 50121 Firenze

**Abstract** – Port areas are generally affected by anthropogenic impacts, which favor pollution and spoil water quality and aquatic ecosystems. In July 2015, a geochemical and biological transect was carried out in the Port of Viareggio (Tuscany, central Italy) from the main channel (Burlamacca), predominantly fed by the waters of the adjacent Massaciuccoli Lake, to the main docks and the open sea. Nine stations were studied for physical, chemical, bio-optical and biological parameters investigating, for each site, the vertical profile of the water column. The main aim was to provide a preliminary water quality assessment of the port area. The inorganic chemical composition highlighted the presence of mixing processes between seawater and low-salinity waters, causing a gradient of transitional waters and a vertical stratification of the water chemistry with increasing Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup> concentration in the deep waters and moving toward the sea while dissolved O<sub>2</sub> was decreasing with depth and towards inland. Relatively high concentrations of Hg and Ni were localized in seven samples in the docks area and the Burlamacca Channel, possibly related to: 1) industrial punctual pollution; 2) input of domestic wastewaters; 3) input from agricultural practices. A sharp decreasing trend from the innermost waters to the open sea characterized most of the analyzed parameters. Trophic indicators (chlorophyll-*a*, total nitrogen-N and total phosphorus-P) and CDOM (chromophoric dissolved organic matter) concentrations decreased from the highest values in the inner docks to the site located outside the port. The highly eutrophic conditions of the waters were summarized using TRIX index (Chl*a*, oxygen saturation, N and P), which assigned a “poor” ecological status to all the port sampled stations and “moderate” to the marine site. The light attenuation coefficient was well correlated with the concentrations of the optical components (total suspended matter-TSM, CDOM, Chl*a*), with a prevailing role of CDOM and Chl*a*, confirming the eutrophic conditions and the key role of phytoplankton, which was present in relatively high abundances with a typical composition of transitional waters. An inside-outside gradient of zooplankton diversity was also observed, along which the more confined waters showed the lowest biodiversity index values, with the presence of a few dominant species. The multivariate models showed water temperature, conductivity and CDOM as significant variables to explain the observed variations. Impact of shipyards, low hydrodynamics and nutrient inflow from the Burlamacca Channel appeared as the main elements affecting the port, posing serious risks to the natural balances.

## Introduction

Aquatic systems, more than terrestrial ones, are mutable in space and time. A port area is subjected to strong anthropogenic impacts and is characterized by many variables that interact to produce more or less stable equilibrium. Organic and inorganic pollution is commonly buffered by physical and chemical processes, such as currents, dispersion, dilution, or chemical reactions, as well as by biological ones, e.g. transformation of substances by microorganisms, phytoplankton and zooplankton. In coastal waters and, in particular, in port areas, the impairment of such equilibrium, generated by spills of excessive amounts of harmful substances and/or huge intake of nutrients, lead to unpleasant side effects, including: odour, presence of floating debris and foam on the water surface, possibility of abnormal algal blooming resulting in water quality degenerative processes as anoxia, accumulation of harmful substances in the water and sediment, diffusion of allergenic substances along the coast, die-off of organisms contributing to maintain low concentrations of organic matter and negative effects on fish species of commercial interest. Anthropogenic impacts acting on the port area can be amplified due to specific features of each site, such as low hydrodynamics and natural intake of nutrient load through input channels, or potentially polluting substances such as heavy metals.

In order to have a detailed snapshot of the ecological situation in the Port of Viareggio, known for its importance for both shipbuilding and tourism activities, a set of geochemical and biological parameters, potential indicators of water quality useful for a quick overall assessment of the harbour environmental state, were selected and studied. These parameters were:

- 1) Dissolved oxygen ( $O_2$ ), highlighting the water oxygenation, a fundamental parameter affecting the sustainability of the port ecosystem. An  $O_2$  concentration close to zero may result in a water anoxia state, leading to the disappearance of aerobic organisms.
- 2) Trace elements (As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V and Zn), which may cause harmful effects on human health if assimilated even in small doses for a long period. They are diffused in water depending on their own geochemical mobility (regulated by redox potential, pH and concentration of complexing substances) and are useful to search out potential sources of pollution, e.g. industrial or domestic wastewater or discharge of nutrients and fertilizers used in agriculture [11].
- 3) Phytoplankton, unicellular microalgae constituting the main primary producers suspended in the water column. It is strongly influenced by light, inorganic nutrients (nitrogen, phosphorus and silicon) and physical conditions of the water column. It may be characterized by concentration of Chlorophyll-*a* (Chl*a*), cell abundance, taxonomic composition and species diversity and responds quickly to environmental changes, acting as one of the Biological Quality Elements that define the ecological status of the aquatic ecosystems (Water Framework Directive, WFD 2000/60 and Marine Strategy Directive, MSFD 2008/56, [3]). Furthermore, Chl*a*, together with total suspended matter (TSM) and chromophoric dissolved organic matter (CDOM), is the main Light Absorbing Substances (LAS), and this analysis was processed to attempt a classification of the port waters based on their bio-optical properties.
- 4) Zooplankton, small animals feeding on phytoplankton and bacteria or smaller zooplankton organisms. Ports can provide protected areas rich in nutrients, where these

planktonic organisms make their entire life cycle, but anthropogenic pollution can also cause their rapid die-off. Zooplankton represents a well-known organism group for its ecology and is considered a potential biomarker within the WFD [3].

This work was focused on the assessment of the water quality inside the Port of Viareggio, by also checking the possible existence of water gradients affecting the selected geochemical and biological parameters.

## Materials and Methods

Water sampling was performed on July 8-9, 2015 in the area immediately outside of the port, in the docks and along the Burlamacca Channel at a total of nine stations (Fig. 1), located in points that, according to a first cartographic examination, were considered of particular interest. The surveys involved: physical-chemical parameters of the water column, heavy metals bio-available and not bio-available in water, nutrients and organisms in the water column (phytoplankton and zooplankton).

The water physical-chemical parameters along the vertical profile were measured using a multi-parametric probe (Hydrolab Idroprob), to provide a correct estimation of depth (m), temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), Eh and pH, dissolved oxygen ( $\text{O}_2$  in  $\text{mg L}^{-1}$ ) and electric conductivity ( $\text{mS cm}^{-1}$ ). Water aliquots for nutrient analysis and phytoplankton samples were also taken. The collection of zooplankton samples was performed with an Apstein net. Water aliquots for chemical analyses were sampled at the surface and near the bottom for each station (with the exception of ST7 that was only collected at the surface).

For each sample, specific aliquots were collected, as follows: 1) a 125 mL sample for the determination of the main anions; 2) a 50 mL sample, filtered at  $0.45\ \mu\text{m}$  and acidified with 0.5 mL of HCl Suprapur, for the determination of the main cations; 3) a 50 mL sample, filtered at  $0.45\ \mu\text{m}$  and acidified with 0.5 mL of  $\text{HNO}_3$  Suprapur, for the determination of trace elements. The geochemical analyses were carried out in the laboratories of the Department of Earth Sciences of Florence, CNR-IGG (Institute of Geosciences and Earth Resources, Unit of Florence) and CSA of Rimini (Accredia laboratories). Water samples were analyzed with the following analytical techniques: automatic titration ( $\text{HCO}_3^-$ ), anionic and cationic chromatography ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) and ICP-MS (trace elements).

At each station 5 L of water were sampled under the surface (about 50 cm) for Chl $a$  and diagnostic pigments, nutrients, TSM, CDOM and phytoplankton analysis. An aliquot of 1.5 L was filtered (Whatman GF/F,  $\varnothing$  47 mm) for Chl $a$  and pigments analysis with HPLC (Shimadzu Class VP), following [9, 1]. Another aliquot of 1.5 L was filtered for gravimetric determination of TSM [7, 8]. An aliquot of the filtered water (fixed with  $\text{HgCl}_2$  1 %) was used for the determination of inorganic dissolved nutrients (phosphates, nitrites, nitrates, silicates) following standard methods [6] with Autoanalyzer3 (Bran Lubbe). Absorbance measurements of CDOM were carried out on filtered water using a Shimadzu UV 2501 PC spectrophotometer and the resulting values were converted in absorption according to [2]. An unfiltered aliquot of the samples was used for the determination of total Nitrogenous (N $_{\text{tot}}$ ) and Phosphorus (P $_{\text{tot}}$ ) [6]. Water filtering and the following analyses were performed at the Ecology Laboratory of the Biology Department. Samples of 250 mL were collected from the ST 7 site and three stations representative of



the different docks (ST 6, ST 3) and Burlamacca Channel (ST 8) and were fixed with neutralized formaldehyde (final concentration 0.8 %) for phytoplankton analysis. Microscopic analyses were performed on an inverted microscope (Zeiss IM35, 40x, ph.c.) following standard methods [6].



Figure 1 – The studied area in the Port of Viareggio and location of the sampling stations: ST1, Darsena Lucca; ST2, Darsena Toscana; ST3, Darsena Italia; ST4, Darsena Europa; ST5, Nuova Darsena; ST6, Avamporto; ST7 outside the port; ST8, Burlamacca Channel Madonnina; ST9, Burlamacca Channel railroad bridges.

Optical measurements were made at site: PAR attenuation coefficient ( $K_d$  PAR) was calculated from downwelling irradiance ( $E_d$ ) measured at 30 and 80 cm (LiCor Li-195) and spectral reflectance ( $R\%$ ) and attenuation ( $K_\lambda$ ) were obtained from downwelling and upwelling ( $E_u$ ) measurements at 30 cm, with the portable radiometric system PUMS [4]. TRIX index [10] was calculated using  $Chl_a$ , inorganic N and  $P_{tot}$  concentrations, and oxygen saturation.

An Apstein net for zooplankton with a 40 cm diameter mouth, net length 1 m and 200  $\mu$ m mesh was used to perform three vertical tows from bottom to surface at each station. The samples were fixed with a neutralized formalin solution in seawater (8 %), stored and further analyzed at the Biology Department, Laboratory of Zoology. Individuals were counted and taxa identified to the lowest possible level, including also larval stages.

## Results

The values of depth, temperature, pH, O<sub>2</sub>, concentrations of the water major elements and the Total Dissolved Solids (TDS) values for each sample are shown in Table 1. The concentrations of the water trace elements are listed in Table 2.

Table 1 – Depth (in m), temperature (in °C), pH, O<sub>2</sub> (in µmol L<sup>-1</sup>), concentrations of the water major elements (in mg L<sup>-1</sup>) and TDS values (in mg L<sup>-1</sup>) of the sampled water. S and P stand for samples taken at the surface and near the bottom, respectively.

Name	Depth	Temp.	pH	O <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	TDS
ST1 S	/	28.66	7.79	1.12	292	1.4	10380	35	1.2	1639	247	607	6135	204	19542
ST1 P	1.61	27.47	7.80	0.00	260	0.8	16114	45	0.8	2440	354	1029	9487	330	30060
ST2 S	/	27.89	7.80	2.15	255	0.9	16092	52	1.0	2371	347	992	9258	323	29692
ST2 P	3.33	26.01	7.82	0.00	209	1.5	20312	76	0.4	3326	435	1341	11504	430	37635
ST3 S	/	27.63	7.80	2.99	226	1.0	18120	60	1.6	2690	370	1090	9550	352	32461
ST3 P	4.58	25.44	7.85	0.29	216	1.5	22685	81	0.2	3520	438	1342	14578	431	43293
ST4 S	/	28.34	7.95	2.80	209	1.6	21780	70	1.2	3098	419	1269	11630	410	38888
ST4 P	5.54	24.92	7.85	1.39	211	1.2	23391	79	0.5	3463	442	1353	14667	432	44040
ST5 S	/	28.50	8.15	2.82	209	1.1	22713	77	0.8	3373	444	1370	13684	440	42312
ST5 P	5.55	24.89	7.98	2.32	207	1.6	23625	76	0.1	3330	443	1383	13944	443	43453
ST6 S	/	27.72	8.11	2.81	220	1.1	22339	75	0.4	3303	435	1333	13294	427	41428
ST6 P	3.33	25.23	8.14	2.63	210	1.2	23262	76	0.1	3324	449	1391	13698	446	42857
ST7 S	/	27.48	8.20	3.38	204	2.4	23219	78	0.3	3412	445	1368	13318	436	42483
ST8 S	/	27.87	7.85	2.25	235	1.1	17760	58	0.9	2619	356	1028	9542	333	31933
ST8 P	1.96	26.44	8.07	2.91	207	1.1	24132	76	0.3	3339	449	1385	13697	441	43727
ST9 S	/	28.14	7.82	0.32	312	2.2	6848	22	1.5	1067	251	456	3644	158	12761
ST9 P	1.48	27.42	7.90	0.00	217	2.4	23104	68	0.6	3003	408	1244	14231	394	42672

Table 2 – Trace elements contents in the sampled water (in µg L<sup>-1</sup>). S and P as in Table 1.

Sample	As	B	Ba	Bc	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
ST1 S	3.9	1961	23.7	<0.1	<0.1	1.3	0.2	9	<0.1	4.8	1	1.1	0.7	0.5	<0.5	2.1	<5
ST1 P	2.9	3153	16.8	<0.1	0.1	1.7	0.1	7.8	<0.1	8.3	0.9	0.6	0.7	<0.5	<0.5	2.1	<5
ST2 S	2.9	2771	24.9	<0.1	0.1	1.7	0.1	13.1	6.4	7.6	0.6	0.3	0.6	<0.5	<0.5	2.1	7
ST2 P	1.8	3512	9	<0.1	0.1	2.1	0.1	4.4	<0.1	11.1	<0.5	0.1	0.6	<0.5	<0.5	2.2	<5
ST3 S	2.8	3264	25.4	<0.1	0.1	1.8	0.1	19.1	1.1	9.3	<0.5	0.1	0.6	<0.5	<0.5	2.3	16
ST3 P	2.7	3586	24.3	<0.1	0.1	2.2	0.1	5.9	5.9	10.9	<0.5	<0.1	0.4	<0.5	<0.5	2.4	11
ST4 S	3.4	3326	11	<0.1	0.1	1.9	0.1	22.7	<0.1	13.1	0.5	0.2	0.6	1.7	<0.5	2.2	21
ST4 P	2.8	3630	9.4	<0.1	0.1	2.2	<0.1	4	2.7	12.2	<0.5	<0.1	0.4	<0.5	<0.5	2.3	<5
ST5 S	2.2	3559	17.7	<0.1	0.1	2.2	0.1	10.4	<0.1	11.9	<0.5	<0.1	0.4	<0.5	<0.5	2.3	<5
ST5 P	2.2	3655	18.7	<0.1	0.1	2.3	0.2	4.9	31.4	11.7	<0.5	<0.1	0.3	<0.5	<0.5	2.5	<5
ST6 S	2.3	3543	9.9	<0.1	0.1	2.1	0.1	12.1	<0.1	12.0	<0.5	<0.1	0.3	<0.5	<0.5	2.4	<5
ST6 P	1.6	3610	8.2	<0.1	0.1	2.2	<0.1	5.3	<0.1	11.8	<0.5	<0.1	0.3	<0.5	<0.5	2.7	<5
ST7 S	1.7	3637	8.9	<0.1	0.1	2.2	0.2	2.5	<0.1	12	<0.5	<0.1	0.2	<0.5	<0.5	2.7	<5
ST8 S	2.8	3100	14.5	<0.1	0.1	1.8	0.1	8.5	<0.1	8.9	0.9	0.1	0.3	<0.5	<0.5	1.9	<5
ST8 P	2	3620	10.9	<0.1	0.1	2.2	0.1	4.5	6.1	10.3	<0.5	<0.1	0.2	<0.5	<0.5	2.3	<5
ST9 S	3.5	1518	27	<0.1	0.3	1.1	0.2	17.2	5	4.5	20.4	0.6	0.4	<0.5	<0.5	1.6	51
ST9 P	2.7	3337	13.6	<0.1	0.1	2.1	<0.1	3.9	<0.1	10.1	<0.5	<0.1	0.3	<0.5	<0.5	1.9	<5

The water temperature and pH values ranged between 24.9 and 28.7 °C and between 7.79 and 8.2, respectively. The O<sub>2</sub> concentration, between 0 and 3.4 µmol L<sup>-1</sup>, decreased with

depth (P, Table 1) and moving landward (ST9). The TDS was between 12.8 and 44 g L<sup>-1</sup>. The water composition was dominated by Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>, typical components of seawater, whose concentration increased in the deeper samples and moving offshore (ST7). Concentrations of other elements, e.g. Br<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, also indicated a strong marine input.

Among the trace elements, referring to the current regulations concerning their content in natural waters (Italian Legislative Decree 152/1999 and subsequent Legislative Decree 31/2001 and 152/2006), it should be noted that:

- The high contents of B, exceeded in all samples the limits provided by the regulations on water quality relating to human consumption (1000 µg L<sup>-1</sup>). The concentrations varied between 1.5 (ST9 S) and 3.7 (ST5 P) mg L<sup>-1</sup>, therefore was lower than the limit for emissions into sewer (≤ 4 mg L<sup>-1</sup>).
- The concentration of Hg exceeded the limits for human consumption (1 µg L<sup>-1</sup>), in seven samples (i.e. ST2 S, ST3 S, ST3 P, ST4 P, ST5 P, ST8 P, ST9 S) with a maximum of 31.4 µg L<sup>-1</sup> (ST5 P). Five of the above samples (i.e. ST2 S, ST3 P, ST4 P, ST5 P and ST8 P) also exceeded the limit for mercury emissions into sewer (≤ 5 µg L<sup>-1</sup>).
- The Ni concentration of ST9 S (20.4 µg L<sup>-1</sup>) exceeded the limits for human consumption (20 µg L<sup>-1</sup>), but was lower than the limit for emissions into sewer (≤ 4 mg L<sup>-1</sup>).

All the other trace elements did not exceed the Italian law concentration limits.

A sharp decreasing trend in the concentrations of nutrients (Fig. 2a) and Chl<sub>a</sub> (Fig. 2b), both indicators of the trophic status of the waters, was noticeable from highest values in the innermost docks (ST1 and 9) of the port, up to 1.2 mg L<sup>-1</sup> of P<sub>tot</sub>, around 10 mg L<sup>-1</sup> of N<sub>tot</sub> and 15.7 mg m<sup>-3</sup> of Chl<sub>a</sub>, to the lowest abundances in the marine station (ST7). Generally, P<sub>tot</sub> concentrations were mainly inorganic (PO<sub>4</sub>) whereas N<sub>tot</sub> was principally organic (Fig. 2a). The highly eutrophic conditions were confirmed by the values of TRIX (Fig. 2a) that established the “moderate” state of quality for the marine waters (ST7) and “poor” for all the other stations in the port and Burlamacca Channel (ST9 and ST8).

The PAR attenuation coefficient (K<sub>d</sub>) was well correlated with the LAS (r=0.95; p<0.05) and also for these parameters (Fig. 2b) it was evident a decreasing gradient of concentrations and K<sub>d</sub> from the inner waters of the port and Burlamacca Channel towards the sea, with CDOM and Chl<sub>a</sub> playing the major role in light attenuation process.

In the selected samples phytoplankton abundances were in the order of magnitude of 10<sup>6</sup> cell L<sup>-1</sup>, with lower densities in ST7 and 8 (around 1.5 10<sup>6</sup> cell L<sup>-1</sup>) and higher in ST6 and 3 (up to 4.6 10<sup>6</sup> cell L<sup>-1</sup>) and taxonomic composition shifts from diatoms dominance in ST7 and 6 (bloom of *Skeletonema costatum* sensu lato) to a co-occurrence of more classes, typical of transitional waters, as Cryptophytes, Chlorophytes and Cyanobacteria. The PC analysis (OriginPro) well synthesizes the main forces driving the biological variability (Fig. 3). Conductivity was inversely correlated with PC1 (61 % of variance), on the contrary Chl<sub>a</sub>, phosphates, inorganic Nitrogen, CDOM, TSM, K<sub>d</sub> showed a direct correlation. Consequently, PC1 can be interpreted as distance from the sea, where the most eutrophic conditions were found towards the innermost stations (ST1, 9), which were also characterized by the increase in Cyanobacteria (zeaxanthin). Temperature is inversely correlated with PC2 (27 % of variance), which can be related to the hydrodynamic features explaining the opposite position of Fuco (diatoms) in more dynamic conditions (ST7, 8) and Chl<sub>b</sub> (Chlorophytes) in more still waters (ST4, 3, 2).

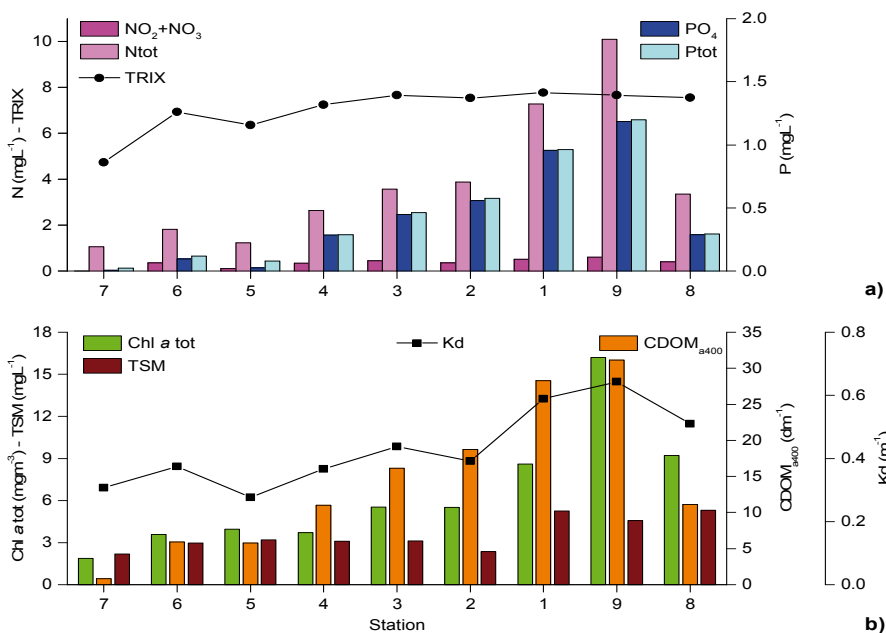


Figure 2 – a) Concentrations ( $\text{mg L}^{-1}$ ) of Ntot, inorganic N (nitrites + nitrates), Ptot and inorganic P (phosphates) and calculated TRIX for every station (line); b) concentrations of Chl<sub>a</sub>, TSM and absorbance of CDOM ( $\text{m}^{-1}$ ) as estimated concentration, PAR attenuation coefficient Kd ( $\text{m}^{-1}$ ) (line).

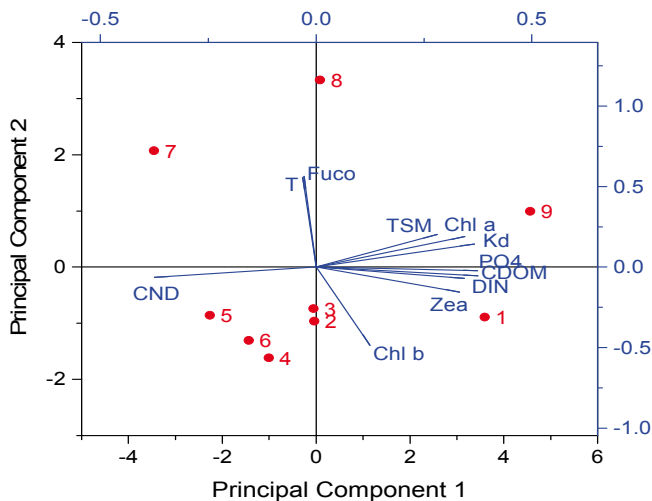


Figure 3 – PC Analysis with variables (blue) T( $^{\circ}\text{C}$ ), conductivity (CND), TSM, Kd, phosphates (PO<sub>4</sub>), inorganic N (DIN), Chl<sub>a</sub>, Chl<sub>b</sub>, Zea (zeaxanthin), Fuco (fucoxanthin), and case projections (stations, red).

As far as zooplankton is concerned, a gradient was observed for all the considered parameters (density, number of taxa and community diversity) from inside the port to the outer stations. The inner stations (ST1 and ST9) showed the highest zooplankton densities (300-450 individuals  $m^{-3}$ ) and the lowest number of taxa, compared to the other stations. Here, the dominant taxa were Cirripedia nauplii, Polychaeta larvae and Copepoda, confirming the data from [5]. At ST7, in the sea outside the port, the mean density was around 150 individuals  $m^{-3}$  and the number of taxa was comparable to that of stations ST3 to ST6. The community in the outer stations was mainly consisting of Copepoda, Hydromedusae and Appendicularia; all the stations spatially located between ST7 and ST1 (channel stations ST8 and ST9 included) showed communities with intermediate composition.

DistLM analysis (PRIMER 6) was used to produce models that associated the community structure to the environmental variables (Selection criterion AICc, selection procedure: Best). The best model highlighted water temperature, conductivity and CDOM as variables explaining a good percentage of the data variability, as represented by the dbRDA plot (Fig. 4). The TSM was a further variable explaining the data aggregation.

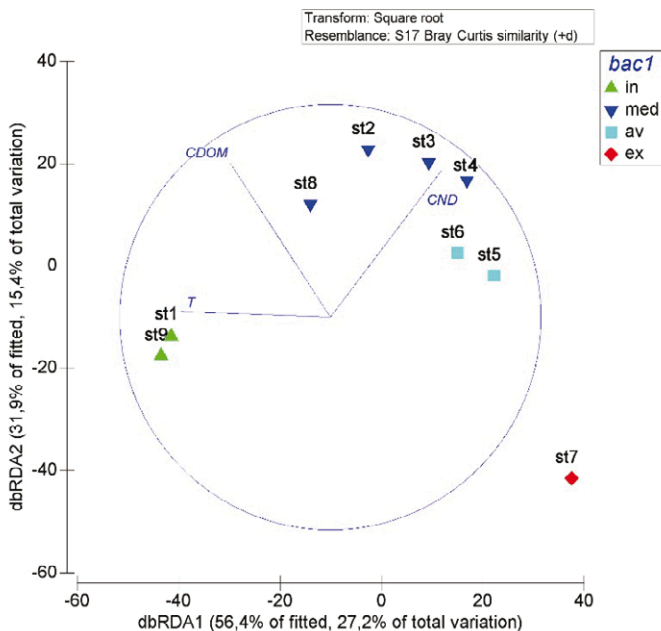


Figure 4 – dbRDA plot linking community structure and environmental variables at each station. Stations are categorized as: in, internal; med, intermediate; av, avamporto (outer harbor, i.e. port entrance); ex, external (sea). From left to right the three variables vectors, T (temperature), CDOM (chromophoric dissolved organic matter) and CND (conductivity).

## Discussion

The analytical results revealed the geochemical processes acting within the study area, with particular reference to the state and quality of water. The inorganic chemical composition of the water samples can be attributed to a strong marine contribution, mixed or superimposed by a component with lower salt load, from inland areas. Such a particular condition, causing a clear gradient and a vertical stratification of the water, has a direct effect on the concentration of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , which increases in the deeper samples and moving offshore, and also on the concentration of  $\text{O}_2$ , which, on the contrary, tends to decrease at depth and moving landward. This yields the lack of oxygenation of ST1 P, ST2 P and ST9 P samples, resulting in a poor water quality.

The presence of high concentrations of B can be attributed to the normal amounts in seawater. On the contrary, the concentrations of Hg and Ni in some samples can be related to human activities. The possible causes are, as follows:

- punctual pollution, due to the interaction between water and industrial material;
- non-punctual emission from boats and ships;
- inputs of industrial or municipal and domestic waste waters;
- inputs of nutrients and fertilizers used in agriculture.

The noticeable input of inland waters produces an inside-outside gradient of trophic parameters, bio-optical components, phytoplankton composition and zooplankton diversity, along which the more confined waters show the highest phytoplankton biomass and the lowest zooplankton biodiversity, with the presence of a few dominant species.

The multivariate models showed conductivity, water temperature and CDOM as significant variables to explain the observed variations in zooplankton and phytoplankton communities. Salinity changes from inland to the sea cause a shift in communities, which are very different inside and outside the port. The observed dependence of community structure on water temperature and quantity of dissolved organic matter was expected, as both these factors may influence growth and reproduction of heterotrophic organisms. The observed scarcity in zooplankton could act as a reduced natural control in the case of eutrophic phytoplankton blooms.

## Conclusion

The performed geochemical reconstruction, coupled with the assessment of the trophic conditions and phyto and zooplankton communities, proved to be suitable to estimate the ecological water status within the Port of Viareggio.

The obtained data can be used to program future sampling campaigns and analyses, in order to increase the compositional database and the knowledge of the water quality. The combined investigation of the geochemical and biological analyses highlighted some criticalities; consequently, further studies are required to evaluate the seasonal variation of the selected parameters in one of the most important ports of Tuscany.

## Acknowledgements

Thanks are due to NAVIGO (Center for the Innovation and Development of the Tuscan Boating), which financially supported the study and collaborated for the actions planning and realization.

## References

- [1] Barlow R. G., Cummings D. G., Gibb S. W. - *Improved resolution of mono- and divinyl chlorophylls a and b and zeaxanthin and lutein in phytoplankton extracts using reverse-phase C-8 HPLC*, Mar. Ecol. Prog. Ser. (1997) 161, 303 - 307.
- [2] Bricaud A., Morel A., Prieur L. - *Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains*, Limnol. Oceanogr. (1981) 26, 43 - 53.
- [3] Caroppo C., Buttino I., Camatti E., Caruso G., De Angelis R., Facca C., Giovanardi F., Lazzara L., Mangoni O., Magaletti E. - *State of the art and perspectives on the use of planktonic communities as indicators of environmental status in relation to the EU Marine Strategy Framework Directive*, Biol. Mar. Medit. (2013) 20 (1), 65 - 73.
- [4] Nourisson D.H., Scapini F., Massi L., Lazzara L. - *Optical characterization of a coastal lagoon in Tunisia: ecological assessment to underpin conservation*, Ecol. Inform. (2013) 14, 79 - 83.
- [5] Picone P., Della Croce N., Basso M. P. - *Ecologia e biologia dei porti del Mar Ligure e Alto Tirreno. 7. Popolamento zooplanctonico (Luglio 1972)*, Atti del Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (1976) Volume 2, 217 - 222.
- [6] Socal G., Buttino I., Cabrini M., Mangoni O., Penna A., Totti C. (Eds.) - *Metodologie di campionamento e di studio del plancton marino*, Manuali e Linee guida 56/2010 (2010) ISPRA-SIBM, Cap. 6, 55 - 79, Cap. 8, 87 - 100, Cap. 21, 213 - 237, Roma.
- [7] Strickland J. D. H., Parsons T. R. - *A practical handbook of seawater analysis*, Bulletin 167, 2<sup>a</sup> ed. (1972), Fish. Res. Board Canada, Ottawa.
- [8] Van der Linde D. W. - *Protocol for determination of total suspended matter in oceans and coastal zones*, Technical Note No. 1.98.182 (1998), European Commission Joint Research Centre, Space Applications Institute Marine Environment.
- [9] Vidussi F., Claustre H., Bustilloz-Guzmán J., Cailliau C., Marty J. C. - *Rapid HPLC method for determination of phytoplankton chemotaxonomic pigments: Separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein*, J. Plankton Res. (1996) 18 (12), 2377 - 2382.
- [10] Vollenweider R. A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. - *Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index*. Environmetrics (1998) 9, 329 - 357.
- [11] Wood J. - *Biological cycles for toxic metals in the environment*, Science (1974) 183, 1049 - 1052.

# ANALYSIS OF TEMPORAL EVOLUTION OF BIRD COMMUNITIES TO EVALUATE THE IMPACTS OF THE MOSE CONSTRUCTION YARDS IN VENICE LAGOON, ITALY

Francesca Coccon<sup>1</sup>, Caterina Dabalà<sup>1</sup>, Natale Emilio Baldaccini<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> CORILA, Consortium for coordination of research activities concerning the Venice lagoon system, Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124, Venice, Italy, Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512, [francesca.coccon@hotmail.it](mailto:francesca.coccon@hotmail.it)

<sup>2</sup> Department of Biology, University of Pisa, Italy

**Abstract** – The construction of the MOSE System in the lagoon of Venice began in 2003. In 2005 a Monitoring Program started with the aim to evaluate the possible disturbances caused by the works on birds. Here, we present results of surveys conducted at the Bacan of Sant’ Erasmo in the period 2005-2015 and in the lagoon basin opened to the fluctuation of tide between 2010 and 2015. Our main objective is to describe the temporal evolution of bird communities within the study sites and to detect possible ongoing changes. Results showed substantial changes in the ecological parameters descriptive of bird communities within the study sites, positive in some cases while negative in some others. The exploitation of these sites by a considerable number of priority and threatened species was also highlighted. This underlines the need of preserving the integrity of habitats and species present in the areas ecologically affected by the works at the lagoon inlets.

***Riassunto** – Nel 2003 sono iniziati i lavori per la realizzazione del MOSE in laguna di Venezia. Nel 2005 ha preso avvio un Piano di Monitoraggio con l’obiettivo di valutare la possibile presenza di fenomeni di disturbo causati dagli interventi alle bocche di porto lagunari sulle comunità ornitiche. In questo lavoro si presentano i risultati del monitoraggio condotto tra il 2005 e il 2015 nell’area del Bacan di Sant’Erasmo e tra il 2010 e il 2015 nel bacino lagunare aperto all’escursione di marea. L’obiettivo principale è quello di descrivere l’evoluzione temporale dell’avifauna presente nei siti di studio e di rilevare possibili modificazioni in atto. I nostri risultati hanno evidenziato dei cambiamenti sostanziali nei parametri descrittivi delle comunità ornitiche proprie dei siti monitorati, in taluni casi positivi in altri negativi. Viene inoltre data evidenza dello sfruttamento di questi siti da parte di un considerevole numero di specie prioritarie e con un diverso grado di minaccia. Ciò sottolinea la necessità di preservare l’integrità degli habitat e delle specie presenti nelle aree ecologicamente interessate dai lavori alle bocche di porto.*

## Introduction

In 2003 the works for the construction of MOSE started in the lagoon of Venice. This system consists of mobile barriers, placed at the inlets of Lido, Malamocco and Chioggia, designed to temporarily separating the lagoon from the sea in the case of exceptionally high tides. The project, still under construction, lies in an area of particular



value for the great natural and environmental heritage that characterizes it. In fact, the lagoon of Venice is the most important Italian international wetland according to the Ramsar Convention and it is widely represented in the European ecological network "Natura 2000" according to Directives 92/43/EEC "Habitats" and 2009/147/EC "Birds". Furthermore, the lagoon of Venice is the largest Important Bird Area (IBA) on a national scale, counting the highest number of species of Community importance to be preserved [1, 2]. Given the environmental and conservationist importance of the areas interested by the MOSE construction yards, in 2005 a Monitoring Program started with the aim of documenting the existence of possible disturbances caused by the works at the lagoon inlets on birds and to preserve the integrity of habitats and species present in the areas ecologically affected by them. The Monitoring allowed us to describe the evolution of the bird communities on a qualitative and quantitative basis and to define their trends over a period of ten years [3]. Such information was not previously available for the study area. In fact, although several studies have been conducted on the presence of birds in the lagoon of Venice [4-12], until now no one focused on their temporal variations over such an extended period of time.

Here we present results of the monitoring activities conducted in the area of Bacan of Sant'Erasmus, between April 2005 and December 2015 and in the lagoon basin opened to the fluctuation of tide, between May 2010 and December 2015 (Figure 1).

Our aims were 1) to describe the temporal evolution of bird communities within the study sites and to detect any variations indicative of ongoing ecological changes; 2) to evaluate communities from a conservation point of view and highlight changes in the occurrence of species included in the Red List IUCN or in Annex I of Birds Directive; 3) to analyse the trend of presence of three target species, recorded in the study areas since the beginning of the monitoring and therefore particularly suitable for indicating any long term variations. Finally, this work aims to test the reliability of the obtained results by comparing them with other data available for the study area.

## **Materials and Methods**

### **Study area and data collection**

Bird monitoring activities were started in April 2005 at the Bacan of Sant'Erasmus, selected for its proximity to the lagoon inlet of Lido. Such position makes the communities of birds present in it particularly vulnerable to noise emissions from construction sites and to human disturbance (Figure 1). Here, data were collected twice a month. From May 2008, surveys have been extended to the lagoon basin opened to fluctuation of tide in order to contextualise the observations made at the Bacan and document any ongoing changes in the area ecologically affected by the MOSE construction yards. In this area, the monthly surveys were initially conducted in winter only, between October and March, to be extended to all the year starting from May 2010. Given the environmental features of the study sites, only waterfowls were recorded through direct counting of all the visible individuals. Surveys were performed by boat and planned in correspondence of the maximum peak of tide.

For the analysis we used data collected at the Bacan of Sant'Erasmus from April 2005 to December 2015, and those recorded in the lagoon from May 2010. Data recorded in the lagoon before that date were excluded from the analysis since the time series was incomplete.

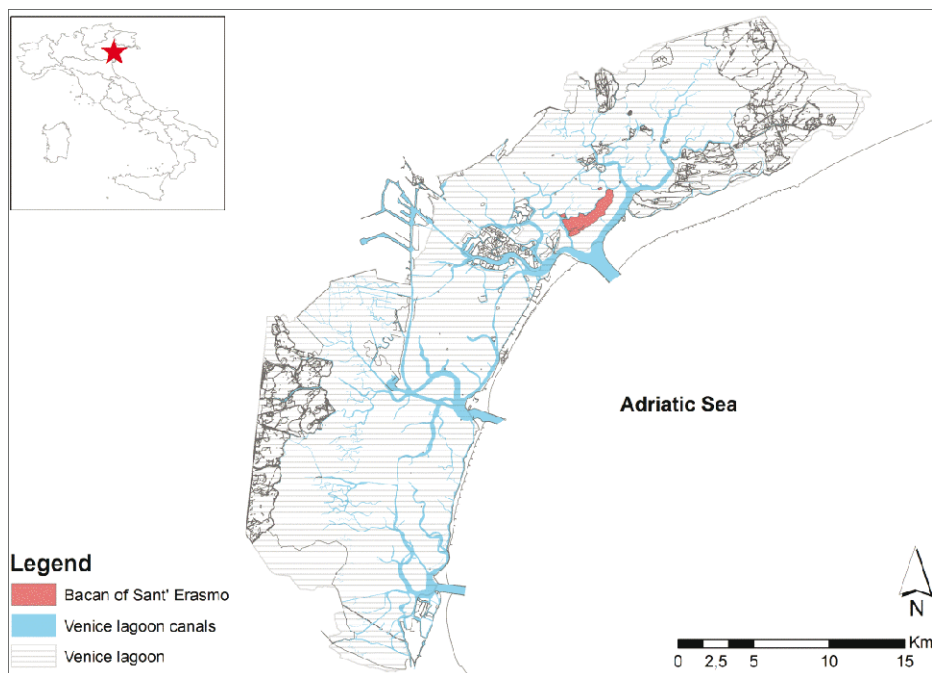


Figure 1 – Study area with the two investigated sites: Bacan of Sant’ Erasmo, in red, and Venice lagoon basin opened to the fluctuation of tide, in blue.

### Data analysis

We calculated the following ecological indices, by using data of monthly average abundance by species and we used them to describe the trend of presence of bird communities in the investigated sites:

- Species richness (S);
- Total number of individuals (N);
- Shannon index of diversity (H) [13].

We then evaluated the study sites from a conservation point of view. For this purpose, we calculated the percentage of endangered species according to the EU 27 Red List Category of birds [14] and the percentage of species included in Annex I of Birds Directive, recorded at the Bacan of Sant’ Erasmo and in the lagoon basin opened the fluctuation of tide. In addition, for the IUCN categories "Near Threatened" (NT), "Vulnerable" (VU), "Endangered" (EN) and "Critically Endangered" (CR) as well as for species included in Annex I of Birds Directive, we calculated the ratio between the number of individuals and the number of species registered per month (N/S Index) and we used the annual average of this ratio to describe the temporal evolution of each category.

Furthermore, using the monthly average abundance data, we described the trend of presence of three target species: Kentish plover, *Charadrius alexandrinus*, Grey plover, *Pluvialis squatarola* and Dunlin, *Calidris alpina* recorded at the Bacan of Sant'Erasmus in the period April 2005 - December 2015. These trends were then compared with those shown by the three species in the lagoon basin, starting from May 2010. This in order to assess whether there was a unique trend for the whole area or whether it was different depending on the investigated site.

The trend of ecological and mathematical indices described above was detected by using the moving average method, while the statistical significance of changes observed during the monitoring was assessed using parametric or non-parametric statistical tests according to data distribution.

Finally, to check the reliability of results from the analysis performed, we used the Pearson test to compare the average number of waterfowls recorded in the lagoon basin during the monitoring conducted between November and January 2010-2015, with data from the International Waterbird Census (IWC), registered in the lagoon in the same period<sup>1</sup>. For all statistical test, significance value was set at  $P < 0.05$ .

## Results

### Trend of the ecological indices in the investigated sites

At the Bacan of Sant'Erasmus, results pointed out significant temporal changes for all the considered ecological indices (Friedman test, Species richness:  $\chi^2_{10}=25.673$ ,  $P = 0.004$ ; Total abundance:  $\chi^2_{10}=20.808$ ,  $P = 0.022$ ; Shannon Index:  $\chi^2_{10}=22.444$ ,  $P = 0.013$ ). In fact, a decrease in the number of species between 2008 and 2012 and a subsequent recovery until 2015 has been registered. The number of individuals shows a clear contraction in 2007, followed by a stabilization on lower values with respect to the first years of monitoring, while the Shannon index visibly increases from 2008 (Figure 2).

In the lagoon basin, we found significant temporal variations relative to species richness (ANOVA test,  $F_{1,66} = 15.408$ ,  $P = 0.0002$ ) and abundance (Friedman test,  $\chi^2_5=20.571$ ,  $P = 0.0009$ ). The first shows a clear positive trend between 2010 and 2015, while the second a marked increase of individuals in the last two years of study.

Changes were not statistically significant for the Shannon index (Friedman test,  $\chi^2_5=6.714$ ,  $P = 0.243$ ), whose variations fall within a fairly narrow range of values. This indicates that all species have varied over time with the same rate (Figure 2).

---

<sup>1</sup> The IWC censuses are conducted in the lagoon of Venice, in January, since 1993. The aim of this project is to obtain a realistic estimate of waterbirds wintering in the study area.

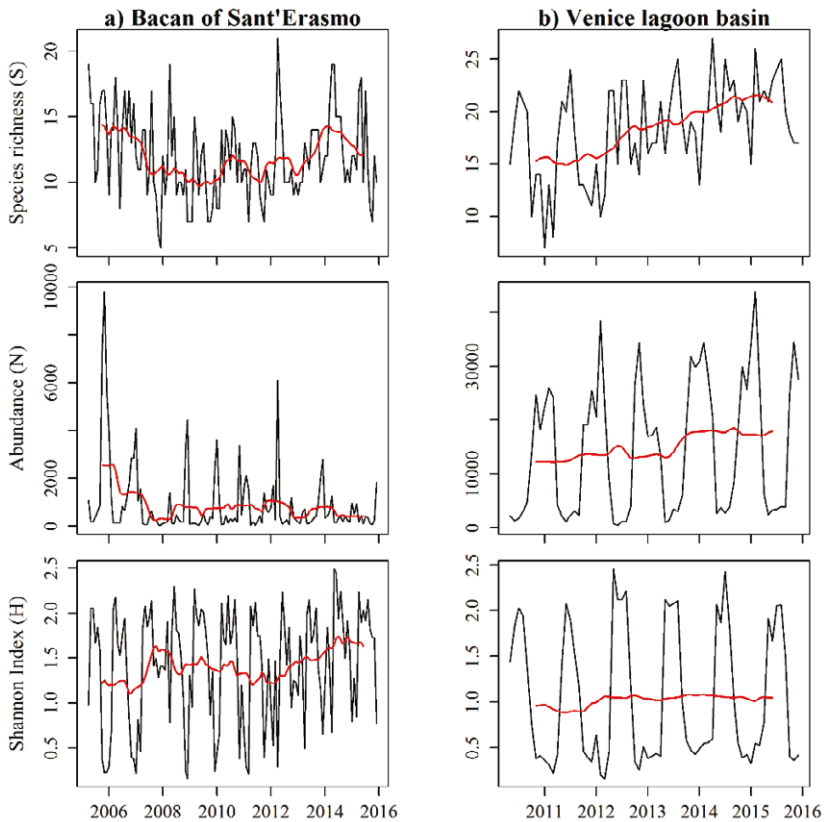


Figure 2 – Trend and moving average of the ecological indices descriptive of bird communities recorded at the Bacan of Sant’Erasmus between April 2005 and December 2015 (a) and in the lagoon basin opened the fluctuation of tide between May 2010 and December 2015 (b).

### Conservation assessment on the monitored bird communities

Results showed that 20 % of the total number of species recorded at the Bacan of Sant’ Erasmus ( $N_{\text{tot}}= 60$ ) was threatened, with 1.7% "Critically Endangered" (CR), 5 % "Endangered" (EN) and 13.3 % "Vulnerable" (VU). The 6.7 % was "Near Threatened" (NT) and the remaining 73.3 % "Least Concern" (LC). Again, 33.3 % of the species (20 species) were included in Annex I of Birds Directive.

Similarly, in the lagoon of Venice the 19 % of the total amount of recorded species ( $N_{\text{tot}}= 58$ ) was threatened, with 1.7 % CR, 5.2 % EN and 12.1 % VU. The 8.6 % was NT and the remaining 72.4 % LC. In addition, 32.8 % of the community (19 species) was included in the Annex I of Birds Directive.

At the Bacan of Sant’Erasmus a negative trend of the NT category has been highlighted, with a reduction of the number of individuals for the same number of species. On the contrary, the VU class has shown a clear positive trend since 2010, with an increase

in the number of individuals belonging to that category. The presence of Curlew, *Numenius arquata*, has substantially contributed to such increase. The species has become particularly relevant in the area in the last six years. The trend of EN and CR categories is not described since they were sporadically detected in the course of the monitoring (Figure 3). With regard to the species included in Annex I of Birds Directive, we found a negative trend of the N/S index, with a clear contraction in 2007 and a stabilization in the following years. Such a trend is caused by a reduction of the abundance of individuals, while the number of species has remained almost unchanged over the years (Figure 3).

In the lagoon basin a clear positive trend of the NT class was found, with an increase in both number of species and number of individuals, the latter doubled in just five years. Differently, the VU class has slightly decreased showing a negative peak in 2012 followed by a recovery and a subsequent stabilization in the last three years. Such a trend is due to an increased number of species for the same number of individuals. Finally, the EN category shows a stable trend until 2014 and a marked increase in 2015. The latter caused by a considerable rise of the number of individuals detected in the area.



Figure 3 – Annual average of the N/S index (ratio of number of individuals and number of species) calculated for the IUCN categories (top) and for the species included in Annex I of Bird Directive (bottom), recorded at the Bacan of Sant'Erasmus in the period 2005-2015 (a) and in the lagoon basin opened the fluctuation of tide between 2010 and 2015 (b).

The CR class is excluded from this description since in the course of monitoring only one species belonging to it has been recorded, the Terek sandpiper, *Xenus cinereus*. Such species has been observed in the southern basin of the lagoon in February 2015 (Figure 3). With regard to the species included in Annex I of Birds Directive, a stable trend of the N/S index has been highlighted. This suggests that number of individuals and number of species belonging to this group have changed with the same rate over the years (Figure 3).

**Trend of presence of three target species at the Bacan of Sant’Erasmus and in the lagoon basin opened to the fluctuation of tide**

At the Bacan of Sant’ Erasmus, results from the performed analysis pointed out a negative trend of Dunlin and Kentish plover and a positive one for Grey plover. For the last

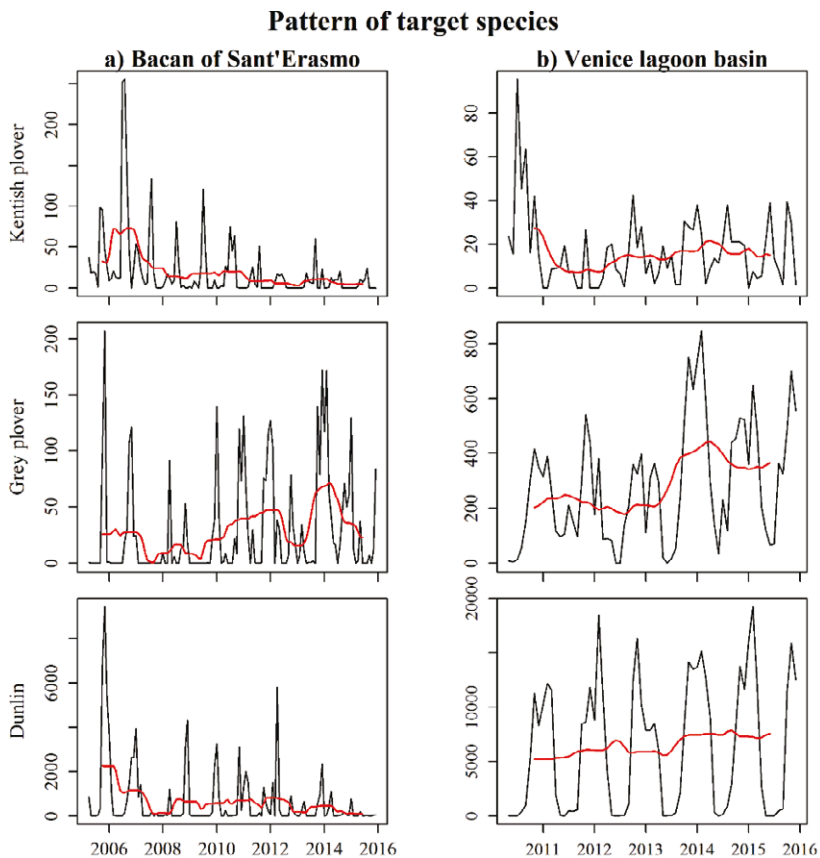


Figure 4 – Trend and moving average of Kentish plover, *Charadrius alexandrinus*, Grey plover, *Pluvialis squatarola* and Dunlin, *Calidris alpina*, recorded at the Bacan of Sant’Erasmus between April 2005 and December 2015 (a) and in the lagoon basin opened the fluctuation of tide between May 2010 and December 2015 (b).

two species the temporal variations were statistically significant (Friedman test, Kentish plover:  $\chi^2_{10}= 32.137$ ,  $P = 0.0003$ ; Grey plover:  $\chi^2_{10}= 33.153$ ,  $P = 0.0002$ ), while in the case of Dunlin they were not (Friedman test,  $\chi^2_{10}= 14.707$ ,  $P = 0.143$ ). In fact, this species shows a clear decline in 2007 followed by a stabilization of the abundances on lower values than those registered at the beginning of monitoring (Figure 4). In addition, in recent years, the species has shown a massive relocation from the shore of Bacan towards the breakwater of the Lido lagoon inlet, used as a high tide roost since October 2011 (Figure 5).

In the lagoon basin the trend of presence of Dunlin visibly differs from that detected at the Bacan of Sant' Erasmo, showing a clear positive trend. On the contrary, the other two species show similar trends to those recorded at Bacan, with a negative trend of Kentish plover, although there is a slight recovery and subsequent stabilization from 2013, and a distinctly positive trend of Grey plover (Figure 4). In this case, the temporal variations were statistically significant only for the latter species (Friedman test,  $\chi^2_5= 16.428$ ,  $P = 0.005$ ). Finally, a significant positive correlation has been found between data from the Monitoring Program and those from the IWC Censuses relative to the presence of waterfowls wintering in the lagoon of Venice (Pearson test,  $P = 0.008$ ,  $r = 0.845$ ).

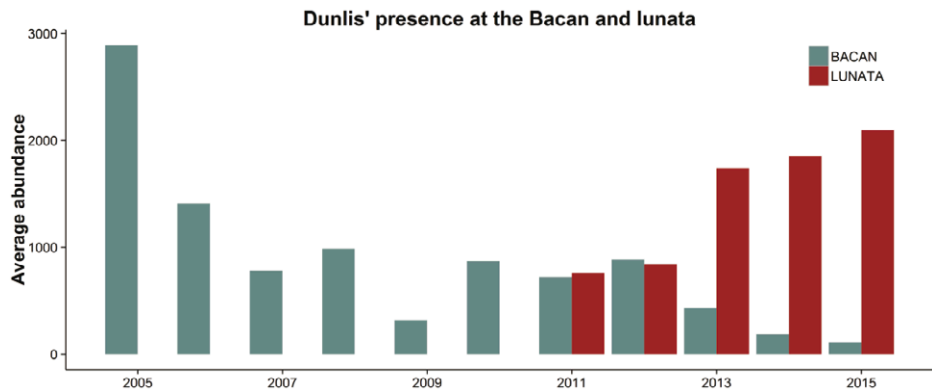


Figure 5 – Average abundance of Dunlin, *Calidris alpina*, recorded at the Bacan of Sant' Erasmo and in the breakwater of the Lido lagoon inlet, in the period 2005-2015. The species is regularly observed on this structure since October 2011.

## Discussion

This study allowed us to describe the temporal evolution of bird communities within the investigated sites in a period of great anthropic impact, characterized by a large human presence and noise emissions, thus with a great disturbance on birds [15, 16, 17].

We found substantial changes in the ecological parameters descriptive of the status of bird communities, however the trends highlighted for the two investigated sites are not the same, with birds showing different responses to the changed environmental conditions.

Undeniably, the contraction of biodiversity and abundance of individuals registered at the Bacan of Sant'Erasmus in 2007 indicates that birds have been influenced by the works for the construction of MOSE. Nevertheless, a clear increase of the Shannon index has been recorded from 2008, indicating a growth in the complexity of the community. This suggests that the area of Bacan is evolving toward a more mature ecosystem in which the frequency of the species is well distributed, contrary to what was detected at the beginning of the monitoring, when the community was dominated by few species (e.g. Dunlin).

We detected a general positive situation in the lagoon basin, where a significant increase in species richness and abundance of individuals has been found between 2010 and 2015 (Figure 2). This result coincides with what reported in literature, which shows a positive trend of breeding and wintering species in the province of Venice. Currently there are 186 species wintering in the area and 140 breeding [6]. Such values are significantly higher than those reported in previous ornithological atlases available for the study area [18, 19]. This result indicates a complex environment, characterized by different types of habitat and able to host an increasing number of species and individuals.

A considerable number of threatened species and of conservation interest has also been highlighted. Our results allow a positive evaluation with regard to these species since, in most cases, we detected an increase in the number of individuals belonging to these classes and/or the appearance of new species. Exceptions are the species belonging to the NT class and those included in Annex I of Birds Directive recorded at the Bacan of Sant'Erasmus, which show a negative trend due, in both cases, to a reduction of the number of individuals for the same number of species.

Again, a profound difference in the temporal evolution of Dunlin has been found between the Bacan of Sant'Erasmus and the lagoon basin. The species in fact appears to decrease in the first case, while considerably grows in the second one (Figure 4). The latter result is in line with what reported in the literature, which show a considerable increase of the wintering population of Dunlin in the lagoon of Venice, moving from 10800 individuals in January 1993 to the 37587 recorded in the winter 2015 [7]. Therefore, the decline and subsequent stabilization of this species recorded at the Bacan, is balanced by its increase in the whole lagoon basin, indicating a relocation of their presence in different areas. Such a result is confirmed by the massive presence of Dunlins registered in recent years in the breakwater of the Lido lagoon inlet (Figure 5).

Our results also showed a decreasing trend of Kentish plover both at the Bacan and in the lagoon. The species is in decline in all the Country, having registered a contraction of the breeding population of 50 % in the last 10 years [20]. It also shows a decline as wintering species, moving from 59 individuals detected in the lagoon of Venice in January 1993 to the 48 recorded in January 2015 [7]. On the contrary, the Grey plover shows a general positive trend. This species has a clear seasonal pattern, with peaks of presence in fall migration and wintering periods (Figure 4).

Finally, monitoring data were significantly correlated with those from the IWC censuses. This suggests the validity of the methods of sampling used in this project as well as the reliability of results from the performed analyses. It also highlights the general positive situation found in the lagoon complex.



## Conclusion

The ten-year study allowed us to detect the temporal changes occurred on birds during the MOSE construction yards, highlighting on one hand the influence of the works on bird communities exposed to them, on the other an heterogeneity in their trend within the study sites. In fact, it is widely known that noise arising from the construction sites, especially the activities with emissions above 70 dB (A), can mask the song of singing species (Passeriformes order) and have negative effects on the status of bird communities [21-22]. In addition, noise can cause physiological and behavioural damages on single individuals [23-24]. However, it is important to underline that in recent years, in which no noisy activity is present, the ecological indexes of bird communities attending the Bacan of Sant' Erasmo are returning in line with what it can be expected from the specificity of this site.

Furthermore, a considerable increase of waterfowls was found in the lagoon of Venice where species have shown a generalized numerical expansion. This result emphasizes the importance of safeguarding the lagoon, taking all appropriate measures for preserving the habitats and species present in it.

Finally, our results revealed that some species of waders, no longer or scarcely observed at the Bacan of Sant' Erasmo in recent years, have undergone a relocation towards different areas of the lagoon, but not a depletion of their population. This suggest that, once concluded the executive phase of the works and limited the human pressure on the study sites, bird communities will be able to recover their own population structures; unless, in the meantime, other factors not directly related to the works or large-scale changes of the species composing the communities have intervened to modify the environmental conditions of the areas attended by them.

## Acknowledgments

We thank Marco Basso and Lucio Panzarin for conducting surveys and data collection and those who have collaborated in the project in these ten years of monitoring. We are particularly grateful to Mauro Bon e Faunisti Veneti for the successful scientific collaboration, still underway. This study has been coordinated by CORILA (Consortium for coordination of research activities concerning the Venice lagoon system) and funded by the Ministry for Infrastructures and Transports - Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto - Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia - through its concessionaire Consorzio Venezia Nuova.

## References

- [1] Gariboldi A., F. Casale and V. Rizzi - *Aree importanti per l'avifauna in Italia* (2000), LIPU.
- [2] Brunner A., C. Celada, P. Rossi and M. Gustin - *Sviluppo di un sistema nazionale delle ZPS sulla base delle rete delle IBA (Important Bird Areas)* (2002), LIPU.

- [3] Coccon F., Baldaccini N. E. - *Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE*. In Campostrini P., Dabalà C., Del Negro P., Tosi L. (eds). (2016), Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia, CORILA.
- [4] Bon M. and F. Scarton - *Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012)* (2012), Provincia di Venezia - Assessorato alla caccia.
- [5] Bon M. and E. Stival - *Uccelli di laguna e di città. L'atlante ornitologico nel comune di Venezia 2006-2011* (2013), Marsilio Ed., Venezia.
- [6] Bon M., F. Scarton, E. Stival, L. Sattin and G. Sgorlon - *Nuovo atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Venezia* (2014), Associazione Faunisti Veneti, Museo di Storia Naturale di Venezia.
- [7] Basso M. and M. Bon - *Censimento degli uccelli acquatici svernanti in provincia di Venezia, Gennaio 2015* (2015), Provincia di Venezia - Servizio Caccia e Pesca. Relazione non pubblicata.
- [8] Scarton F. - *Breeding birds and vegetation monitoring in recreated salt marshes of the Venice lagoon*. In: Fletcher C. A., Spencer T. (eds). (2005), Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon. State of Knowledge Cambridge University Press, Cambridge. 573-579.
- [9] Scarton F., M. Baldin and R. Valle - *L'avifauna acquatica nidificante nelle barene artificiali della laguna di Venezia*, Boll. Mus. Civ. Stor. Nat. Venezia (2009) 60: 127-141.
- [10] Scarton F. - *Long term decline of a Common Tern (Sterna hirundo) population nesting in salt marshes in Venice lagoon (Italy)*, Wetlands (2010) 30: 1153 – 1159.
- [11] Scarton F., G. Cecconi, C. Cerasuolo and R. Valle - *The importance of dredge islands for breeding waterbirds. A tree-year study in the Venice Lagoon (Italy)*, Ecological Engineering (2013) 54: 39-48.
- [12] Scarton F. - *Occurrence and habitat use of five waders in the Lagoon of Venice (Italy) [in Italian]*, Boll. Mus. St. Nat. Venezia (2014) 65: 163-179.
- [13] Shannon C.E. and W. Weaver - *The mathematical theory of communication* (1963), University of Illinois press.
- [14] BirdLife International - *European Red List of Birds* (2015), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- [15] Slabbekoorn H. and E.A. Ripmeester - *Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation*, Molecular Ecology (2008) 17(1): 72-83.
- [16] Dooling R.J. and A.N. Popper - *The effects of highway noise on birds*, Sacramento, CA: California Department of Transportation (2007), 74.
- [17] Baldaccini N.E. - *Effetti dei rumori antropogenici e degli infrasuoni sul comportamento e l'ecologia degli uccelli*, Rivista Italiana di Acustica (2015) 39(3): 70-90.
- [18] Stival E. - *Atlante degli uccelli svernanti in provincia di Venezia* (1996), Grafiche Italprint, Treviso.
- [19] Bon M., G. Cherubini, M. Semenzato and E. Stival - *Atlante degli uccelli nidificanti in provincia di Venezia* (2000), Servizi grafici Editoriali, Padova.

- [20] Peronace V., J.G. Cecere, M. Gustin, C. Rondinini - *Lista Rossa 2011 degli uccelli nidificanti in Italia*, *Avocetta* (2012) 36(1): 11-58.
- [21] Brumm H. and H. Slabbekoorn - *Acoustic communication in noise*, *Advances in the Study of Behavior* (2005) 35(35): 151-209.
- [22] Baldaccini N.E., P. Campostrini, F. Coccon, C. Dabalà, P. Fausti, A. Santoni, Soldatini C. - *Birds and noise: the MOSE yards case (Lagoon of Venice, Italy)*, Fifth International Symposium Monitoring of Mediterranean Coastal Areas problems and measurements techniques. Livorno, June 17-19, 2014, 807-816.
- [23] Rheindt F.E. - *The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution?*, *Journal für Ornithologie* (2003) 144(3): 295-306.
- [24] Albores-Barajas Y.V., N.E. Baldaccini, E. Möstl and C. Soldatini - *Use of Captive Bred Passerines to Monitor Human Disturbance Using Corticosterone Metabolites*, *International Journal of Biology* (2012), 4(2): 39.

## COPERTURA DEL SUOLO E BIODIVERSITÀ NELLA COSTA TEATINA (ABRUZZO, ITALY)

Maria Carla de Francesco<sup>1</sup>, Ambra Zuzolo<sup>1</sup>, Maria Laura Carranza<sup>1</sup>,  
Ludovico Frate<sup>1</sup>, Andrea Rosario Natale<sup>2</sup>, Angela Stanisci<sup>1</sup>

<sup>1</sup> EnvixLab. Dip. Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise,  
Fonte Lappone, Pesche (IS) 86090, Italia

e-mail: [maria.defrancesco@unimol.it](mailto:maria.defrancesco@unimol.it); [stanisci@unimol.it](mailto:stanisci@unimol.it)

<sup>2</sup> Riserva Naturale Regionale Lecceta di Torino di Sangro,  
Piazza D. Iezzi 14, Torino di Sangro (CH) 66020, Italy

**Riassunto** – Nel presente studio è stata prodotta una nuova mappa della copertura del suolo e della vegetazione della Costa Teatina insieme ad una breve analisi del paesaggio così da identificare il potenziale naturale di ogni settore della costa. La Costa Teatina si estende lungo la costa abruzzese per 4 302,1 ha. Attraverso fotointerpretazione è stata prodotta una mappa dettagliata dell'uso del suolo (1:5.000) secondo il protocollo CORINE ed attribuiti alle categorie naturali i rispettivi habitat di direttiva (92/43/CEE). Per ogni tipologia seminaturale e naturale sono stati calcolate la copertura (CA) ed il numero di poligoni (NP). Il paesaggio della Costa Teatina è caratterizzata principalmente da aree agricole (45 %), da boschi e aree semi-naturali (31 %) e da aree artificiali (23 %), con 12 habitat di direttiva. I boschi che occupano maggiore superficie sono quelli a *Quercus ilex* e a *Quercus pubescens* mentre la macchia mediterranea e la vegetazione delle dune coprono superfici piccole soprattutto all'interno delle aree S.I.C. Questo contributo fornisce delle conoscenze di base per realizzare azioni mirate a migliorare la connettività delle aree protette della costa teatina, essenziale per garantire la sopravvivenza delle specie vegetali e faunistiche di interesse comunitario e conservazionistico. Tali azioni devono conciliarsi con una gestione sostenibile del territorio che presenta anche una importante vocazione turistico-ricreativa

**Abstract** – In this study a new map of land cover and vegetation of the Teatina Coast is produced and a brief analysis of its landscape is made identifying natural, covering 4 302,1 ha. Through photo-interpretation of digital orthophotos we produced a detailed Land Cover map (1:5 000) following the CORINE protocol. For each vegetation type we calculated the cover area (CA) and the number of patches (NP). The Teatina Coast landscape is characterized mainly by agricultural areas (45 %), forest and seminatural areas (31 %) and artificial areas (23 %) with 12 EU Annex 1 habitats (92/43 ECC). Among forests, *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* woods occupy the largest area. Mediterranean maquis and coastal dune vegetation cover small and natural fragmented surfaces mainly concentrated in the SCIs. This paper provide useful insights for planning actions oriented to enhance the ecological connectivity between protected areas as well as to promote the attractiveness for recreation and leisure purposes in a sustainable manner.

## Introduzione

Il settore meridionale della costa abruzzese, conosciuta come “Costa Teatina”, è composta da numerosi promontori rocciosi a picco sul mare con un’alternanza di piccoli tratti di costa pianeggiante sabbiosa, dove i corsi d’acqua raggiungono il mare, e di spiagge ghiaiose-ciottolose [1]. La Costa Teatina è caratterizzata da un’alternanza di aree urbanizzate e aree naturali e semi-naturali che nell’insieme costituiscono un complesso mosaico di ecosistemi rurali, urbani e costieri.

La singolarità di questo territorio, rispetto al resto della costa adriatica, è la presenza di scogliere a picco sul mare (le falesie) derivanti dalle falde del massiccio della Majella, che proiettano il sistema montuoso direttamente in acqua [2]. Dal crollo delle falesie, formate da arenaria e conglomerati [3], derivano le spiagge ghiaiose-ciottolose che si alternano a quelle basse sabbiose con le caratteristiche dune sabbiose. Nonostante l’elevata pressione antropica, sono ancora presenti importanti elementi naturali di elevato valore ambientale ed ecosistemico, tra cui la vegetazione delle dune e delle scogliere, la macchia mediterranea, i boschi ripariali e le zone umide [4, 5, 6, 7].

L’elevato valore di biodiversità della costa e il suo pregio paesaggistico sono confermati dall’istituzione di sette Riserve Naturali Regionali (R.N.R., con Legge Regionale n°5 del 2007), un Sito di Importanza Regionale (S.I.R. con Legge Regionale n°5 del 2007) e cinque Siti di Interesse Comunitario (S.I.C.), nonché dalla recente istituzione del Parco Nazionale della Costa Teatina (Legge n°93 del 2001), che include tutta l’area costiera tra il comune di Ortona a nord e quello di San Salvo a sud (Figura 1) [8, 9].

Il litorale adriatico dell’Italia centrale ha subito negli ultimi cinquant’anni l’intensificazione della pressione antropica soprattutto a causa dell’espansione degli insediamenti urbani, della rete stradale e delle strutture turistiche, che ha dato origine ad un paesaggio articolato con ambienti naturali spesso ridotti a livello residuale [10, 11].

In un paesaggio altamente frammentato come quello della Costa Teatina le aree protette risultano sempre più isolate tra di loro a causa della presenza di centri urbani, aree industriali e numerose superfici agricole. L’isolamento limita la possibilità di interscambio genetico tra le popolazioni naturali, causando una riduzione della diversità genetica [12], e provocando fenomeni di estinzione locale. Tutto ciò comporta una semplificazione in termini di biodiversità e una banalizzazione degli ecosistemi, compromettendo sempre di più il grande patrimonio naturalistico e paesaggistico dell’area [13].

La presenza di elementi di grande valore ambientale e la necessità di definire delle misure di conservazione che integrino in una unica rete ecologica le aree di maggiore importanza conservazionistica (*core*), le zone di transizione e le fasce di connessione, rendono fondamentale lo svolgimento di un’analisi dettagliata dell’uso del suolo e della vegetazione in questo tratto di costa. Il presente studio è stato orientato a realizzare una carta della copertura del suolo a scala di dettaglio come strumento di conoscenza e gestione dell’intero territorio della Costa Teatina. La carta, prodotta *ex-novo* ed integrata con le conoscenze sulla vegetazione, è alla base di una breve analisi del paesaggio naturale ed offre le basi per identificare le azioni da pianificare per migliorare la connettività ecologica tra le aree protette e valorizzare la vocazione locale per un turismo sostenibile.

## Materiali e metodi

La fascia costiera analizzata è quella compresa tra Ortona e San Salvo (provincia di Chieti), nella parte meridionale della Regione Abruzzo (Italia), lunga circa 50 km e con ampiezza compresa tra 500 e 800 m partendo dalla linea di costa verso le aree interne, per totale di 4 302,1 ha di estensione (Figura 1).

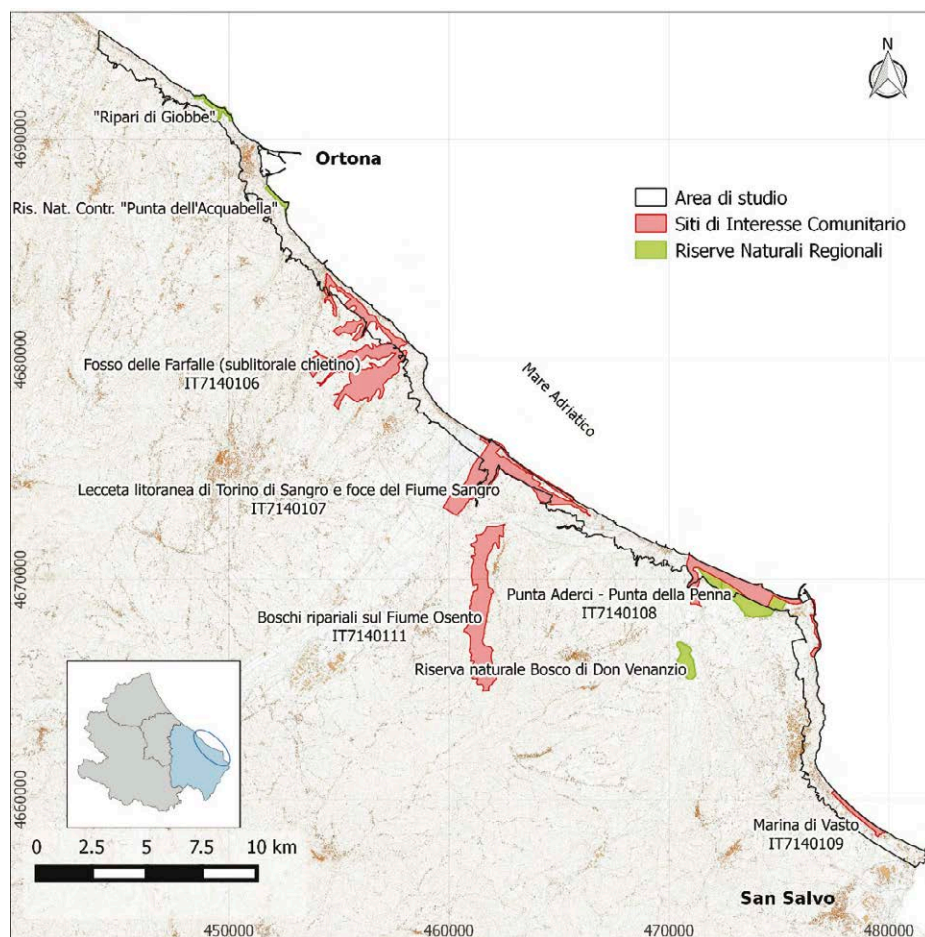


Figura 1 – Area di studio e sistema delle aree protette lungo la costa teatina.

*Figure 1 – Study area along with the network of protected areas along Teatina coast.*

La cartografia dell'area stata realizzata in scala 1:5.000 mediante fotointerpretazione manuale di ortofoto digitali a colori ad alta risoluzione (anno 2013) in

ambiente GIS (QGIS, versione 2.14.0) ed accurate verifiche di campo. La legenda utilizzata per la descrizione del paesaggio segue lo schema metodologico del progetto CORINE Land Cover - CLC - che, sulla base della scala cartografica, è stata estesa fino al 4° livello di dettaglio per lo studio delle aree naturali e semi-naturali e delle zone umide (Tabella 1) [4, 14].

Il progetto CORINE (*COoRdination of INformation on the Environment*) Land Cover prevede la realizzazione di una cartografia della copertura del suolo con una legenda organizzata in livelli gerarchici che possono essere progressivamente ampliati in categorie sempre più dettagliate a seconda della risoluzione e dello scopo del processo di mappatura. In questo modo, il protocollo del CLC ha validità generale ma, allo stesso tempo, la struttura gerarchica e la flessibilità della sua nomenclatura rende possibile avere informazioni precise indipendentemente dalle peculiarità di una determinata area [14]. Durante il lavoro di verifica della cartografia in campo si è anche proceduto alla attribuzione, delle categoria naturali e seminaturali a specifici Habitat di importanza comunitaria secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE (Habitat) [15].

La distribuzione sul territorio delle aree naturali e seminaturali (categoria 3 “Territori boscati e ambienti naturali e semi-naturali” e 4 “Zone umide”) è stata analizzata mediante l’utilizzo di indicatori di paesaggio, quali l’estensione di ciascuna categoria di copertura del suolo (*Class Area* in ha) ed il numero di poligoni tracciati (*Number of Patches*).

L’analisi della distribuzione spaziale delle diverse categorie naturali e degli habitat di direttiva ha permesso di valutare le possibili alterazioni delle aree naturali a causa delle trasformazioni del suolo e di individuare i potenziali corridoi ecologici presenti.

## Risultati e Discussioni

L’analisi della vegetazione al 1° livello CLC indica che il paesaggio della costa teatina è caratterizzato principalmente dalla presenza di aree agricole, che rappresentano circa la metà della superficie analizzata (1 953,2 ha), con una distribuzione omogenea lungo la fascia costiera (Figura 2). Le aree naturali e semi-naturali coprono il 31 % del territorio (1 306,3 ha) e sono distribuite in modo articolato, tra le aree agricole e le superfici artificiali, anch’esse particolarmente rappresentate (995,3 ha) (Figura 2).

Lo studio dettagliato della composizione del paesaggio al 4° livello CLC ha messo in evidenza la presenza di un’elevata diversità di aree naturali e semi-naturali e di zone umide. Queste categorie sono articolate sul territorio in 20 tipologie di copertura del suolo (Tabella 1), molte delle quali contenenti habitat di interesse per la conservazione a livello Europeo indicati nell’Allegato I della Direttiva Habitat (92/43 EEC) così divise: sei per i boschi, sei per la vegetazione psammofila, quattro relative agli arbusteti, due tipologie per le zone umide, una di gariga e una per la vegetazione di scogliera. Tale diversità è attribuibile all’eterogeneità geomorfologica nonché agli effetti del tradizionale uso del suolo (uliveti e vigneti su pendii acclivi o con lieve pendenza).

I boschi di leccio (*Quercus ilex* – 3.1.1.1), attribuibili all’habitat di direttiva 9340 (Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*), sono le formazioni naturali più diffuse e si distribuiscono in ampie macchie presenti in diversi punti della costa. In particolare, nel comune di Torino di Sangro, i boschi di leccio sono ben rappresentati e danno origine a dei nodi molto importanti della rete ecologica della costa teatina. I boschi di roverella (*Q. pubescens* - 3.1.1.2), riconducibili all’habitat 91AA\* (Boschi orientali di quercia bianca),

sono invece presenti in piccole macchie discontinue lungo la fascia collinare, e costituiscono importanti elementi della rete ecologica locale per le specie vegetali ed animali nemorali. I boschi ripariali (3.1.1.6) a *Salix alba* e *Populus alba*, rappresentativi dell'habitat 92AO (Foreste a galleria di *Salix alba* e *Populus alba*), sono localizzati nei tratti medi e inferiori dei corsi d'acqua, dove spesso risultano invasi, da numerose specie alloctone tra cui *Robinia pseudoacacia* e *Ailanthus altissima* e danneggiate da attività agricole ed estrattive sulle sponde, che ne determinano una loro scarsa estensione e forte frammentazione. Di grande interesse biogeografico sono i boschi con roverella (*Q. pubescens*) e alloro (*Laurus nobilis*) (3.1.18), rappresentativi dell'habitat 5230\* (Matorral arborescenti a *Laurus nobilis* - suballeanza *Lauro nobilis-Quercenion pubescentis* Ubaldi 1995), riscontrati a ridosso del litorale nella parte nord della Costa Teatina, in piccoli nuclei in ambienti conservativi di forra.

Oltre le aree boscate, la vegetazione arbustiva a *Ulmus minor* (3.2.4.1) e la vegetazione ruderale a *Arundo donax* e *R. pseudoacacia* (3.2.4.2), tipiche delle aree antropizzate o con usi del suolo molto eterogenei, presentano una grande estensione nel territorio e il maggior numero di poligoni, indicando una diffusa presenza di aree marginali prossime alle superfici artificiali, aree urbane e produttive. Meno rappresentata sul territorio è la tipologia dei canneti ripariali (4.1.1.1) presente in piccole aree lungo i numerosi fiumi e torrenti che raggiungono il mare e fortemente influenzata dalle attività agricole e produttive, seguita da quella delle zone umide retrodunali (4.1.1.2), rappresentative degli habitat 1410 (Pascoli inondati mediterranei *Juncetalia maritimi*), 6420 (Praterie umide mediterranee con piante erbacee alte del *Molinio-Holoschoenion*) e 7210\* (Paludi costiere con *Cladium mariscus*), fortemente ridotte e molto frammentate a causa delle infrastrutture legate al turismo balneare. In particolare, le paludi con *Cladium mariscus* si trovano esclusivamente in un'area residuale nel Biotopo di San Salvo Marina. Le zone con macchia mediterranea (3.2.3.1 e 3.2.3.2), dell'habitat 5330\* (Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici), e con vegetazione dunale (3.3.1.1; 3.3.1.2; 3.3.1.3; 3.3.1.4), degli habitat 1210 (Vegetazione annua delle linee di deposito marine), 2120 (Dune embrionali mobili), 2120 (Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria*), 2230 (Dune con prati di *Malcomietalia*) e 2260 (Dune con vegetazione di sclerofille dei Cisto-Lavanduletalia) coprono superfici naturali ridotte e discontinue principalmente concentrate nei S.I.C [16]. Infine, ad occupare il settore dunale più interno e stabile del sistema dunale sono i boschi di pino (*Pinus halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster*), dell'habitat 2270\* (Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*), presenti in particolare ad Ortona, lungo le spiagge sabbiose di Casalbordino e a Vasto marina originati da rimboschimenti, hanno acquisito un notevole valore ecosistemico e paesaggistico.

Lungo la costa abruzzese, i sistemi dunali sono ormai relittuali, spesso privi della vegetazione più evoluta delle dune consolidate [5], in questo contesto, la fascia costiera teatina rappresenta un importante serbatoio di biodiversità per la flora e la fauna delle dune. La vegetazione dunale è ben rappresentata, infatti, nei SIC di Punta Aderci-Punta della Penna e in quello di Marina di Vasto [7, 16], mentre nella parte settentrionale sono presenti spiagge stabili da ripascimento (Ortona, San Vito); ben conservate sono le spiagge ghiaiose.



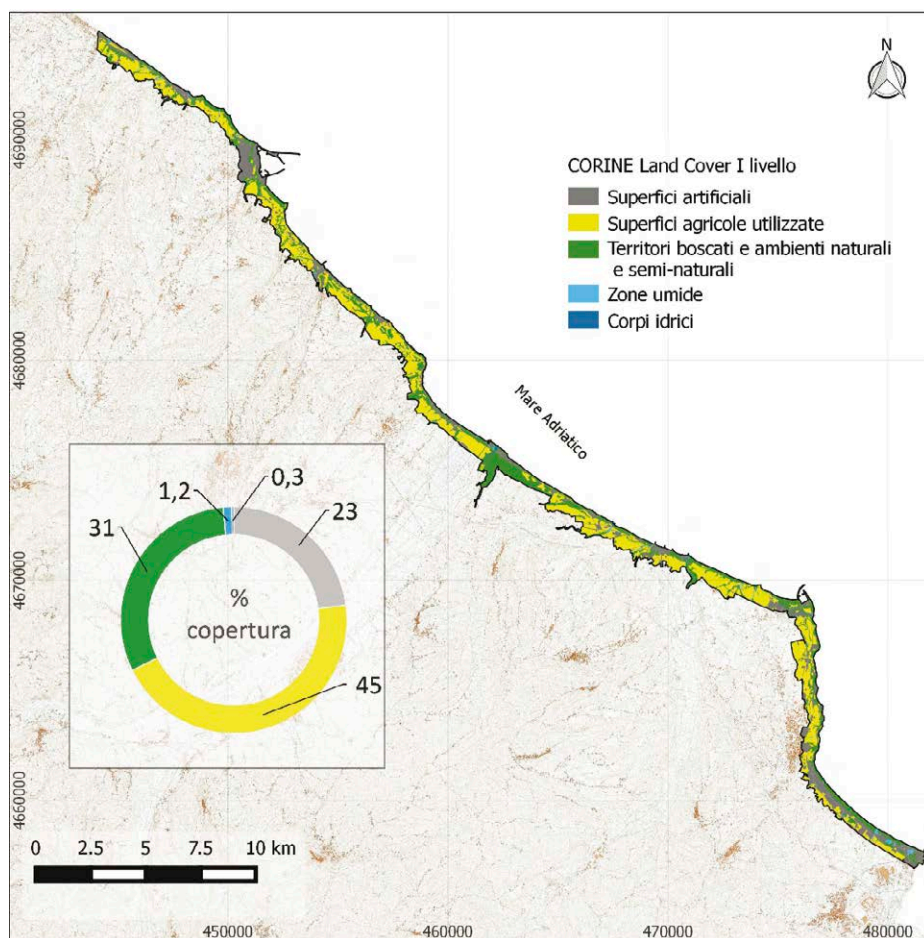


Figura 2 – Carta della copertura del suolo della Costa Teatina e copertura delle classi al 1° livello CLC in percentuale rispetto al totale di superficie analizzata (4 302,1 ha). Estensioni categorie: 1 (995,3 ha); 2 (1 953,2 ha); 3 (1 306,3 ha); 4 (50,4 ha); 5 (14,8 ha).

Figure 2 – Land cover map of Teatina coast and percentage coverage of CLC 1<sup>st</sup> level classes, calculated upon the total of the analyzed surface (4 302,1 ha). Size of classes: 1 (995,3 ha); 2 (1 953,2 ha); 3 (1 306,3 ha); 4 (50,4 ha); 5 (14,8 ha).

Tabella 1 – Distribuzione delle categorie naturali al 4° livello CLC. Estensione in ettari (CA), Numero di poligoni (NP), Habitat di importanza comunitaria secondo la direttiva Habitat 92/43/CEE (Habitat).

Table 1 – Distribution of natural cover types at 4<sup>th</sup> level CLC. Cover in hectares (CA), Number of polygons (NP), Code of Habitat Directive 92/43/CEE (Habitat).

CLC	CA	NP	Descrizione	Habitat
3.1.1.1	199,1	9	Bosco di leccio, ben rappresentato soprattutto nella Lecceta di Torino di Sangro e presente altrove in piccoli nuclei.	9340
3.1.1.2	171,8	76	Boschi di roverella della fascia basso-collinare, presenti in numerose aree residuali.	91AA*
3.1.1.6	167,4	60	Boschi ripariali a salice e pioppi, localizzati nei tratti medi e inferiori dei fiumi e spesso invasi da specie alloctone.	92AO
3.1.1.7	22,4	25	Boscaglia a <i>Robinia pseudocacia</i> , presenti in contesti fortemente antropizzati.	
3.1.1.8	13,9	6	Boschi a roverella e alloro presenti nella parte nord della costa teatina, in poche aree residuali.	5230*
3.1.2.1	59,9	41	Pinete costiere dunali da rimboschimenti con sottobosco con elementi della macchia mediterranea.	2270*
3.2.3.1	29,8	24	Macchia mediterranea, presente in aree residuali a forte acclività.	
3.2.3.2	36,4	17	Gariga con <i>Ampelodesmos mauritanicus</i> presente in piccoli lembi sui pendii acclivi delle falesie.	5330*
3.2.4.1	144,7	86	Boscaglia ad olmo lungo i fossi sub-costieri e collinari.	
3.2.4.2	140,2	106	Vegetazione ruderale con <i>Arundo donax</i> , tipica di ambienti fortemente antropizzati con specie esotiche invasive.	
3.2.4.3	61,8	29	Cespuglieti a rovo e ginestra comune in aree in fase di ricolonizzazione vegetazionale.	
3.3.1.1	67,3	8	Vegetazione annuale pioniera dunale a <i>Cakile maritima</i> , in via di rarefazione.	1210
3.3.1.2	22,1	14	Vegetazione psammofila perenne pioniera a <i>Elytrigia juncea</i> .	2110
3.3.1.3	31,0	6	Vegetazione ad ammoreto sulla duna consolidata, presente prevalentemente nel settore meridionale della costa teatina.	2120
3.3.1.4	35,2	17	Pratelli terofitici interdunali con specie annuali di piccole dimensioni e con vistose fioriture primaverili ( <i>Vulpia fasciculata</i> , <i>Lagurus ovatus</i> ).	2230
3.3.1.5	49,4	28	Vegetazione annua a <i>Crithmum maritimum</i> e <i>Atriplex prostrata</i> delle spiagge ghiaiose.	1210
3.3.1.6	46,3	27	Vegetazione erbacea a <i>Dittrichia viscosa</i> in ex-coltivi e/o a <i>Glycyrrhiza glabra</i> nelle zone retrodunali.	
3.3.2.2	2,3	4	Scogliere e coste rocciose alte con <i>Crithmum maritimum</i> e <i>Helichrysum italicum</i> .	1240
4.1.1.1	37,3	63	Comunità palustri dominate da <i>Phragmites australis</i> alle foce di fiumi e torrenti.	
4.1.1.2	13,1	8	Comunità di piante erbacee perenni delle zone umide retrodunali ad <i>Agrostis stolonifera</i> e <i>Juncus acutus</i> / <i>Erianthus ravennae</i> e localmente <i>Cladium mariscus</i>	1410 6420 7210*

## Conclusioni

L'analisi del territorio costiero della "Costa Teatina" ha rivelato la presenza di numerose categorie di copertura del suolo naturali e di habitat di direttiva (Habitat 92/43/CEE), anche se alcuni in forma relittuale.

A livello ecologico, l'integrazione tra gli elementi naturali e la matrice agricola, prevalentemente sottoforma di colture tradizionali di ulivi e vigne tipiche del territorio esaminato, ha permesso di conservare un'elevata biodiversità e di mantenere nel tempo delle importanti aree residuali di vegetazione di interesse biogeografico e conservazionistico. In questo paesaggio tradizionale si conservano inoltre numerose specie di fauna selvatica divenute rare in altri territori costieri dell'Italia centrale [17, 18, 19].

Tuttavia sono presenti numerose aree artificiali che frammentano il mosaico naturale e quello agricolo. Questa frammentazione ha reso particolarmente vulnerabile il territorio alla diffusione di specie aliene e infestanti. Le specie aliene, che si espandono dagli insediamenti urbani e dalle strade, si sono insediate in un numero elevato di poligoni riconducibili alla categoria 3.2.4.2 'Vegetazione ruderale a canna comune *Arundo donax* e robinia *Robinia pseudoacacia*'. La diffusione in questo territorio di specie aliene invasive costituisce una minaccia per il raggiungimento e/o il mantenimento di un buon stato di conservazione degli habitat di interesse comunitario. Nello stesso tempo la diffusa presenza di tipologie di uso del suolo di natura antropica può provocare non solo la scomparsa e la riduzione degli habitat naturali ma anche il loro progressivo isolamento, che compromette la loro resilienza ecologica [13, 20].

Il presente lavoro ha messo in evidenza l'elevata complessità ambientale e di uso del suolo della "Costa Teatina", la presenza di numerosi habitat di interesse naturalistico, in buon stato di conservazione soprattutto nelle aree sottoposte a tutela ambientale, e la presenza di alcune minacce ambientali che possono pregiudicare nel tempo il mantenimento di una efficace rete ecologica locale. La realizzazione di azioni mirate alla rinaturalizzazione e al restauro ecologico potrebbe fornire continuità ecologica tra gli habitat e promuovere il raggiungimento di un buon livello dello stato di conservazione degli ecosistemi naturali lungo tutta la costa [20, 21]. Sarebbe inoltre auspicabile l'individuazione ed il restauro di corridoi ecologici che colleghino la costa con l'interno in modo da garantire la connessione delle aree protette della "Costa Teatina" tra loro e con quelle interne.

Tali azioni devono conciliarsi con una gestione sostenibile del territorio che presenta anche un'importante vocazione turistico-ricreativa [22].

## Ringraziamenti

Ci sembra doveroso ringraziare tutti coloro che hanno fornito gentilmente i dati: la Regione Abruzzo, l'Arch. Valerio Ursini e l'Arch. Guido D'alleva della Provincia di Chieti, l'Arch. Giuseppe De Dominicis commissario *ad acta* del Parco della Costa Teatina, l'Ing. Italo Bona e il Dott. Tommaso Pagliani per il Piano di Gestione del SIC Fosso delle Farfalle, la Cooperativa Terracoste per il Piano di Gestione del SIC Lecceta di Torino di Sangro e foce del fiume Sangro, la Coop. COGECSTRE per i Piani di Gestione dei SIC Punta Aderci-Punta della Penna e Marina di Vasto. Si vuole infine ringraziare la Dott.ssa

Maria de Chiro e l'Università degli Studi dell'Aquila per aver messo a disposizione i risultati sull'analisi degli habitat nei SIC Punta Aderci-Punta della Penna e Marina di Vasto.

## Bibliografia

- [1] Artese C. – *Tra terra e mare. Le piante della duna e della falesia nella riserva Naturale di Punta Aderci*, (2010) Cogecstre Edizioni, Penne (PE).
- [2] D'Alessandro L., Del Sordo L., M. Buccolini, Miccadei E., Piacentini T., Urbani A. – *Analisi del dissesto da frana in Abruzzo*, (2007) pp.463-492, In: Rapporto sulle frane in Italia, Progetto IFFI– Metodologia, risultati e rapporti regionali, ISPRA, Serie Rapporti, 78/2007.
- [3] Miccadei E., Mascioli F., Piacentini T., Ricci F.– *Geomorphological Features of Coastal Dunes along the Central Adriatic Coast* (Abruzzo, Italy), *J. Coastal Res.* (2011) 27 (6), 1122-1136.
- [4] Pirone G., Corbetta F., Frattaroli A.R., Ciaschetti G. – *Aspetti della vegetazione costiera dell'Abruzzo*, *Biogeographia* (2001) 22, 169-191.
- [5] Pirone G., Ciaschetti G., Di Martino L., Cianfaglione K., Giallonardo T., Frattaroli A. R. – *Contribution to the knowledge of the coastal vegetation of Abruzzo (central Adriatic)*, *Fitosociol.* (2014) 51, 55-64.
- [6] Stanisci A., Acosta A. T. R., Carranza M. L., de Chiro M., Del Vecchio S., Di Martino L., Frattaroli A. R., Fusco S., Izzi C. F., Pirone G., Prisco I. – *EU habitats monitoring along the coastal dunes of the LTER sites of Abruzzo and Molise (Italy)*, *Plant Sociol.* (2014) 51 (1), 51-56.
- [7] De Dominicis G. – *Relazione generale. Parco Nazionale della Costa Teatina* (Legge n. 93 del 08/03/2001) (2015a) - (Tavola R01).
- [8] De Dominicis G. – *Misure di Salvaguardia. Parco Nazionale della Costa Teatina* (Legge n. 93 del 08/03/2001) (2015b) - (Tavola R02).
- [9] Romano B., Zullo F. – *Urban transformation of Italy's Adriatic coastal strip: Fifty years of unsustainability*, *Land Use Policy* (2014) 38, 26-36.
- [10] Malavasi M. Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. – *Landscape and Urban Planning*, Elsevier (2013) 119, 54-63.
- [11] Petrella S., Bulgarini F., Cerfolli F., Polito M., Teofilli C. – *Libro rosso degli habitat d'Italia*, (2005) WWF Italia-ONLUS, Roma.
- [12] Blasi C., Boitani L., La Posta S., Manes F., Marchetti M. e AA. VV. – *Stato della Biodiversità in Italia, Contributo alla strategia nazionale per la biodiversità- Flora e vegetazione, Vegetazione e habitat prioritari*, (2005) Palombi Editori (Roma).
- [13] Acosta A. T. R., Carranza M.L., Izzi C.F. – *Combining land cover mapping of coastal dunes with vegetation analysis*, *Appl. Veg. Sci.* (2005a) 8, 133-138.
- [14] Acosta A. T. R., Carranza M.L., Conti F., De Marco G., D'Orazio G., Frattaroli A., Izzi C.F., Pirone G., Stanisci A. – *Banca dati della flora costiera psammofila dell'Italia centrale*, *Informatore Botanico Italiano*, (2005b) 37 (1), 110-111.
- [15] Biondi E., Blasi C., Burrascano S., Casavecchia S., Copiz R., Del Vico E., Galdenzi D., Gigante D., Lasen C., Spampinato G., Venanzoni R., Zlvkovic L. – *Contributo tematico alla Strategia Nazionale per la Biodiversità, Manuale italiano di*

- interpretazione degli habitat (Direttiva 42/93/CEE)*, MATTM Direzione per la Protezione della Natura e del Mare, [online] URL: [http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/biblioteca/protezione\\_natura/manuale\\_interpretazione\\_habitat\\_it.pdf](http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/biblioteca/protezione_natura/manuale_interpretazione_habitat_it.pdf).
- [16] Frattaroli A. R., Acosta A. T. R., Ciaschetti G., Di Martino L., Pirone G., Stansici A. – *Indagine sulla qualità ambientale della costa dell’Abruzzo meridionale e del Molise (Adriatico centrale) su base floristico-vegetazionale*, Fitosociol. (2007) 44 (1), 117-127.
- [17] Carranza M.L., Barile M., De Castro G., De Liso L., Loy A., Presti G., Stanisci A. – *Un modello di rete ecologica multispecifica: vegetazione e fauna dell’alto Molise*, Biogeografia (2006) 27, 332-343.
- [18] Allavena S., Angelini J., Pellegrini M. – *The Red Kite in Italy*, International Symposium Kloster Arnsburg Lich Nabu Germany, 2000.
- [19] Pirone G. – *Alberi arbusti e liane d’Abruzzo*, 2° ed. (2015), COGECSTRE Edizioni, Penne (PE).
- [20] Battisti C. – *Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche: un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica*, (2004) Provincia di Roma, Assessorato alle Politiche Ambientali, Agricoltura e Protezione Civile, Roma.
- [21] Andaloro F., Blasi C., Capula M., Grapow L.C., Frattaroli A., Genovesi P., Zerunian S. – *Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità - Esiti del tavolo tecnico-L’Impatto delle specie aliene sugli ecosistemi: proposte di gestione*, (2010) [online] [http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/biodiversita/TAVOLO\\_3\\_SPECIE\\_ALIENE\\_completo.pdf](http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/biodiversita/TAVOLO_3_SPECIE_ALIENE_completo.pdf).
- [22] Ferrari C., Pezzi G. – *L’ecologia del paesaggio*, (2013), Universale Paperbacks Il Mulino.

# COMUNITÀ PLANCTONICHE E BENTONICHE NELLO STAGNO DEL BELLAROSA MAGGIORE (SARDEGNA MERIDIONALE) (HABITAT 1150\*)

Laura Durante<sup>1</sup>, Luisanna Massa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline, via La Palma sn, 09126 Cagliari, Italia.  
Tel. 07037919204, Fax. 070 37919300e-mail laura.durante@parcomolentargius.it

**Riassunto** – Lo Stagno del Bellarosa maggiore è una vasca di I evaporazione, facente parte delle ex Saline di Cagliari, dismesse dal 1985. La cessazione dell'attività ha determinato l'instaurarsi di condizioni critiche nell'ecosistema per l'inadeguato ricambio idrico, scarso stato qualitativo delle acque, dei sedimenti e delle biocenosi planctoniche e bentoniche. Il Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline con altri partner ha sviluppato il progetto LIFE “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256” con gli obiettivi di ripristinare le originarie condizioni ambientali e migliorare la qualità delle acque e dei sedimenti. Sono stati realizzati interventi di ripristino del Canale di alimentazione dello Stagno e la manutenzione/realizzazione di argini interni. Scopo di questo studio è descrivere i risultati del monitoraggio delle biocenosi planctoniche e bentoniche condotto nel 2015 al termine degli interventi Life (monitoraggio ex post).

**Abstract** – The “Bellarosa maggiore” is the ex first evaporation basin of Cagliari's salt works. In 1985, when salt production stopped, the environmental conditions of the basin started to get gradually worse, mainly because of the degradation of the embankments, the insufficient circulation of water and the ingression of contaminated freshwater (sewage from the hinterland of Cagliari). This also resulted in an increase in eutrophication and in a worsening of the water, sediment and biocenosis quality.

The Park, with other international partners developed the LIFE project “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256” with the aim to restore the previous environmental conditions and improve water quality and sediments.

It was realized the restoration of the feeding seawater tributary channel end the restoration end maintenance of the inner embankments.

The aim of this work is to describe the planctonic and bentonic biocenosis monitoring results, ex post monitoring, leaded in 2015 after the conclusion of restoration works included in the LIFE project concrete actions.

## Introduzione

Il Parco Naturale Regionale Molentargius Saline comprende un territorio di circa 1500 ha di cui il compendio salato si estende per ben 847 ha. Il Bellarosa maggiore è uno stagno ipersalino, utilizzato fino a metà degli anni ottanta come vasca di prima evaporazione delle Saline. Ampio circa 430 ha, è attualmente costituito da un'unica grande vasca poco profonda, localizzata tra gli abitati di Cagliari e Quartu Sant'Elena. L'alimentazione dello stagno, è assicurata da una lunga canalizzazione (Canale immissario) Nel 1985 l'attività saliniera fu interrotta per motivi di carattere igienico-sanitari a seguito della tracimazione delle acque dolci luride, provenienti da vicini stagni del Bellarosa minore. L'interruzione dell'attività saliniera e la carenza di manutenzione delle infrastrutture determinarono l'instaurarsi di condizioni critiche sia per problemi di alimentazione e ricambio sia per il cedimento in più punti di un argine di separazione dello Stagno con un canale di deflusso di acque dolci che causò l'ingressioni di acque dolci e cariche di nutrienti nello Stagno. Per rispondere a queste criticità il Parco ha partecipato a un progetto LIFE + Nature & Biodiversity LIFE10 NAT/IT/000256 "*Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons*" grazie al quale sono stati effettuati una serie di interventi di riqualificazione ambientale: realizzazione di un nuovo canale di immissione e distribuzione delle acque di mare, un sistema di paratoie per la regolazione dei flussi, il ripristino di parte delle arginature interne e dell'argine di "basso fondo" in pietra e argilla. Il presente lavoro discute lo stato dei popolamenti bentonici e planctonici nel Bellarosa maggiore (BM) dopo gli interventi di recupero ambientale e nello Stagno del Perdabianca (PB), stagno prossimo al Bellarosa maggiore ma non interessato dagli interventi Life. I dati sono stati raccolti con l'azione E.3 *Monitoring ex-post abiotic and biotic characteristics at the Molentargius*, che ha fatto seguito alla azione C.2 inerente i lavori di ripristino della circolazione idraulica.

## Materiali e metodi

Il monitoraggio ex post delle biocenosi planctoniche e bentoniche è iniziato nei mesi di novembre/dicembre 2014 e si è concluso nel novembre 2015. Sono state attuate quattro campagne di monitoraggio che hanno interessato cinque stazioni nel Bellarosa maggiore (Punto C, Isoca, Isocadx, S14\*, IsoIna) e tre stazioni nel Perdabianca (S20, S21, S23) (Fig.1). I campioni di mesozooplankton sono stati raccolti mediante pesche orizzontali effettuate con un retino con maglia da 80  $\mu\text{m}$ . Sui campioni è stata determinata la composizione qualitativa e quantitativa allo stereomicroscopio.

Sui dati raccolti sono stati applicati alcuni indici di diversità biologica, ricchezza in specie, l'Indice di Shannon-Weaver, l'Indice di Simpson.

I campioni di zoobenthos sono stati prelevati mediante una benna Ekman Birge. Per ogni data di campionamento e per ciascuna stazione sono state prelevate tre repliche.

Il materiale raccolto è stato vagliato tramite un setaccio con maglia da 1 mm Contestualmente a tutte le campagne di monitoraggio sono stati rilevati, mediante sonda portatile, i parametri chimico fisici quali condizioni termiche, condizioni di ossigenazione, salinità, stato di acidificazione che non sono discussi nel presente lavoro.

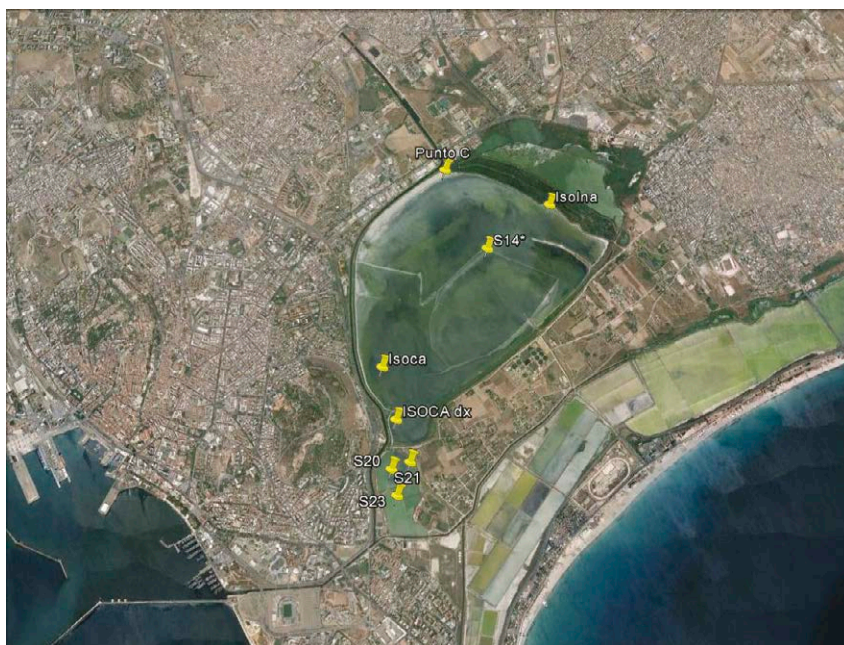


Figura 1 – Stazioni di campionamento.  
 Figure 1 – Sampling stations.

## Risultati e discussione

### *Zooplankton*

La comunità zooplanctonica (Fig.2) è composta da Copepodi, Ostracodi (Perdabianca), Rotiferi Nematodi Turbellari (Bellarosa maggiore), Fillipodi, Larve di Ditteri Chironomidi, di Coleotteri (Bellarosa maggiore), Protozoi, Anellidi, stadi larvali di Gasteropodi, di Policheti, di Decapodi (Perdabianca), Appendicolarie (Bellarosa maggiore).

Nel Bellarosa maggiore la densità massima è stata registrata nella stazione Isoca dx a dicembre 2014 con  $149820 \text{ ind. m}^{-3}$ ; i valori minimi nella stazione Isoca a settembre 2015 con  $2465 \text{ ind. m}^{-3}$ . I popolamenti sono in media più abbondanti nelle stazioni S14\*, Isoca dx e Isoca; le stazioni Isolna e Punto C hanno invece valori medi molto inferiori.

Per quanto riguarda la variazione temporale, nel Bellarosa maggiore, si osserva una accentuata variabilità con valori molto elevati nella campagna di dicembre 2014 nelle stazioni Isoca dx e Isoca, i quali subiscono un forte decremento nel periodo invernale 2015 e si mantengono invece su valori stabili nelle campagne estive e autunnali 2015; la densità media massima si registra nella campagna novembre-dicembre 2014 con  $52354 \text{ ind. m}^{-3}$ , i valori medi minimi nella campagna di settembre 2015 con  $16727 \text{ ind. m}^{-3}$ .

Il popolamento zooplanctonico del Perdabianca è molto meno abbondante e con variabilità numerica meno accentuata.



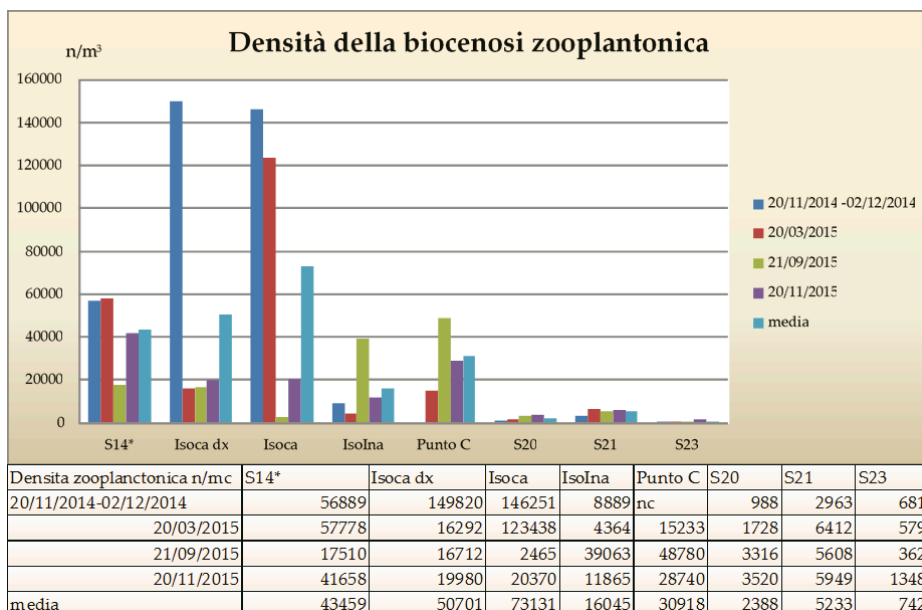


Figura 2 – Densità.  
Figure 2 – Density.

I taxa più abbondanti sono i Fillipodi (*Artemia salina* 24 % della biocenosi complessiva), i Copepodi (22 %) e i Rotiferi (19 %). Ben rappresentati anche il Protozoo *Fabrea salina* (12 %). Altri gruppi sono scarsamente rappresentati e si rinvencono in modo sporadico. La comunità comprende anche organismi ticoplanctonici come le larve di ditteri Chironomidi e i Nematodi e meroplanctonici come le larve di Policheti.

### **Indici di comunità (Tab.1)**

#### *Bellarosa maggiore*

Il maggior numero di taxa (7) è stato rinvenuto nella stazione Isoca nelle campagne di dicembre 2014 e marzo 2015 e nella stazione Isoca dx nel mese di novembre 2015 (6). La minor ricchezza in specie si ha invece nelle stazioni S14\*, Punto C ed IsoIna. In generale il numero minimo di taxa si ha nella campagna di settembre 2015, al termine del periodo estivo. I valori dell'indice di Shannon più elevati si riscontrano nelle stazioni Isoca dx (1.39 a novembre) e Isoca (1.45 a marzo); i valori più bassi, nelle stazione S14\* a settembre 2015 e nella stazione Punto C a novembre 2015, nelle quali, essendo stato rinvenuto un solo taxon, l'indice assume valore pari a 0. Valori molto bassi si riscontrano anche nella stazione IsoIna a settembre 2015 (0.32). L'Indice di dominanza di Simpson assume il suo valore massimo (1) nella stazione S14\* a settembre 2015 e nella stazione Punto C a novembre in quanto si rinviene un solo taxon; il valore minimo nelle stazioni Isoca (0.27 a marzo) e IsoIna (0.24 a dicembre). Esaminando i valori medi degli indici di

comunità (Tab.2) si osserva che i valori maggiori dell'indice di Shannon si riscontrano nelle stazioni IsoCa e Isoca dx, i valori più bassi nella stazione Punto C.

### *Perdabianca*

La stazione S21 ospita i popolamenti più diversificati (7 taxa- novembre 2015) mentre le stazioni S20 e S23 hanno indici di ricchezza in specie molto simili e con valore massimo riscontrato pari a 5 taxa. Il valore dell'indice di Shannon più elevato si riscontra nella stazione S21 a novembre 2015 (1.4); i valori più bassi (0.55) nella stazione S20 a marzo 2015, in cui sono stati riscontrati solo 2 taxa. L'Indice di dominanza di Simpson assume il valore più elevato (0.71) nella stazione S21 a novembre 2014; il valore minimo nelle stazioni S23 a novembre 2014 (0.28). In base ai valori medi (Tab.2) i popolamenti più equilibrati e diversificati si riscontrano nella stazione S23. L'Indice di dominanza di Simpson assume il valore medio più elevato (0.53) nella stazione S20.

Tabella 1 – Indici di comunità.

*Table 1 – Community indexes.*

	S14*				media	Isoca dx				media	Isoca				media
	dic-14	mar-15	set-15	nov-15		dic-14	mar-15	set-15	nov-15		dic-14	mar-15	set-15	nov-15	
Taxa_S	5	4	1	4	3,50	5	5	3	6	4,75	7	7	1	4	4,75
Individuals	56512	57778	17510	41658	43365	149820	16291	16712	19980	50701	146250	123438	2465	20370	73131
Dominance_D	0,63	0,61	1,00	0,89	0,78	0,45	0,45	0,47	0,34	0,43	0,43	<b>0,27</b>	1,00	0,43	<b>0,53</b>
Shannon_H	0,81	0,79	0,00	0,27	0,47	0,95	0,92	0,89	1,39	1,04	1,06	1,45	0,00	1,03	0,89

	IsoIna				media	Punto C				media
	dic-14	mar-15	set-15	nov-15		dic-14	mar-15	set-15	nov-15	
Taxa_S	5	3	3	3	3,50	nc	5	2	1	2,67
Individuals	8889	4364	39844	11865	16240,50		15233	48780	28740	30918
Dominance_D	<b>0,24</b>	0,34	0,85	0,72	0,54		0,55	0,81	1,00	0,78
Shannon_H	1,47	1,09	0,32	0,54	0,86		0,92	0,35	0,00	0,42

	S20				media	S21				media	S23				media
	nov-14	mar-15	set-15	nov-15		nov-14	mar-15	set-15	nov-15		nov-14	mar-15	set-15	nov-15	
Taxa_S	4	2	3	5	3,50	4	3	5	7	4,75	4	3	2	5	3,50
Individuals	988	1728	3316	3519	2388	2963	6412	5608	5950	5233	682	578	362	1348	743
Dominance_D	0,62	0,64	0,37	0,47	0,53	<b>0,71</b>	0,48	0,41	0,30	0,47	<b>0,28</b>	0,36	0,50	0,37	0,38
Shannon_H	0,76	0,55	1,04	1,08	0,86	0,61	0,80	1,08	<b>1,40</b>	0,97	1,33	1,06	0,69	1,17	1,06

Tabella 2 – Valori medi degli indici di comunità.

*Table 2 – Average values of community indexes.*

valori medi	Taxa_S	Individuals	Dominance_D	Shannon_H
Isoca dx	4,75	50701	0,43	1,04
Isoca	4,75	73131	0,53	0,89
IsoIna	3,50	16240	0,54	0,86
S14*	3,50	43365	0,78	0,47
Punto C	2,67	30918	0,78	0,42
S20	3,50	2388	0,53	0,86
S21	4,75	5233	0,47	0,97
S23	3,50	743	0,38	1,06

### Zoobenthos

Durante il monitoraggio sono state rinvenute larve di Ditteri Chironomidi, Bivalbi, Gasteropodi nel Perda bianca, larve di Ditteri Chironomidi, larve di Ditteri Dolicopodidi, larve di Plecotteri e Policheti sedentari nel Bellarosa maggiore. La specie dominante è *Baeotendipes noctivaga* (Ditteri Chironomidi). Sono stati rinvenuti taxa di nuova segnalazione quali le larve di Ditteri Dolichopodidi.

La densità massima (Fig.3) è stata registrata nella stazione S20 del Perdabianca nella campagna di novembre 2015 con 39244 ind. m<sup>-2</sup>. I valori minimi nella stazione Isoca dx con 125 ind. m<sup>-2</sup> nel mese di settembre 2015. In alcune campagne, nel Bellarosa maggiore, la fauna macrozoobentonica è risultata assente.

Le densità medie (Fig.3) più elevate si registrano nelle stazioni del Perdabianca, in particolare nella stazione S20 (11197 ind. m<sup>-2</sup>), i valori più bassi nella stazione S23.

Le biocenosi del Bellarosa maggiore mostrano abbondanze molto più contenute in tutte le stazioni di indagine, ad eccezione della stazione Isoca, in cui la densità media (4026 ind. m<sup>-2</sup>) è confrontabile con quelle del Perdabianca. I popolamenti più rarefatti si registrano nella stazione S14\* in cui la biocenosi zoobentonica è risultata quasi sempre assente. Similmente nelle stazioni Punto C, IsoIna la comunità zoobentonica è presente solo nel 50 % delle campagne di indagine con densità molto contenute.

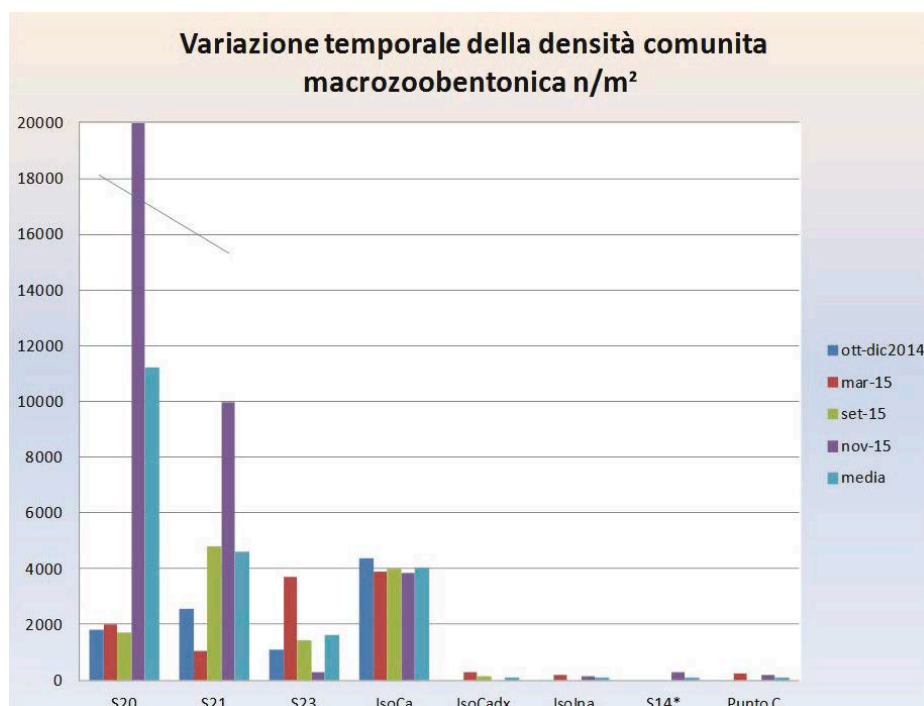


Figura 3 – Densità: densità massima 39244 ind. m<sup>-2</sup>.  
Figure 3 – Density: maximum density 39244 ind. m<sup>-2</sup>.

In senso temporale (Fig. 4) la densità media più elevata, 6759 ind. m<sup>-2</sup>, si registra nella campagna di novembre 2015; nelle altre campagne di indagine la densità media ha assunto valori molto più contenuti e simili. Il valore medio è causato da una numerosissima popolazione di *Baeotendipes noctivaga* registrata nella stazione S20 in tale campagna.

Per quanto concerne la ricchezza in specie nel Bellarosa maggiore, (tab. 4) i valori maggiori si hanno nelle stazioni IsoCa (3 taxa) e ISOCAdx (4). I valori più bassi si hanno nella stazione S14\* in cui la biocenosi zoobentonica è composta solo da larve di ditteri Chironomidi. Similmente nelle stazioni Punto C, IsoIna la comunità zoobentonica è costituita da 2 taxa.

Anche nel Perdabianca il numero di taxa rinvenuto è esiguo, (1-2), ma sono stati segnalati Gasteropodi e Bivalvi (S21).

Per quanto riguarda la componente fitobentonica essa è costituita da *Enteromorpha intestinalis* e *Cladophora* sp. La presenza del fitobenthos è limitata alla parte sud-ovest dello Stagno. Le stesse specie si rinvergono in tutte le stazioni del Perdabianca con un maggior sviluppo e copertura nelle stazioni S20 e S21.

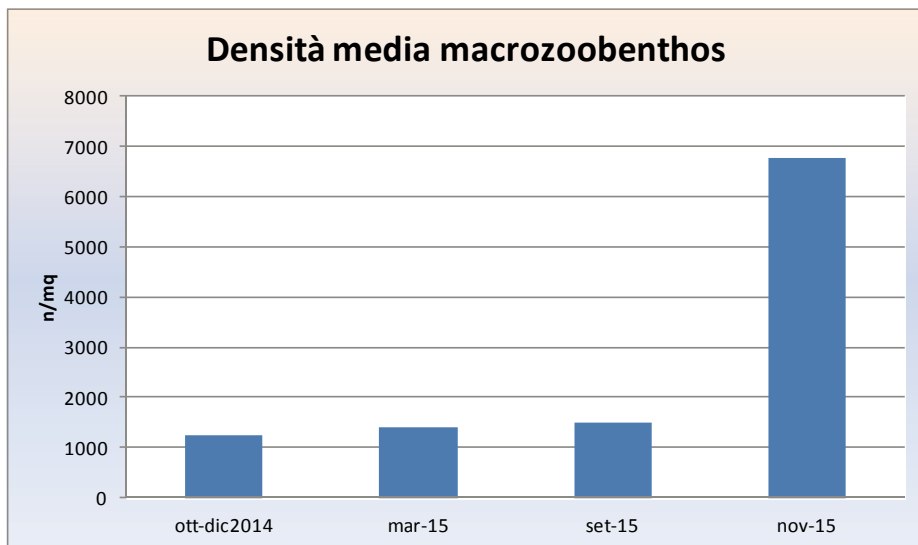


Figura 4 – Densità media.

Figure 4 – Average density.

## Conclusioni

### *Zoobenthos*

Habitat non disturbati presentano comunità bentoniche caratterizzate da elevati valori di ricchezza specifica [6] e il numero di taxa è un parametro della comunità macrozoobentonica indicativo dello stato ambientale.

La comunità zoobentonica appare composta da larve di Ditteri Chironomidi, di Dolicopodidi, larve di Plecotteri, Bivalbi, Gasteropodi e Policheti sedentari. La specie dominante è *Baeotendipes noctivaga* (Ditteri Chironomidi).

Nel Bellarosa maggiore il popolamento zoobentonico mostra un elevato grado di disturbo, più accentuato nelle stazioni ubicate nella parte settentrionale e centrale dello Stagno in cui spesso la biocenosi è risultata assente e i popolamenti monospecifici.

Condizioni di minor stress ambientale si hanno nella parte meridionale dello stagno, in particolare nella stazione IsoCa dove la presenza della biocenosi bentonica è costante e la ricchezza specifica è maggiore.

Nel Perdabianca, la qualità ambientale migliore, in base a questo indicatore, si registra nella stazione S21 dove sono stati rinvenuti (anche se occasionalmente), Gasteropodi e *Cerastoderma glaucum*; la presenza di Bivalvi vivi, indica un buon stato di ossigenazione delle acque in quanto *Cerastoderma glaucum*, tollera ampie variazioni di temperatura e salinità fino a 70 psu ma non bassi valori di ossigeno [1].

Nella S20 e S23 il popolamento zoobentonico mostra un elevato grado di disturbo con la presenza solo di specie tolleranti come *Baeotendipes noctivaga*.

In sintesi, valutando le densità, il numero massimo di taxa, e la costanza del popolamento, si può indicare che le condizioni di qualità ambientali migliori si hanno nelle stazioni IsoCa e IsoCadx.

Nelle stazioni Punto C, IsoIna e S14\* la qualità ambientale è molto più scadente con condizioni di fortissimo stress ambientale soprattutto nella stazione S14\* dove il popolamento bentonico è risultato accidentale, monospecifico e formato da specie altamente tolleranti.

### *Zooplankton*

In base agli indici di comunità la comunità zooplanktonica dello stagno del Molentargius mostra delle differenze significative fra le diverse compartimentazioni spaziali. Le aree/stazioni che godono di un maggior ricambio idraulico (IsoCa e IsoCadx), ospitano comunità più biodiversificate ed equilibrate.

Dato che l'indice di Shannon definisce i livelli di stress a cui è sottoposto l'ambiente, si può indicare che l'area nella parte sud dello stagno è, al momento, in condizioni ambientali migliori rispetto alla parte più settentrionale e centrale.

La presenza dell'argine di bassofondo definisce una area in cui necessariamente le condizioni di stagnazione ed isolamento sono più accentuate. I valori di biodiversità della stazione S14\*, ubicata all'interno dell'area del bassofondo, sono infatti bassi, i valori dell'indice di dominanza elevati, ad indicare un popolamento squilibrato a favore di una o pochissime specie. La composizione percentuale del popolamento rilevato risulta, infatti, sempre fortemente squilibrata a favore di un solo taxon: nella campagna di dicembre 2014 i Rotiferi costituiscono oltre il 70 % della biocenosi; in inverno 2015 ed estate 2015 dominano i Fillopidi (unico taxa rinvenuto nella campagna di settembre 2015) mentre a novembre 2015 dominano i Protisti (*Fabrea salina*).

I Rotiferi sono rappresentati da *Brachionus pala*, specie opportunistica, già noto per lo Stagno del Molentargius e citato anche per elevati valori di salinità [7].

Il Protozoo Ciliato *Fabrea salina* ha un ampio range di tolleranza che si estende dai normali valori dell'acqua di mare (37 psu) fino ad oltre 100 psu di salinità. È inoltre una specie molto resistente ai raggi UV e alle alte temperature delle acque (si riproduce anche

con temperature maggiori di 30 °C) [2].

L'abbondanza di *Fabrea salina* aumenta quando sono bloccati i passaggi dell'acque fra una vasca e l'altra del comparto saliniero [8] e la sua abbondanza mostra correlazioni negative con quelle di *Artemia salina*, specie con cui entra in competizione [3]. I dati rilevati confermano quanto riportato in letteratura in relazione alla alternanza della popolazione di *Fabrea* con la popolazione di *Artemia* nonché, alle alte capacità di adattamento della specie a condizioni di elevata temperatura e salinità delle acque che si riscontrano nello stagno [5].

Condizioni di stress biologico si hanno anche nella stazione Punto C, ubicata nella parte più settentrionale dello Stagno, la quale presenta popolamenti semplificati e spesso squilibrati a favore di uno o pochissimi taxa: nella campagna di marzo 2015 si ha una netta dominanza dei Protisti, mentre a settembre, novembre 2015 dominano i Fillopodi.

Nelle stazioni più meridionali Isoca e Isoca dx è ben rappresentata la presenza dei Copepodi sia in termini di densità che di frequenza.

I Copepodi sono organismi che popolano ambienti sottoposti ad un minor grado di stress ambientale. Gli arpacticoidi sono tipicamente il taxon meiobentonico più sensibile alla diminuzione della tensione di ossigeno (risultano anche i più sensibili a fenomeni di inquinamento ambientale) e in genere migrano in profondità con il declino di marea e risalgono con l'inondazione tidale [4]. Anche questo aspetto della composizione del popolamento planctonico indica una migliore qualità ambientale nelle stazioni della parte più meridionale dello stagno.

Per quanto riguarda il Perdabianca i popolamenti più diversificati si rinvencono nella stazione S21 nella quale pertanto si registra un miglior stato di qualità ambientale. Nelle altre due stazioni la ricchezza media in specie è la stessa ma nella stazione S23 le densità sono molto più contenute. Pertanto in questa stazione le condizioni dello stato ambientale sono più critiche rispetto alla S20. Le differenze fra le diverse compartimentazioni dello stagno del Perdabianca sono meno accentuate rispetto a quanto osservato per il Bellarosa maggiore ed indicano una condizione di maggiore stabilità ambientale. In sintesi, valutando i diversi indici di comunità, si può indicare la "classificazione" riportata in tabella 3 dove il numero di stelle indica la maggiore/minore qualità dell'ambiente.

Tabella 3 – Classificazione.

Table 3 – Classification.

Isoca dx	*****	S14*	**	IsoIna	***	S21	*****
Isoca	****	Punto C	*	S20	***	S23	**

#### *Valutazioni sulla componente biologica pre e post Life*

In generale si registra un aumento della biodiversità con un maggior numero di specie. È ricomparso il crostaceo *Artemia salina*, assente da diversi anni dal Bellarosa Maggiore [5], e si osserva la colonizzazione dell'habitat da parte dei Policheti, componente bentonica di interesse anche quale fonte trofica per la fauna. Inoltre si sta sviluppando la componente algale, assente da molti anni nel Bellarosa Maggiore [5], sito di rifugio, trofico e riproduttivo per molti organismi acquatici. In generale l'ecosistema acquatico si sta

strutturando in modo sempre più complesso ed efficiente. La tabella 4 descrive in sintesi lo stato prima e dopo gli interventi Life.

Tabella 4 – Tabella di sintesi dello stato dell’ambiente prima e dopo gli interventi.

Table 4 – Summary table of the state of the environment before and after the interventions.

	<b>Indicatore</b>	<b>Stato prima degli interventi</b>	<b>Stato dopo gli interventi</b>
Zooplankton	Numero di taxa	1	5
Zoobenthos	Numero di taxa	1	4
Macrofite acquatiche	Numero di taxa	0	2

## **Ringraziamenti**

Questo lavoro è parte del progetto LIFE “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256 *Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons* cofinanziato dalla UE e dalla Regione Sardegna

## **Bibliografia**

- [1] Cognetti G., Sarà M., Magazzù G., 1999 – *Biologia marina*. Officine Grafiche Calderini, Bologna
- [2] De Winter, F.; Persoone, G. (1976). *Preliminary experiments with the ciliate Fabrea salina as a potential live food for mariculture purposes*, in: Persoone, G. et al. (Ed.) (1976). *Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology*, Ostend, Belgium, Sept. 17-23, 1975: 1. *Research in mariculture at laboratory- and pilot scale*. pp. 37-48,
- [3] Elloumi J., Carria J.F., Ayadi H., Sime-Ngando T., Boukhris M., Bouaïn A., 2006. *Composition and distribution of planktonic ciliates from ponds of different salinity in the solar saltworks of Sfax, Tunisia*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 21-29.
- [4] Hicks, G. R. F., Coull, B. C. (1983). *The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods*. *Oceanogr mar. Biol.A. Rev.* 21: 67-175
- [5] Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline, *Rapporti annuali- Stato dell’ambiente*.
- [6] Pearson T.H., Rosenberg R., 1978. *Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment*. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229 – 311.
- [7] Somaschini A., Ardizzone G.D., R. Coen, 1995 - *Lo stagno del Molentargius (Cagliari): composizione e struttura del popolamento zooplanctonico e zoobentonico in relazione alla presenza di Phoenicopterus ruber roseus Pall.* *Biol. Mar. Medit.*, 2 (2): 89-95.
- [8] Yúfera M., Lubián L.M., Pascual E., 1984. *Estudio Preliminar del Zooplankton de Las Salinas de Cadiz*. *Limnética* 1: 62-69

# PRIME INDICAZIONI SULLA QUALITÀ DEI SEDIMENTI DELLO STAGNO DEL BELLAROSA MAGGIORE (SARDEGNA MERIDIONALE) (HABITAT 1150\*)

Laura Durante<sup>1</sup> Luisanna Massa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline, via La Palma sn, 09126 Cagliari, Italia.  
Tel. 07037919204, Fax. 070 37919300e-mail [laura.durante@parcomolentargius.it](mailto:laura.durante@parcomolentargius.it)

**Riassunto** – Lo Stagno del Bellarosa maggiore è una vasca di I evaporazione, facente parte delle ex Saline di Cagliari, dismesse dal 1985. La cessazione dell'attività ha determinato l'instaurarsi di condizioni critiche nell'ecosistema per l'inadeguato ricambio idrico, stato qualitativo delle acque caratterizzate da ipertrofia e l'accumulo di notevoli quantitativi di nutrienti nei sedimenti.

Il Parco Naturale Regionale Molentargius–Saline ha dato risposta con il progetto LIFE “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256” con gli obiettivi di ripristinare le originarie condizioni ambientali e migliorare la qualità delle acque e dei sedimenti.

Sono stati realizzati interventi di ripristino del Canale di alimentazione dello Stagno e la manutenzione/realizzazione di argini interni.

Scopo di questo studio è descrivere i risultati del monitoraggio dei sedimenti condotto nel 2015 al termine degli interventi Life (monitoraggio ex post).

***Abstract** – The “Bellarosa maggiore” is the ex first evaporation basin of Cagliari’s salt works. In 1985, when salt production stopped, the environmental conditions of the basin started to get gradually worse, mainly because of the degradation of the embankments, the insufficient circulation of water and the ingression of contaminated freshwater (sewage from the hinterland of Cagliari). This also resulted in an increase in eutrophication and in a worsening of the water, sediment and biocenosis quality.*

*The Park, with other international partners developed the LIFE project “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256” with the aim to restore the previous environmental conditions and improve water quality and sediments.*

*It was realized the restoration of the feeding seawater tributary channel end the restoration end maintenance of the inner embankments.*

*The aim of this work is to describe the results of the sediment monitoring, ex post monitoring, leaded in 2015 after the conclusion of restoration works included in the LIFE project concrete actions. The aim of this study is to describe*



## **Introduzione**

Il Parco Naturale Regionale Molentargius Saline comprende un territorio di circa 1500 ha di cui il compendio salato si estende per ben 847 ha. Il Bellarosa maggiore è uno stagno ipersalino, utilizzato fino a metà degli anni ottanta come vasca di prima evaporazione delle Saline. Ampio circa 430 ha, è attualmente costituito da un'unica grande vasca poco profonda, localizzata tra gli abitati di Cagliari e Quartu Sant'Elena. L'alimentazione dello stagno, è assicurata da una lunga canalizzazione (Canali immissario)

Nel 1985 l'attività saliniera fu interrotta per motivi di carattere igienico-sanitari a seguito della tracimazione delle acque dolci luride, provenienti da vicini stagni del Bellarosa minore. L'interruzione della attività saliniera e la carenza di manutenzione delle infrastrutture determinarono l'instaurarsi di condizioni critiche sia per problemi di alimentazione e ricambio sia per il cedimento in più punti di un argine di separazione dello Stagno con un canale di deflusso di acque dolci che causò le ingressioni di acque dolci e cariche di nutrienti nello Stagno. Per rispondere a queste criticità il Parco ha partecipato a un progetto LIFE + Nature & Biodiversity LIFE10 NAT/IT/000256 "Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons" grazie al quale sono stati effettuati una serie di interventi di riqualificazione ambientale: realizzazione di un nuovo canale di immissione e distribuzione delle acque di mare, un sistema di paratoie per la regolazione dei flussi, il ripristino di parte della arginature interne.

Il presente lavoro discute lo stato di qualità dei sedimenti nel Bellarosa maggiore dopo gli interventi di recupero ambientale. I dati sono stati raccolti con l'attuazione della azione E.3 *Monitoring ex-post abiotic and biotic characteristics at the Molentargius*, che ha fatto seguito alla azione C.2 inerente i lavori di ripristino della circolazione idraulica.

## **Materiali e metodi**

Il monitoraggio ex post dei sedimenti ha preso avvio a marzo 2015 e si è concluso a dicembre 2015. Sono state attuate due campagne in 13 stazioni. Prelievi, trattamenti, trasporto, conservazione e analisi in laboratorio dei campioni sono stati eseguiti facendo riferimento a indicazioni e metodi standard [3]; in laboratorio sono stati effettuate le analisi dei Solfuri volatili, Ferro labile, Carbonio organico totale, Fosforo e Azoto totale e metalli (As, Cr, Hg, Ni, Pb, Cd). Nel caso le concentrazioni rilevate fossero al di sotto del limite di rilevabilità della metodica, è stata operata la sostituzione dei dati Non Rivelabili (NR) con un valore pari al LR/2. (LR limite di rilevabilità). È la soluzione maggiormente raccomandata in letteratura [4]



Figura 1 – Stazioni di campionamento.

Figure 1 – Sampling stations.

## Risultati e discussione

L'AVS è un pool che comprende il monossido di ferro e i solfuri liberi e rappresenta la concentrazione sedimentaria dei composti più ridotti dello zolfo. Un accumulo di AVS nel sedimento è generalmente un indicatore di elevata solfato riduzione e in generale di presenza di solfuri tossici nel comparto benthico. Le concentrazioni sono indicate in tabella 1.

Tabella 1 – Risultati analitici, in rosso “*Vulnerability Moderate*”.

Table 1 – Analytical results, in red “*Vulnerability Moderate*”.

AVS ( $\mu\text{mol cm}^{-3}$ )	16/09/2015	09/12/2015		16/09/2015	09/12/2015
Sed1	50	41	Sed7	65	57
Sed2	58,3	61,2	Sed8	53	66
Sed3	61	66	Sed9	37	44
Sed4	58,3	55	Sed10	26	33
Sed5	42	46	Sed11	29	29
Sed6	71	82	Sed12	32	37
			Sed13	30,5	35

Le concentrazioni non indicano particolari criticità in quanto i valori rientrano nel range “*Vulnerability Moderate*” e “*Vulnerability Low*” [6]

L’AVS va analizzato congiuntamente al ferro labile (LFe), ovvero a quella frazione del ferro che è immediatamente disponibile a reagire con il solfuro. Il contenuto di LFe è infatti un indicatore della capacità tampone del sedimento di legare i solfuri, la quale può essere sintetizzata nella tabella seguente,

I risultati del Ferro labile sono riportati in tabella .2

Tabella 2 – Concentrazione Ferro labile.

Table 2 – Iron labile concentration.

LFe ( $\mu\text{mol cm}^{-3}$ )	16/09/2015	09/12/2015	LFe ( $\mu\text{mol cm}^{-3}$ )	16/09/2015	09/12/2015
Sed1	230	215	Sed8	302	350
Sed2	290,3	302	Sed9	235	247
Sed3	240	256	Sed10	110	110
Sed4	290,3	268	Sed11	122	122
Sed5	226	230	Sed12	156	165
Sed6	322	367	Sed13	148	174
Sed7	310	290			

Nel Bellarosa maggiore, tranne nella stazione SED10, le concentrazioni ottenuti sono superiori di  $200 \mu\text{mol cm}^{-3}$  ed indicano “*Vulnerability Low*” [6] ovvero una buona capacità tampone dei sedimenti.

Nel Perdabianca invece si ha una minore capacità tampone (*Moderate*).

Il rapporto AVS/LFe è usato per la definizione della buffer capacity dei solfuri nei sedimenti [1]. Quando  $\text{AVS/LFe} \geq 1$  tutto il ferro labile è legato ai solfuri e questi restano liberi andando in soluzione (condizione di rischio elevata per l’ecosistema bentico).

Tale situazione si verifica dopo prolungati periodi di anossia, soprattutto in ambienti poveri di LFe. Per AVS tendente a zero, si assume una elevata disponibilità di ossigeno in grado di ossidare i solfuri o una scarsa produzione di solfuri che indica un basso metabolismo solfato riduttore. La disponibilità di LFe è massima e la concentrazione di AVS è minima in acque e sedimenti ben ossigenati e con scarsi apporti di detrito organico.

Il rapporto AVS:LFe può essere utilizzato come indicatore sia delle condizioni di carenza di ossigeno, in quanto gli AVS si accumulano in ambiente anossico per solfato-riduzione batterica, sia come indicatore del rischio di crisi distrofiche. In tal senso, il rapporto AVS:LFe analizzato in combinazione con la concentrazione del LFe diventa un indicatore del rischio di degenerazione dell’ecosistema. La normativa [2] prevede che possano essere “dedotti indirettamente fenomeni di anossia pregressi o in corso, dalla concentrazione del parametro ferro labile (LFe) e del rapporto tra i solfuri volatili disponibili e il ferro labile (AVS/LFe)” e definisce in base ai valori, uno stato buono o sufficiente. In tabella 3 viene riportata la sintesi dei risultati acquisiti:

Tabella 3 – Classificazione dello stato in base al rapporto AVS/LFe.

Table 3 – State classification based on the ratio AVS/LFe.

AVSLfe <sup>1</sup>	16/09/2015	09/12/2015
Sed 1-2-4-5-6-7-8-9-11-12-13	Buono	Buono
Sed3	Sufficiente	Sufficiente
Sed10	Buono	Sufficiente

I risultati indicano, in generale, uno stato “buono” in tutti i punti di campionamento.

Un altro parametro determinato è stato il carbonio organico totale. *Il contenuto di sostanza organica (come carbonio organico totale: TOC) del sedimento è dato dalle differenze tra gli apporti dovuti alla produzione primaria bentonica, alla sedimentazione di fitoplancton e seston e alle perdite per respirazione e mineralizzazione. A basse concentrazioni, il TOC può diventare una risorsa limitante per la comunità animale, quindi può determinare una minore produttività e diversità di specie. Al crescere delle concentrazioni del TOC aumenta la disponibilità di energia per i popolamenti bentonici, quindi possiamo attenderci un aumento di produttività e numero di specie; al di sopra di certe soglie però il TOC eccede il fabbisogno del popolamento animale e va ad alimentare i processi microbici causando un ulteriore aumento del consumo di ossigeno e l'inizio di processi anaerobici. Ciò determina l'insorgenza di condizioni riducenti che sono sfavorevoli per la comunità animale e che quindi causano un crollo della qualità biologica dell'intero ecosistema [7].*

Le concentrazioni sono elevate in quasi tutte le stazioni; i valori massimi si registrano nelle stazioni SED2 e SED7. Anche per questo parametro sono stati valutati i livelli di vulnerabilità [6] che si indicano in tabella 4.

Tabella 4 – Risultati analitici TOC e valutazione.

Table 4 – TOC analytical results and evaluation.

TOC%	Sett-15	Dic-15	Sett-15	Dic-15	TOC%	Sett-15	Dic-15	Sett-15	Dic-15
Sed1	2,7	2,4	H	M	Sed7	3	2,9	H	H
Sed2	3	3,1	H	H	Sed8	2,6	2,8	H	H
Sed3	2,5	2,7	M	H	Sed9	2,3	2,2	M	M
Sed4	2,9	2,6	H	H	Sed10	2,1	2,3	M	M
Sed5	2,7	2,5	H	M	Sed11	2,7	2,7	H	H
Sed6	2,8	2,4	H	M	Sed12	2	2,3	M	M
Dove : M Moderate H High					Sed13	1,9	2,1	H	M

I dati indicano un accumulo moderato (*Vulnerability Moderate*) di sostanza organica nei sedimenti 9, 10, 12; nelle altre stazioni è stato riscontrato un accumulo di sostanza organica maggiore (*Vulnerability High*). Le stazioni S9 e S10 sono interessate da un maggior apporto idrico; si ritiene che questo determini una migliore efficienza del sistema nella mineralizzazione della sostanza organica.

I sedimenti sono stati analizzati anche per quanto concerne la contaminazione da metalli pesanti. La contaminazione può interessare direttamente gli organismi bentonici o in modo indiretto altri organismi attraverso la catena alimentare. Le concentrazioni di As, Hg, e Cd sono sempre inferiori al limite di rilevabilità (<0.1 mg kg<sup>-1</sup>). Le concentrazioni sono riportate in tabella 5.

Tabella 5 – Risultati analitici.

*Table 5 – Analytical results.*

	Cr tot (mg kg <sup>-1</sup> )		Pb (mg kg <sup>-1</sup> )		Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Set-15	Dic-15	Set-15	Dic-15	Set-15	Dic-15
Sed1	4,2	3,1	<0,1	10,2	4,2	4,2
Sed2	7,1	7,1	14,2	9,3	6,7	12,2
Sed3	3,1	3,1	13,8	9,3	3,3	5,2
Sed4	2	2	<0,1	3,6	<0,1	3,1
Sed5	6	2,3	10,4	3,2	4,3	2,9
Sed6	2	2	<0,1	8,3	<0,1	12,4
Sed7	2	2,4	10,2	6,8	5,3	10,4
Sed8	2	2,7	8,3	7,4	3,4	10,9
Sed9	2	2,9	9,3	12,8	12,3	17,9
Sed10	2,8	5,3	14,1	6,5	3,9	10,3
Sed11	4,3	3,7	16,5	8,9	3,3	17,5
Sed12	2	2,9	4,5	8,9	3,9	17,3
Sed13	2,8	2,1	4,1	8,7	3,6	16,7

In base alla normativa [2] non si evidenziano criticità per quanto riguarda i livelli dei metalli pesanti analizzati nel comparto.

Le concentrazioni di Azoto e Fosforo totale rilevate e i valori del rapporto N/P sono riportate in Fig.2

## Azoto e fosforo

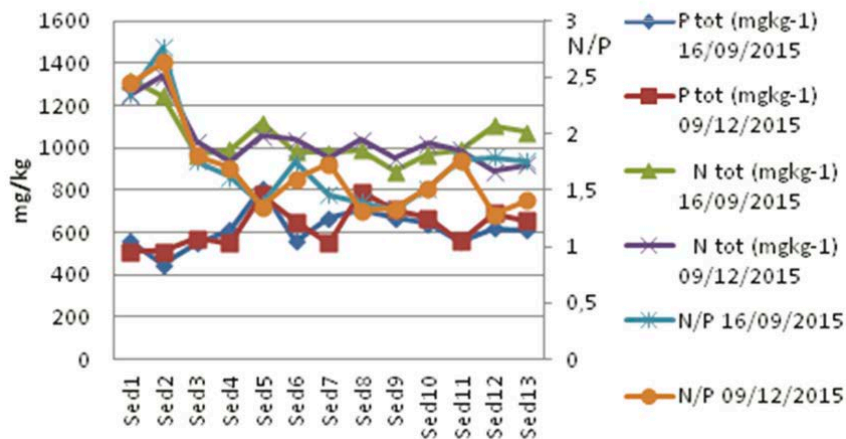


Figura 2 – Azoto e fosforo nei sedimenti e rapporto N/P  
 Figure 2 – Nitrogen and phosphorus in sediments and ratio N/P.

La concentrazione massima del Fosforo totale si ha nella stazione SED 5 con  $810 \text{ mg kg}^{-1}$ , il valore massimo di azoto totale nella stazione SED 2 con  $1340 \text{ mg kg}^{-1}$ . I valori minimi di Fosforo totale si hanno nella stazione SED2 con  $450 \text{ mg kg}^{-1}$ , quelli di Azoto totale nella stazione SED 9 con  $890 \text{ mg kg}^{-1}$ . I valori di Azoto e Fosforo totali sono stati confrontati con dati relativi ad una campagna di indagine sui sedimenti effettuata nel 2010, nella quale erano stati analizzati sedimenti prelevati in una delle vasche retro litorale Ex Saline di Stato. Questa area non è stata più oggetto di interventi di manutenzione a partire dal termine della attività saliniera, ma non è mai stata interessata da effetti alluvionali importanti o ingressioni di acque luride. I valori di concentrazione riscontrati sono assunti quali valori di fondo naturali (background) per il Bellarosa maggiore: la concentrazione del fosforo totale pari a  $175 \text{ mg kg}^{-1}$  e dell'azoto totale  $502 \text{ mg kg}^{-1}$ . Il rapporto percentuale fra le concentrazioni misurate e il valore del "bianco" sono mostrate in tabella 6.

Tabella 6 – Rapporto percentuale fra le concentrazioni rilevate e il valore di fondo.  
 Table 6 – Percentage ratio of the concentrations and the background value".

	RP Ptot	RP Ntot		RP Ptot	RP Ntot
Sed1	306	256	Sed7	349	192
Sed2	274	257	Sed8	429	202
Sed3	320	199	Sed9	394	183
Sed4	331	192	Sed10	374	198
Sed5	454	217	Sed11	320	197
Sed6	346	201	Sed12	374	199
RP: rapporto percentuale			Sed13	361	194

Per quanto riguarda il P totale, si osserva che tutte le stazioni mostrano un notevole incremento percentuale rispetto al valore del “background”. L’azoto totale presenta invece un incremento percentuale più contenuto. I dati indicano l’importanza del comparto sedimentario per il Fosforo totale e la funzione di riserva, esplicata dai sedimenti, come sorgente di questo nutriente.

Lo stato è inoltre stato analizzato valutando i risultati analitici in base ai valori soglia discussi in letteratura [5] (tab.7)

Tabella 7 – Valori medi e valutazione.

Table 7 – Average values and evaluation.

	P tot (mg kg <sup>-1</sup> )	N tot (g kg <sup>-1</sup> )	
Sed1	535	1,29	Blu ottimo
Sed2	480	1,29	Verde buono
Sed3	560	1,00	Giallo mediocre
Sed4	580	0,96	Arancione cattivo
Sed5	795	1,09	Rosso pessimo
Sed6	605	1,01	
Sed7	610	0,96	
Sed8	750	1,02	
Sed9	690	0,92	
Sed10	655	1,00	
Sed11	560	0,99	
Sed12	655	1,00	
Sed13	633	0,85	

Anche questa analisi evidenzia che le maggiori criticità riguardano il Fosforo totale (e di conseguenza le sue interazioni in termini trofici con la colonna d’acqua sovrastante e quindi la produttività dell’ambiente lagunare) mentre lo stato indicato dall’azoto totale è più che soddisfacente. Lo stato “rosso” e “arancione” è indice di fenomeni regressivi di eutrofizzazione molto importanti e di lunga durata, che hanno portato a un significativo accumulo di fosforo nei sedimenti.

I rapporti N/P sono molto bassi. Il dato è spiegabile con la ridotta mobilità del fosforo, rispetto all’azoto, che è facilmente trattenuto a livello sedimentario per fenomeni di precipitazione o/o adsorbimento cu componenti colloidali.

In sintesi lo stato ambientale del comparto dei sedimenti non mostra alcuna criticità per quanto riguarda la contaminazione da metalli pesanti. E’ invece da valutare con attenzione l’alto carico organico indicato dal TOC e soprattutto l’elevata concentrazione di fosforo. Si prevede un approfondimento per analizzare il fenomeno del rilascio e

dell'assorbimento di fosforo da parte dei sedimenti, cercando di determinare i quantitativi e di evidenziare quali siano i parametri che maggiormente lo influenzano e in che modo.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è parte del progetto LIFE MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256 *Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons* cofinanziato dalla UE e dalla Regione Sardegna

## Bibliografia

- [1] Azzoni R., G. Giordani, P. Viaroli, 2005. *Iron-sulphur-phosphorus interactions: implications for sediment buffering capacity in a mediterranean eutrophic lagoon (Sacca di Goro, Italy)*. Hydrobiologia 550: 131-148.
- [2] Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 8 novembre 2010, n. 260. *Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante "Norme in materia ambientale", predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo*. Supplemento Ordinario n. 31/L alla Gazzetta Ufficiale 7 febbraio 2011 n. 30
- [3] ICRAM, 2003. *Metodologie di campionamento e analisi dell'ambiente costiero*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Servizio Difesa Mare.
- [4] Menichini E, Viviano G. e il Gruppo di lavoro Istituto Superiore di Sanità "Metodiche per il rilevamento delle emissioni in atmosfera da impianti industriali". *Trattamento dei dati inferiori al limite di rivelabilità nel calcolo dei risultati analitici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2004. (Rapporti ISTISAN 04/15).
- [5] Souchu P, Ximenes MC, Lauret M, Vaquer A, Dutrieux E. 2000. *Mise à jour d'indicateur du niveau d'eutrophisation des milieux lagunaires Méditerranéens*. Ifremer/Créocan/UMII Rapport du marché Public n°989051 Tome I et II, 412 pp. Ifremer, Sète, France
- [6] Viaroli P., Bartoli M., Giordani G., Magni P., Welsh D.T., 2004. *Biogeochemical indicators as tools for assessing sediment quality/vulnerability in transitional aquatic ecosystems*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem 14: S19-S29.
- [7] Viaroli P., Bartoli M., Giordani G., Longhi D., Welsh D.T., 2011. *Elementi chimico-fisici a supporto della valutazione*. Ecoscienza Numero 5/6:70-71.



## QUALITÀ DELLE ACQUE DELLO STAGNO DEL BELLAROSA MAGGIORE (SARDEGNA MERIDIONALE) (HABITAT 1150\*)

Laura Durante<sup>1</sup> Luisanna Massa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline, via La Palma sn, 09126 Cagliari, Italia.  
Tel. 07037919204, Fax. 070 37919300e-mail laura.durante@parcomolentargius.it

**Riassunto** – Lo Stagno del Bellarosa maggiore è una vasca di I evaporazione, facente parte delle ex Saline di Cagliari, dismesse dal 1985. La cessazione dell'attività ha determinato l'instaurarsi di condizioni critiche nell'ecosistema per l'inadeguato ricambio idrico, stato qualitativo delle acque caratterizzate da ipertrofia e l'accumulo di notevoli quantitativi di nutrienti nei sedimenti.

Il Parco Naturale Regionale Molentargius–Saline ha dato risposta con il progetto LIFE “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256” con gli obiettivi di ripristinare le originarie condizioni ambientali e migliorare la qualità delle acque e dei sedimenti.

Sono stati realizzati interventi di ripristino del Canale di alimentazione dello Stagno e la manutenzione/realizzazione di argini interni.

Scopo di questo studio è descrivere i risultati del monitoraggio delle acque condotto nel 2015 al termine degli interventi Life (monitoraggio ex post).

**Abstract** – The “Bellarosa maggiore” is the ex first evaporation basin of Cagliari’s salt works. In 1985, when salt production stopped, the environmental conditions of the basin started to get gradually worse, mainly because of the degradation of the embankments, the insufficient circulation of water and the ingression of contaminated freshwater (sewage from the hinterland of Cagliari). This also resulted in an increase in eutrophication and in a worsening of the water, sediment and biocenosis quality.

The Park, with other international partners developed the LIFE project “MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256 with the aim to restore the previous environmental conditions and improve water quality and sediments.

It was realized the restoration of the feeding seawater tributary channel end the restoration end maintenance of the inner embankments.

The aim of this work is to describe the results of water monitoring, ex post monitoring, leaded in 2015 after the conclusion of restoration works included in the LIFE project concrete actions. The aim of this study is to describe.

## Introduzione

Il Parco Naturale Regionale Molentargius Saline comprende un territorio di circa 1500 ha di cui il compendio salato si estende per ben 847 ha. Il Bellarosa maggiore è uno stagno ipersalino, utilizzato fino a metà degli anni ottanta come vasca di prima evaporazione delle Saline. Ampio circa 430 ha, è attualmente costituito da un'unica grande vasca poco profonda, localizzata tra gli abitati di Cagliari e Quartu Sant'Elena. L'alimentazione dello stagno, è assicurata da una lunga canalizzazione (Canali immissario) che convoglia l'acqua marina prelevata da un'opera di presa localizzata al largo del litorale della spiaggia del Poetto, mentre il deflusso avviene per mezzo di un canale emissario, denominato di bassofondo. Il Canale immissario è un canale a sezione rettangolare con sponde in cls e fondo in terra. Solo nella parte terminale e fino all'immissione all'interno dello stagno del Bellarosa Maggiore il canale prosegue con una sezione naturale in terra.

Nel 1985 l'attività saliniera fu interrotta per motivi di carattere igienico-sanitari a seguito della tracimazione delle acque dolci luride, provenienti da vicini stagni del Bellarosa minore. L'interruzione della attività saliniera e la carenza di manutenzione delle infrastrutture determinarono l'instaurarsi di condizioni critiche sia per problemi di alimentazione e ricambio sia per il cedimento in più punti di un argine di separazione dello Stagno con un canale di deflusso di acque dolci che causò l'ingressioni di acque dolci e cariche di nutrienti nello Stagno. Per rispondere a queste criticità il Parco ha partecipato a un progetto LIFE + Nature & Biodiversity LIFE10 NAT/IT/000256 "*Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons*" grazie al quale sono stati effettuati una serie di interventi di riqualificazione ambientale: realizzazione di un nuovo canale di immissione e distribuzione delle acque di mare, un sistema di paratoie per la regolazione dei flussi, il ripristino di parte della arginature interne.

Il presente lavoro discute lo stato di qualità delle acque nel Bellarosa maggiore dopo gli interventi di recupero ambientale. I dati sono stati raccolti con l'attuazione della azione E.3 *Monitoring ex-post abiotic and biotic characteristics at the Molentargius*, che ha fatto seguito alla azione C.2 inerente i lavori di ripristino della circolazione idraulica.

## Materiali e metodi

Il monitoraggio ex post delle acque ha preso avvio a marzo 2015 e si è concluso a dicembre 2015. Sono state attuate quattro campagne di indagine in sei stazioni. Prelievi, trattamenti, trasporto, conservazione e analisi in laboratorio dei campioni d'acqua sono stati eseguiti facendo riferimento a indicazioni e metodi standard [1]; in laboratorio sono stati effettuate le analisi dei composti di azoto e fosforo, *Escherichia coli*, silice, solfuri, solidi sospesi, clorofilla "a", BOD5 e COD. Contestualmente al prelievo sono stati misurati i principali parametri chimico fisici, tramite sonda multiparametrica. È stata valutata anche la qualità chimica fisica e microbiologica delle acque di mare in ingresso allo Stagno del Bellarosa maggiore localizzando quattro stazioni di prelievo nel Canale immissario allo stagno. Sono stati elaborati lo stato di qualità ambientale, lo stato trofico e la qualità microbiologica ed anche l'indice TRIX per le acque di mare in ingresso al sistema. L'analisi ecologica dei dati è stata effettuata utilizzando di tecniche di analisi statistica quali la cluster analysis e analisi delle componenti principali, l'analisi di correlazione lineare. È

stata operata la sostituzione dei dati Non Rivelabili (NR) con un valore pari al LR/2. (LR limite di rilevabilità) come raccomandato in letteratura [7]



Figura 1 – Stazioni di campionamento.

*Figure 1 – Sampling stations.*

## **Risultati e discussione**

### *Salinità*

Nel Bellarosa maggiore il range dei valori è compreso tra 45.2 psu registrato nella stazione ISO\_CA\_NEW nel mese di dicembre e 180.17 psu nella stazione S14\*NEW nel mese di settembre; i valori medi, massimi e minimi, si registrano rispettivamente nelle stazioni S14\* NEW con 147.32 psu e nella stazione ISO\_CA\_NEW con 49.80 psu. Per quanto riguarda il canale immissario dell'acque di mare, il range è compreso fra 25.74 psu (settembre stazione CAN1) e 42.69 psu (CAN1 dicembre).

### *Ossigeno disciolto*

Nel Bellarosa maggiore il valore massimo, 9.77 ppm, si è registrato nella stazione Is\_Ca\_NEW a marzo. Il valore minimo, 6.12 ppm, è stato rilevato nella stazione S14\* NEW a settembre. I valori medi oscillano fra 6.47 e 9.31 ppm, rispettivamente nella stazione Punto C e Iso\_Ca\_New. Per quanto riguarda il canale immissario dell'acque di mare il range è compreso fra 6.90 ppm (marzo stazione CAN1) e 9.80 ppm (Can 3 marzo).

### *pH*

Nel Bellarosa maggiore il range oscilla fra 7.58 nella stazione Punto C ad aprile e 8.91 nella stazione ISO\_CA\_NEW a marzo.

### *Potenziale redox*

Nel Bellarosa maggiore i valori massimi si registrano nelle stazioni S14\* NEW e S13 NEW con 270.20 mV nel mese di marzo. Il valore minimo, pari a 102.00 mV è stato registrato a dicembre nella stazione Punto C. Valori medi molto simili in tutte le stazioni. Nel canale il Potenziale redox oscilla fra 254.20 e 85.90 mV.

### *Azoto*

Nel Bellarosa maggiore il valore medio più elevato dell'azoto ammoniacale si registra nella stazione S14\* NEW con 0.61 mg l<sup>-1</sup> N. Il range oscilla fra 0.21 mg l<sup>-1</sup> N rilevato nella stazione S15 e 0.70 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione Punto C. Nel Canale il valore medio più elevato dell'azoto ammoniacale si registra nella stazione CAN 2 con 0.77 mg l<sup>-1</sup> N. Il range oscilla fra 0.2 mg l<sup>-1</sup> N rilevato nella stazione CAN 4 e 1.1 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione CAN 2.

Nel Bellarosa maggiore il valore medio più elevato dell'azoto nitrico si registra nella stazione S14\*NEW con 1.80 mg l<sup>-1</sup> N. Il range oscilla fra 0.8 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione Iso\_Ca\_NEW e S3 e 2.5 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione Punto C. Nel Canale il valore medio più elevato dell'azoto nitrico si registra nella stazione CAN 2 con 1.30 mg l<sup>-1</sup> N. Il range oscilla fra 0.5 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione CAN 3 e 1.7 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione CAN 2.

Le concentrazioni dell'azoto nitroso sono molto basse in tutte le stazioni e spesso inferiori al limite di rilevabilità della metodica (0.003 mg l<sup>-1</sup> N).

Nel Bellarosa maggiore il valore medio più elevato dell'azoto totale si riscontra nella stazione S14\*NEW con 2.5 mg l<sup>-1</sup> N, il range fra 1.30 e 3.30 mg l<sup>-1</sup> N misurati rispettivamente nelle stazioni Iso\_Ca\_NEW e Punto C. Nel Canale il valore medio più elevato dell'azoto totale si registra nella stazione CAN 2 con 2.15 mg l<sup>-1</sup> N. Il range oscilla fra 1.1 mg l<sup>-1</sup> N rilevato nella stazione CAN 3 e 2.3 mg l<sup>-1</sup> N nella stazione CAN 2.

### *Clorofilla "a"*

Nel Bellarosa maggiore il valore medio più elevato si registra nella stazione S3 con 3.97 ppb. Il range è compreso fra 0.3 e 6.6 ppb, rispettivamente registrati nella stazione S15 e S14 NEW. Nel Canale le concentrazioni sono bassissime con il valore medio più alto nella stazione CAN4 pari a 1.29 ppb. Il valore massimo è stato registrato nella stazione CAN4 con 1.7 ppb, nelle stazioni CAN2 e CAN3 i valori sono sempre stati inferiori al limite di rilevabilità della metodica (1 ppb).

### *Solfuri*

Le concentrazioni dei solfuri sono sempre state inferiori ai limiti di rilevabilità della metodica (<0,01 mg l<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>S).

### *Fosforo*

Anche per quanto riguarda il fosforo totale e il fosforo reattivo le concentrazioni sono sempre state inferiori al limite di rilevabilità della metodica (0.005 mg l<sup>-1</sup> P).

### *Solidi sospesi*

Nel Bellarosa maggiore il valore medio più elevato dei solidi sospesi si registra nella stazione S14\*NEW con 41.33 ppm. Il range è compreso fra 9 e 54 ppm, registrati rispettivamente nella stazione S13 NEW e S14\*NEW. Nel Canale il valore medio più alto si ha nella stazione CAN2, pari a 45 ppm. Il valore massimo è stato registrato nella stazione CAN1 con 60 ppm, il valore inferiore nella stazione CAN3 pari a 18 ppm.

### Silice

Nel Bellarosa maggiore le concentrazioni medie della silice sono sempre inferiori al limite di rilevabilità, ad eccezione del Punto C. I valori registrati in questa stazione non presentano variabilità e sono pari a  $0.41 \text{ mg l}^{-1} \text{ SiO}_2$ . Nel Canale il valore medio massimo è pari a  $0.20 \text{ mg l}^{-1} \text{ SiO}_2$  ed è stato registrato nella stazione CAN1, il range oscilla fra 0.005 (ovvero valori inferiori al limite di rilevabilità della metodica) e  $0.052 \text{ mg l}^{-1} \text{ SiO}_2$ . Nelle stazioni CAN3 e CAN4 le concentrazioni sono quasi sempre non rilevabili.

### *Escherichia coli*

Nel Bellarosa maggiore i valori di *Escherichia coli* rilevati sono sempre molto bassi e spesso inferiori al limite di rilevabilità ( $< 1 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ ). Il valore medio più elevato si ha nella stazione Iso\_Ca\_NEW con 21.83 UFC/100 ml. Il valore massimo assoluto si registra nella stazione Punto C con 52 UFC/100 ml. Anche nel Canale, nelle stazioni CAN 1,2,3, le concentrazioni di E.coli risultano inferiori ai limiti di rilevabilità; nella stazione CAN4, E. coli si riscontra con concentrazioni molto basse, valore medio 4.25 UFC/100 ml.

### BOD<sub>5</sub> e COD

Il BOD<sub>5</sub> e il COD, a causa dell'interferenza dei cloruri non possono essere utilizzati in campioni di acqua di mare [1]. Tuttavia si valutano anche questi due parametri per un confronto fra le stazioni e una "stima" dell'inquinamento organico o chimico. Si è ritenuto opportuno tale approccio anche in considerazione della provenienza delle acque immesse nel sistema in quanto il Golfo di Cagliari è interessato dalla presenza di importanti impianti industriali e scarichi civili.

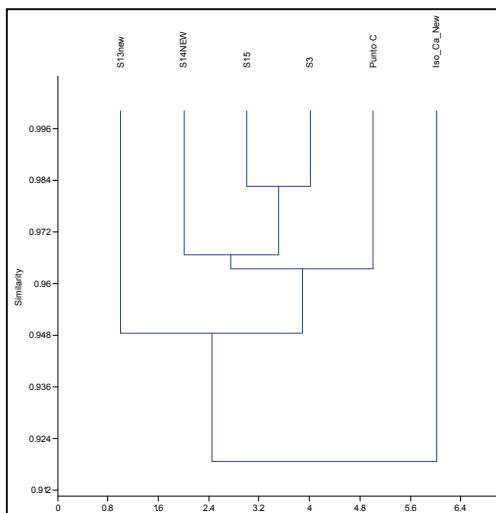
Nel Bellarosa maggiore il valore medio più elevato di BOD<sub>5</sub> è stato registrato nella stazione S14\*NEW, con 21.67 ppm di O<sub>2</sub>. Il range varia fra 2.9 e 26 ppm registrati rispettivamente nella stazione Punto C e nella stazione S3. Nel Canale il range oscilla fra 5 (più stazioni) e 15 ppm (CAN2), il valore medio più elevato si ha nella stazione CAN1 con 10 ppm. Il COD ha presentato i valori medi più alti nella stazione S14\* NEW (61.33 ppm), il range fra 3 e 67 ppm di O<sub>2</sub> (S13NEW e S15). Nel Canale il valore medio più alto, 63 ppm, è stato registrato nella stazione CAN2, il range oscilla fra 30 e 78 ppm (CAN3 e CAN2).

### Rapporto azoto/fosforo

Essendo le concentrazioni dell'ortofosfato sempre inferiori al limite di rilevabilità le acque sono necessariamente in condizioni di fosforo limitazione.

Sul set dati dei valori medi è stata effettuata un'analisi multivariata (*cluster analysis*, PCA matrice di similarità Bray-Curtis, algoritmo UPGMA). Per omogeneizzare le variabili stato usato il  $\text{Log}_{10}(1+x)$  dove con x si indica il valore originario della variabile.

Figura 2 – Analisi dei gruppi.  
Figure 2 – Cluster analysis.



Il fine era valutare se e come si stiano configurando mesohabitats a differente chimismo.

La stazione Iso\_Ca\_NEW è totalmente indipendente dalle altre; anche la stazione S13 NEW presenta un elevato grado di dissimilarità mentre le stazioni S15 e S3, poste lungo lo stesso transetto, hanno un elevato grado di similarità. La stazione S14\*NEW, posizionata nella porzione più confinata dello Stagno, non presenta una elevata similarità con le altre stazioni di indagine.

Per quanto riguarda l'analisi delle componenti principali i primi quattro assi ottenuti spiegano complessivamente il 99,52 % della varianza totale del sistema. La prima componente descrive il 69,87 % della varianza totale, la seconda componente il 20,91 % della varianza totale, la terza il 5,95 % la quarta il 2,79 %.

La 1° componente è fortemente correlata con la variabile E.coli, la 2° componente è anticorrelata con la variabile BOD<sub>5</sub>, la terza è anticorrelata con la salinità, la quarta con la clorofilla "a". Il punto campione Iso\_Ca\_NEW è collocato nel semiasse positivo della CA1 ed è caratterizzato da alti valori di E.coli. I punti campione S3, S15 e S14 NEW, collocati nel semiasse negativo della CA2 sono caratterizzati da maggiori valori di BOD<sub>5</sub>. Il punto campione S13 NEW, collocato nel semiasse positivo della CA2, è caratterizzato da minori valori di BOD<sub>5</sub>. Si osserva quindi che solo alcune variabili (E.coli, BOD<sub>5</sub>, Salinità, Clorofilla "a") variano in modo significativo fra le diverse stazioni.

Sui parametri chimico fisici è stata condotta l'analisi di correlazione lineare. I solidi sospesi sono correlati positivamente al COD; il COD al BOD<sub>5</sub>, l'azoto nitrico con la conducibilità e salinità, l'azoto ammoniacale con l'azoto totale, la conducibilità con la salinità.

#### *Valutazione dello stato del corpo idrico*

In base alla normativa [3] lo stato delle acque si definisce come "sufficiente" per l'Azoto minerale inorganico e "buono" per l'ortofosfato.

La valutazione dello stato trofico è stata effettuata applicando modelli sviluppati per l'ambiente lacustre [8] e quindi deve essere trattata con cautela. Nel Bellarosa maggiore la ridotta profondità delle acque, l'elevata salinità, la disponibilità di fosforo a livello sedimentario sono fattori che inducono a valutare le stime ottenute soprattutto per un confronto in termini spaziali o temporali e non come stima assoluta in se. Nel caso specifico le valutazioni ottenute sono rese meno robuste anche dai dati, non relativi ad una media annuale. In base a tale approccio le concentrazioni di clorofilla "a" indicano condizioni di mesotrofia in tutte le stazioni, ad eccezione delle stazioni Punto C e S23 in cui si ha uno stato di oligotrofia; il fosforo totale indica oligotrofia.

#### *Valutazione della qualità microbiologica*

La qualità microbiologica delle acque è stata valutata in base alla normativa vigente per le acque di balneazione sul data set disponibile. I valori di E.coli riscontrati sono sempre molto contenuti e non superano mai il valore massimo di 500 Mpn/100 ml previsto nella normativa [2] La qualità microbiologica delle acque è definita eccellente in base alla normativa sulle acque di balneazione che è relativo anche alle acque di transizione [4]. Il dato è stato calcolato sulla base dei valori maggiori dei limiti di rilevabilità della metodica. Fa eccezione la sola stazione ISO\_CA\_NEW in cui la qualità microbiologica delle acque è definita buona.

### *Trix*

L'indice di stato trofico, TRIX, è stato indicato dalla normativa [6] per definire lo stato di qualità delle acque marino costiere. I valori medi indicano uno stato trofico mediocre delle acque nella stazione CAN1, ovvero la prima stazione nel percorso idraulico che porta le acque dalla idrovora del Poetto alla immissione nel Bellarosa maggiore. Questo indicherebbe che le acque di mare in cui è collocata l'opera di presa (che è a circa 400 m dalla linea di costa) sono in uno stato trofico non ottimale. Invece le stazioni CAN2 e CAN3 hanno in genere uno stato trofico buono, CAN2 nel 100 % dei prelievi, CAN3 (nel 75 % dei prelievi). La stazione CAN4, l'ultima del percorso idraulico è in stato mediocre (50 % dei prelievi) scadente (25 % dei prelievi) e buono solo per il 25 % dei rilevamenti; il dato può essere facilmente spiegato dalle peculiarità della stazione ubicata nel tratto terminale del canale immissario che presenta una sezione naturale in terra e in cui il substrato è interessato durante il periodo vegetativo, dallo sviluppo di una componente algale (principalmente *Enteromorpha* spp.) con una copertura molto estesa. Inoltre, i valori di clorofilla "a" registrati durante le campagne sono molto più elevati rispetto a quelli delle altre stazioni del canale ed è quest'ultimo fattore che determina principalmente il valore mediocre/scadente dell'indice TRIX.

## **Conclusioni**

I valori di ossigeno disciolto, sono stati sempre superiori al valore di saturazione di 70 %. Tale concentrazione è il valore imperativo indicato in Tab. 1/C Qualità delle acque destinate alla vita dei molluschi, Sezione C del D.Lgs.152/06 [5]. Le acque sono pertanto in un buono stato di ossigenazione. Anche nella stazione S14\*NEW, caratterizzata da condizioni di isolamento in quanto è ubicata in una vasca delimitata da una arginatura in pietra, le condizioni di ossigenazioni sono ottimali. Facendo una valutazione fra le concentrazioni di ossigeno disciolto attese in base alla salinità e quanto registrato al momento del campionamento, si è potuto osservare che talora le concentrazioni rilevate sono ben superiore ai valori attesi. Ciò può essere ascritto al limitato spessore della lama d'acqua che favorisce l'ossigenazione ad opera del vento. Non si ritiene che all'ossigenazione delle acque contribuisca la componente fitoplanctonica, dati gli scarsi valori di clorofilla "a". Inoltre l'ossigeno e la clorofilla non mostrano correlazioni significative, pertanto l'ossigenazione del corpo idrico non è legata allo sviluppo della biomassa fitoplanctonica. Si esclude anche una ossigenazione ad opera delle macrofite che ancora hanno colonizzato il sistema, se non in modo limitato la parte Sud dello Stagno. Il buon stato di ossigenazione delle acque è anche confermato dall'assenza di ioni solfuro: la loro presenza, determinata dalla riduzione dei solfati, si riscontra solo in condizioni anossiche nelle acque ipolimniche dei corpi idrici ad elevata trofia o in condizioni di un elevato carico organico tale in grado di rendere anossiche le acque. L'area ubicata a Nord-Nord Est dello Stagno tende ad avere valori minori di ossigeno disciolto rispetto a quella localizzata nella parte più a Sud, ma non si evidenziano valori critici (ipossia/anossia).

I valori del pH sono tipici di acque marine (circa 8). I valori del potenziale redox sono sempre positivi, mai bassi ( $Eh < 50$  mV).

I valori di salinità classificano l'habitat come iperalino. I valori assumono

differenze significative fra le varie stazioni e ciò indica una differenziazione del tenore salino nello Stagno (Figura 3).



Figura 3 – Zone con differente salinità.  
*Figure 3 – Areas with different salinity.*

Rispetto ai risultati attesi dal progetto Life (salinità circa 50 psu) permangono valori elevati nella parte Nord, Nord-Est dello Stagno suggerendo una rivalutazione delle modalità di alimentazione dello Stagno. Tuttavia si evidenzia il risultato positivo conseguito con l'instaurarsi nell'habitat del gradiente di salinità. La compartizione dello stagno creata dalle nuove arginature e il ripristino della circolazione idraulica è il fattore che ha determinato l'instaurarsi di differenze significative fra le diverse stazioni/aree dello Stagno. La stazione Iso\_Ca\_NEW, che come discusso segrega in modo totalmente indipendente dalle altre, è localizzata in una area attualmente ben alimentata e separata da un lungo isolotto dalla restante parte dello stagno; anche la stazione S14\*NEW è localizzata in una area molto confinata in quanto delimitata quasi completamente da un argine in pietra e argilla. Le stazioni S15 e S3 hanno un elevato grado di similarità che può essere spiegato soprattutto grazie al ripristino della alimentazione che riesce ad essere efficace anche nelle stazioni più interne. La S13 NEW, pur essendo lungo lo stesso transetto della stazione PUNTO C, presenta con questa un elevato grado di dissimilarità. È caratterizzata da bassi valori di carico organico, di COD, di solidi sospesi. L'analisi di correlazione ha indicato correlazioni positive fra questi tre parametri: BOD<sub>5</sub> e COD si originano dalla presenza dei solidi sospesi nelle acque. Il dato è al momento di difficile valutazione ma è plausibile che i solidi sospesi si possono originare dalla risospensione della componente limosa più o meno



abbondante nel substrato. Forse nella stazione S13 NEW, il ricambio idrico sta mettendo in opera una modificazione nella composizione del substrato con una diminuzione della componente limosa. Questa ipotesi tuttavia necessita di ulteriori osservazioni.

La qualità microbiologica delle acque è classificabile come Eccellente ad eccezione della stazione Iso\_Ca\_New. E.coli ha un basso tasso di sopravvivenza in acque salate; la sua presenza/assenza è correlata principalmente al tenore salino più o meno elevato. Questo dato contribuisce a spiegare l'assenza di contaminazione microbiologica per la maggior parte delle stazioni di indagine; E.coli non è correlata con altri indici di contaminazione fecale/organica quali l'azoto ammoniacale e il BOD<sub>5</sub>. Si ritiene pertanto che sia dovuta solo alla presenza di numerosi contingentini di avifauna nell'area.

In base alla classificazione trofica le acque sono in uno stato di oligo-meso trofia. In particolare, le concentrazioni di fosforo, sempre al di sotto del limite di rilevabilità indicano al momento un rischio minimo/nullo per l'instaurarsi di eutrofizzazione.

Lo stato in base agli elementi di qualità chimico fisica a sostegno è buono per il fosforo, sufficiente per l'azoto minerale disciolto. Per quanto riguarda l'azoto minerale disciolto, principalmente dovuto alla forma nitrica, sono state fatte diverse valutazioni, in merito alla sua origine. A priori si è escluso un apporto di acque continentali dal bacino idrografico, visto la condizione di isolamento dello Stagno. Una maggiore comprensione è stata possibile grazie ai risultati delle analisi effettuate sulle acque del Canale immissario delle acque di mare. Dall'analisi dei risultati analitici si evince che l'origine dell'azoto nitrico è direttamente connessa con l'immissione delle acque di mare. Le acque del canale immissario infatti presentano concentrazioni di azoto nitrico assolutamente confrontabili con quelle rilevate nello Stagno. Peraltro il consumo dell'azoto nitrico è contenuto a causa della scarsa produttività primaria indicata dai valori di clorofilla "a" e delle scarsità/assenza di fitobenthos. Per quanto detto lo stato prima e dopo gli interventi Life riportato in tabella 1.

Tabella 1 – Qualità delle acque prima e dopo gli interventi Life.

*Table 1 – Quality of water before and after the interventions Life.*

	<i>Indicatore</i>	<i>Stato prima degli interventi</i>	<i>Stato dopo degli interventi</i>	<i>Conseguimento obiettivi</i>
Ossigenazione delle acque	Ossigeno disciolto	A volte al di sotto del livello di saturazione 70 %	Sempre > 70 %	Positivo
Stato trofico	Clorofilla "a" Fosforo totale	Eutrofico Iperotrofico	Meso/Oligotrofico Oligotrofico	Positivo Positivo
Stato ecologico	Azoto disciolto	Sufficiente	Sufficiente	Stabile
Stato ecologico	Fosforo disciolto	Sufficiente	Buono	Positivo
Qualità microbiologica	Escherichia coli	Eccellente	Eccellente	Stabile
Salinità		Molto elevata e uniforme	Aree differenti per tenore salino	Positivo

## Ringraziamenti

Questo lavoro è parte del progetto LIFE MC-SALT LIFE10NAT/IT/000256 *Environmental Management and Conservation in Mediterranean salt works and coastal lagoons* cofinanziato dalla UE e dalla Regione Sardegna.

## Bibliografia

- [1] APAT & IRSA-CNR, 2004 - *Metodi analitici per le acque*. Manuali e linee guida IRSA 29/2003, Voll. I-II: 844 pp.
- [2] Decreto 30 marzo 2010 - *Definizione dei criteri per determinare il divieto di balneazione, nonché modalità e specifiche tecniche per l'attuazione del D.Lgs 30 maggio 2008, n. 116, di recepimento della Direttiva 2006//CEE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione* - Suppl. ord. alla G.U. n. 119 del 24/05/2010.
- [3] Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 8 novembre 2010, n. 260. *Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante "Norme in materia ambientale", predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo*. Supplemento Ordinario n. 31/L alla Gazzetta Ufficiale 7 febbraio 2011 n. 30
- [4] Decreto legislativo n. 116/08 del 30/05/2008. *Attuazione della direttiva 2006/7/CE relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e abrogazione della direttiva 76/160/CE*. G. U. n. 155 del 04/07/2008.
- [5] Decreto legislativo n. 152/06 del 03/04/2006. *Norme in materia ambientale*. Suppl. ord. n. 96 alla G. U. n. 96 del 14/04/2006.
- [6] Decreto legislativo n. 152/99 - *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della Direttiva 91/676/CE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole* - e s.m.i. G.U. 124 del 29/05/1999 – Suppl. ord. n. 101.
- [7] Menichini E, Viviano G. e il Gruppo di lavoro Istituto Superiore di Sanità - *Metodiche per il rilevamento delle emissioni in atmosfera da impianti industriali. Trattamento dei dati inferiori al limite di rivelabilità nel calcolo dei risultati analitici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2004. (Rapporti ISTISAN 04/15).
- [8] Vollenweider RA, Kerekes J. 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. Paris (France): OECD Cooperative programme on monitoring of inland waters (eutrophication control); Environment Directorate

# DINAMICHE SPAZIO/TEMPO DI ALCUNE PINETE COSTIERE DELLA SARDEGNA MERIDIONALE E CENTRALE

Michele Puxeddu<sup>1\*</sup>, Giorgio Citterio<sup>1</sup>, Raffaello Giannini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laureato in Scienze Forestali, Cagliari

<sup>2</sup>GESAAF Università degli Studi, Firenze

\*corresponding author: [mipuxe@alice.it](mailto:mipuxe@alice.it)

**Riassunto** – È stato analizzato il dinamismo spazio/tempo di diverse pinete costiere impiantate, tra la fine degli anni '20 e '60 del secolo scorso, con interventi a totale carico dello Stato, sia nella Sardegna meridionale (Poetto di Cagliari e S. Margherita di Pula) che in quella centrale (Arborea, Is Arenas di Narbolia e S.Lucia di Siniscola).

Il monitoraggio ha evidenziato che dalla seconda metà del secolo scorso (1954) al 2010 la loro superficie si è ridotta in media di quasi il 40 %.

Se tale andamento dovesse proseguire e' concreto il rischio di una loro scomparsa così come già avvenuto per la pineta di protezione della duna costiera del Poetto di Cagliari oggi rappresentata ormai solo da poche piante e lembi relitti.

*Abstract* – *The space/time succession of some coastal pine stands, planted by the Italian State between 1920-1960 years both in Southern Sardinia (Poetto and S.Margherita) that in Central Sardinia (Arborea, Is Arenas, and S.Lucia), was analyzed by 1954-2010 years by GIS software and by multitemporal cartographic analyses.*

*The study showed a strong surface reduction of these stone pine stands mainly caused by urban private enterprise. This trend, if it is not quickly stopped, will bring to the total disappearance of these stands.*

## Introduzione

In Sardegna tra la fine degli anni '20 e '60 del secolo scorso, lungo il perimetro costiero, (circa 1900 km [5]), sono stati effettuati interventi di bonifica tra i più estesi d'Italia comprendenti rinsaldamenti dunali e rimboschimenti litoranei, realizzati in prevalenza con pino domestico (*Pinus pinea* L.) e pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.), interessando uno sviluppo lineare di quasi 100 km ed una superficie complessiva di circa 8 200 ettari [3; 6].

Questi interventi erano stati totalmente finanziati dallo Stato con la Legge 24 dicembre 1928 n.3124 sulla Bonifica Integrale e sue successive integrazioni (R.D.13 febbraio 1933, n. 215), attraverso il Regio Decreto 30 dicembre 1923 n.3267 o "Legge Forestale" e successivamente con la Legge 10 agosto 1950 n.646, Cassa del Mezzogiorno.

Gli obiettivi principali erano quelli relativi al risanamento dei territori retrostanti la linea di costa spesso caratterizzati da paludi e lagune malariche, da destinare a comprensori agricoli che, per le loro caratteristiche eco-stazionali, avrebbero potuto

sviluppare colture intensive ad alto reddito nei settori dell'orto-floro-frutticoltura. Tutto ciò con il contributo da una parte dell'azione protettiva del rimboschimento, dall'altra di quella di grandi opere di regimazione idraulico-agraria.

Purtroppo negli ultimi decenni queste aree, invero come altre caratterizzate da popolamenti forestali naturali, vere peculiarità degli ambienti costieri e non solo della Sardegna, sono state, e sono tuttora, oggetto di forte pressione antropica portata avanti nel segno di una malintesa valorizzazione turistica di fatto concretizzatasi in una massiccia espansione urbanistica privata.

In questo lavoro vengono esposti i risultati di uno studio incentrato sull'analisi del dinamismo spazio/tempo di diverse pinete costiere (Fig.1) realizzate nella Sardegna meridionale (Poetto di Cagliari e S.Margherita di Pula) e centrale (Arborea, Is Arenas di Narbolia e S.Lucia di Siniscola).

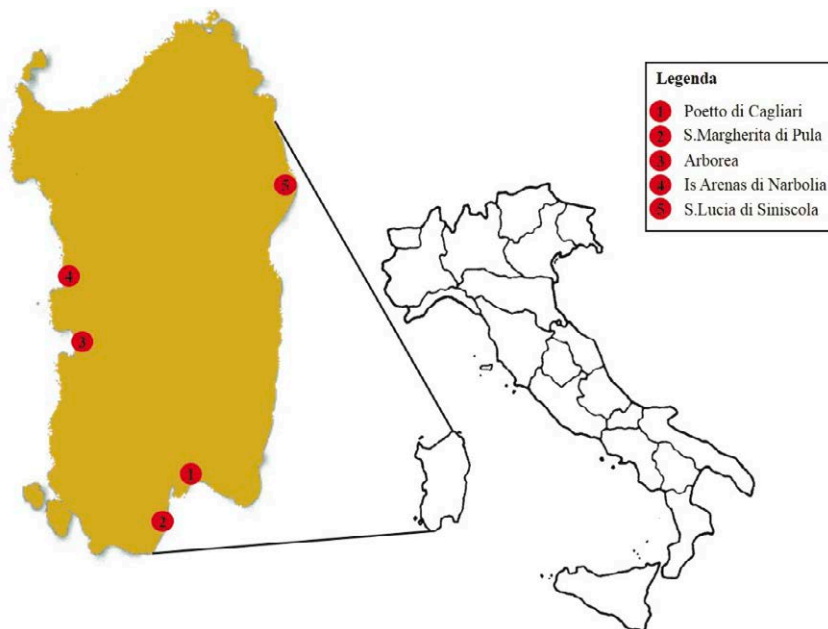


Figura 1 – Aree di studio.  
*Figure 1 – Study areas.*

## Materiali e metodi

### *Aree di studio*

Nell'ambito delle aree di studio si è fatto ricorso ad aree di saggio delle dimensioni di 20 x 100 m, come indicato in precedenti lavori (Puxeddu et al., 2008-2012 [6; 7; 8]) dove, previa localizzazione a terra con GPS, sono stati eseguiti approfonditi rilievi demografici e dendrometrici.

1) Area del *Poetto* di Cagliari (CA). Ricade nell'ambito del più vasto ambito territoriale interessato da lavori di sistemazione idraulico-forestale finanziati ai sensi della Legge Forestale che, promuovendo anche il rimboschimento delle dune, a partire dal 1926 fino ai primi anni 1940, portò alla realizzazione da parte dell'Amministrazione Forestale, tra Capo S.Elia e Capo Carbonara, di 275 ha di pinete con lo scopo preminente di contrastare e ridurre il processo di erosione della linea di costa.

In particolare l'area d'impianto risultava sviluppata in lunghezza per circa 4,3 km e in larghezza da 200-300 m a 80-120 m, all'interno dei Comuni di Cagliari e Quartu S.E.

Come in altri rimboschimenti eseguiti in Sardegna dal 1920 in poi, anche nel rimboschimento del litorale Poetto venne seguito il sistema Allegretti [4].

Con questo sistema si provvedeva alla semina a spaglio su terreno sodo, con impiego di notevoli quantità di seme, ed a lavorazione superficiale del terreno previa eliminazione totale del cespugliame.

Per almeno tre anni consecutivi dopo la semina venivano eseguite cure colturali consistenti in leggere sarchiature superficiali. La bontà del metodo impiegato era confermata dal fatto che con la lavorazione superficiale del terreno (profondità max. 5 cm) veniva ridotta l'evaporazione favorendo la sopravvivenza e la crescita delle piantine.

2) Area di *S.Margherita* di Pula (CA). Ricade nell'ambito territoriale del litorale del Comune di Pula (CA) interessato da un progetto di rimboschimento iniziato nel 1926, sviluppato su terreni classificabili tra i *Typic palexeralf* a profilo A-C generati da substrati pedogenetici rappresentati da dune fossili del Pleistocene [1], su di una superficie di 11 km in lunghezza e di 400 a 500 m in larghezza.

Alla fine del 1960 la superficie rimboschita, a pino domestico, lungo il litorale di S.Margherita, in Comune di Pula, risultava pari a 274 ha. Anche in questo caso il progetto prevedeva la semina a spaglio di pino domestico (*Pinus pinea* L.) su terreno sodo, successivamente lavorato in superficie con eliminazione del cespugliame.

Negli anni successivi, l'impianto venne sottoposto ad interventi colturali. In effetti troppo spesso i diradamenti risultavano di maggiore intensità rispetto a quanto prescritto dal Piano di Coltura e Conservazione. Nello stesso tempo si dava inizio ad interventi di infrastrutturazione edilizia, con connessa realizzazione di strade, reti idriche ed elettriche.

3) Area di *Arborea* e *Terralba* (OR). Ricade nell'ambito territoriale individuato dal progetto di rimboschimento delle dune litoranee di Mussolinia, approvato agli inizi del 1933 dal Comitato Tecnico per la Bonifica Integrale della Provincia di Cagliari, sviluppato in lunghezza, per circa 20 km, e in larghezza da 150 a 600 m. Ad Arborea il progetto prevedeva un primo intervento di rinsaldamento delle dune con graticciate e realizzazione di siepi vive e morte. A seguire l'impianto di talee di mioporo nell'area prospiciente il battente marino, la semina a spaglio di pino domestico (*Pinus pinea* L.) su fasce, parallele alla battigia, larghe circa 40 m precedentemente decespugliate ed arate. Queste si alternavano ad altrettante fasce mantenute allo stato naturale. Erano inoltre previsti viali di sicurezza, recinzioni e canali per il prosciugamento delle zone temporaneamente sommerse.

I lavori, iniziati nel febbraio 1933 e che dovevano concludersi in 8 esercizi finanziari, durante le prime fasi furono caratterizzati solo parzialmente da successo a causa delle non sempre idonee tecniche adottate che vennero tuttavia aggiornate con l'esperienza negli anni successivi. Si osservò infatti che i semenzali riparati vegetavano meglio avvantaggiandosi inoltre della lavorazione del suolo. A giugno 1939 la superficie rimboschita

a pino domestico in Comune di Arborea risultava pari a 327 ha.

Negli anni seguenti il giovane impianto venne sottoposto a cure colturali fino al 1946-'47 quando venne dichiarato perfettamente riuscito.

4) Area di *Is Arenas* di Narbolia (OR). Ricade nell'ambito territoriale individuato dal progetto di rimboschimento delle dune litoranee di Narbolia, Oristano, Riola e S.Vero Milis, avviato agli inizi del 1951 dall'Ispettorato Forestale di Cagliari. Sviluppato in un'area di circa 8 km di lunghezza e 2 km di larghezza, il progetto prevedeva un fitto reticolato di fascinate rette da pali in legno con siepi vive e morte, disposto immediatamente a monte dell'area prospiciente il battente marino, distante da questo 50 m circa.

Il sistema delle fascinate aveva maglia di 3 x 6 m ed era costituito da pali di castagno infissi nella sabbia per 0,6-0,7 m legati da filo zincato in tre ordini in cui erano fittamente intrecciate frasche di cisto ed erica per un'altezza totale fuori terra di circa 1 m.

La semina a spaglio di pino domestico (*Pinus pinea* L.) sul terreno così protetto interessò una superficie iniziale di 1089 ettari. Erano inoltre previsti viali di sicurezza e recinzioni.

Il primo nucleo di lavori, iniziati nel 1951 e che dovevano concludersi entro il 1958, attraversò non poche difficoltà tuttavia superate affinando l'esperienza fino a quando nel 1966 l'impianto nel suo complesso fu dichiarato riuscito.

5) Area di *S.Lucia* di Siniscola (NU). Ricade nel più vasto ambito territoriale che, a partire dal 1939 fino al 1960, portò alla realizzazione, sempre attraverso l'applicazione della legge sulla Bonifica Integrale, nei Comuni di Orosei, Posada e Siniscola (NU), di 1030 ha di pinete di pino domestico.

In particolare l'area d'impianto risultava sviluppata, su sabbie litoranee dell'Olocene, per circa 6 km in lunghezza e per circa 400-500 m in larghezza. Si operò attraverso:

- i) fissazione delle sabbie con difese basse di materiale morto (in grande prevalenza) disposte a reticolo con maglia di 3 x 6 m rette da pali di castagno infissi nella sabbia per 0,6-0,7 m legati da filo zincato in cui erano fittamente intrecciati rami secchi di cisto ed erica per un'altezza totale fuori terra di circa 1 m;
- ii) semina a spaglio di pino domestico (*Pinus pinea* L.) su terreno così protetto. Negli anni seguenti (1966) l'impianto venne sottoposto a moderati diradamenti (densità media 1000/1100 pianta/ha).

Alla fine del 1960 la superficie rimboschita risultava pari a 160 ha.

### ***Analisi cartografiche multitemporali***

Nelle aree di studio individuate si è operato innanzitutto mediante digitalizzazione a video con applicativo ArcMap di ArcGis Desktop, confrontando dati telerilevati in momenti successivi (dal 1954 al 2010) provenienti dalle sezioni fotografiche IGMI del 1954 e del 1973 nonché dalle ortofoto costiere RAS del 2010, procedendo poi a delineare, per poligoni omogenei [2], lo stato di ciascuna pineta costiera impiantata, tra la fine degli anni '20 e '60 del secolo scorso, con i citati interventi statali (Poetto di Cagliari, S.Margherita di Pula, Arborea, Is Arenas di Narbolia e S.Lucia di Siniscola).

Le variazioni di superficie delle pinete esaminate, nel periodo dal 1954 al 2010, sono state documentate, nel rispetto dei requisiti minimi di copertura e superficie stabiliti dal D.Leg.vo 227/2001 e s.m.i., attraverso elaborazione cartografica in scala 1:10.000.

## Risultati

Il monitoraggio ha consentito di rilevare le superfici, con relative variazioni, di ciascuna pineta oggetto di studio (Tab.1).

Tabella 1 – Superfici (ha) delle pinete nelle aree di studio nel periodo 1954 – 2010.

Table 1 – Pine stands surfaces (ha) in the study areas 1954 – 2010 years.

Pineta	Anno	1954	1973	2010	Variazione
1) Poetto di Cagliari		29		2,3	-26,7
2) S.Margherita di Pula			232	151,4	-80,6
3) Arborea		229		149,5	-79,5
4) Is Arenas di Narbolia			1025	908,4	-116,6
5) S.Lucia di Siniscola			125	100,9	-24,1

**Poetto:** la superficie è passata da 29 ha nel 1954 a 2,3 ha nel 2010. Complessivamente si è avuta una riduzione del 92,07 % (Fig.2).

Le caratteristiche strutturali del popolamento, riferite agli ultimi relitti di pineta esistenti, indicano valori medi di copertura arborea pari a 33 %, densità di 145 p ha<sup>-1</sup>, area basimetrica (G ha<sup>-1</sup>) di 5 m<sup>2</sup> con altezza dominante di 6 m. Le distribuzioni dei diametri (diametro medio pari a 22 cm) fanno riferimento a strutture irregolari (Fig.3).

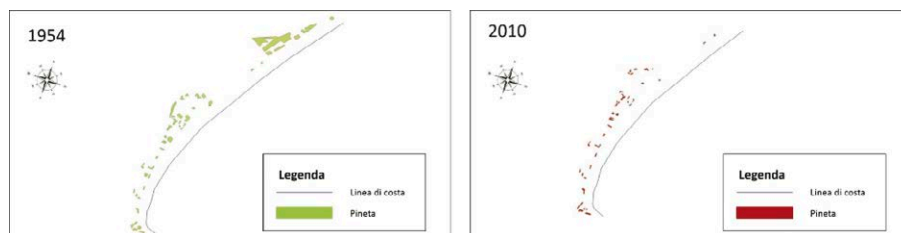


Figura 2 – Distribuzione della pineta del Poetto (1954 - 2010).

Figure 2 – Poetto pine stand distribution (1954 - 2010).

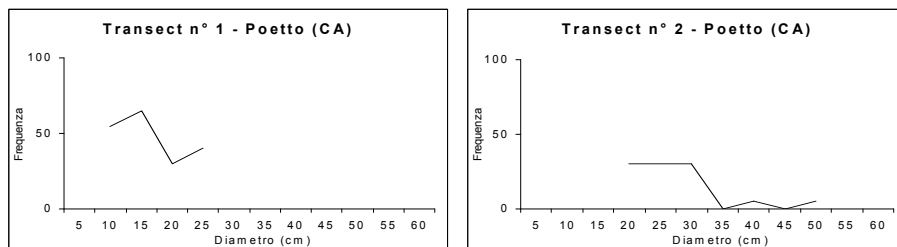


Figura 3 – Distribuzione dei diametri nella pineta del Poetto.

Figure 3 – Diameter values at Poetto stone pine stand.

**S.Margherita:** la superficie è passata da 232 ha nel 1973 a 151,4 ha nel 2010 con una riduzione quindi pari al 34,75 % (Fig.4).

Dai rilievi a terra il bosco presenta valori medi di copertura arborea pari a 45 %, di 630 p ha<sup>-1</sup> di densità e di 41,927 m<sup>2</sup> di area basimetrica (G ha<sup>-1</sup>) con altezza dominante di 11,5 m. Le distribuzioni dei diametri (diametro medio pari a 28,8 cm) risultano in prevalenza tipiche di strutture coetanee (Fig.5).

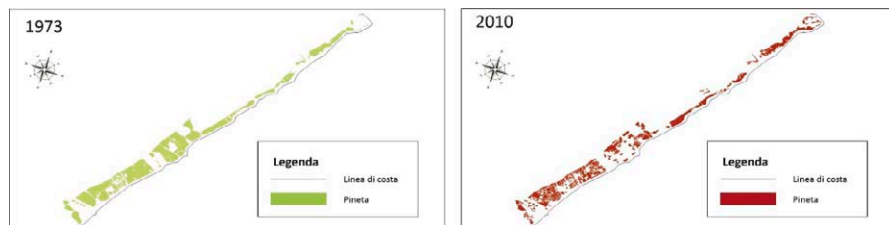


Figura 4 – Distribuzione della pineta di S.Margherita (1973 - 2010).

Figure 4 – S.Margherita pine stand distribution (1973 - 2010).

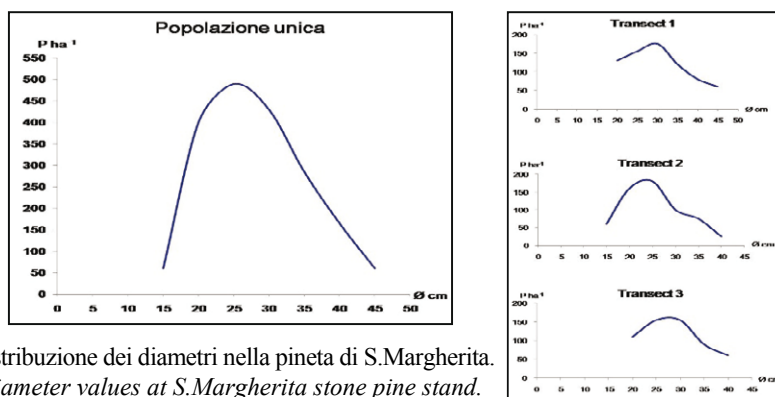


Figura 5 – Distribuzione dei diametri nella pineta di S.Margherita.

Figure 5 – Diameter values at S.Margherita stone pine stand.

**Arborea:** la superficie è passata da 229 ha nel 1954 a 149,5 ha nel 2010, ovvero si è ridotta di circa il 35 % (Fig.6).

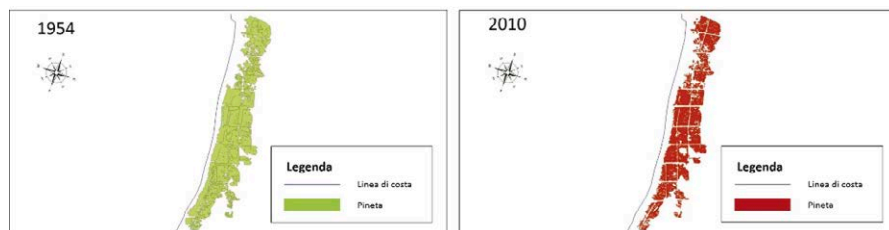


Figura 6 – Distribuzione della pineta di Arborea (1954 - 2010).

Figure 6 – Arborea pine stand distribution (1954 - 2010).



Dai rilievi in bosco sono scaturiti valori medi di copertura arborea pari al 46 %, di densità di 160 p ha<sup>-1</sup> e di area basimetrica (G ha<sup>-1</sup>) di 15 m<sup>2</sup> con altezza dominante di 12 m.

Le distribuzioni dei diametri (diametro medio pari a 35 cm) risultano in prevalenza tipiche di strutture coetanee pur essendo presenti anche variabili riconducibili a strutture più mosse localizzate in relazione agli impatti subiti dal bosco (Fig.7).

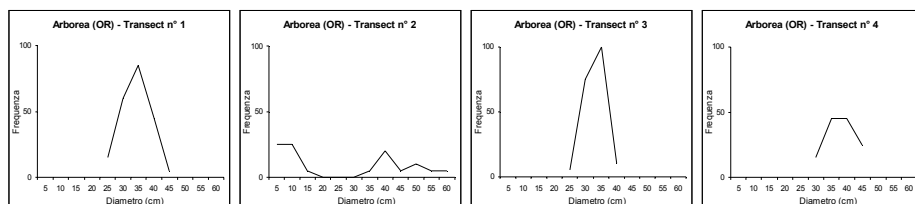


Figura 7 – Distribuzione dei diametri nella pineta di Arborea.

Figure 7 – Diameter values at Arborea stone pine stand.

**Is Arenas:** la superficie è passata da 1025 ha nel 1973 a 908,4 ha nel 2010 con una riduzione pari al 12 % (Fig.8).

Dai rilievi sono scaturiti valori medi di copertura arborea pari a 52,5%, 472 p ha<sup>-1</sup> di densità e 24,4 m<sup>2</sup> di area basimetrica (G ha<sup>-1</sup>) con altezza dominante di 10,5 m.

Le distribuzioni dei diametri (diametro medio pari a 27 cm) sono in prevalenza tipiche di strutture coetanee rilevandosi presenti anche strutture più articolate (Fig.9).

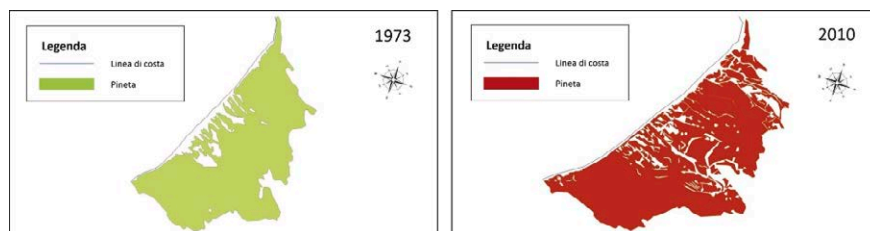


Figura 8 – Distribuzione della pineta di Is Arenas (1973 - 2010).

Figure 8 – Is Arenas pine stand distribution (1973 - 2010).

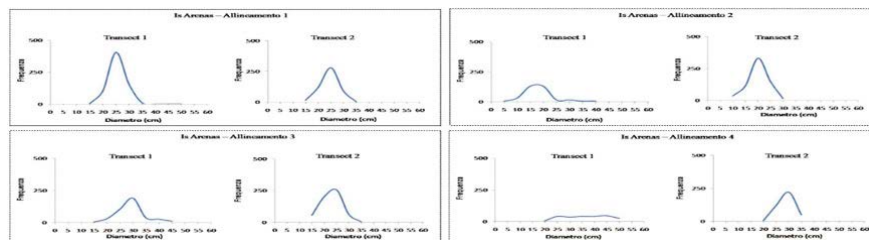


Figura 9 – Distribuzione dei diametri nella pineta di Is Arenas.

Figure 9 – Diameter values at Is Arenas stone pine stand.

**S.Lucia:** la superficie è passata da 125 ha nel 1973 a 100,9 ha nel 2010. Complessivamente si è ridotta del 19 % (Fig.10).

Dai rilievi sono scaturiti valori medi di copertura arborea pari a 55 %, di densità di 822 p ha<sup>-1</sup> e di area basimetrica (G ha<sup>-1</sup>) pari a 61,39 m<sup>2</sup> con altezza dominante di 12,7 m. Le distribuzioni dei diametri (diametro medio pari a 31,5 cm) sono risultate anche in quest'area di studio in prevalenza tipiche di strutture coetanee (Fig.11).

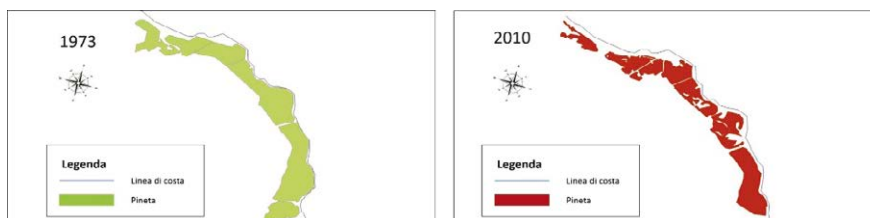


Figura 10 – Distribuzione della pineta di S.Lucia (1973 - 2010).

*Figure 10 – S.Lucia pine stand distribution (1973 - 2010).*

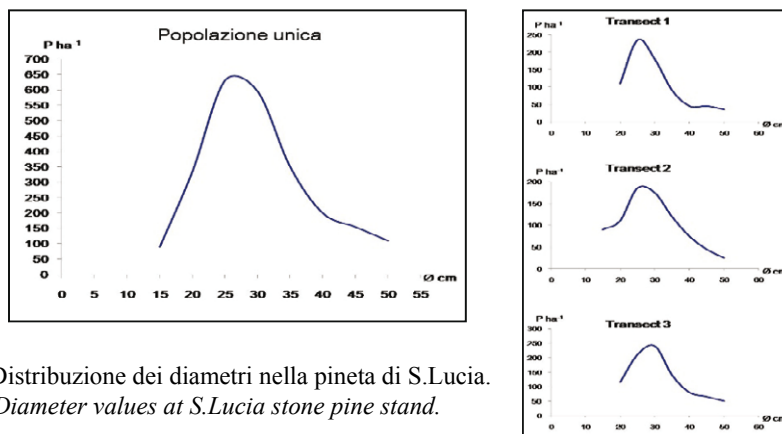


Figura 11 – Distribuzione dei diametri nella pineta di S.Lucia.

*Figure 11 – Diameter values at S.Lucia stone pine stand.*

## Discussione e conclusioni

Il monitoraggio spazio/tempo delle pinete costiere studiate (Poetto di Cagliari, S.Margherita di Pula, Arborea, Is Arenas di Narbolia e S.Lucia di Siniscola), ha evidenziato, nel periodo 1954-2010, una riduzione media delle superfici del 38,5 %.

I rilievi demografici e dendrometrici [6; 7; 8] indicano che le attuali tipologie strutturali trovano riferimento in quelle tipiche di popolamenti monostratificati con densità molto variabile in relazione al numero ed all'intensità degli interventi colturali eseguiti.

La continua riduzione dell'estensione di questi popolamenti evidenzia il rischio concreto di una loro totale scomparsa così come già avvenuto per la pineta di protezione

della duna costiera del Poetto di Cagliari oggi rappresentata ormai solo da poche piante e lembi relitti.

Gli obiettivi principali per cui erano stati realizzati tali impianti erano quelli relativi al risanamento dei territori interessati da paludi e lagune malariche da utilizzare per un aumento della superficie destinata a colture intensive ad alto reddito, ma soprattutto creare, attraverso la presenza della copertura forestale, un'efficace azione protettiva contro l'erosione eolica dunale a favore quindi della conservazione di tutto il territorio costiero.

Invero nel segno di una malintesa valorizzazione turistica si è concretizzata una massiccia espansione urbanistica che, tra l'altro, avrebbe potuto essere localizzata in altre aree (anche limitrofe) rispettando l'integrità di ecosistemi forestali tanto faticosamente realizzati e che proprio per gli obiettivi prefissati costituivano fondamentali strumenti di prevenzione contro fattori di danni ambientali purtroppo tutt'ora presenti.

Per questo l'esclusione totale dall'utilizzazione a scopi edilizi sia dei terreni boscati e soggetti a vincolo idrogeologico, sia di quelli comunque rimboschiti, posti lungo i litorali, già prescritta sin dal 1970 dal Consiglio Superiore dell'Agricoltura e Foreste [8], deve essere considerata azione urgente ed improcrastinabile unitamente a quella continua contro gli incendi.

## Bibliografia

- [1] Aru A., Baldaccini P., Vacca A. – *Nota illustrativa alla carta dei suoli della Sardegna*, Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari, 1991.
- [2] Citterio G., Puxeddu M., Giannini R. – *La foresta relitta di roverella dei Monti del Gennargentu, Sardegna*. *Forest@* (2007) 4 (1), 11-18 [online] URL:<http://www.sisef.it/>.
- [3] D'Autilia M., Sommazzi S., Arrigoni P.V. - *Rimboschimenti e loro risultati in Sardegna*, Atti del convegno *Prospettive economico-industriali della produzione legnosa in Sardegna*, Cagliari, Febbraio, 1967, 79-109.
- [4] Morelli A. – *La tecnica dei rimboschimenti in Sardegna*, Atti del congresso nazionale su *Rimboschimenti e ricostituzione dei boschi degradati*, Firenze, Aprile, 1961, Vol.II, 217-223.
- [5] Ginesu S. - *Aspetti geografici della Sardegna nell'ambito del Mediterraneo*. In: *L'ambiente naturale in Sardegna*, I<sup>a</sup> ed. (1998), Delfino, Sassari , 31-45.
- [6] Puxeddu M., Calamini G., Campus S. – *Dinamismo spazio/tempo in alcune pinete costiere della Sardegna*. Atti del Secondo Simposio Internazionale *Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura*. Napoli, Giugno, 2008, 213-220.
- [7] Puxeddu M., Citterio G., Giannini R. – *Monitoraggio spazio/tempo della pineta costiera di Is Arenas (OR)*. Atti del Terzo Simposio Internazionale *Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura*. Livorno, Giugno, 2010, 139-144.
- [8] Puxeddu M., Citterio G., Giannini R. – *Interventi pubblici di bonifica ambientale: contributo per uno sviluppo turistico privato*. Atti del Quarto Simposio Internazionale *Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura*. Livorno, giugno 2012, 331-338.

# THE EFFECT OF ACIDIFICATION ON CARBON AND NITROGEN METABOLISM OF POSIDONIA OCEANICA IN A NATURAL CO<sub>2</sub> VENT SYSTEM

Andrea Scartazza<sup>1,2\*</sup>, Olga Gavrichkova<sup>2</sup>, Stefano Moscatello<sup>2</sup>, Maria Cristina Buia<sup>3</sup>, Marco Lauteri<sup>2</sup>, Alberto Battistelli<sup>2</sup>, Maurizio Lorenti<sup>3</sup>, Carlo Calfapietra<sup>2</sup>, Enrico Brugnoli<sup>4</sup>

<sup>1</sup>CNR-Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale, sede di Monterotondo Scalo,  
Via Salaria km 29,300, 00016, Monterotondo Scalo (RM), Italy  
phone +390763 374905, telefax +390763 374980, e-mail: andrea.scartazza@ibaf.cnr.it

<sup>2</sup>CNR-Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale, sede di Porano,  
Via G. Marconi 2, 05010, Porano (TR), Italy

<sup>3</sup>Stazione Zoologica Anton Dohrn, Villa Comunale, 80121, Napoli, Italy.

<sup>4</sup>CNR-Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente,  
Piazzale Aldo Moro 7, 00185, Roma (RM), Italy

**Abstract** – The effects of seawater acidification and high CO<sub>2</sub> levels on carbon (C) and nitrogen (N) metabolism of *P. oceanica* were investigated in meadows growing at different pH levels in a natural CO<sub>2</sub> vent system at the Castello Aragonese (island of Ischia, Italy). The *P. oceanica* meadows growing under acidified conditions showed a higher shoot density, associated with a lower concentration of non-structural carbohydrates in rhizomes and a higher N content in both leaves and rhizomes. Our data suggest a link between C and N metabolism and possible changes in energy and resource allocation under acidified conditions that could affect survival and distribution of *P. oceanica* under future climate scenarios, with possible impacts on structure and functionality of Mediterranean marine ecosystems.

## Introduction

Ocean acidification, a predictable consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>, is expected to affect seawater chemistry and biogeochemical cycles of many elements and compounds [2, 5]. However, the effects of ocean acidification on marine organisms in natural conditions are still poorly known. The seagrass *Posidonia oceanica* (L.) is one of the most important primary producer of the Mediterranean Sea, playing a relevant ecological role in marine ecosystems of Mediterranean environments [8, 12]. On the other hand, *P. oceanica* is threatened by climate change, alien species invasion and human activities near the coasts [12], hence studying the effects of seawater acidification on structural and functional traits of *P. oceanica* meadows is a priority for predicting future impacts on food-web dynamics and other ecosystem processes in the Mediterranean basin. Shallow hydrothermal vents have been proposed as proxies for low pH environments, representing natural field laboratories for studying long-term biological and ecological responses to high CO<sub>2</sub> level and seawater acidification and high [4, 7, 10, 13, 14]. The present study takes advantage of using the natural CO<sub>2</sub> vents at the Castello Aragonese

(island of Ischia, Italy) to examine the response of *P. oceanica* in an area where the pH changes over a relatively short distance. The main aim of this work was to investigate the effects of naturally increased seawater partial pressure of CO<sub>2</sub> (*p*CO<sub>2</sub>) and reduced pH on carbon (C) and nitrogen (N) compounds in *P. oceanica*.

## Materials and methods

This study was carried out in the shallow bottoms around the Castello Aragonese (island of Ischia, Italy), characterized by the presence of natural CO<sub>2</sub> vents of volcanic origin [4]. Meadows of the Mediterranean endemic seagrass *P. oceanica* and CO<sub>2</sub> vents are present both in the Northern and Southern side of Castello Aragonese. We selected four sites (two for each side of Castello Aragonese) of approximately 60 m<sup>2</sup> wide and 3 m depth as average: two sites (one for each side) were close to the CO<sub>2</sub> vents (indicated as Acidified), while the other two were located outside the vent areas (indicated as Control).

The values of pH and the shoot density (shoots m<sup>-2</sup>) were monitored during the 2011-2013 period, as described in [3]. In July 2013, six shoots per site were collected by SCUBA divers. The shoots were separated into two components: leaves and rhizomes. Then the two components were frozen into liquid nitrogen, freeze-dried and ground to a fine powder in the laboratory. Analysis of non-structural carbohydrates (NSC) was carried out as described in [9], whereas lignin and holocellulose were determined as in [11]. Soluble and total proteins were determined by means of the Bradford method. An aliquot of dry matter of leaves and rhizomes (about 0.5 mg) was used for determination of C and N content and isotope compositions ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) using an elemental analyzer (Model NA 1500, Carlo Erba, Milan, Italy) coupled with the mass spectrometer (Isoprime Ltd, Cheadle, UK), after conversion of samples into gases (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>) by combustion. Isotope ratios of C ( $R=^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) and N ( $R=^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) were measured in order to calculate  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  referring to the VPDB and N<sub>2</sub> standards respectively, using the following expression:

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} = R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1 \quad 1$$

## Results

The average values of pH (NBS scale) of the acidified and control sites were 7.8 and 8.1, respectively. The acidified sites were characterized by a shorter leaf canopy and by a significantly higher shoot density than the control sites [3]. The  $\delta^{13}\text{C}$  values of leaf and rhizome dry matter were significantly lower in the acidified than in the control sites (Table 1). This was reflected in lower  $\delta^{13}\text{C}$  values in all the structural and non-structural metabolites and organ analyzed (data not shown). Rhizomes showed a higher concentration of NSC and N than leaves (Table 1). Moreover, the concentration of NSC in rhizomes was significantly lower in the acidified than in the control sites (Table 1), whereas the concentration of NSC (Table 1) and of structural C compounds (data not shown) were not significantly different between the sites. The reduced NSC concentration in rhizomes of the acidified sites was mainly due to a reduction of sucrose, whereas starch was not statistically affected (data not

shown). The higher N content in rhizomes than leaves was associated with a higher amount of both total proteins and free amino acids and a higher  $\delta^{15}\text{N}$  (data not shown). Moreover, the acidified sites showed a much higher amount of N in both leaf and rhizome samples (Table 1).

Table 1 – Carbon isotope composition ( $\delta^{13}\text{C}$ ) of leaf and rhizome dry matter, concentration of non-structural carbohydrates (NSC) and nitrogen content (N) in leaf and rhizome of *P. oceanica* growing a pH 8.1 (Control) and pH 7.8 (Acidified) at the Castello Aragonese. Values are means  $\pm$  SE (n=12).

Site	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		NSC (mg gDW <sup>-1</sup> )		N (mg gDW <sup>-1</sup> )	
	Leaf	Rhizome	Leaf	Rhizome	Leaf	Rhizome
<b>Control</b>	-14.3 $\pm$ 0.2	-13.9 $\pm$ 0.2	152 $\pm$ 19	286 $\pm$ 22	13.5 $\pm$ 0.4	31.8 $\pm$ 3.1
<b>Acidified</b>	-15.3 $\pm$ 0.5	-15.3 $\pm$ 0.3	135 $\pm$ 20	224 $\pm$ 16	16.9 $\pm$ 0.6	41.8 $\pm$ 2.2

## Discussion

A distinct effect of water acidification on photosynthetic metabolism was assessed by C isotopic analysis, although previous works did not show significant differences of photosynthetic performance between sites [3, 4]. Plants growing at pH 7.8 showed a lower  $\delta^{13}\text{C}$  in both leaf and rhizome than those growing at pH 8.1, suggesting a lower  $\delta^{13}\text{C}$  value of the photosynthetic C source and/or an increased C isotope discrimination due to a change in the  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$  ratio under acidified condition [1, 10, 14]. Plants of *P. oceanica* growing at pH 8.1 (that can be considered a normal value for marine environments) showed a lower shoot density associated with a higher concentration of NSC in rhizomes than those growing at pH 7.8, suggesting an effect of acidification on C partitioning and energy allocation between source and sink tissues. Plants growing in the acidified sites were subjected to a higher grazing rate [1] that could induce shoot recruitment and replacement of grazed leaf material, causing an increase in shoot density driving the mobilization of C reserves stored as NSC in rhizomes. Indeed, rhizomes of *P. oceanica* represents robust C storage organs. Hence, the mobilization of NSC stored into the rhizomes to above-ground organs could represent a physiological response mechanism to the increasing grazing pressure. The higher N content at pH 7.8 observed in both rhizomes and leaves suggested an increase of N input in the acidified sites. This caused a decrease of the C/N ratio in above- and below-ground organs, indicating a higher nutritional quality of organic matter in the acidified site that could affect the grazing activity [10]. Moreover, rhizomes stored a higher amount of  $^{15}\text{N}$ -enriched nitrogen compounds than leaves, especially in the acidified sites where rhizomes showed the highest N content. Consequently, a significant negative relationship between N and NSC in rhizomes was observed (data not shown), suggesting a strict link between C and N metabolism in these storage organs, as previously suggested in N fertilized sites [6].

## Conclusions

In conclusion, our results highlight direct and/or indirect impacts of ocean acidification and high CO<sub>2</sub> level on structural and functional characteristics of *P. oceanica* meadows. The different pH affected  $\delta^{13}\text{C}$  of C compounds, grazing rate and shoot density of the *P. oceanica* stand growing in the acidified site. The structural differences between acidified and control sites were associated with changes in energy allocation and C and N partitioning, with an increase of N content in above and below-ground organs and a decrease of non-structural carbohydrate reserves of rhizomes in the low pH stand. These changes could have a role in affecting survival and distribution of *P. oceanica* under future climatic conditions, with potential effects on structure and functionality of Mediterranean marine ecosystems.

## Acknowledgments

The study was supported by the Flagship Project RITMARE coordinated by CNR and funded by MIUR within the National Research Program 2011-2013. The authors wish to thank Luciano Spaccino for its assistance in samples preparation and carbon and nitrogen stable isotopes analyses.

## References

- [1] Apostolaki E.T., Vizzini S., Hendriks I.E., Olsen Y.S. - *Seagrass ecosystem response to long-term high CO<sub>2</sub> in a Mediterranean volcanic vent*, Mar. Environ. Res. (2014) 99, 9–15.
- [2] Doney S.C., Fabry V.J., Feely R.A., Kleypas J.A. (2009) *Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem*, Annu. Rev. Mar. Sci. (2009) 1, 169-192.
- [3] Garrard S.L. - *The effect of ocean acidification on plant-animal interactions in a Posidonia oceanica meadow*. Thesis (PhD) - Open University (2013), pp. 296.
- [4] Hall-Spencer J.M., Rodolfo-Metalpa R., Martin S., Ransom E., Fine M., Turner S.M., Rowley S.J., Tedesco D., Buia M.C. - *Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification*, Nature (2008) 454, 96–99.
- [5] Hutchins D.A., Mulholland M.R., Fu F. - *Nutrient cycles and marine microbes in a CO<sub>2</sub>-enriched ocean*, Oceanography (2009) 22, 128–145.
- [6] Invers O., Kraemer G.P., Pérez M., Romero J. - *Effects of nitrogen addition on nitrogen metabolism and carbon reserves in the temperate seagrass Posidonia oceanica*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol. (2004) 303, 97– 114.
- [7] Lauritano C., Ruocco M., Dattolo E., Buia M.C., Silva J., Santos R., Olivé I., Costa M.M., Procaccini G. - *Response of key stress-related genes of the seagrass Posidonia oceanica in the vicinity of submarine volcanic vents*, Biogeosciences (2015) 12, 4185–4194.
- [8] Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V. - *Plant-animal trophic relationships in the Posidonia oceanica ecosystem of the Mediterranean Sea: a review*. In: John D.M., Hawkins S.J., Price J.H. (Eds.),

- Plant Animal Interactions in the Marine Benthos, Syst. Assoc. Spec. (1992), Clarendon Press, Oxford, vol. 46, pp. 165–187.
- [9] Moscatello S., Famiani F., Proietti S., Farinelli D., Battistelli A. - *Sucrose synthase dominates carbohydrate metabolism and relative growth rate in growing kiwifruit (Actinidia deliciosa, cv Hayward)*, Sci. Hortic. (2011) 128(3), 197-205.
- [10] Ricevuto E., Vizzini S., Gambi M.C. - *Ocean acidification effects on stable isotope signatures and trophic interactions of polychaete consumers and organic matter sources at a CO<sub>2</sub> shallow vent system*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol. (2015) 468,105–117.
- [11] Santi G., Proietti S., Moscatello S., Stefanoni W., Battistelli A. - *Anaerobic digestion of corn silage on a commercial scale: Differential utilization of its chemical constituents and characterization of the solid digestate*, Biomass Bioenerg. (2015) 83, 17-22.
- [12] Telesca L., Belluscio A., Criscoli A., Ardizzone A., Apostolaki E.T., Fraschetti S., Gristina M., Knittweis L., Martin C.S., Pergent G., Alagna A., Badalamenti F., Garofalo G., Gerakaris V., Pace M.L., Pergent-Martini C., Salomidi M. - *Seagrass meadows (Posidonia oceanica) distribution and trajectories of change*, Sci. Rep. (2015) 5, 12505, doi:[10.1038/srep12505](https://doi.org/10.1038/srep12505)
- [13] Vizzini S., Di Leonardo R., Costa V., Tramati C.D., Luzzu F., Mazzola A. - *Trace element bias in the use of CO<sub>2</sub> vents as analogues for low pH environments: Implications for contamination levels in acidified oceans*, Estuar. Coast. Shelf S. (2013) 134, 19–30.
- [14] Vizzini S., Tomasello A., Di Maida G., Pirrotta M., Mazzola A., Calvo S. - *Effect of explosive shallow hydrothermal vents on  $\delta^{13}C$  and growth performance in the seagrass Posidonia oceanica*, J. Ecol. (2010) 98, 1284–1291.



# MONITORAGGIO DELLA FLORA E DELLA VEGETAZIONE NEL NUOVO ARGINE DEL BELLAROSA MAGGIORE - LIFE 10NAT/IT/00256 - MC-SALT - ACTION E3 MONITORING EX-POST ABIOTIC AND BIOTIC CHARACTERISTICS AT THE MOLENTARGIUS

Gianmarco Serri<sup>1</sup>, Nicola Sulas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>SERVIT Società Cooperativa, Viale Sant'Avendrace, 128 - 09122 Cagliari  
Tel. 328 5871043/328 5613784, e-mail: gianmark@yahoo.it/nsulas@yahoo.it

**Riassunto** – Lo scopo del lavoro consiste nel monitorare la colonizzazione da parte della vegetazione di un argine di nuova realizzazione parallelo al margine ovest dello stagno Bellarosa Maggiore, nel comprensorio di Molentargius, all'interno del Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline. L'argine, realizzato utilizzando materiale presente in loco, ricostituisce un argine preesistente quasi completamente in rovina ed ha lo scopo di convogliare l'acqua di mare all'interno del Bellarosa Maggiore, ex vasca di prima evaporazione delle vecchie saline.

Il monitoraggio è stato preceduto dal rilievo delle aree emerse tramite GPS. Successivamente, si è proceduto a pianificare dei sopralluoghi periodici allo scopo di valutare lo sviluppo della vegetazione al variare delle stagioni. Si è proceduto adoperando il metodo fitosociologico classico, identificando dei transetti rappresentativi lungo l'argine su cui effettuare i rilievi. Per ciascuno dei transetti è stata redatta la lista delle specie presenti, a cui è stata associata una stima dell'abbondanza-dominanza e della sociabilità. Sulla base di questo sono state identificate le associazioni vegetali presenti. Ogni specie è stata inoltre classificata per forma biologica e corologica. I dati raccolti sono stati utilizzati insieme alla cartografia di base per realizzare un GIS. Nel GIS sono stati evidenziati gli habitat Natura 2000, direttiva 92/43/CEE.

## Introduzione

Il progetto Life 10 NAT/IT/000256 “ENVIRONMENTAL AND CONSERVATION IN MEDITERRANEAN SALT WORKS AND COSTAL LAGOONS”, proposto dall'Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità – Delta del Po, in qualità di beneficiario coordinante in partenariato con altri Enti, tra cui il Parco Naturale Regionale Molentargius Saline, prevede la realizzazione di lavori di ingegneria naturalistica e idraulica aventi come obiettivo la riattivazione della circolazione idraulica all'interno dello stagno del Bellarosa Maggiore, allo scopo di garantire un veloce ricambio idrico, un controllo continuo e una conseguente regimentazione del battente idraulico, nonché il monitoraggio costante dei parametri mesologici.

La conclusione dei lavori ha portato alla realizzazione di un argine necessario alla regolazione dell'afflusso d'acqua di mare nel Bellarosa Maggiore (ex bacino di prima evaporazione delle saline, attualmente non in produzione). La sua conformazione si sviluppa in corrispondenza dell'argine esistente in passato, del quale rimanevano prima dell'inizio dei

lavori solamente alcune parti relittuali [6]. La nuova opera forma un canale che scorre lungo la parte ovest del bacino, arrivando in testa alla vasca di prima evaporazione.

L'argine è stato realizzato costruendo una massicciata di base avente funzione stabilizzante e antiersiva su cui è stato in seguito posizionato un rilevato di sedimento prelevato in loco costituito in maggior parte da sabbia e argilla contenenti una tanatocenosi a gasteropodi e bivalvi. Lungo l'argine sono state realizzate sei chiuse regolabili con paratoie allo scopo di governare gli ingressi dell'acqua di mare in zone diverse a seconda delle necessità. Il nuovo rilevato ha una lunghezza complessiva di circa 2,3 km e una larghezza media di circa 6 metri. Le dimensioni sono state rilevate con l'ausilio di un GPS topografico.

Nell'ambito dei lavori sono stati realizzati anche due isolotti, attrezzati con strutture in legno e cordame che consentono la nidificazione di specie ornitologiche diverse dai fenicotteri, aventi superfici medie di circa 400 m<sup>2</sup> ciascuno e affiancati ad un isolotto già esistente. È stato inoltre realizzato un ulteriore argine di settorizzazione, con lo scopo di incrementare la superficie potenziale per la nidificazione dei fenicotteri.

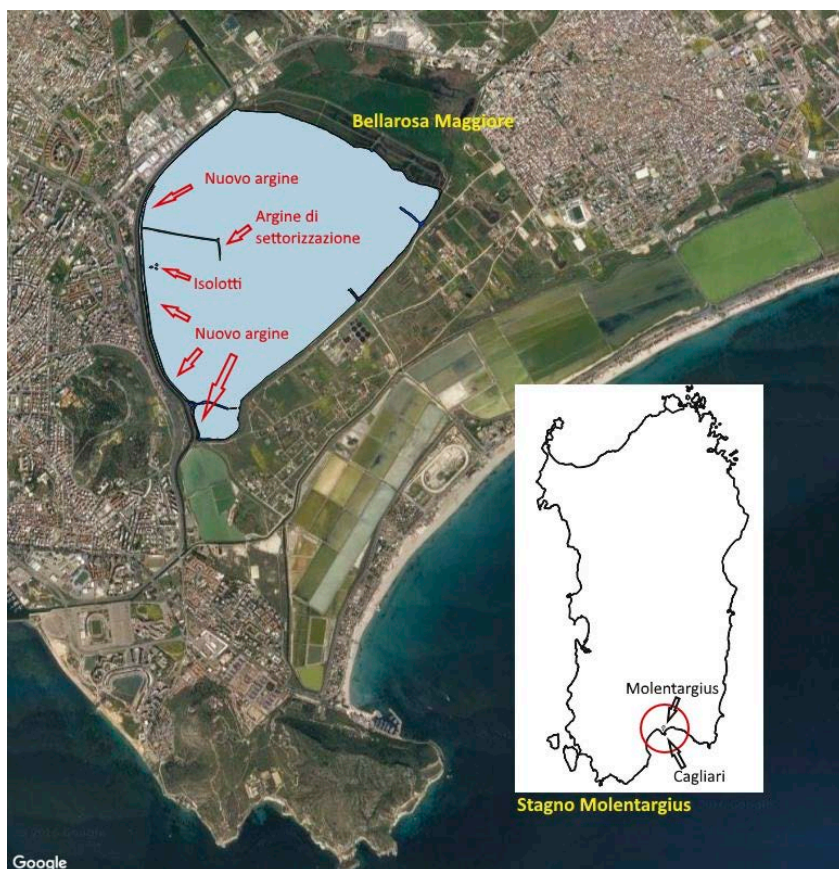


Figura 1 – Inquadramento dei luoghi.

## Materiali e metodi

Si è adoperato il metodo delle fitosociologia classica, volto all'individuazione delle associazioni vegetali, caratterizzate da una composizione floristica determinata la cui presenza indica un'ecologia specifica ed autonoma.

Sono state determinate le specie caratteristiche del raggruppamento vegetale e si è stimata la copertura e l'aggregazione degli individui, a cui sono stati attribuiti gli indici di abbondanza-dominanza e sociabilità. Dall'analisi di questi indici è possibile verificare i rapporti (dinamici o spaziali) che esistono tra le diverse comunità.

I lavori di monitoraggio sono iniziati a dicembre 2014 e sono proseguiti al momento sino al mese di aprile 2016, preceduti dal rilievo tramite GPS topografico dell'estensione del nuovo argine, degli isolotti e dell'argine di settorizzazione. Si è deciso di attuare almeno un'indagine mensile, con interruzione durante la nidificazione dell'avifauna, tra il periodo tardo-primaverile ed estivo.

Nell'effettuare i rilievi sono stati identificati otto transetti rappresentanti aree omogenee, lungo i quali è stata effettuata la determinazione delle specie, eccezion fatta per il margine di settorizzazione, il quale si è presentato sempre pressoché privo di vegetazione. Ad ogni transetto è stato attribuito un codice:

- TR\_AR01
- TR\_AR02
- TR\_AR03
- TR\_AR04
- TR\_CN01
- TR\_IS01
- TR\_IS02
- TR\_IS03

Ad ogni specie determinata è stata associata la forma biologica e corologica, sono stati attribuiti gli indici di abbondanza-dominanza e sociabilità ed è stata inoltre rilevata l'associazione vegetale di riferimento. In seguito, è stato definito l'habitat Natura 2000 relativo. I dati raccolti sono stati inseriti in un GIS realizzato con il software open source QGis, con sistema di riferimento Gauss Boaga fuso ovest (Roma 40). Nel GIS sono stati riportati sotto forma di layer lineare i transetti e sotto forma di layer poligonale l'estensione del nuovo argine e gli habitat Natura 2000.

## Risultati

Il numero totale di specie rinvenute è 17, distribuite in 14 generi e 6 famiglie. I generi più rappresentati sono *Sarcocornia*, *Suaeda* e *Parapholis*, con 2 specie rinvenute per ciascuno. La famiglia con più specie è quella delle Chenopodiaceae (6), seguita dalle Poaceae (5) e dalle Asteraceae, (3). Questi dati sono da correlare con lo spettro biologico, nel quale le Terofite (T) e le Camefite (CH), le cui specie appartengono alle famiglie più rappresentate, hanno un'elevata percentuale; esse sono inoltre espressione ecologica dell'ambiente indagato, arido e con ridotte disponibilità idriche a causa dell'elevata concentrazione salina nei substrati.

Tabella 1 – Specie rinvenute suddivise per famiglia, con forma biologica e corologica [9].

Famiglia	Specie	Forma biologica	Forma corologica
ASTERACEAE	<i>Artemisia arborescens</i> (Vaill.) L.	Np	S-Medit.
	<i>Senecio leucanthemifolius</i> Poir. subsp. <i>leucanthemifolius</i>	T	S-Medit.
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	H	Subcosmop.
CARYOPHYLLACEAE	<i>Spergularia salina</i> J. & C. Presl	T	Subcosmop.
CHENOPODIACEAE	<i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moric.) Moris	Ch	Medit.-Macarones.
	<i>Atriplex portulacoides</i> L.	Ch	Circumbor.
	<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	Ch	Euri-Medit. e Sudaf.
	<i>Sarcocornia perennis</i> (Mill.) A.J. Scott	Ch	Euri-Medit.
	<i>Suaeda maritima</i> (L.) Dumort.	Ch	Cosmop. (alofila)
PLANTAGINACEAE	<i>Suaeda vera</i> J.F. Gmel.	T	S-Medit.-Turan.
	<i>Plantago coronopus</i> L. subsp. <i>coronopus</i>	T	Euri-Medit.
POACEAE	<i>Parapholis filiformis</i> (Roth) C.E. Hubb	T	Medit.-Atl.
	<i>Parapholis incurva</i> (L.) C.E. Hubb	T	Medit.-Atl.
	<i>Phleum arenarium</i> L. subsp. <i>caesium</i> H. Scholz	T	Medit.-Atl.
	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	G	Subcosmop.
	<i>Sphenopus divaricatus</i> (Gouan) Rchb	T	S-Medit.-Turan.
RUPIACEAE	<i>Ruppia maritima</i> L.	I Rad	Cosmop.

Tabella 2 – Associazione: *Puccinellio festuciformis-Sarcocornietum fruticosae*.

ID rilievo	TR_AR01	TR_AR02	TR_AR03	TR_AR04	TR_IS01	TR_IS02	TR_IS03
<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	10	10	20	50	10	10	10
<b>Copertura (%)</b>	40	40	20	10	35	70	60
<b>N. specie</b>	8	3	3	4	4	8	4
<b>Caratt. ass.</b>							
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	3.3	3.3	+1	+2	+2	3.3	3.3
<b>Caratt. unità sup.</b>							
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i> (Moric.) Moris	+1		1.2		+1	1.2	1.2
<i>Atriplex portulacoides</i> L.		r.1					
<i>Sarcocornia perennis</i> (Mill.) A.J. Scott				+2		+1	
<b>Compagne</b>							
<i>Suaeda vera</i> J. F. Gmel.	+1		+1		+1		
<i>Parapholis incurva</i> (L.) C.E.Hubb.	+1					+1	+1
<i>Sphenopus divaricatus</i> (Gouan) Rchb						+1	
<i>Parapholis filiformis</i> (Roth) C.E. Hubb	1.1						
<i>Phleum arenarium</i> L. subsp. <i>caesium</i> H. Scholz	+1						
<i>Spergularia salina</i> J. & C. Presl	+1						
<i>Suaeda maritima</i> (L.) Dumort.					1.1		
<b>Sporadiche</b>							
<i>Artemisia arborescens</i> (Vaill.) L.				1.1		+1	
<i>Plantago coronopus</i> L. subsp. <i>coronopus</i>	+1					+1	
<i>Sonchus oleraceus</i> L.						+1	+1
<i>Senecio leucanthemifolius</i> Poir. subsp. <i>leucanthemifolius</i>		+1					
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.				1.1			

Tabella 3 – Associazione: *Enteromorpha intestinalidis-Ruppium maritima*.

ID rilievo	TR CN01
Superficie (m <sup>2</sup> )	2
Copertura (%)	75
N. specie	2
<b>Caratt. ass.</b>	
<i>Enteromorpha</i> sp.	1.2
<b>Caratt. unità sup.</b>	
<i>Ruppia maritima</i> L.	4.4

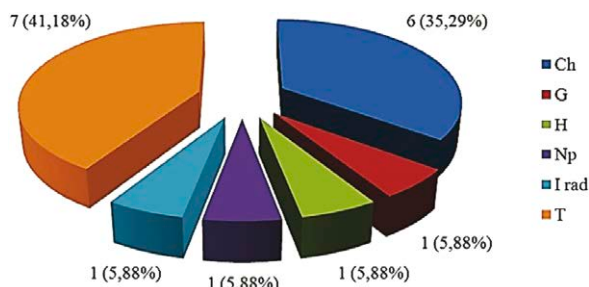


Figura 2 – Spettro biologico (numero di specie e percentuale)

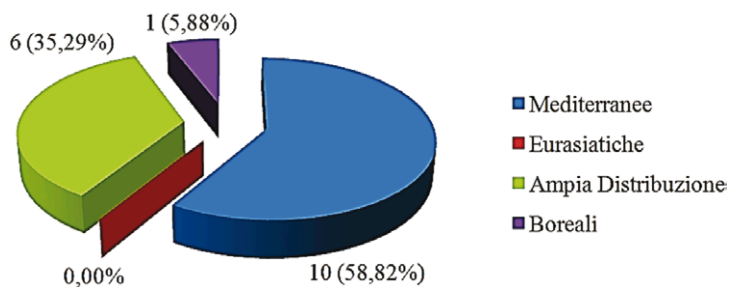


Figura 3 – Spettro corologico totale (numero di specie e percentuale).

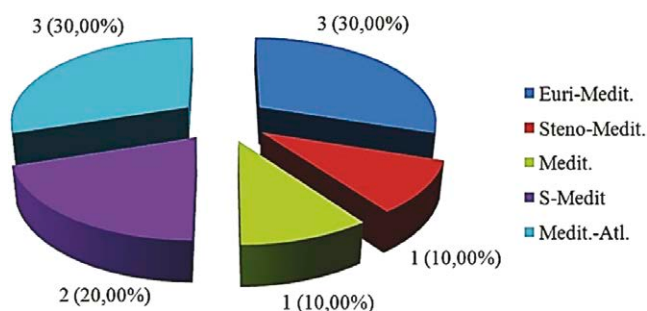


Figura 4 – Spettro corologico entità mediterranee (numero di specie e percentuale).

## Schema sintassonomico associazioni vegetali (Classe, Ordine, Alleanza, Associazione)

*RUPPIETEA* J. Tüxen

*Ruppietalia maritimae* J. Tüxen. 1960

*Ruppion maritimae* Br.-Bl. ex Westhoff in Bennema, Sissingh & Westhoff, 1943

*Enteromorpha intestinalidis-Ruppietum maritimae* Westhoff ex Tüxen & Böckelmann 1957

*SARCOCORNIETEA FRUTICOSAE* Br.-Bl. & R. Tüxen O. Bolòs 1950 em. O. Bolòs 1967

*Sarcocornietalia fruticosae* Br.-Bl. 1933 em. O. Bolòs 1967

*Sarcocornion fruticosae* Br.-Bl. 1931

*Puccinellio festuciformis-Sarcocornietum fruticosae* (Br.-Bl 1928) 1952 Géhu 1976

## Vegetazione e relazione con gli Habitat Natura 2000 (Direttiva 92/43/CEE)

Le classi vegetali determinate sono due: *Sarcocornietea Fruticosae* e *Ruppietea*, appartenenti rispettivamente agli habitat natura 2000, direttiva 92/43/CEE, **1420 - Praterie e fruticeti alofili mediterranei e termo-atlantici** e **1150\* - Lagune costiere**. Il primo habitat è formato da una vegetazione alofila perenne costituita principalmente da Camefite e Nanofanerofite succulente dei generi *Sarcocornia* e *Arthrocnemum*, che formano comunità su suoli inondata di tipo argilloso, da iperalini a mesoalini, soggetti anche a lunghi periodi di disseccamento. Essi sono ambienti ideali per la nidificazione di molte specie di uccelli. Il secondo habitat è indicato come prioritario e costituisce ambienti acquatici costieri con acque, salate o salmastre, poco profonde, caratterizzate da notevoli variazioni stagionali in salinità e in profondità in relazione agli apporti idrici (marini o continentali), alla piovosità e alla temperatura, che condizionano l'evaporazione [3]. Nel nostro caso, questo habitat ha un contatto indiretto con il mare per mezzo di un sistema di pompaggio che preleva l'acqua di mare e la porta al suo interno grazie a un canale e al nuovo argine realizzato [7].

Tabella 4 – Comparazione quantitativa degli habitat prima e dopo i lavori (limitatamente al Bellarosa Maggiore).

Habitat	Superficie 2013 (m <sup>2</sup> )	Perimetro 2013 (m)	Rapporto P/S 2013	Superficie 2015 (m <sup>2</sup> )	Perimetro 2015 (m)	Rapporto P/S 2015
1150*	4158138,317	11252,663	0,003	4135572,664	11432,551	0,003
1420	69136,445	20079,217	0,290	23790,845	6664,452	0,280

Come evidente, il rapporto perimetro/superficie dell'habitat 1150\* si è mantenuto basso. Questo indica che esso è poco vulnerabile, e ciò è ovvio se si considera la morfologia del Bellarosa Maggiore. Al contrario, essendo il nuovo ed i vecchi argini di forma stretta e allungata, il rapporto per l'habitat 1420 è elevato. Questo indica una maggiore vulnerabilità [1].

## Discussione

Lo scopo del lavoro consiste nel verificare la colonizzazione da parte della vegetazione di un substrato artificiale completamente spoglio realizzato in modo tale da fornire condizioni ambientali ideali. L'argine è infatti costituito da materiale presente in loco, con fanghi e argille che formano la base del terreno emerso su cui si sviluppa naturalmente la vegetazione del Molentargius. In un ambiente soggetto a forti variazioni delle condizioni ambientali come quello delle zone umide costiere della Sardegna, tuttavia la formazione di associazioni vegetali stabili richiede tempo e condizioni ottimali. Queste condizioni, nel caso specifico, sono mantenute principalmente dal sistema artificiale di circolazione delle acque salate, che mantiene il più possibile regolare il regime idraulico e determina le condizioni ecologiche fondamentali per la formazione di associazioni costituite da specie alofile. Queste associazioni sono presenti con un buon grado di sviluppo nel comparto del Bellarosa Maggiore [8]. In seguito alla costruzione del nuovo argine, le associazioni vegetali rinvenute in precedenza non hanno subito stress o modifiche apprezzabili.

Nel corso dei rilievi si è potuto constatare come sia avvenuta la colonizzazione sulla nuova superficie disponibile. All'analisi dei dati, si è potuto constatare che la crescita di vegetazione presenta due aspetti fondamentali: una copertura della superficie disponibile nel complesso di non elevata importanza e una generale mancanza di uniformità. La copertura si può considerare scarsa, sul complesso di tutta l'area disponibile, ammontante, secondo un calcolo approssimativo, a 1,4 ettari. Questo per quanto riguarda solamente l'argine ovest, non considerando quindi l'argine di settorizzazione e gli isolotti per la nidificazione. In questi ultimi, la copertura al momento è discreta, mentre l'argine di settorizzazione è quasi completamente spoglio di vegetazione. Le ragioni di questo sono imputabili, probabilmente, alla continua presenza dell'avifauna, notevole durante il periodo della nidificazione, il cui calpestio ed il deposito di guano potrebbero fungere da fattori limitanti. Di contro, gli isolotti, pur presentando le stesse condizioni ecologiche, hanno sviluppato una situazione opposta. Ciò è attribuibile alla presenza della struttura in pali di legno, corda e cavi metallici che limita il transito delle specie ornitiche di maggiori dimensioni (soprattutto fenicotteri), consentendo alla vegetazione una maggiore possibilità di sviluppo.

Lungo il rilevato dell'argine, la vegetazione presenta copertura maggiore alle estremità nord e sud, con graduale riduzione verso il centro, nel quale la colonizzazione è avvenuta a macchia in maniera puntuale e casuale. Nella sponda esterna dell'argine è avvenuto un processo di colonizzazione più intenso, forse a causa del continuo scorrimento dell'acqua che permette il mantenimento costante delle condizioni ecologiche. La parte che ha subito una minore copertura è invece quella del rialzo centrale.

Per quanto riguarda le specie identificate, esse appartengono principalmente ai generi *Sarcocornia* e *Arthrocnemum*. Esse sono state rinvenute allo stadio di plantula all'inizio del monitoraggio e si sono sviluppate in seguito. Si tratta di "salicornie" perenni appartenenti alla classe *Sarcocornietea fruticosae*, tipiche delle zone umide salmastre della Sardegna [4] [5].

Assieme ad esse sono state rinvenute altre specie alofile, appartenenti al genere *Suaeda*, e altre non direttamente legate ad ambienti salmastri, principalmente delle famiglie delle Asteraceae e Poaceae. Tra le Asteraceae, da notare la presenza di individui del genere *Artemisia* in prossimità dell'estremità nord dell'argine [2].

Sono stati inoltre rinvenuti alcuni individui giovani di *Phragmites australis* lungo l'argine, la cui presenza è considerabile causale e non persistente, ed il cui impianto compatibile con l'area in esame. Da evidenziare la presenza della *Ruppia maritima*, già segnalata nel canale immissario, che va a costituire la classe *Ruppieteae*, ben rappresenta nel parco Molentargius. Questa è stata rinvenuta in corrispondenza della prima chiusa nella parte sud dell'argine, e la sua presenza è importante in quanto indica una buona qualità generale dell'acqua.

## Conclusioni

Il monitoraggio ha permesso di verificare la colonizzazione da parte delle associazioni vegetali di una superficie completamente spoglia che si è resa disponibile a partire dalla conclusione dei lavori previsti dal progetto LIFE. Alla partenza del monitoraggio si è riscontrata immediatamente la presenza di plantule di *Sarcocornia*, *Arthrocnemum*, *Suaeda*, e *Artemisia*, le quali nei mesi successivi si sono sviluppate senza difficoltà apparenti. Nel contempo è aumentata la copertura, con un andamento lento e costante ma non omogeneo. Tuttavia, il tasso di crescita non è stato elevato. Si ritiene che questa lentezza sia dovuta a cause naturali e non sia inficiata da fattori dovuti ai lavori stessi ed alla gestione del comparto ambientale. Le condizioni ecologiche di partenza sono inoltre le stesse di tutte le aree circostanti. Si presume quindi che la piena integrazione con l'ambiente naturale si verificherà col passare del tempo e richiederà un periodo variabile e non stimabile.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Barbara Montisci per l'aiuto fornito durante i campionamenti e le Dottoresse Luisanna Massa e Laura Durante, del Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline, per il supporto.

## Bibliografia

- [1] [http://sgi1.isprambiente.it/zoneumide/allegati/Biotopi\\_Umidi\\_rev05.pdf](http://sgi1.isprambiente.it/zoneumide/allegati/Biotopi_Umidi_rev05.pdf)
- [2] Bianco P. M., Casella L., - *Relazioni Specie-Habitat Nelle Aree Umide Italiane*.
- [3] Biondi E., Allegrezza M. & Filigheddu R., - *Su alcune formazioni ad Artemisia arborescens L. della Sardegna settentrionale*. Boll. Soc. Sarda Sci. Nat., (1988) 26: 177-185.
- [4] [http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/biblioteca/protezione\\_natura/manuale\\_interpretazione\\_habitat\\_it.pdf](http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/biblioteca/protezione_natura/manuale_interpretazione_habitat_it.pdf)
- [5] Biondi E., Blasi C., Burrascano S., Casavecchia S., Copiz R., Del Vico E., Galdenzi D., Gigante D., Lasen C., Spampinato G., Venanzoni R., Zivkovic L., - *Manuale Italiano di interpretazione degli Habitat (Direttiva 92/43/CEE)*. Società Botanica Italiana Onlus.



- [6] Biondi E., Brugiapaglia E., Farris E., Filigheddu R. & Secchi Z., - *Halophilus vegetation of Olbia pond system (NE-Sardinia)*. Fitosociologia vol. 41 (1) (2004) – Suppl. 1: 125-141.
- [7] Biondi E., Filigheddu R. & Farris E., - *Cartography and diachronic analysis of the vegetation of S'Ena Arrubia Lagoon (Centre-Western Sardinia)*. Fitosociologia vol. 41 (1) (2004) suppl. 1.
- [8] De Martis G., *Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline - Flora: stato attuale e confronto con le situazioni preesistenti*. (2008) Tesi di Dottorato, Cagliari.
- [9] De Martis G., Mulas B., - *La flora del Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline: stato attuale e confronto con le situazioni preesistenti*. Rend. Sem. Fac. Sci. Cagliari (2008) 78 fasc. 2.
- [10] De Martis G., Serri G., - *L'analisi fitosociologica della vegetazione per il monitoraggio degli habitat nel Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline (Sardegna meridionale). Primi risultati*. Informatore Botanico Italiano, 41 (2) (2009) 293-301.
- [11] Pignatti S., *Flora d'Italia*. (1982) 1-3. Edagricole Ed. Bologna.

## **SESSION**

# **COASTAL LANDSCAPES: PAST AND PRESENT ASPECTS OF HUMAN INFLUENCE**

**Chairman: Biagio Guccione**  
**Dipartimento di Architettura**  
**Università degli Studi di Firenze**



## IL PAESAGGIO COSTIERO: FORME DI ANTROPIZZAZIONE DI IERI E DI OGGI

Il paesaggio costiero è uno dei temi più frequentati dalla cultura paesaggistica contemporanea. Su questo tema si sono confrontati molti studiosi ed esistono innumerevoli saggi.

Ricordo che quando cominciai ad occuparmi di paesaggistica, nel lontano 1973, fra i primi studi che mi capitarono fra le mani, c'era quello di Hans Kiemstedt, un professore di architettura del paesaggio di Berlino, che già studiava *l'effetto del limite*, il rapporto bosco / prato, coltivo/abbandonato, eccetera. Ma il rapporto terra/mare era ed è uno dei nodi principali dell'effetto del limite, soprattutto per un paese come il nostro che ha più di 7 000 chilometri di costa. Oramai si viaggia soprattutto in aereo e il paesaggio costiero non è più il primo impatto che si ha con un paese, come quando si andava con le navi. Ma resta il fatto che su questo bordo si concentrano tuttora molte dell'attività umane come può essere il turismo estivo, solo per fare l'esempio più scontato. Dunque il paesaggio costiero è oggetto di omologazione, a rischio di diventare un "non luogo" come sostiene l'antropologo Marc Augé. La perdita di identità è il rischio maggiore!

Certamente l'Italia da una parte ha saputo conservare ottimi lacerti di paesaggi naturali incontaminati, come il Parco dell'Uccellina, ed è riuscita a salvaguardare alcuni dialoghi ineccepibili tra insediamenti umani e mare, e citiamo Portofino, Amalfi ed altro poco ancora. Ma per il resto sono più che altro problemi, problemi irrisolti: il così detto *water front* è il tema che molte città mediterranee - ovviamente non solo italiane - stanno affrontando. Pertanto dobbiamo dire un grande grazie al CNR per aver dedicato ben sei simposi a questo tema, perché solo facendo conoscere le buone pratiche potremo di volta in volta affrontare queste tematiche con maggiore consapevolezza e meno superficialità. Al Simposio hanno inviato il loro contributo molti studiosi e ricercatori, e qui segnaliamo solo coloro che sono intervenuti. Ci è sembrato opportuno aprire la sessione con due relazioni che riguardavano la città ospitante, parlando della sua struttura principale: IL PORTO. Interessante è la chiave di lettura del primo intervento di Matteo Scamporrino, un brillante allievo della Scuola di Architettura di Firenze, che ha illustrato la sua ricerca *Rigenerare la città-porto partendo dal controllo visuale. Il caso di Livorno*. L'analisi visuale oramai con i mezzi digitali ci consente di fare verifiche più puntuali, diciamo pure, più scientifiche. Mentre prima capitava spesso che fosse inficiata da implicazioni emotive. Fra l'altro è una delle rare volte che per un porto viene affrontata un'indagine del genere. Questa è di certo una lettura inedita, almeno per quel che riguarda Livorno. Scamporrino con le sue simulazioni ha dato un quadro esaustivo delle problematiche che provocano le navi in un porto, spesso più invadenti degli stessi edifici costruiti.

Anche il secondo intervento è dedicato al porto di Livorno. Francesca Canessa e Fabio Lucchesi hanno indagato su: *Il nuovo ruolo strategico della pianificazione tra acqua e terra nelle dinamiche costiere; il porto di oggi e di domani nella realtà labronica*.

Diversa è la chiave di lettura, che si può sintetizzare in questa frase degli autori: "Il porto agisce sul limite tra acqua e terra spostandone la linea di demarcazione e modificando, via via, il concetto di fascia costiera." Ed è su questo ultimo miglio che gli autori focalizzano la loro ricerca, una ricerca difficile ma originale, in corso d'opera.

Gli autori del terzo intervento, Balestrieri e Giudici, si sono buttati a capofitto sul tema dei temi che riguarda oggi il paesaggio costiero: *Modello di promozione gestionale del paesaggio costiero per la valorizzazione della qualità ambientale ai fini di un turismo di fascia alta e sostenibile*. Nell'immaginario collettivo la costa ed il suo sfruttamento turistico è solo ombrelloni e costumi da bagno. Invece è anche altro e può essere molto di più. Conoscenza dei beni storici presenti, contatto con riserve naturali che ci fanno conoscere il grande patrimonio di flora e fauna peculiare. E questo hanno fatto le due ricercatrici con questa indagine, con la quale hanno preso un campione ricco di questi tesori naturali e storici e ne hanno indicato tutte le potenzialità. Ci troviamo vicino alla grotta di Tiberio di Sperlonga e alla via Appia, un habitat pregevole dove si contano ben 226 differenti di tipi di uccelli.

Iannuzzi e Patrizio, invece, affrontano un tema squisitamente storico: *Storia dell'antica polis di Elea*: da città portuale a insediamento rurale. La loro ricostruzione della vicenda di questa area portuale ci fa rivivere tutti gli accadimenti provocati dalla sabbia e dai detriti dei fiumi che spesso portavano al totale insabbiamento del porto, e costringevano gli abitanti ad abbandonare la struttura, quando non c'era possibilità di dragare il porto.

Ha concluso questa sessione Maria Russo della Seconda Università di Napoli che ha parlato dei *I Fari ottocenteschi del litorale napoletano*, un tema che provoca un'intensa emozione. Oggi i fari sono tutti in dismissione perché diventati inutili, dati i mezzi elettronici potentissimi dei quali è dotata ogni barchetta. Una struggente nostalgia ci assale, ricordi di romanzi e di film, di scene suggestive. I Borboni fra l'altro avevano uno staff tecnico superspecializzato per quei tempi ed hanno lasciato pregevoli esempi di architettura. Russo ha indagato l'intensa azione di rinnovamento di infrastrutture marittime, finalizzata ad aumentare il traffico commerciale, effettuata nel corso del XIX secolo - prima con il governo borbonico, poi con l'unità - conferendo alla rete di fari un ruolo primario, per agevolare e rendere più sicura la navigazione lungo le coste del sud Italia.

Biagio Guccione  
Dipartimento di Architettura  
Università degli Studi di Firenze

# MODELLO DI PROMOZIONE GESTIONALE DEL PAESAGGIO COSTIERO PER LA VALORIZZAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE AI FINI DI UN TURISMO DI FASCIA ALTA E SOSTENIBILE

Rosario Balestrieri<sup>1</sup>, Gabriella N. M. Giudici<sup>2</sup>

<sup>1</sup> C.N.R. – Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Montelibretti, Roma

<sup>2</sup> Agronoma, libera professionista e-mail: [gabriellagiudici@libero.it](mailto:gabriellagiudici@libero.it)

**Riassunto** – Nel presente studio si intende analizzare una porzione del sistema costiero domitio al fine di individuare e potenziare delle aree naturali da proteggere ed inserire in un percorso di sfruttamento turistico di elevata qualità e assoluta sostenibilità. Lo scopo è quello di creare una rivalutazione ecologica dell'intero territorio realizzando un'immagine ambientale utile ai fini economici e di rafforzamento sociale tramite recupero dell'identità del paesaggio costiero esposto a processi di alterazione per urbanizzazione o sfruttamento intensivo. La protezione mira al recupero delle comunità dunali a rischio di scomparsa o impoverimento a causa dell'estinzione/riduzione/erosione genetica di specie il cui areale è limitato all'habitat costiero.

**Abstract** – *This study is the analysis of part of Domitio coast aiming to locate a few natural areas, to be protected for high quality and sustainable touristic exploitation. The general purpose is ecological redeeming of the whole area system to reach an environment-friendly image. This should be used to develop local economy and to promote social improvement through the recovery of landscape identity which is actually at a risk because of urbanization and overexploitation. This policy should ensure the protection of coastal sand dune systems which are in a critic conservation status depending on extinction, reduction and genetic erosion of sand species endemic of limited coastal habitat.*

## Introduzione

Il litorale domitio, e la sua continuazione laziale oltre il corso del Garigliano, è caratterizzato da litorali sabbiosi, con pochi tratti rocciosi; la sua struttura caratteristica è costituita dall'ambiente dunale che nella successione ecologica completa raggiunge nelle formazioni retrocostiere il climax a macchia mediterranea.

L'attuale sistema economico è di basso profilo, a sfruttamento intensivo, che sebbene si differenzi per le attività economiche nell'interno, presenta generalmente livelli economicamente poco evoluti e di intensa pressione ambientale. Al contrario le potenzialità di sviluppo sono elevate, anche se, allo stato attuale, completamente ignorate.

Attraverso l'analisi delle attualità e delle potenzialità di alcune aree, si vuole esaminare la possibilità di realizzare una fattiva protezione di porzioni di ambienti costieri che realizzi la difesa delle specie a rischio di estinzione, contrasti l'erosione del patrimonio

genetico delle specie dunali e ne renda la presenza stabile tramite il loro inserimento nel circuito economico locale.

La capacità di inserire la protezione degli ambienti costieri in un circuito economico virtuoso che si poggia e sviluppa sulla fruizione sostenibile dell'ambiente costiero è cruciale ai fini del successo della protezione. La conservazione dei litorali sabbiosi è un impegno vincolante e riconosciuto da numerosi paesi [6].

## Materiali e Metodi

Le aree oggetto di studio sono state selezionate in funzione della possibilità di recuperare la continuità del sistema dunale in parte o in forma completa.

L'individuazione è avvenuta per campioni e non in forma continua sul litorale, facendosi guidare da indicazioni fornite da studi precedenti [4] [5], osservazioni satellitari, rilevazioni di uccelli migratori, svernati o nidificanti, assumendo che la loro presenza è statisticamente più probabile in comunità ecologiche più strutturate e stabili.

Rilievi sono stati condotti anche in periodo estivo per verificare l'entità dell'impatto delle attività economiche della balneazione.

Dal punto di vista vegetazionale i dati raccolti sono soltanto di tipo qualitativo e fitocenotico, tralasciando la puntuale indicazione specie-specifica, l'estensione ed i dati quantitativi delle singole biocenosi.

La potenzialità di recupero in rapporto allo stato di salute attuale è stata determinata unicamente sulla base delle condizioni ambientali attuali e dell'impatto antropico (attività di discarica, uso balneare, operazioni di pulizia meccanica delle spiagge, area di ingombro delle strutture balneari mobili ecc.). Si è rivolta l'attenzione alle aree a più elevato potenziale evolutivo, piuttosto che alla complessità ecosistemica in atto.

Per la parte ornitologica la pianificazione della raccolta dati in campo è stata preceduta da un'indagine bibliografica e da una consultazione degli archivi web e delle associazioni ornitologiche locali, questi dati possono essere stati raccolti a seguito di progetti specifici o in maniera occasionale. L'elenco specie derivato è stato un utile supporto per la generazione della *check-list* delle specie presenti e per l'individuazione delle rispettive fenologie, con particolare riferimento alla nidificazione. Successivamente si è valutata la mole di dati presenti per le specie nidificanti e si sono individuate le specie d'interesse prioritario presenti nell'area. In seguito sono stati scelti i punti in cui effettuare i rilievi in base ai dati pregressi di presenza e in base all'idoneità ambientale dell'area. I punti di presenza così selezionati sono stati riportati su carta e georeferiti seguendo lo standard *World Geodetic System 84* (WGS84), UTM 33N. I rilievi sono stati condotti in base alla fenologia della specie, e seguendo i metodi più validi conosciuti in letteratura. Per quanto riguarda il monitoraggio dell'avifauna nidificante, è stato scelto come metodo di campionamento quello dei punti di ascolto [2], considerato uno standard comune a livello europeo [1]. Questa volta i punti scelti per il campionamento all'interno dell'area SIC sono stati generati in maniera casuale. Si è avuta cura di mantenere una distanza tra un punto e l'altro di 500 metri, per evitare doppi conteggi e ripetizioni. In ogni punto sono stati effettuati 10 minuti di ascolto ed osservazione tramite un binocolo ad alta luminosità 10x56, annotando tutte le specie viste o sentite. Inoltre, per avere una maggior accuratezza nell'indagine, sono stati utilizzati dei registratori digitali per controllare le vocalizzazioni incerte o non sentite sul campo.

## Risultati e discussione

Sono state pertanto identificate le seguenti aree:

SPIAGGIA ANTISTANTE L'AREA ARCHEOLOGICA DI CUMA, che si continua con un sistema retrodunale stabilizzato e recintato alle spalle del quale vi è la lecceta gestita dal corpo forestale dello stato. La duna esterna risulta compressa anche se ricca di specie. Il sistema retrodunale, seppur recintato, presenta molti varchi, elevata frequentazione e calpestio, nonché passaggio di veicoli da corsa ippica. La comunità è ben insediata.

L'avifauna del sito è caratterizzata da una forte componente di specie rupicole come il passero solitario (*Monticola solitarius*) ed il falco pellegrino (*Falco peregrinus*) che sorvolano la zona dunale per l'attività di foraggiamento. Nella vegetazione che caratterizza l'area è presente tutta la comunità passeriforme nidificante tipica di quest'ambiente con una buona presenza di silvidi come l'occhicotto (*Sylvia melanocephala*), la capinera (*Sylvia atricapilla*), e la sterpazzolina (*Sylvia cantillans*)



Figura 1 – Foresta di Cuma e vegetazione dunale.

Quest'area, pur poco curata allo stato attuale, presenta tutti gli elementi per:

- Una ricostituzione completa del sistema spiaggia – duna.
- La possibilità di un sistema di protezione complesso comprendente aree di protezione integrale, aree di fruibilità sostenibile, percorsi didattici e aree di recupero/riproduzione



delle specie a rischio. La presenza dell'attrattore del parco archeologico consente lo sviluppo di un circuito di qualità elevata e di redditività economica svincolata dallo sfruttamento selvaggio. La presenza del corpo forestale rende possibile la creazione di vivai riproduttivi e dimostrativi per le specie dunali da utilizzare in interventi di propagazione, di conservazione, o di attività progettuali di studio della biologia delle specie litorali.

#### SPIAGGIA ANTISTANTE IL LAGO FUSARO E IN PROSSIMITÀ DELLA FOCE DEL LAGO

Sono presenti stabilimenti balneari con forte cementificazione fino alla spiaggia; seppure in forma discontinua, esistono ancora dei tratti di litorale con continuità nell'entroterra, anche se fortemente degradati oppure occupati da piccole attività agricole o da ruderi. La foce del canale dell'estuario del Fusaro è estesamente cementificata.

L'Avifauna rilevata presso quest'area si presenta complessa ed interessante in tutte le fasi fenologiche, infatti durante la nidificazione risultano presenti specie importanti per l'ambiente dunale come il corriere piccolo (*Charadrius dubius*) ed il fratino (*Charadrius alexandrinus*). Inoltre la zona è un importante sito di svernamento per il raro gabbiano corso (*Ichthyæetus audouinii*) e per il cormorano (*Phalacrocorax carbo*) che presso il lago costituisce dormitori di oltre 700 individui. In migrazione vengono segnalate moltissime specie di laridi, sternidi ed anatidi.

Quest'area si presenta troppo compromessa e ristretta per rappresentare una significativa zona di riserva e reintegrazione, tuttavia la presenza delle zone umide prospicienti il mare e dell'interessante avifauna la rendono adatta a percorsi didattici per l'osservazione degli uccelli e della flora dunale. Piccoli vivai delle specie dunali a rischio possono esservi impiantati tanto con finalità di ripopolamento, tanto a fini commerciali come integrazione economica alternativa allo sfruttamento balneare.

#### SPIAGGIA DI CASTELVOLTURNO A NORD DELLO SBOCCO DEL CANALE DEL LAGO PATRIA ED ANTISTANTE LA RISERVA FORESTALE DI CASTELVOLTURNO coordinate gps 40.957858, 13.996491

Esistono tre aree potenzialmente interessanti, con una comunità costiera fortemente impoverita e con presenze estranee alla flora delle sabbie. Una è fortemente degradata, occupata dai ruderi diroccati di precedenti strutture balneari e ricettacolo dei rifiuti della pulitura dei lidi adiacenti. Quella più settentrionale è in continuità con la riserva forestale demaniale, ad essa connessa, nonché recintata. La spiaggia antistante, seppur frequentata dai bagnanti non presenta cementificazione continua ed ospita significative macchie di *Ammofila arenaria* con formazioni di micro dune soprattutto a ridosso dell'area recintata. Elementi di disturbo sono dei pennelli di attracco a mare e delle barriere frangiflutti nella zona meridionale.

La comunità ornitica presente è davvero mortificata ad un ridotto numero di specie di un basso valore conservazionistico. Soprattutto passeriformi di ambiente aperto e sinantropico come la passera d'Italia (*Passer italiae*), il beccamoschino (*Cisticola juncidis*) e la cappellaccia (*Galerida cristata*).

Quest'area, come quella di Cuma ha elevato potenziale di restauro ambientale: essa è già cintata e protetta dal corpo forestale dello stato, presenta dei lunghi tratti di spiaggia non compromessi da strutture in muratura, ha elevate potenzialità ricreative con percorsi verdi e la possibilità di ospitare vivai di ripopolamento delle specie dunali. Può agevolmente comprendere percorsi didattici. Rispetto all'avifauna l'area si presenta degradata e priva di

specie di pregio anche se possiede le caratteristiche per ospitare una comunità ricca ed articolata. Pertanto sarebbero utili interventi di ripristino, soprattutto degli habitat di nidificazione delle specie d'interesse prioritario tipiche dell'ambiente dunale.

È possibile realizzare un percorso verde all'interno dell'area cintata retrodunale e nella prima parte della pineta, corredato di pannelli didattici delle specie (vegetali e ornitiche) presenti e potenziali, un paio di stazioni di osservazione di uccelli, un vivaio dimostrativo delle specie dunali e dei loro stadi biologici con particolare riferimento a quelli critici per la sopravvivenza (es. l'insediamento compromesso dalla pulitura meccanica delle spiagge, l'eradicamento provocato dalle mareggiate, i danni da calpestio ecc.).

SPIAGGE IN CORRISPONDENZA DELLO SBOCCO DEI REGI LAGNI  
coordinate gps 40.982095, 13.969487

Sulla destra della foce del canale la spiaggia si estende libera da stabilimenti ma nonostante ciò piatta e con una comunità vegetale estesa ma impoverita di specie, si continua nell'interno con un ambiente di dune stabilizzate, in quasi continuità con aree verdi e la pineta. La spiaggia a sinistra della foce è completamente libera e antistante il campo del Golf Club Volturno.

La foce dei Regi Lagni risulta essere un luogo di importanza fondamentale e strategica per numerose specie di uccelli migratori che scelgono il sito per riposare e foraggiarsi. Il numero di specie e di individui osservati è enorme, i periodi di maggiore concentrazione ricadono fra i primi di aprile e fine maggio e da settembre ad ottobre. Le specie che raggiungono i numeri più significativi sono: mignattini (*Chlidonias niger*), gabbiani comuni (*Larus ridibundus*), beccacce di mare (*Haematopus ostralegus*) e piovanelli (*Calidris ferruginea*).



Figura 2 – Fenicotteri, gabbiani reali e corrieri ai Regi Lagni.

Quest'area, è particolarmente interessante perché unisce alla presenza di lembi di spiaggia non insediati la presenza del corso d'acqua con la sua elevatissima importanza ornitologica; rappresenta l'unico luogo d'Italia, in cui regolarmente (ogni anno) vengono osservati vari individui di specie che in tutte le altre regioni italiane vengono ritenute accidentali come il Piro piro di Terek (*Xenus cinereus*) ed il gambecchio frullino (*Limicola falcinellus*). Questa peculiarità esalta il sito nell'ambito degli appassionati di birdwatching che nonostante il degrado giungono qui da tutta Italia per osservare queste specie. L'intera spiaggia alla destra della foce può essere adibita a riserva guidata e completamente dedicata al turismo sostenibile con percorsi didattici e campi di restauro vegetazionale aperti al pubblico.

SPIAGGE IN CORRISPONDENZA DELLA FOCE DEL VOLTURNO  
coordinate gps 41.022283, 13.928112

Sono completamente libere da insediamenti balneari, in continuità, sul lato sinistro, con l'area protetta dell'oasi dei Variconi e antistanti numerose zone umide frequentate da una complessa ed articolata comunità ornitica, in tutte le fenologie considerate. Lungo la duna nidificano varie coppie di corriere piccolo (*Charadrius dubius*) ed il fratino (*Charadrius alexandrinus*). Il sito è frequentato intensamente dagli uccelli migratori, dai non passeriformi di maggiori dimensioni: fenicotteri (*Phoenicopterus roseus*), spatole (*Platalea leucorodia*), mignattai (*Plegadis falcinellus*), chiurli (*Numenius arquata*) e falchi pescatore (*Pandion haliaetus*) ai più piccoli passeriformi sia intrapaleartici che transahariani. L'area in esame assume un ruolo altrettanto importante durante lo svernamento con oltre 1000 alzavole (*Anas crecca*), ed altre decine di individui di oltre 10 specie di anatidi. Inoltre ospita in inverno specie rare come il Cigno minore (*Cygnus columbianus*), il quattrocchi (*Bucephala clangula*), lo smergo minore (*Mergus serrator*) [8].

La costa si presenta fortemente erosa ed il litorale non presenta formazioni dunali, ma fronti di erosione sabbiosa dalle zone lievemente sopraelevate, sono presenti rifiuti di spiaggiamento, (in assenza di operazioni di pulizia) e specie estranee, comprese numerose presenze di *Cuscuta*.

L'area benché risulti protetta da tutti i vincoli di tutela nazionali ed internazionali è di fatto in balia dei reati ambientali più vari fra i quali il bracconaggio, che limita enormemente la sopravvivenza dell'avifauna presente. Inoltre l'immensa quantità di rifiuti presenti nell'area, l'assenza di una cartellonistica, di controlli, ecc., di fatto annullano tutte le potenzialità dell'area nel settore turistico e nella fruizione di scuole o gruppi guidati di educazione ambientale sul campo.

Per quest'area è necessario rendere effettivi i vincoli di protezione già esistenti tramite una presenza continua sul territorio delle istituzioni e delle associazioni con finalità ambientali. Il corpo forestale dello stato gioca un ruolo fondamentale e dovrebbe essere presa in considerazione l'ipotesi di creare oasi affidate ad associazioni ambientaliste che, con una presenza permanente o concentrata nei periodi stagionali più critici per la sopravvivenza dell'avifauna, costituiscano un presidio di protezione ed un veicolo di frequentazione di un pubblico sensibile alla ricchezza ambientale. Il potenziale di quest'area è forse il più elevato di tutte quelle osservate sia per la fauna che per la vegetazione, ma paradossalmente al livello più basso di sviluppo attuale.

## **Valutazione delle aree**

Dal punto di vista della creazione di un modello riproducibile si può creare un sistema in cui per ogni ambiente va assegnato un punto in funzione di:

- ampiezza del litorale che consenta la formazione di almeno lembi di cordoni dunali,
- profondità dell'area libera da strutture di disturbo tale da consentire la formazione, sia pure ridotta,
  - della retroduna
  - della macchia mediterranea
- presenza di zona arborea: lecceta o pineta,
- attrattori ricreazionali come: siti archeologici, centri storici, ecc.
- possibilità concreta di instaurare vivai di ripopolamento e percorsi protetti (es. presenza del corpo forestale dello stato, di enti demaniali o potenziali concessionari di percorsi ecologici: associazioni ambientaliste, cooperative verdi ecc.),
- possibilità di creare un SIC.

## **Studi di supporto**

- Ricerca sui processi biologici delle singole specie a rischio e dei punti di criticità del loro ciclo vitale, sperimentazione di tecniche di allevamento in aree protette partendo da materiale genetico locale.
- Analisi economica della redditività delle spiagge ricalcolata nella fruizione “verde”.

## **Azioni da intraprendere**

- Creazione di vivai di moltiplicazione delle specie più rare e di quelle a maggiore difficoltà riproduttiva.
- Ripopolamenti con materiale genetico proveniente dagli stessi ambienti.
- Propaganda e diffusione di forme alternative di frequentazione delle spiagge, (soprattutto fuori dalla stagione balneare con fini ricreativi e sportivi), di programmi educativi, campi per adulti e ragazzi, percorsi formativi per le scuole.

## **Conclusioni**

Il nostro paese ha una lunghissima estensione di litorali, molti dei quali sabbiosi; nonostante la creazione delle liste e dei siti compresi nella direttiva Natura, una frazione piccolissima è realmente tutelata dal degrado e le spiagge sono in continua regressione. La redditività economica per metro quadrato di una spiaggia è elevatissima e difficile da contrapporre a sistemi reddituali alternativi sulla stessa area [3]. Gli ambienti con peggior stato di conservazione sono le dune e gli habitat costieri a comunità alofitiche [7]. La possibilità di proteggere o restaurare le aree vegetazionali costiere deve offrire sistemi di redditività economica alternativa, se non concorrenziali, almeno compatibili con quelli esistenti, deve assicurare insediamenti stabili delle comunità caratteristiche, deve preservare gli ecotipi locali; tutto il lavoro di educazione per persuadere i portatori di interesse deve ancora essere iniziato e non può essere proposto se non con azioni concrete che dimostrino, già in atto, soluzioni alternative e reali.

Spetta all'autorità pubblica iniziare le prime azioni di supporto di percorsi virtuosi che solo successivamente possono essere imitati dai privati e queste azioni non possono più essere ritardate nell'area di studio se non a costo di perdere definitivamente ogni possibilità di recupero.

Il litorale Domizio rispetto alle caratteristiche ornitologiche si presenta come l'area più importante del tirreno meridionale, fondamentale tappa migratoria di migliaia di uccelli appartenenti a decine di specie alcune delle quali di enorme valore conservazionistico. Queste caratteristiche come in altri paesi centro europei possono rappresentare un'ingente risorsa per il turismo legato al birdwatching che potrebbe rappresentare un enorme incentivo per la conservazione degli ambienti oltre a rappresentare una risorsa economica pulita per un'area socialmente depressa e difficile.

## **Bibliografia**

- [1] C. J. Bibby, N.D. BURGESS, D.A. HILL - *Bird Census Techniques*. London Academic Press 1992
- [2] J. Blondel, C. Ferry, B. Frochot, - *The Point count method to recording bird from hearing spots*, *Alauda* 38: 55–71.1970
- [3] G. Bovina – *Conservazione e ripristino delle dune nell'ambito della gestione integrata della zona costiera*, Convegno SOS dune: stato, problemi, interventi, gestione. ISPRA-CATAP Roma 23 ottobre 2009
- [4] G. N. M. Giudici - *Il sistema dunale mediterraneo e quello periartico islandese: confronto tra dinamiche e ruoli delle specie vegetali nel modellamento e conservazione dell'ambiente costiero*, Atti dal Simposio Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: Problematiche e Tecniche di Misura, CNR - IBIMET, 2010
- [5] G. N. M. Giudici - *Il sistema dunale costiero: determinante e protezione della vegetazione delle aree interne*, Atti del seminario Il Mediterraneo e le aree interne: risorse, sviluppo e territorio, Alvito 15 Dicembre 2005 ISBN 88-89677-09-0
- [6] Protocollo ICAM: Integrated Coastal Areas Management - Madrid 2008
- [7] 2° Rapporto Nazionale dell'attuazione della Direttiva Habitat e stato di conservazione di habitat e specie
- [8] A. Usai, F. Tatino, G. de Filippo U.D.I. XXXIX: 106-120 (2014)

## IL PORTO DI LIVORNO: UNA VALUTAZIONE DI EFFICIENZA DEL CARICO SULL'ULTIMO MIGLIO

Francesca Canessa<sup>1</sup>, Fabio Lucchesi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LCart (Laboratorio di Cartografia)/DIDA (Dipartimento di Architettura), Università di Firenze  
Sede di via Micheli, 2 - 50121 Firenze francescanessa@tiscali.it, fabio.lucchesi@unifi.it

**Riassunto** – La realtà portuale livornese è caratterizzata oggi dai tratti della importante trasformazione immaginata dal nuovo piano regolatore portuale. Il piano prefigura una ingente crescita di occupazione dello spazio portuale, esteso sia al suolo, sia agli specchi acquei: il nuovo porto assumerà una estensione almeno pari al corpo urbano interno all'asse della variante Aurelia. Questo inedito rapporto dimensionale richiama una relazione non completamente risolta tra porto e contesto urbano e territoriale. Le pagine che seguono presentano i primi esiti di uno studio svolto entro un accordo di collaborazione di ricerca tra il Laboratorio di Cartografia del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze e l'Autorità Portuale di Livorno. L'obiettivo finale della ricerca riguarda la messa a punto di un modello di valutazione della efficienza spaziale del Porto di Livorno basato su un sistema informativo spaziale funzionale alla descrizione metrica, funzionale e giuridica degli spazi portuali. Si tratta di dare conto del rapporto tra superfici impegnate e intensità di movimentazione delle merci e dei passeggeri secondo le diverse modalità di trasporto sia dentro che fuori il perimetro portuale fino al segmento dell'Ultimo Miglio. Tale modello ha permesso una valutazione quantitativa particolarmente accurata del carico che grava sui nodi infrastrutturali caratteristici dell'interfaccia tra porto e territorio e potrà costituire uno strumento di verifica, non solo funzionale, dei nuovi equilibri determinati dal Piano.

***Abstract** – Today, the image of the future of the Port of Livorno is contained in the major transformation envisioned by the new Port Master Plan, which anticipates a significant growth of port space, extended both to the ground and to the water: the new port will take on an extension at least equal to the present city. This new dimensional ratio is related to a not always correct relationship between port and urban and regional context. The following pages present the first results of a study done by a research collaboration agreement between the Cartography Laboratory of Department of Architecture of the University of Florence and Livorno Port Authority. The ultimate goal of the research concerns the development of a spatial model that allows the assessment of port efficiency. This model is based on a spatial information system able to describe metric, practical and legal description of port spaces; it takes into account the relationship between engaged surfaces and intensity of movement of goods and passengers according to the different modes of transport, both on and off the port perimeter, up to the Last Mile segment. This model has allowed a particularly accurate quantitative assessment of the burden on the infrastructure nodes placed of the interface between the port and the territory and could constitute a verification tool, not just functional, of the new balance determined by the Plan.*

## Introduzione

Tra le trasformazioni antropiche del territorio, gli interventi sulla fascia costiera hanno, da sempre, assunto un ruolo speciale nei processi di pianificazione. Tuttavia, troppo frequentemente, l'attenzione su quest'area di "margine terrestre" non è stata adeguata alla complessità delle questioni in gioco. Negli elaborati della pianificazione urbanistica e territoriale<sup>1</sup> questi spazi, spesso descritti come "altro" rispetto all'urbano o al territorio costiero, sono stati individuati con perimetrazioni sommarie; talvolta sono stati descritti utilizzando categorie generali e inappropriate (aree industriali); infine, quand'anche riconosciuto il loro carattere di aree portuali, non sono state trattate con la precisione dovuta. Evidentemente, questo approccio manifesta una disattenzione rispetto alla natura specifica del porto come peculiare oggetto antropico; soprattutto, fa conseguire una grave difficoltà a individuare, e dunque ad affrontare secondo una progettualità coerente, le diverse forme di relazione che il porto instaura con gli ambienti urbani e il territorio tutto. Affrontare compiutamente la complessità delle aree costiere prossime ai porti, significa riconoscere l'identità spaziale e il ruolo morfogenetico caratteristico di queste infrastrutture; un tale sforzo è la premessa fondamentale per una lettura delle dinamiche territoriali portuali capace di produrre punti di vista inediti e una progettualità rinnovata.

Questi obiettivi costituiscono il fondamento della ricerca presentata in queste pagine.

Lo studio è fondato sulla nozione di "Efficienza Portuale", intesa, detto con qualche semplificazione, come misura del rapporto tra merce movimentata e spazio utilizzato in ambiente portuale; questa nozione è stata introdotta in una tesi di Master in Sistemi Informativi Geografici discussa nel 2012<sup>2</sup>. È bene precisare come la nozione di "Efficienza Portuale" sia connessa a quella di "Sistema Porto" come esito dell'integrazione di tipologie diverse di attività e di ruoli operativi che lo Stato ha organizzato rispetto a se stesso (Demanio Marittimo), agli enti locali e ai privati a partire dall'istituzione delle Autorità Portuali con la L 84/1994. I risultati di quel lavoro inaugurale hanno messo in campo una valutazione comparativa tra diverse realtà portuali e hanno prodotto un originale modello di misura della relazione spazio occupato/merce movimentata secondo le diverse tipologie infrastrutturali.

In quelle conclusioni, però, era possibile intravedere prospettive di ricerca inedite, fondate sulla necessità di costruire descrizioni adeguate dell'insieme dei caratteri dello spazio del porto: dal rilievo delle sue misure topografiche alla classificazione dei suoi ruoli funzionali; dalla esplorazione dei diversi spazi rispetto alle attività in esse esercitate alla caratterizzazione del tipo di infrastrutture modali utilizzate fuori e dentro l'ambito portuale; fino alla misura del carico che il porto, attraverso i singoli operatori, esercita sui nastri stradali e sulle linee ferroviarie fino al segmento dell'Ultimo Miglio. Questo ultimo punto merita un'attenzione particolare: considerare l'Ultimo Miglio come vera interfaccia tra porto e città permette di cambiare il punto di vista sulle relazioni fisiche e funzionali che superano i meri perimetri fisici facendo uscire il porto dal proprio ambito di competenza esclusiva e riconoscendogli, così, un ruolo fondamentale nelle trasformazioni territoriali contemporanee.

---

<sup>1</sup> Piani urbanistici comunali, piani territoriali di coordinamento provinciali, piani di indirizzo territoriale e piani paesaggistici regionali.

<sup>2</sup> Francesca Canessa, La misura del porto. Un modello per la valutazione dell'efficienza nel rapporto tra intensità di scambio e dimensioni spaziali, tesi di Master in Sistemi Informativi Geografici per la gestione del territorio, Relatore Fabio Lucchesi, Università degli Studi di Firenze, A.A.2011/12.

Questo approccio inedito alla realtà portuale ha colto l'interesse dell'Autorità Portuale di Livorno che ha contribuito a finanziare il lavoro di ricerca biennale<sup>3</sup> svolto presso il Laboratorio di Cartografia del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze. Lo studio, appena concluso, è stato strutturato come il secondo segmento di un percorso più ampio, che ha previsto non solo l'implementazione delle indagini citate poco sopra, ma anche il progressivo coinvolgimento di altri contesti portuali in relazione alla costruzione di un modello di lettura di un sistema di infrastrutture e logistica che coinvolga un'area assai più vasta fino ad interessare la piattaforma nazionale. La normativa riguardante la riforma portuale<sup>4</sup>, recentemente approvata, con gli accorpamenti di diverse Autorità e con la definizione del "Sistema Portuale", ha tracciato un quadro in cui la ricerca sembra trovare un naturale ambito di definizione e le condizioni di un fertile sviluppo.

## Discussione

La prima fase conoscitiva, per ogni contesto territoriale, è legata alla misura degli spazi in cui è organizzato, dunque al rilievo della loro forma e composizione; nelle azioni di ricerca che stiamo descrivendo, questo compito si è materializzato in una attività di raccolta di dati che devono essere organizzati in archivi capaci di mettere a sistema le informazioni caratteristiche dei luoghi portuali. La speciale natura dell'"oggetto porto" vive trasformazioni fisiche e variazioni d'uso assai più rapide e intense della maggior parte dei contesti esterni al suo perimetro. La caratteristica promiscuità tra le categorie di gestione tipiche del Demanio Marittimo e quelle delle categorie ordinarie – Autorità Portuale, attori privati, enti pubblici – evidenziano problematiche ignorate dalla cartografia topografica tradizionale, dalla stessa AP come dagli altri enti statali o locali. La conoscenza presente nella documentazione corrente risulta assai segmentata e disomogenea, tracciata secondo modalità inadatte alla comprensione di spazi complessi come quelli portuali. Alla prima fase di rilievo deve dunque seguire un'indagine appropriata dei rapporti tra i caratteri fisici degli spazi e il loro ruolo funzionale; e conseguentemente deve essere considerata la profonda implicazione tra tale natura funzionale e la connotazione giuridica dei suoli.

La necessità da parte dello Stato – attraverso il Demanio – di avere piena disponibilità sia dello spazio acqueo, sia dell'affaccio all'acqua<sup>5</sup> si connota come l'elemento fondamentale attorno a cui si organizza tutto il sistema di "suolo terrestre" del porto. Nell'ambito portuale, questa condizione sposta il concetto di occupazione di suolo a una nozione più complessa di occupazione di spazio terracqueo; ciò fa emergere la necessità di definire un perimetro d'ambito anche sul fronte marittimo, in opposizione all'obsoleta consuetudine di far coincidere la linea di costa con il profilo delle banchine, escludendo così la considerazione dell'acqua portuale. Una tale necessità è confermata dall'unico riferimento normativo disponibile, ovvero il Codice della Navigazione che esprime il bisogno di rettificare il profilo costiero, anche in corrispondenza della realtà portuale, con il tracciamento della linea base o linea verde<sup>6</sup>; per questo motivo la linea di costa, in

---

<sup>3</sup> La ricerca biennale, conclusa nel luglio 2016 ha per titolo "L'interfaccia territoriale del porto di Livorno".

<sup>4</sup> DL 169/2016 "Riorganizzazione, razionalizzazione e semplificazione della disciplina concernente le Autorità Portuali di cui alla L.84/94" (Riforma Delrio).

<sup>5</sup> In ambito portuale, la condizione di affaccio all'acqua identifica, nello spazio, l'area di banchina.

<sup>6</sup> L. 133/2014 in aggiornamento del RD 327/1942.



corrispondenza del porto, è stata rappresentata come la linea che profila le opere a mare del porto seguendo i perimetri esterni di moli, dighe foranee e delle vasche di colmata, seppure, questi ultimi, più incerti. Sulle bocche di porto è stata tracciata una linea immaginaria che, appoggiandosi alle strutture foranee, ne congiunge gli estremi.

Per questo quadro di necessità, che va dalla chiara identificazione dei limiti del porto sul fronte marittimo e terrestre al riconoscimento delle specifiche e aggiornate identità degli spazi portuali, è stato realizzato un *database* topografico coerente con le specifiche tecniche nazionali (per altro già accolte dal *DBT* regionale toscano in corso di completamento).

Il *DB* è pertanto organizzato gerarchicamente in “strati, temi e classi”, con riferimento, per il primo livello, all'appartenenza o meno delle aree all'articolazione dell'ambito portuale (terrestre o marittimo; interno o esterno all'ambito portuale propriamente inteso); per il secondo livello, alla natura giuridica dei suoli; infine, per il terzo livello, a quella funzionale. Questa organizzazione è connessa ad una cartografia di tipo *Full Topology*, ammettendo tuttavia eccezioni per alcune categorie di elementi<sup>7</sup>. Talvolta, la natura dei luoghi e la geometria degli spazi non hanno permesso di utilizzare il tipo *Full Topology* per ogni categoria di oggetto; questa scelta avrebbe compromesso la chiara identificazione e univoca descrizione degli spazi. Per tale motivo, è stato deciso di integrare la cartografia *Full Topology* con elementi inseriti secondo i tipi “Classe Composta” e “Sovrapposto”, che ammettono eccezioni alle regole topologiche caratteristiche delle coperture areali. Di queste categorie fanno parte le infrastrutture terrestri – strada e ferrovia –, le vie d'acqua – canali e fossi –, le banchine lunghe, gli arredi di banchina – gru e macchine operatrici portuali –, le linee di attracco, il perimetro d'ambito, i grafi per il movimento della merce e i cosiddetti D1<sup>8</sup>.

La struttura del *DB* topografico è riassunta nel “Catalogo degli Oggetti” (Fig.1) che descrive ogni singola classe ed esprime le relazioni tra classi attraverso codici identificativi<sup>9</sup>. È opportuno segnalare, tra le categorie di oggetti che caratterizzano lo spazio del porto, la centralità del “terminal portuale”<sup>10</sup>, classe che sembra meritare la maggiore attenzione; il riconoscimento della articolazione dei terminal, secondo aree e tipologie d'uso chiaramente individuate, aiuta a identificare, per relazione, anche le altre tipologie di attività, eliminando sostanziali incertezze conoscitive di natura spaziale e funzionale; come vedremo, tale chiarezza informativa risulterà fondamentale anche per le valutazioni di efficienza. In un porto, infatti, il *terminal* è la struttura che, per le sue funzioni, può essere identificato come l'elemento ordinatore dello spazio terrestre. Non esistendo però una identificazione di *terminal* portuale sufficientemente chiara e condivisa, per l'avanzamento nella costruzione del *database* topografico, è stato necessario costruire una definizione che prendesse le mosse dalle, seppure esigue, indicazioni di legge<sup>11</sup>, per identificare in modo inequivocabile quella organizzazione di spazio e di uso.

---

<sup>7</sup> La normativa prevede l'organizzazione cartografica secondo la tipologia *Full Topology*, Classe Composta e Sovrapposto.

<sup>8</sup> Pratiche concessorie di aree demaniali, cartograficamente gestite dal Demanio Marittimo secondo procedure ministeriali assolutamente esclusive ed autonome.

<sup>9</sup> Costituiti da tre coppie di numeri in cui la prima coppia si riferisce allo strato, la seconda al tema e la terza alla classe. Non dovendo esistere equivocabilità nella catalogazione degli oggetti, per la prima coppia di numeri è stato deciso di *shiftare* la numerazione di cinquanta unità per dare una identificazione univoca all'oggetto porto rispetto al *database* topografico regionale.

<sup>10</sup> Identificato come “Attività Portuale” nel Catalogo degli Oggetti.

<sup>11</sup> Legge 84/94, articoli riguardanti il lavoro portuale.

1.	elementi in full topology (FT)
•	<b>51 Ambito Portuale Sistema Terre</b> <b>51 01 Demanio</b> 51 01 01 Attività Portuale_FT 51 01 02 Attività Industriale_FT 51 01 03 Attività Cantieristica_FT 51 01 04 Servizio Tecnologico Portuale_FT 51 01 05 Altra Attività_FT 51 01 06 Banchina_FT 51 01 07 Area non destinata_FT 51 01 08 Diga Foranea_FT 51 01 09 Vasca di Colmata_FT 51 01 10 Varco Doganale_FT <b>51 02 Autorità Portuale -proprietà-</b> 51 02 01 Patrimonio disponibile_FT <b>51 03 Area Proprietà Privata</b> 51 03 01 Attività Portuale_FT 51 03 02 Attività Industriale_FT 51 03 03 Attività Cantieristica_FT 51 03 04 Altra Attività_FT <b>51 04 Misto</b> 51 04 01 Fortezza Vecchia_FT 51 04 02 STU_Terra_FT
•	<b>52 Ambito Portuale Sistema Acque</b> <b>52 01 Demanio</b> 52 01 01 Acqua di Movimento_FT 52 01 02 Acqua di Stazionamento_FT 52 01 03 Acqua Usi Diversi_FT <b>52 02 Misto</b> 52 02 01 STU_Acqua_FT
•	<b>53 Fuori Ambito Sistema Terre</b> <b>53 01 Demanio</b> 53 01 01 Consegna al Comune 53 01 02 Altri usi <b>53 02 Autorità Portuale -proprietà-</b> 53 02 01 Patrimonio disponibile 53 02 02 Sede Autorità Portuale <b>53 03 Area Proprietà Privata</b> 53 03 01 Aree di Banchina Lunga
•	<b>54 Fuori Ambito Sistema Acque</b> <b>54 01 Demanio</b> 54 01 01 Sistema de "I Fossi"
2.	elementi in classe composta (CC)
	01_CC AP_Patrimonio Tutto
	02_CC Attività Tutte
3.	elementi in sovrapposto (SP)
	01_SP Perimetro d'Ambito
	02_SP Attracchi -linee-
	03_SP D1
	04_SP Gomma
	05_SP Ferro
	06_SP Vie d'acqua
	07_SP PRP_Terra
	08_SP PRP_Acqua
4.	elementi a grafo (GF)
	01_GF Grafo_Carichi

Figura 1 – Database Topografico del Porto di Livorno: Catalogo degli Oggetti.  
Figure 1 – Topographic database of the port of Livorno: Catalog of objects.

Un simile rigore semantico nella realizzazione del *DB* topografico è reso necessario per garantirne la capacità di proporsi come un vero e proprio strumento di gestione delle attività portuali. È utile precisare, a questo proposito, che il rilievo e la raccolta delle necessità e delle problematiche espresse dagli operatori portuali, ha permesso di mettere in evidenza criticità relative alla precisa delimitazione di confini, linee catastali, inserimenti di nuovi interventi (privati e pubblici) o perimetrazioni di SIN<sup>12</sup> che nel corso della costruzione del *DB* sono state affrontate e risolte compiutamente.

Il *DB* topografico prodotto nel corso della ricerca descrive, evidentemente, lo stato dei luoghi aggiornato alla data dei rilievi; l'occasione, tuttavia, è stata usata per implementare lo stato di fatto con le previsioni contenute nel Piano Regolatore Portuale<sup>13</sup>. Ciò ha permesso di mettere in luce problematiche ancora irrisolte, sia di natura cartografica, sia di natura normativa; quello che più conta è che la rappresentazione dello stato futuro degli spazi portuali, attraverso il rigore topografico del rilievo, permette di prefigurare il nuovo rapporto con la città e il territorio sia attraverso immagini sia, soprattutto, attraverso valutazioni quantitative.

Come già ricordato, la finalità essenziale dello studio consiste nella misura delle condizioni di Efficienza Portuale. Per questo motivo, alla misura dello spazio si è affiancata una seconda attività, quella della misura delle quantità di merce movimentata. Allo scopo è stato definito un modello spaziale reticolare, capace di restituire con precisione il percorso delle merci nello spazio, e di valutare il carico nei nodi caratteristici della rete infrastrutturale. Il risultato di questo impegno fa apprezzare la dimensione del carico in termini di flusso di mezzi per tipologia modale e, conseguentemente, permette di evidenziare situazioni critiche – colli di bottiglia, aree di congestione – considerando le diverse infrastrutture secondo le proprie caratteristiche fisiche e di esercizio. Per il reperimento delle informazioni funzionali a questa fase di lavoro, sono state realizzate interviste agli operatori portuali coinvolti in tutte le tipologie di attività presenti nella realtà livornese, comprese le attività esterne che, per loro natura, lavorano esclusivamente con il porto. Tali realtà costituiscono quella costellazione retroportuale che va sotto il nome di “banchina lunga” o “banchina secca”. Dagli incontri con gli operatori sono emerse ulteriori, e importanti, informazioni riguardanti le dinamiche operative delle diverse attività: l'uso degli spazi su acqua e su terra, dentro e fuori dal porto, su strada, su ferrovia o secondo combinazioni intermodali. Ogni intervista è stata, per così dire, “tradotta” in dati informativi associati al modello reticolare della movimentazione delle merci. (Fig.2)

Il rilievo ha considerato utile affrancarsi dalla mera informazione quantitativa delle merci sbarcate/imbarcate<sup>14</sup> e si è dato il compito di registrare, in sequenza: (i) la tipologia di flusso<sup>15</sup>; (ii) il mezzo modale per tipo di confezione della merce; (iii) se questa subisce movimentazioni fluide e continue nello spazio e nel tempo o rotture di carico per stoccaggi e depositi<sup>16</sup>.

Il modello ha permesso di misurare le quantità di carico sull'interfaccia infrastrutturale; il carico misurato dalla ricerca ha valutato la confezione secondo cui la

---

<sup>12</sup> Aggiornamento del Ministero dell'Ambiente per una revisione e nuova perimetrazione dei siti d'interesse nazionale nelle realtà portuali.

<sup>13</sup> Ad oggi, si può dire che il porto di Livorno è il primo porto in Italia ad avere una cartografia del tipo descritto.

<sup>14</sup> Valori tipici delle elaborazioni statistiche degli uffici dell'Autorità Portuale.

<sup>15</sup> Terra-mare (imbarco), mare-terra (sbarco), terra-terra (carico e scarico), mare-mare (trasbordo).

<sup>16</sup> Queste informazioni sono state raccolte attraverso colloqui diretti, poiché non esiste un repertorio istituzionale di questo tipo di dati.

merce si muove rispetto ai fattori di conversione modale che sono stati definiti con l'aiuto degli operatori portuali, dei gestori della rete ferroviaria – RFI, Serfer – e della infrastruttura stradale SGC-FiPiLi – Provincia di Livorno, Città Metropolitana di Firenze –.

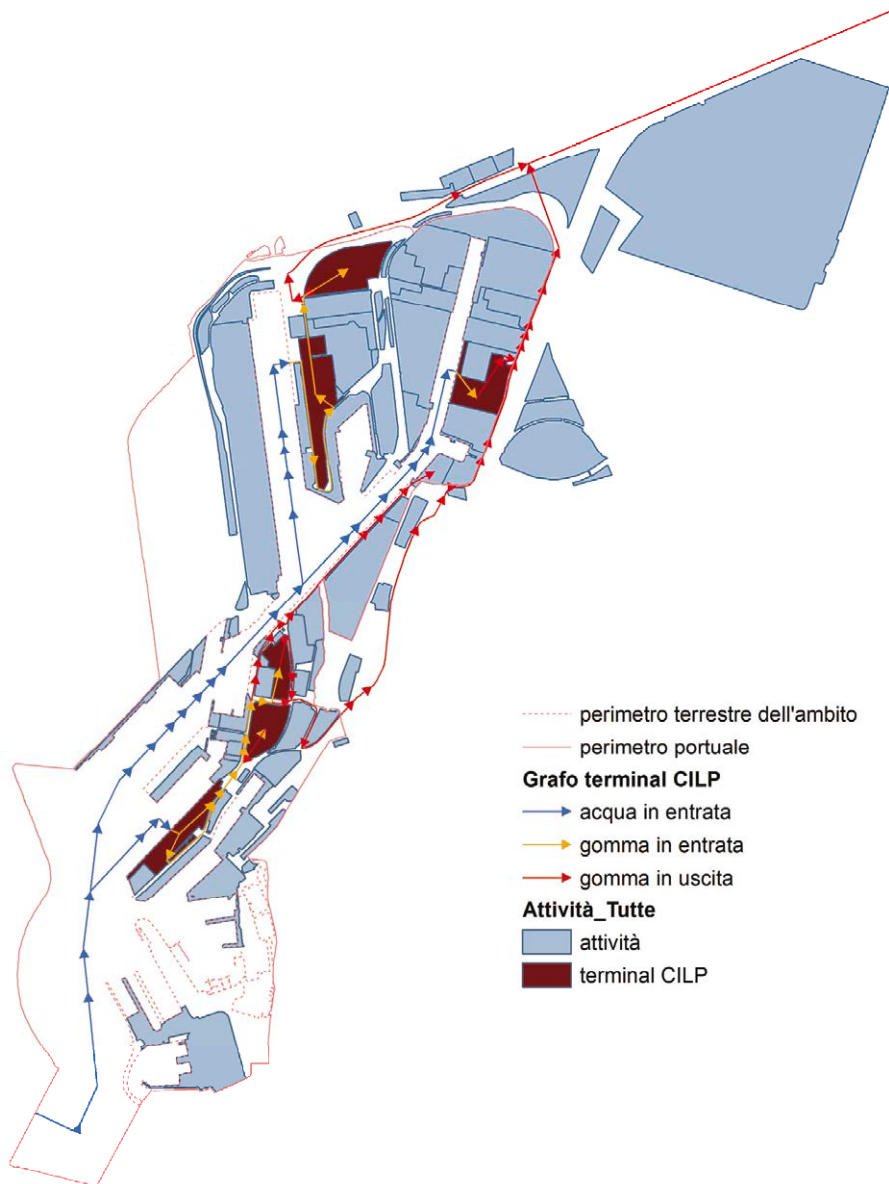


Figura 2 – Movimento merce di una singola attività secondo le diverse infrastrutture modali.  
*Figure 2 – Movement of goods a single task according to the different modal infrastructure.*

Le indagini svolte evidenziano con sufficiente chiarezza dove sono localizzate le sincopi sul sistema intermodale; ciò permette, come si vedrà nelle successive conclusioni, considerazioni assai più ampie sia riguardo le condizioni infrastrutturali e di logistica integrata che per la valutazione di efficienza.

Le informazioni così raccolte sono state collegate alla cartografia del *database* topografico attraverso il grafo reticolare sopra menzionato, che descrive il porto di Livorno secondo le varie infrastrutture che lo innervano: (i) linea d'acqua, vale a dire Ultimo Miglio della rotta della nave; (ii) linea gomma, vale a dire infrastruttura stradale; (iii) linea ferro, vale a dire infrastruttura ferroviaria; (iv) condotta, ovverosia infrastruttura per il pompaggio in condotta delle rinfuse liquide dalla nave alle cisterne (e viceversa) o all'interno di un sistema di depositi. Il grafo permette di ricostruire ogni attività oggetto di osservazione; l'integrazione di tutte le attività riporta i valori quantitativi aggregati: (i) tonnellate per tipo di merce e tipo di confezione; (ii) numero di mezzi per numero di veicoli e numero di carri ferroviari. È bene ricordare, infatti, che la ricerca non riguarda la descrizione o la valutazione di efficienza della singola attività, ma del “sistema porto” e l'interesse riguarda il carico che complessivamente viene esercitato sui diversi segmenti dell'Ultimo Miglio.

## Conclusioni

La complessità dei temi in gioco ha comportato l'integrazione di punti di osservazione assai diversi. Questa varietà di informazioni, che è stato necessario gestire in modo organico, trova una sintesi efficace nel calcolo di “Efficienza portuale”, da intendere nel senso precisato poco sopra.

Tra i risultati più significativi dell'applicazione del modello di valutazione, è utile segnalare la misura dell'intensità di carico sui nodi *core* del grafo reticolare costruito per rappresentare i flussi di movimentazione delle merci. I due nodi maggiormente caricati risultano essere: sul fronte marittimo, la bocca di porto meridionale; sul fronte terrestre, uscendo dal porto, la prima intersezione tra l'asta della SGC-FiPiLi e l'infrastruttura di distribuzione locale a perimetrazione dell'ambito portuale (Fig.3). La misura dell'ingente carico sulla bocca di porto non rappresenta una sorpresa, poiché evidenzia la criticità che consegue dall'impossibilità di utilizzo della bocca settentrionale a causa di insabbiamento e della conseguente bassa profondità di pescaggio. Un rilievo più interessante può invece essere attribuito all'importante concentrazione di carico sul nodo terrestre; quest'ultimo intercetta, nel suo ruolo di “porta” del segmento “Ultimo Miglio gomma”, un'arteria esterna alla distribuzione urbana che rischia di raggiungere il limite della propria efficienza non appena crescerà il carico legato alle espansioni portuali previste dal nuovo Piano Regolatore Portuale. Questo considerevole carico modale induce, infine, un'ulteriore riflessione riguardo la tipologia di infrastruttura terrestre usata da merci e passeggeri: sembrerebbe infatti opportuno utilizzare soluzioni diverse, che spostino i carichi dalla infrastruttura stradale a quella ferroviaria.

Altre importanti considerazioni emergono dal fatto che il modello sembra mettere in luce l'autentico “collo di bottiglia” che caratterizza il porto di Livorno. L'elemento di maggior impedimento alla fluidità della movimentazione non consiste propriamente in una infrastruttura, ma riguarda la peculiare natura dell'area, interna all'ambito portuale, che fa

da cerniera tra porto e città e che è organizzata attorno ad un varco doganale dove insiste un notevole carico di tonnellaggi e mezzi. Il grafo che descrive il movimento delle merci nello spazio portuale, in quest'area, mette in evidenza un fitto intreccio di flussi, spesso ridondanti, che trova la propria causa nell'evoluzione spaziale e tipologica del porto nel corso della sua lunghissima storia. L'area di cui stiamo trattando, infatti, è il primo nucleo del porto commerciale che si sviluppa separatamente dal porto Mediceo e che costituirà la base per la successiva espansione del settore industriale verso Nord, attorno al canale industriale prima, e alla Darsena Toscana poi.

Il problema di congestione è legato al fatto che questa polarità non è mai stata interessata da un'attenzione progettuale adeguata, capace di definire identità spaziale e funzionale. Si segnala in particolare la criticità connessa alla promiscuità d'uso destinata, per altro, ad acuirsi con il consolidamento del segmento crocieristico che trova i suoi attracchi sulle banchine tra il porto Mediceo e quello commerciale/industriale.

Sembra inoltre urgente, infine, oltre ad un adeguato riordino della distribuzione degli spazi e delle attività, una visione progettuale che sappia riscoprire nel sistema porto un importante elemento identitario per la città e il territorio tutto. Riconoscere al porto la propria identità, nello speciale uso dell'acqua e quale "luogo produttivo in costante movimento", segnala una capacità di morfogenesi territoriale rinnovata e rafforzata dalle dinamiche geopolitiche contemporanee di carattere mondiale<sup>17</sup>. Senza riconoscere questo ruolo alla realtà portuale, rischieremo di assistere ad uno scollamento tra porto e territorio; una pianificazione coerente con queste premesse dovrà evitare che il porto e la città si contrappongano, ancora, come "altro da sé". Il rapporto storicamente determinato tra realtà portuale e città talvolta ha generato una separazione talvolta materializzata nella fisicità dello spazio<sup>18</sup>; ma, a tutt'oggi, è possibile apprezzare come le varie fasi di espansione portuale abbiano sempre cercato un equilibrio con il proprio contesto: dal nucleo mediceo, il porto si è esteso occupando spazi settentrionali, ha intercettato aree lontane dal polo urbano e spazi naturali attorno cui si è impiantato il porto industriale. Dopo aver esaurito la disponibilità di aree con affaccio sull'acqua, il porto moderno ha continuato a consolidarsi con la prima vera espansione verso il mare attraverso la realizzazione della Darsena Toscana con la sponda est prima e con la sponda ovest poi. Oggi, il futuro che si delinea prevede ancora uno sviluppo verso il mare, che coincide con la realizzazione della Piattaforma Europa. Questo intervento prefigura una nuova tipologia portuale, che realmente disegnerà e definirà una realtà il cui rapporto con la città retrostante dovrà conquistare una attenzione rinnovata.

Il modello di valutazione, presentato qui, potrà costituire uno strumento di verifica, non solo funzionale, dei nuovi equilibri raggiunti.

---

<sup>17</sup> Iperproduzione di merce in aree concentrate del pianeta, necessità di distribuzione rapida e globale, conseguente gigantismo navale e apertura di nuovi varchi (allargamento del canale di Panama, realizzazione del canale di Nicaragua e raddoppio di quello di Suez), necessità di nuovi assetti di infrastrutture marittime (sistemi portuali) e terrestri (corridoi, piattaforme logistiche).

<sup>18</sup> Costruzione di muri e perimetrazioni invalicabili o localizzazioni di impianti produttivi anche con irrisolte problematiche di sicurezza.



Figura 3 – Distribuzione dei carichi sui nodi *core* del porto e dell’Ultimo Miglio; (dall’alto) carico in tonnellate, numero mezzi gomma, numero carri ferro.

*Figure 3 – Distribution of loads on the core nodes of the port and the Last Mile; (from above) load in tonnes, number vehicles, number railway wagons.*

## Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare la comunità livornese degli operatori del porto, comprendendo in essa gli addetti alle attività esterne all'ambito portuale vero e proprio, che hanno partecipato, per la loro preziosa disponibilità a spiegare il proprio lavoro. Tali informazioni, spesso vere e proprie rivelazioni, hanno apportato un fondamentale e inedito contributo per il conseguimento degli obiettivi di ricerca.

## Bibliografia

- [1] Acquarone G. - *Il piano regolatore delle Autorità Portuali*, Giuffrè Editore, Milano 2009
- [2] Bologna S., - *Le multinazionali del mare. Letture sul sistema marittimo-portuale*, Egea, Milano, 2010
- [3] Canessa F. - *Nel porto: merce, spazio e misura*, in Massa M. (a cura di) Livorno: un porto e la sua città, Debate Editore, Livorno 2015
- [4] Canessa F. - *La misura del porto. Un modello per la valutazione dell'efficienza nel rapporto tra intensità di scambio e dimensioni spaziali*. Tesi di Master in Sistemi Informativi Geografici per la gestione del territorio. Relatore Prof. Arch. Lucchesi F. Università di Firenze A.A.2011/12
- [5] Costa P, Maresca M. - *Il futuro europeo della portualità italiana*, Marsilio, Venezia 2013
- [6] DL 169/2016 - *Riorganizzazione, razionalizzazione e semplificazione della disciplina concernente le Autorità Portuali di cui alla L84/94 (Riforma Delrio)*
- [7] Dematteis G., Governa F. - *Contesti locali e grandi infrastrutture. Politiche e progetti in Italia e in Europa*, F. Angeli, Milano 2001
- [8] Di Venosa M., Pavia R. - *Ultimo Miglio. Il progetto di interconnessione tra porto e città*, Sala Editori, Pescara 2011
- [9] Di Venosa M. - *Porti di città: pianificazione urbanistica delle aree portuali*, Ossimori, Pescara 2002
- [10] Gualtieri R., Rhi-Sausi J. (a cura di) – *Hub Globale, trincea o pantano? Il futuro del Mediterraneo ed il ruolo dell'Europa*, Il Mulino, Bologna 2010
- [11] L 84/1994 – *Riordino della legislazione in materia portuale*
- [12] L 133/2014 aggiornamento RD 327/1942 – *Codice della navigazione*
- [13] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – *SID, Sistema Informativo Demanio Marittimo*
- [14] Nisio A. - *Le Autorità Portuali. Il passaggio dalla gestione alla regolazione dei porti*, Cacucci Editore, Bari 2004
- [15] PRP 2015 – *Piano Regolatore Portuale del porto di Livorno*
- [16] Ruffini F. - *Porto di Livorno: nuovi assetti operativi*, Belforte Cultura – Non c'è problema Edizioni, Livorno 2015
- [17] Soriani S. - *Porti, città e territori costieri*, Il Mulino, Bologna 2002
- [18] Ugolini P. - *Pianificazione territoriale, portualità e infrastrutture*, F. Angeli, Milano 2006



# NAPOLI E IL PAESAGGIO COSTIERO: IL RECUPERO AMBIENTALE DI BAGNOLI E LA RIGENERAZIONE DEL LITORALE FLEGREO

Clelia Cirillo<sup>1</sup>, Giovanna Acampora<sup>1</sup>, Barbara Bertoli<sup>1</sup>, Marina Russo<sup>2</sup>, Luigi Scarpa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Istituto di Biologia Agro-Ambientale e Forestale - UOS di Napoli

Via Pietro Castellino, 111 - 80131 Napoli

e-mail: clelia.cirillo@ibaf.cnr.it - giovanna.acampora@ibaf.cnr.it - barbara.bertoli@cnr.it

<sup>2</sup>Istituto di Ricerca su Innovazione e Servizi per lo Sviluppo, Napoli

marina.russo@cnr.it

<sup>3</sup>Università Federico II - Scuola di Master di Pianificazione Urbana, Napoli

luscarpa@unina.it

*Corresponding Author:* Giovanna Acampora

Tel. 081 6132320 – Fax 081 6132701

**Riassunto** – Per realizzare il recupero ambientale del paesaggio del litorale della piana di Bagnoli, i cui suoli sono soggetti a sorgenti di inquinamento non solo di origine antropica ma anche di origine naturale legata all'attività vulcanica dei Campi Flegrei potrebbe venire in aiuto la stessa Madre Natura, utilizzando per il recupero ambientale la sinergia tra piante e microrganismi promuovendo il fitorimedia. In questo modo si avrebbe non solo il recupero ambientale del quartiere di Bagnoli ma anche la rigenerazione del paesaggio, restituendo all'area occidentale della città di Napoli il suo naturale rapporto con la natura e con il mare.

*Abstract* – To realize the environmental recovery of Bagnoli's coastline, the ground of which is subject not only to anthropic pollution factors but also to natural ones coming from Campi Flegrei volcanic activity, Mother Nature herself could be helpful, using for environmental recovery a synergy between plants and microorganisms promoting phytoremediation. In this way there could be not only the environmental restoration of the Bagnoli district, but the landscape regeneration as well, returning to Naples' eastern area its natural relationship with Nature and with the sea.

## Introduzione

Nella Cartografia del Regno di Napoli realizzata dagli Ingegneri Topografi dal 1817 al 1823, possiamo ben osservare la topografia della piana di Fuorigrotta che presenta una verde campagna separata dal mare da un litorale punteggiato di sorgenti idro-termali. Nella mappa pre-unitaria è ben rappresentata la strada che in un lungo rettilineo ha dato inizio all'inglobamento della costa flegrea nell'area cittadina, prolungando così la linea di sviluppo urbanistico verso occidente. L'area di Bagnoli assunse quindi e assume ancora oggi il carattere di ingresso ai Campi Flegrei; nella cartografia ottocentesca si osserva il poligono di tiro e il sabbioso litorale dove compaiono le fabbriche di prodotti chimici e le vetrerie Le

Fevre i cui padiglioni oggi ospitano Città della Scienza e sono stati restaurati dopo l'incendio che nel 2013 ha distrutto le strutture del polo scientifico. Nella cartografia degli Ingegneri Topografi non si ha traccia dell'insediamento abitativo la cui costruzione ha inizio solo alla fine del 1800 ad opera del Marchese Candido Giusso che intendeva rendere l'area di Bagnoli una zona residenziale adatta alla villeggiatura essendo situata su di un bellissimo litorale articolato dalla spiaggia di Coroglio e da quella di La Pietra.

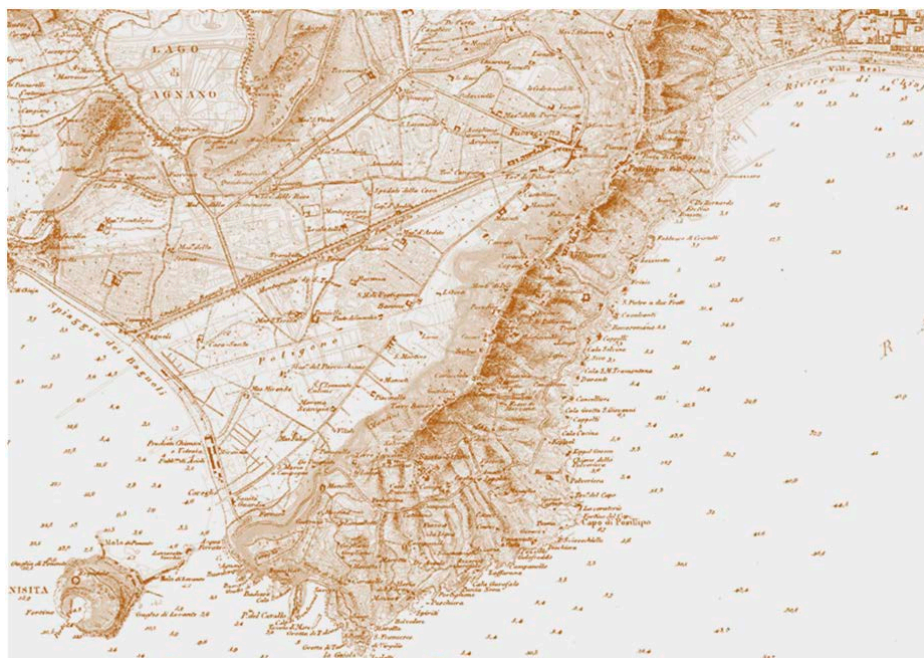


Figura 1 – La Piana di Bagnoli: estratto della Mappa degli Ingegneri Topografi della prima metà del XIX secolo.

*Figure 1 – The Plains of Bagnoli: extract of Map of Surveyor Engineers of the first half of the nineteenth century.*

Quando tra il 1883 e il 1888 Lamont Young espose i disegni del suo futuristico progetto per il quartiere di Bagnoli, non si poteva immaginare come l'utopia dell'architetto anglo-napoletano sarebbe stata ribaltata da una realtà dettata da interessi speculativi che hanno decretato la distruzione ambientale di uno dei luoghi tra i più suggestivi della città partenopea. Nella cartografia ottocentesca si osserva come nonostante sulla spiaggia sorgessero l'opificio chimico Lefevre e la vetreria Melchiorre – Bournique la bellezza dei luoghi era incontaminata. Ad esclusione del rione Bagnoli–Agnano, l'insediamento urbano si sviluppò sull'antico borgo di pescatori, espandendosi solo in minima parte nella zona di Coroglio. Ma nonostante stabilimenti balneari e impianti termali facessero di quest'area un sito di villeggiatura posto a poca distanza dal centro cittadino nel 1905 inizia la costruzione

dell'Ilva che segnerà la conversione del quartiere da turistico residenziale a polo industriale fino agli anni '90, quando l'impianto industriale comincia a chiudere. Ma oggi il litorale racconta una storia molto lontana da quella fatta di salubrità dei luoghi, oggi l'arenile e il fondale contano una quantità di inquinanti che fanno male gravemente alla salute dei cittadini. Una realtà urbana ben diversa da quella sognata dal Marchese Giusso e da Lamont Young. Oggi non si distinguono più gli elementi archeologici appartenuti alle numerose cave termali per la cura delle diverse affezioni del corpo rimaste attive fino agli ultimi mesi prima del colera del 1882 mentre sono visibili le acciaierie, elementi di archeologia industriale, testimoni del grande polo siderurgico chiuso definitivamente nel 1993. Nel 1996 è stata approvata la variante di salvaguardia allo scopo di recuperare il valore ambientale e realistico dell'ex area industriale; purtroppo la bonifica è stata resa problematica a causa della fragilità e instabilità dei suoli e dai fondali pieni di rifiuti inquinanti. Il sistema dei suoli della piana di Bagnoli è formato da depositi alluvio-colluviali a buona disponibilità di ossigeno e da depositi di colmata antropica composta dalle scorie di acciaierie soggetti quindi a sorgenti di inquinamento non solo di origine antropica ma anche di origine naturale legata all'attività vulcanica dei Campi Flegrei; per realizzare la bonifica dei suoli potrebbe essere utilizzato il biorimedia fitoassistito, tecnologie di bonifica *in situ* che utilizza specie vegetali arboree ed erbacee; le piante operano attraverso due distinti meccanismi: da un lato estraggono dal suolo i metalli pesanti e li accumulano nelle radici e nelle foglie (fitoestrazione) e dall'altro, sfruttando la sinergia tra i vegetali e i microrganismi presenti intorno e all'interno delle loro radici promuovono la biodegradazione dei contaminanti organici (fitorizodegradazione). Il risultato finale è un recupero ambientale efficiente, sostenibile e a costi ridotti rispetto alle convenzionali tecniche chimico-fisiche.

## **Il recupero ambientale ecosostenibile dell'ex area industriale di Bagnoli**

Il paesaggio costiero dell'area occidentale di Napoli fa parte del territorio dei Campi Flegrei, caratterizzato da attività geotermali a cui associare l'idrotermalismo, presente anche nello specchio d'acqua antistante l'area di Bagnoli, il cui uso terapeutico dai tempi degli antichi avveniva presso le terme flegree che tra il XIII ed il XV vissero una stagione di grande fortuna. Ancora all'inizio del Novecento il paesaggio della piana di Bagnoli era caratterizzato dagli stabilimenti termali costruiti dopo che nel 1830 vennero riscoperte le sorgenti termali antiche; le terme erano aggregate in due nuclei insediativi, uno nei pressi della piazza di Bagnoli (*Manganella, Masullo, Tricarico, Cotroneo*), l'altro lungo la litoranea che portava a Pozzuoli (*Patamia e La Pietra*). In considerazione delle attività industriali insistenti nell'area occidentale di Napoli per circa un secolo e dell'idrotermalismo che ha caratterizzato da sempre questo tratto di costa del golfo di Pozzuoli, è possibile ipotizzare che per l'area di Bagnoli si sia verificata una sovrapposizione di una componente naturale (idrotermalismo flegreo) ad una componente propriamente antropica (attività industriale). Ancora oggi tra il mare e le case, a ridosso dell'ex impianto Cementir si può scorgere un fiotto di acqua ribollente che sgorga dal suolo: si tratta di acqua termale di origini antichissime. Quindi l'inquinamento del paesaggio costiero di Bagnoli non è legato solo alle attività industriale che hanno rilasciato nell'ambiente soprattutto metalli derivanti dalla combustione di combustibili fossili, da scarti di produzione industriale, da residui di impianti di generazione

di energia, ecc. ma è anche legato all' elevato contributo di elementi chimici (es. arsenico) trasportati dai fluidi idrotermali. Nonostante l'inquinamento, i laghi artificiali all'interno dell'ex area industriale dell'Italsider presentano un biotipo stabile; nei piccoli laghi artificiali realizzati per accogliere le acque cariche degli scarti della lavorazione dell'acciaio; nelle aree verdi circostanti sono state osservate diverse specie appartenenti alla flora e alla fauna locale, in particolare è stata osservata la presenza di avifauna di diverse specie e di un rigoglioso canneto di *Phragmites australis*, unica rappresentante del genere *Phragmites*, piante di origine eurasiatica ma ormai cosmopolite; è una pianta palustre perenne e rizomatosa che può raggiungere anche i 4 metri di altezza ed è utile non solo dal punto di vista estetico ma anche per la sua forte azione fitodepurante, insieme alla *Typha latifolia* e all'*Arundo donax*, è una delle maggiori piante utilizzate a questo scopo. L'elevata produzione di biomassa di queste specie vegetali apre buone prospettive per l'accoppiamento della fitoestrazione assistita con la produzione di energia o di materie prime per lo sviluppo di chimica verde.



Figura 2 – Archeologia Industriale a Napoli: laghetti artificiali circondati da canneti di *Phragmites australis* nell'area dismessa dell'Italsider di Bagnoli.

*Figure 2 – Industrial Archaeology in Naples: artificial lakes surrounded by reeds Phragmites australis in disused Italsider of Bagnoli.*

Per l'area di Bagnoli, dove i sondaggi geognostici hanno riscontrato nel sottosuolo e nelle acque la presenza di arsenico, piombo, stagno, vanadio, zinco, tracce di ferro, manganese e idrocarburi (DeVivo 2007), andrebbe utilizzata la decontaminazione tramite piante; questa metodologia consiste in una naturale opera di riqualificazione di suoli e acque contaminati che non prevede l'uso di trattamenti chimici o termici, ma unicamente l'utilizzo di piante erbacee o arboree, selezionate *ad hoc*, in grado di assorbire l'inquinante stesso. A tal proposito si è realizzato uno studio inteso a esaminare la possibilità di utilizzare la tecnica di bonifica del phytoremedio nell'area dismessa dell'Italsider di Bagnoli utile anche alla produzione di biomassa per la produzione di energia; lo studio è inteso ad analizzare le possibilità di utilizzare nella riqualificazione del sito Bagnoli-Coroglio specie vegetali per rinaturalizzarne il paesaggio.

## Riqualificare il litorale di Bagnoli partendo dal paesaggio vegetale

L'alterazione degli equilibri naturali del paesaggio costiero di Bagnoli provocati dai processi di urbanizzazione ma ancor di più da quelli di industrializzazione (ex ILVA, Eternit, Cementir e Federconsorzi) deve essere mitigata da un piano di riqualificazione ambientale basato sulla conoscenza dettagliata del grado di modificazione dell'ambiente naturale. In questa ottica, il piano di recupero ambientale dei siti industriali dismessi dell'area di Bagnoli, approvato con delibera CIPE del 20.12.94, e finanziato dal Governo (Legge 582 del 18.11.1996 e Legge 388 del 23.12.2000), prevedeva di liberare le aree dagli impianti e dagli inquinanti che vi gravavano mediante interventi di smantellamento e di risanamento ecologico ambientale. Con la bonifica dell'area industriale si sarebbero dovute creare le premesse per la riqualificazione e il recupero ambientale. Oggi la riqualificazione dell'area è affidata al piano di riconversione elaborato da un team di esperti, attraverso l'ascolto degli imprenditori e delle associazioni che ha messo a punto un programma di bonifica e rigenerazione urbana "RILANCIOBAGNOLI" in cui è prevista la realizzazione di un parco con specie botaniche adatte alla riduzione d'impatto ambientale. L'afforestazione prevista dal piano è finalizzata non solo alla bonifica e alla riqualificazione delle aree dismesse ma anche alla mitigazione e al contenimento dell'inquinamento urbano. A tal riguardo è determinante



Figura 3 – Piante utili per la bonifica dei siti inquinati.

Figure 3 – Plants useful for the remediation of contaminated sites.



introdurre nel paesaggio vegetale le specie che meglio rispondono in funzione delle caratteristiche eco fisiologiche e funzionali. Per Bagnoli, come si è detto in precedenza, nel paesaggio vegetale dovrebbero essere inserite le specie vegetali in grado di assorbire efficacemente gli inquinanti dal suolo.

## **Conclusioni**

In attesa del concretizzarsi della nuova espansione urbanistica della periferia occidentale di Napoli, la piantumazione di piante minatrici per la bonifica dell'area industriale dismessa di Bagnoli, restituirebbe alla città l'immagine dinamica della riconversione del paesaggio costiero ad occidente della città di Napoli. In attesa di essere trasformato per essere restituito all'identità storica dei Campi Flegrei, nel paesaggio costiero del sito Coroglio-Bagnoli si delinea sempre di più la vocazione ad essere sede un territorio dove allestire laboratori sperimentali di scienza ecologica, attività già in essere presso la Città della Scienza.



Figura 4 – Area di Bagnoli con Nisida.  
*Figure 4 – Area of Bagnoli with Nisida.*

## **Ringraziamenti**

Un ringraziamento speciale ad Antonio Verde per il suo prezioso contributo nella traduzione del testo in lingua inglese.

## Bibliografia e Sitografia

- [1] Cardone V. (1989) *Bagnoli nei Campi Flegrei. La periferia anomala di Napoli*, ed. CUEN
- [2] De Lorenzo G. (1909) *I Campi Flegrei*, ed. Istituto Italiano d'Arti Grafiche
- [3] De Vivo B.(2007) *Indagini e risultati per il risanamento dei siti ex industriali dell'area di Bagnoli* <http://www.napoliassise.it/devivocolore.pdf>
- [4] Di Nunno F. (2016) *Bagnoli: la natura prende il sopravvento nei laghi dell'Italsider* <http://altrimondinews.it/2016/03/02/bagnoli-laghi-italsider/>
- [5] Fagnano M. e Fiorentini N. (2012) *La fito-estrazione assistita per il recupero della fertilità dei suoli agricoli contaminati* In: Bonifica, recupero ambientale e sviluppo del territorio: esperienze a confronto sul fitorimediazione (Atti del Convegno, Terni, 20-21 ottobre 2011), ARPA Umbria, Micron, 22S, pp.125-138
- [6] Ferrara G.; Rizzo G.; Zoppi M. (2007) *Paesaggio:didattica, ricerche e progetti* (1997-2007) <http://www.fupress.com/archivio/pdf/4613.pdf>
- [7] <http://www.osservatorionazionaleverdeurbano.it/sites/default/files/La%20phytoremediation%20e%20le%20piante%20consigliate%20per%20la%20bonifica%20dei%20siti%20inquinati.pdf>
- [8] <https://www.architetturaecosostenibile.it/green-life/curiosita-ecosostenibili/tecniche-bonifica-terreni-900/>
- [9] [https://www.google.it/?gfe\\_rd=cr&ei=b-fXV4rfLlLw8AfTlrm0Ag&gws\\_rd=ssl#q=progettare+un+parco+urbano+con+il+fitorimediazione](https://www.google.it/?gfe_rd=cr&ei=b-fXV4rfLlLw8AfTlrm0Ag&gws_rd=ssl#q=progettare+un+parco+urbano+con+il+fitorimediazione)
- [10] <http://www.casaportale.com/public/uploads/51308-recuperobagnoli.pdf>
- [11] [http://www.edilportale.com/news/2016/04/lavori-pubblici/bagnoli-presentato-il-piano-da-272-milioni-per-la-riqualificazione\\_51308\\_11.html](http://www.edilportale.com/news/2016/04/lavori-pubblici/bagnoli-presentato-il-piano-da-272-milioni-per-la-riqualificazione_51308_11.html)
- [12] Luongo G. (1986) *Storia eruttiva dei movimenti lenti del suolo(bradisismo) dei Campi Flegrei*, in Ingegneri, anno XXVII, nuova serie, n.3, novembre 1986

# INDAGINE SPERIMENTALE PER LA VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI TRATTENIMENTO DI UNA "TRAPPOLA" A SCOGLIERA

Michele Di Natale, Stefania Di Ronza, Caterina Eramo, Daniela Ruberti, Marco Vigliotti  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Design, Edilizia e Ambiente, Seconda Università di Napoli  
via Roma, 29 - 81031 Aversa (CE), Tel. 081 5010386, Fax 081 5037370,  
e-mail: [caterina.eramo@unina2.it](mailto:caterina.eramo@unina2.it)

**Riassunto** – Il porto turistico di Castelvoturno-Pinetamare lamenta fenomeni di interrimento dell'imboccatura che comporta frequenti interventi di dragaggio, a seguito di un significativo trasporto solido che, nel tempo, ha determinato notevoli variazioni della linea di riva, evidenziate dalla cartografia storica e dalle foto aeree. In questo lavoro vengono esposti i risultati di uno studio sperimentale per valutare l'efficacia dell'intervento strutturale basato sulla realizzazione di una "trappola" per sedimenti rappresentata da una scogliera ortogonale all'esistente molo di sopraflutto per il nuovo porto turistico. Presso la vasca ondogena del Laboratorio di Idraulica Marittima della SUN, l'efficacia dell'intervento proposto è stata valutata mediante la riproduzione in modello della "trappola", dell'intero molo di sopraflutto, dell'imboccatura portuale e di un tratto di linea di costa sufficientemente ampio da consentire l'istaurarsi di una corrente parallela alla linea di riva.

Le prove sperimentali condotte hanno evidenziato l'efficacia dell'intervento progettuale proposto.

***Abstract** – The whole activities and operations which will take place within the area of the new marina of Castelvoturno-Pinetamare have made it necessary to evaluate ability to entertain "trap", placing perpendicular breakwater. The Port Authority therefore asked the MHL (Maritime Hydraulic Laboratory) of the Second University of Naples to carry out an intensive laboratory investigation on the capacity "trap" for sediment in order to optimize its design. The current marina, located at SE of the mouth of the River Volturmo and the Regi Lagni, is interesting by phenomena silting at harbor mouth that involves dredging to re-establish depth compatible. The sediment transport resulted in the deviation of Regi Lagni mouth quantified on a cartography for the last 250 years in a GIS environment. It has been played in a physical model trap of sediment, the breakwater, the harbor mouth and a coastline. The experimental tests highlight that the trap for sediments appears able to intercept it.*

## Introduzione

È noto che l'interazione idrodinamica onde-correnti, anche in prossimità di una foce fluviale, determina modificazioni morfologiche il cui studio presenta notevoli difficoltà trattandosi di un processo di interazione fortemente non lineare tra le due forzanti. Il problema è stato affrontato da diversi autori anche attraverso un approccio di tipo fisico [1], [11], [8], [10]



tanto più realistico quanto più tiene conto di un opportuno fattore di scala di modellazione, ma che tuttavia fornisce risultati qualitativi più che quantitativi.

Le regioni costiere del Mediterraneo rappresentano complessi sistemi deposizionali altamente dinamici che nel tempo hanno subito variazioni di forma in risposta soprattutto ai recenti cambiamenti ambientali. A seguito delle continue modificazioni morfologiche subite anche dal Litorale *Domitio* (Golfo di Gaeta; [9]) l'attuale porto turistico di Castelvolturmo-Pinetamare è soggetto a fenomeni di interrimento dell'imboccatura che limita la profondità del fondo, non compatibile con il pescaggio dei natanti; ciò richiede frequenti interventi di dragaggio per ripristinare le profondità ottimali.

Per limitare il fenomeno, in fase di progettazione del nuovo porto è stata proposta una "trappola" per sedimenti che consiste nella realizzazione di una scogliera ortogonale all'esistente molo di sopraflutto.

Presso il Laboratorio di Idraulica Marittima della SUN (LIM-SUN), realizzando un modello fisico della struttura portuale e dell'opera a farsi, sono state condotte prove sperimentali riproducendo la corrente litoranea a cui è sottoposto il litorale e un'onda regolare concorde al verso della corrente. Durante le prove sono state acquisite immagini digitali dell'area posta a tergo della trappola per i sedimenti ed è stato effettuato il rilievo degli spessori dei traccianti ivi depositi al fine di valutare l'efficacia dell'intervento proposto.

## Evoluzione geoambientale dell'area

Il porto turistico S. Bartolomeo di Castelvolturmo-Pinetamare (long. 13°58'39" E, lat. 40°58'29" N) è una piccola struttura artificiale posta rispettivamente a ca. 7 km e 1 km a sud della foce del Fiume Volturno e dei Regi Lagni (RR.LL.). L'approdo fu realizzato nel 1974 sfruttando un alveo abbandonato dei RR.LL. collegato al mare attraverso un canale artificiale protetto da moli, mentre un molo foraneo fu posto a difesa del canale d'ingresso alla darsena (Figura 1).

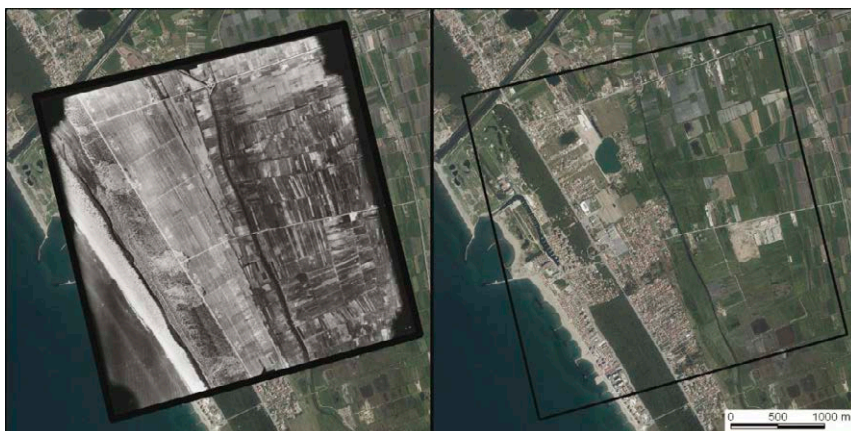


Figura 1 – Veduta aerea dell'area in una ripresa del 1957, a sinistra, e del 2011, a destra.  
*Figure 1 – Aerial view of the Study Area in 1957, to the left, and in 2011, to the right.*

Il paraggio, oggetto d'esame, è caratterizzato da un settore di traversia nel quale prevalgono le mareggiate provenienti da W e SW. Ciò comporta il frequente insorgere di una corrente litoranea orientata NW - SE, cui si accompagna un significativo trasporto solido. Il volume dei sedimenti mobilizzati che si muove parallelamente alla linea di riva è stato stimato in ca. 25 000 m<sup>3</sup>. L'ampiezza della fascia litoranea interessata dalla corrente e dal trasporto solido varia in funzione dell'intensità delle mareggiate, con un massimo di circa 330 m corrispondenti alla profondità di -6 m.

La comparazione della cartografia storica con quella attuale, anche attraverso l'utilizzo di Sistemi Informativi Geografici o Territoriali, unitamente a fonti documentarie, suggeriscono che la bassa piana costiera del Voltorno e la fascia litoranea hanno subito significativi cambiamenti indotti dalla bonifica dei territori a partire dal 1500 [4], [9]. I primi interventi di bonifica interessarono il corso del Clanio che in parte fu rettificato e ampliato, acquisendo la denominazione di RR.LL.; per facilitarne il deflusso, l'immissione nel Lago Patria fu sbarrata aprendo un nuovo sbocco a mare attraverso la fascia dunare a circa 6 km a sud dalla foce del Voltorno. Una mancata manutenzione, continua ed adeguata, determinò negli anni l'interrimento della nuova foce e la deviazione della stessa, verso sud, a seguito della redistribuzione lungo la costa di notevoli quantità di sedimenti trasportati soprattutto dal Voltorno. La foce dei RR.LL. fu raddrizzata nuovamente nel 1812 attraverso la realizzazione di una "foce a traforo" che determinò l'avanzamento della spiaggia di circa 200 m [2].

Le attività di bonifica, in combinazione con i naturali processi della dinamica costiera, ebbero effetti sulla linea di riva determinandone sostanziali modificazioni. L'effetto più imponente fu la distruzione progressiva del corpo di foce del F. Voltorno, accompagnato da una iniziale progradazione dell'intero litorale *Domitio* per effetto della deriva e redistribuzione dei sedimenti asportati dalle ali del delta, ad opera del *drift* sottocosta. Dalla metà degli anni '80 la costa, oramai rettificata, subì un generale arretramento. Le foci del Voltorno e dei corsi d'acqua minori, come ancora accade oggi, furono costantemente deviate, talora in maniera accelerata, in occasione di eventi meteo-marini eccezionali.

Attualmente, in destra orografica della foce dei RR.LL. la spiaggia, lunga ca. 200 m, sottende un sistema dunare, ampio circa 300 m che talora raggiunge i 4 m di altezza, ricoperto da una vegetazione di tipo erbaceo ed arbustivo. In sinistra orografica la spiaggia ha un'ampiezza variabile compresa tra 50 e 70 m raggiungendo valori massimi a ridosso della diga foranea. Il restostante sistema spiaggia/duna risulta in parte spianato, occupato da impianti sportivi e dal complesso turistico residenziale di Villaggio Coppola - Pinetamare. L'analisi cartografica e aerofotogrammetrica ha evidenziato come in tempi recenti, la spiaggia, nel settore costiero compreso tra la foce dei RR.LL. e la diga foranea, è quella che negli ultimi decenni si è estesa maggiormente (Figura 2) con tassi di avanzamento medio pari a circa 6.5 m/anno tra il 1974 e 2011.

## Installazione sperimentale

Tenendo conto della dinamica sedimentaria sopra descritta, è stato progettato un modello sperimentale presso il LIM-SUN. La vasca ondogena a sezione rettangolare ha le dimensioni di 15.70×12.45×1.00 m, con un fondo a pendenza costante 1:20 per un tratto di lunghezza pari a 10 m. Pendenze del fondo diverse dal valore di 1:20 possono essere realizzate modellando opportunamente lo spessore dello strato di sabbia di diametro  $d_{50} = 0.2$  mm che ricopre il fondo della vasca.

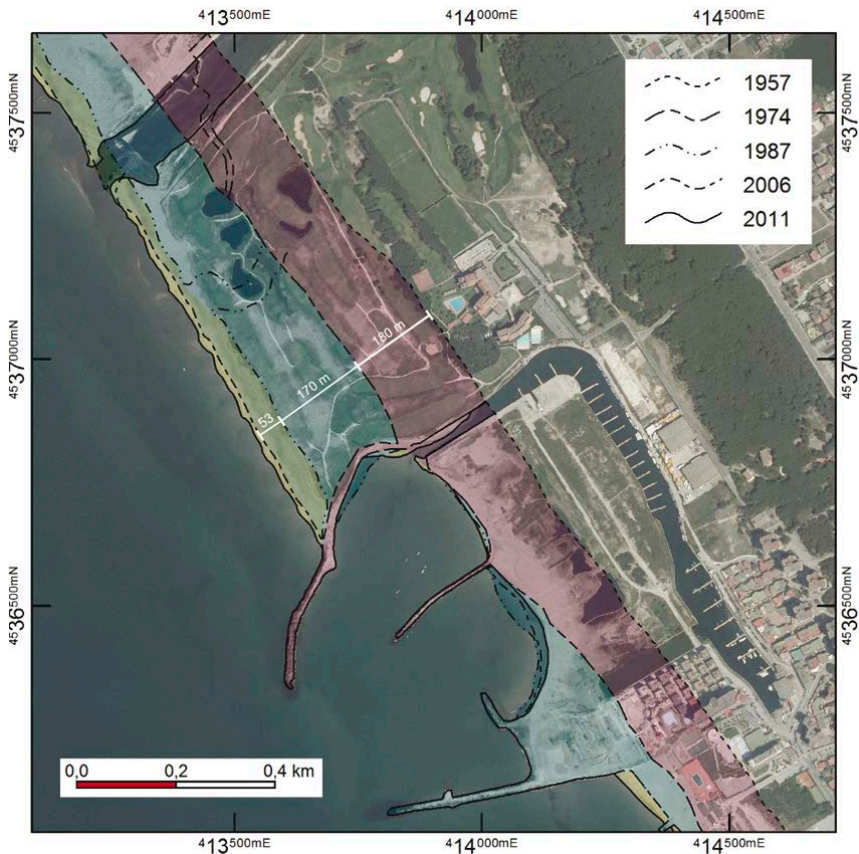


Figura 2 – Veduta aerea dell'area di studio (2011). Sono riportate le variazioni della linea di riva nel periodo 1957-2011.

*Figure 2 – Aerial view of the Study Area in 2011 and variations of the shoreline for the period from 1957 to 2011.*

La generazione del moto ondoso 2-3D avviene mediante l'impiego di 30 battitori a pale, azionati da motori elettrici passo-passo del tipo brushless IP656 3 Nm-3000 rpm-2000 W (potenza di picco). Con tale sistema è possibile simulare moti ondosi regolari e random di prefissato spettro energetico e forme d'onde (onde *short crested* e onde *long crested*). Il sistema di generazione è dotato di assorbimento attivo della riflessione al battitore, implementato presso l'*Hydraulics and Coastal Engineering Laboratory* dell'Università di Aalborg ed opportunamente adattato alla vasca in esame. La misura dei livelli idrici viene effettuata mediante 30 sonde resistive che vengono opportunamente posizionate in funzione dello stato di mare che si intende riprodurre. Le sonde utilizzate hanno frequenza di acquisizione pari a 20 Hz. La variazione morfodinamica del fondo viene stimata con un profilatore Laser M5L e con uno scandaglio manuale. Per la misura del campo di moto è utilizzato un velocimetro ad ultrasuoni, con frequenza di campionamento pari a 20 Hz.

## Descrizione del modello fisico

Per verificare l'efficacia dell'intervento proposto è stato realizzato un modello fisico in scala 1:70 (similitudine di Froude), in modo che all'interno della vasca ondogenica tridimensionale fosse possibile alloggiare, oltre alla trappola per i sedimenti, il modello dell'intero molo di sopraflutto, l'imboccatura portuale, ed un tratto di linea di costa sufficientemente ampio da consentire l'instaurarsi di una corrente parallela alla linea di riva (Figura 3). La scogliera a protezione del molo di sopraflutto e la scogliera soffolta costituente la trappola per i sedimenti sono state realizzate con elementi lapidei calcarei di opportuna pezzatura; il fondale, che riproduce in scala la batimetria del paraggio, è stato realizzato con sabbia silicea del diametro  $d_{50}$  pari a 0.2 mm; nella zona interessata dalla corrente litoranea, al fine di prevenirne il dilavamento, il fondale è stato protetto con uno strato di sabbia silicea più grossolana, caratterizzata da un diametro  $d_{50} = 2$  mm.

L'esecuzione di prove sperimentali su modello idraulico in scala comporta il ben noto problema legato all'impossibilità di scalare simultaneamente le grandezze geometriche, le forze di inerzia e le forze viscosse [5]. Per la simulazione di campi di moto a superficie libera, tuttavia, è prassi consolidata privilegiare la scalatura delle prime due (similitudine di Froude). Nel caso in cui si vogliano riprodurre i caratteri salienti dei fenomeni di trasporto solido, sorge però l'ulteriore complicazione dovuta all'impossibilità di riprodurre le particelle solide nel rapporto di scala geometrica del modello, in quanto ciò comporterebbe l'utilizzo di particelle di dimensioni estremamente piccole, per le quali gli effetti delle forze di adesione, legate all'interazione tra la superficie delle particelle solide e le molecole di acqua, non possono essere trascurate, come invece è lecito per le particelle solide del prototipo [6], [7]. La dimensione dei sedimenti nel sito di realizzazione del porto turistico è infatti caratterizzata da  $d_{50}$  pari a 0.25 mm, che nella scala del modello corrisponderebbero a  $3.6 \mu\text{m}$ . Al fine di conciliare la scala geometrica imposta con l'attivazione del trasporto solido senza dover ricorrere a particelle tanto piccole, si è scelto di ricorrere a particelle di PVC del diametro di circa 2.5 mm, più facilmente movimentabili sotto l'azione della corrente, in quanto caratterizzate da un peso specifico di circa  $14 \text{ kN/m}^3$ , minore di quello dei minerali silicei costituenti le sabbie, pari a circa  $26 \text{ kN/m}^3$ . L'impiego di tali particelle, di colore rosso scuro, ha inoltre consentito l'agevole individuazione delle zone di accumulo del materiale.

## Calcolo della portata solida in modello

A partire dalle osservazioni sperimentali disponibili sul trasporto solido e dai risultati dello studio meteomarinario, è possibile stimare l'altezza d'onda significativa della mareggiata ( $H_s$ ) corrispondente alla portata solida media. L'altezza d'onda significativa  $H_s$ , applicando la formula di Kamphuis [1] è risultata pari a 1.15 m, noto il valore della portata solida media,  $Q_s = 25.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ , della durata delle mareggiate con altezza d'onda significativa maggiore di 0.50 m,  $d \approx 2500 \text{ h/anno}$ , corrispondenti ad una persistenza  $p = 0.29$ , dell'angolo di incidenza rispetto alla linea di riva,  $\alpha = 2.9^\circ$ , corrispondente alla direzione della risultante energetica di  $241^\circ\text{N}$ , del periodo d'onda  $T_s$  e della pendenza del fondale,  $m = 0.018$ . Al valore dell'altezza  $H_s$  corrisponde una profondità di frangimento di -1.47 m, con ampiezza della zona di chiusura pari a circa  $L = 70$  m.



Figura 3 – Modello del porto ricostruito all'interno della vasca. Nel riquadro lo schema progettuale.

*Figure 3 – Harbour Model reconstructed in the LIM-SUN.*

Lo sforzo tangenziale al fondo,  $\tau_o$ , corrispondente alla portata solida è stato calcolato applicando la nota formula di Meyer-Peter e Muller [12], valida per la stima del trasporto di fondo in correnti a superficie libera, a sezione rettangolare larghissima, in moto uniforme. Lo sforzo  $\tau_o$  è risultato pari rispettivamente a  $\tau_o=2.03\text{N/m}^2$  per  $K_F/K_G=1$  e  $\tau_o=0.72\text{ N/m}^2$  per  $K_F/K_G=0.5$ . Il valore della velocità di attrito alla parete,  $V_*$ , è risultato quindi pari rispettivamente a  $V_*=0.045\text{m/s}$  per  $K_F/K_G=1$  e  $V_*=0.027\text{m/s}$  per  $K_F/K_G=0.5$ . Assunto un profilo verticale di velocità ad andamento logaritmico, è possibile calcolare la velocità media della corrente nel prototipo corrispondente all'assegnato trasporto di sedimenti, pari a  $\tilde{V}=1.11\text{m/s}$  per  $K_F/K_G=1$  e  $\tilde{V}=0.66\text{m/s}$  per  $K_F/K_G=0.5$ . Nel modello il valore della velocità media è risultato pari rispettivamente a  $\tilde{V}_M=0.13\text{ m/s}$  per  $K_F/K_G=1$  e  $\tilde{V}_M=0.08\text{ m/s}$  per  $K_F/K_G=0.5$ . Il tirante idrico medio in vasca, nella fascia di ampiezza di 1 m a partire dalla linea di riva corrispondenti nel prototipo a  $L=70\text{ m}$ , è pari a  $h=0.015\text{ m}$ . Assumendo ancora una volta un profilo verticale di velocità ad andamento logaritmico, si è ottenuto il valore della velocità di attrito al fondo nel modello,  $V_M^*$ , pari rispettivamente a  $V_M^*=0.014\text{ m/s}$  per  $K_F/K_G=1$  e  $V_M^*=0.008\text{ m/s}$  per  $K_F/K_G=0.5$ . Calcolando i valori dello sforzo tangenziale al fondo, corrispondenti alle sopra riportate velocità, ed applicando nuovamente la formula di Meyer-Peter e Muller [12], è facile constatare che, pur avendo impiegato particelle di ridotto peso specifico, non è possibile realizzare nel modello una portata solida rispettosa della scala geometrica fissata. Per questo motivo si è proceduto alla valutazione, attraverso la teoria di Shields [12], della velocità minima corrispondente all'inizio del trasporto di fondo dei sedimenti in PVC impiegati per la realizzazione delle prove sperimentali. A tal fine, assumendo come valore critico del parametro di Shields  $\vartheta$  pari a 0.06, si è ottenuto il valore di  $\tau_o$  pari a  $0.60\text{ N/m}^2$  cui corrisponde la velocità minima  $V_{*min} = 0.025\text{ m/s}$ . Assumendo un tirante idrico medio in vasca pari a  $0.020\text{ m}$  nella zona interessata dalla corrente litoranea, si ottiene che la minima velocità media in vasca affinché i sedimenti si mettano in moto sul fondo è pari a:

$$\bar{V}_{\min} = V_{*\min} \left( 5.75 \log \frac{h}{d} + 5 \right) \cong 9.5V_* = 0.255 \text{ m/s}$$

Di qui, assumendo di riprodurre in vasca una corrente con una velocità media pari  $V_{\min}=0.255 \text{ m/s}$ , è possibile calcolare la portata solida per unità di larghezza  $q_s$ , applicando ancora una volta la formula di Meyer-Peter e Muller [12]. Assumendo il rapporto  $K_F/K_G=1$ , si ottiene  $q_s$  uguale a circa  $0.011 \text{ m}^3/\text{h}$ . Con tale portata solida appare possibile effettuare prove sperimentali durante le quali, nella scala del modello, sia riprodotto il trasporto solido che nel prototipo si realizza in un anno. Il volume annuo di  $25\,000 \text{ m}^3$  corrisponde infatti, nella scala del modello, a circa  $0.073 \text{ m}^3$ .

## Procedura sperimentale

In base ai risultati dei calcoli precedentemente descritti è stato possibile definire le caratteristiche della corrente litoranea da riprodurre nel modello. In particolare, la corrente è stata introdotta in vasca attraverso una feritoia di ampiezza  $0.02 \text{ m}$  praticata longitudinalmente a una tubazione di acciaio lunga  $1.20 \text{ m}$  e disposta ortogonalmente alla linea di riva. Tale tubazione, a sezione variabile, presenta inizialmente un diametro di  $200 \text{ mm}$  che si riduce progressivamente fino a diventare pari a  $150 \text{ mm}$  all'estremità opposta. La tubazione fa parte di un circuito idraulico chiuso che è alimentato dalla tubazione di scarico della vasca ondogenica ed è completato da una vasca di misura dotata di una pompa centrifuga, di una saracinesca di regolazione e di misuratore elettromagnetico per la misura della portata, da una vasca di carico, munita di uno stramazzo Thompson, e da un breve tratto di canaletta a pelo libero, dalla quale si diparte la suddetta tubazione. Al di sopra della canaletta è disposta una tramoggia per l'introduzione delle particelle solide nella corrente dotata nella parte inferiore di una vite che consente la regolazione fine della portata solida erogata (Figura 4). In corrispondenza dello sbocco della corrente nella vasca, al fine di prevenire fenomeni di erosione localizzata del fondo sabbioso, il fondo stesso è stato protetto mediante un pannello in plexiglass. Una serie di prove preliminari del dispositivo sperimentale hanno sostanzialmente confermato i risultati dei calcoli illustrati nel precedente paragrafo. In definitiva, le prove sperimentali sono state condotte immettendo in vasca una corrente di portata pari a  $7.3 \text{ l/s}$ , corrispondenti ad una velocità media della corrente litoranea di circa  $0.31 \text{ m/s}$ , leggermente superiore al valore di  $0.255 \text{ m/s}$  corrispondente all'inizio del trasporto di fondo. Al fine di agevolare il trasporto solido di fondo, a tale corrente è stata sovrapposta un'onda regolare di ampiezza pari ad  $1.5 \text{ cm}$  e periodo di  $1.2 \text{ s}$ , con angolo di attacco di  $20^\circ$  concorde al verso della corrente. Successivamente è stato possibile introdurre nella corrente una portata solida di circa  $4 \text{ cm}^3/\text{s}$ , con la quale è stato simulato il volume di sedimenti trasportati in un intero anno con una durata della prova di circa  $5 \text{ h}$  (Test P1). Una volta terminata l'immissione delle particelle solide, la prova sperimentale è stata protratta con le sole forzanti idrodinamiche fino al raggiungimento di condizioni stazionarie del fondale (la corrente idrica e il moto ondoso - Test P2).



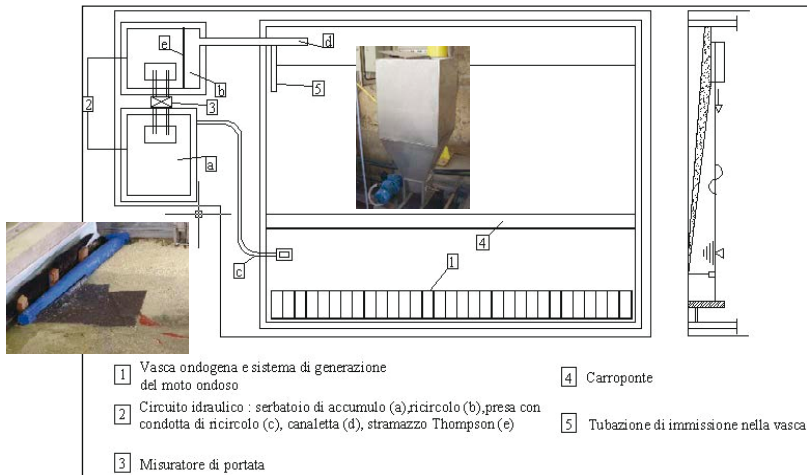


Figura 4 – Schema del circuito idraulico.

*Figure 4– Layout wave basin.*

## Risultati sperimentali

Durante il Test P1 con aggiunta di tracciante, della durata complessiva di 300 minuti, sono state acquisite, ogni 10 minuti, immagini digitali di insieme e di dettaglio, dell'area posta a tergo della trappola per i sedimenti. Le immagini acquisite nelle fasi iniziale e finale sono riportate nella Figura 5a,b. Dall'esame delle immagini scaturiscono le seguenti considerazioni:

- il tracciante di colore rosso scuro scorre sul fondo all'interno di una fascia parallela alla linea di riva;
- il tracciante tende a depositarsi lungo la linea di riva e in una fascia piuttosto ristretta, di andamento irregolare, all'interno della trappola per i sedimenti;
- si evidenzia il progressivo dilavamento della parte più fine della sabbia costituente il fondale in vasca, di colore chiaro nelle immagini, che tende ad accumularsi nella zona più interna della trappola per i sedimenti;
- sporadiche particelle di tracciante si depositano sul fondo in prossimità della testata del pennello costituente la trappola per i sedimenti;
- nessuna particella di tracciante sfugge alla trappola per i sedimenti.

Durante il successivo Test P2, della durata di 2475 minuti, durante i quali l'alimentazione di sedimenti è stata interrotta, ma sono stati mantenuti inalterati la corrente litoranea e il moto ondoso, sono state acquisite, ogni 30 minuti, immagini digitali, sia di insieme che di dettaglio, dell'area posta a tergo della trappola per i sedimenti. Alcune delle immagini acquisite sono riportate nella Figura 5. L'esame delle immagini mostra il progressivo dilavamento delle particelle di tracciante dalla fascia parallela alla linea di riva lungo la quale scorrono. Tutte le particelle di tracciante mobilitate durante questa seconda fase di prova si depositano all'interno della trappola per i sedimenti, ancora una volta lungo la linea di riva ed in una ristretta fascia, di forma irregolare, posta a tergo del pennello. L'irregolarità della forma della fascia in cui si depositano le particelle di tracciante è dovuta alla formazione di un

consistente cumulo formato dai sedimenti sabbiosi più fini nella zona di ristagno della corrente, che determina l'ulteriore deviazione delle linee di flusso della corrente all'interno della trappola per i sedimenti, come è qualitativamente illustrato nella Figura 5. Fino al raggiungimento di un assetto stabile del fondale, nessuna particella di tracciante sfugge alla trappola di sedimenti. Quest'ultimo risultato è confermato dal rilievo della batimetria in corrispondenza dell'imboccatura portuale, che al termine della prova non risulta modificata rispetto all'inizio. Ad ulteriore conferma del risultato acquisito, al termine della prova è stato effettuato, sui nodi di una griglia regolare orientata come mostrato in Figura 4, il rilievo degli spessori di tracciante ivi depositato da cui è stato calcolato il volume di tracciante depositato all'interno della trappola per i sedimenti. Tale volume è risultato pari a circa  $0.078 \text{ m}^3$ , sostanzialmente coincidente con quello immesso nella corrente durante la prima fase della prova. A tale volume di tracciante intrappolato deve essere inoltre aggiunto il volume di particelle di sabbia fine che si sono depositate nelle parte più interna della trappola, modificandone sensibilmente il fondale, tanto da influenzare l'andamento delle linee di flusso del campo di velocità all'interno della trappola. Tale volume, che non è stato possibile quantificare con precisione, appare almeno pari a quello del tracciante. In Figura 6 è riportata la visualizzazione dello spessore di tracciante al termine del Test P2.

### Considerazioni conclusive

Nella presente memoria sono riportati i risultati delle prove su modello fisico eseguite per la verifica della capacità di trattenimento di una "trappola" a scogliera disposta ortogonalmente al molo di sopraflutto del nuovo porto turistico di Castelvoturno-Pinetamare. I risultati ottenuti hanno mostrato che:

- la trappola per i sedimenti appare in grado di intercettare un volume di materiale solido più che doppio di quello annuo misurato in sito;
- i sedimenti depositati all'interno della trappola raggiungono un assetto stabile anche sotto la perdurante azione della corrente litoranea.

Il modello sperimentale conferma inoltre le osservazioni scaturite dall'analisi cartografica su dati storici che documentano una deriva litoranea verso SE responsabile, nel passato, dell'interrimento ripetuto di alcune foci fluviali, tra cui quella dei RRLL, posta a nord dell'area portuale oggetto di studio.

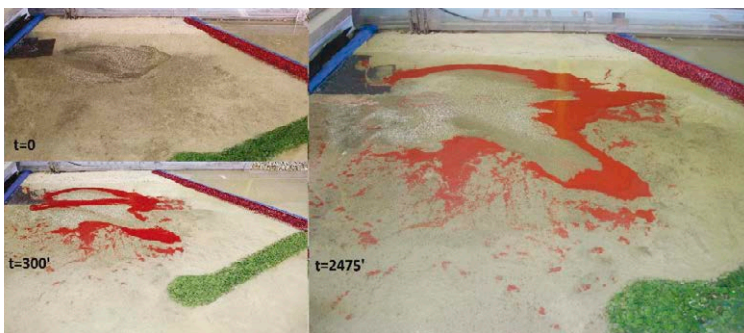
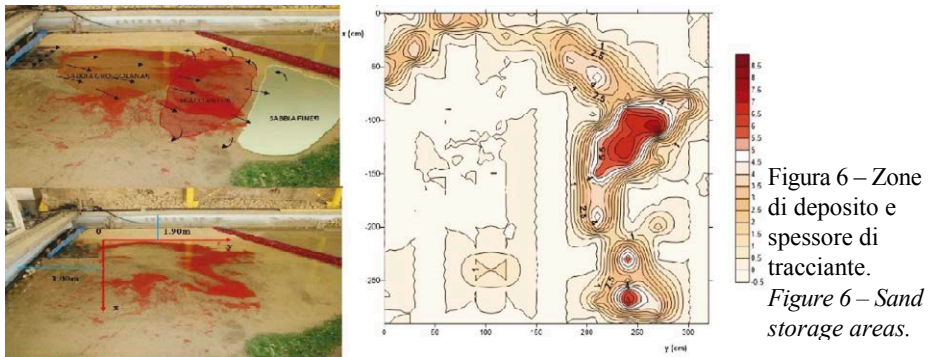


Figura 5 – Test P1-P2 - Rilievo fotografico.

*Figure 5 – Test Images.*





## Bibliografia

- [1] Benassai, E., Di Natale, M., Eysink, W. D. e Pastorino, R. *Coastal processes related to alternative outlets of torrent St. Agata on the ionian coast south of Reggio Calabria-Italy*. Proceedings of Sixth Symposium on Coastal and Ocean Management/ASCE, Charleston, July, 1989.
- [2] Catalano, E. *Bonificazioni e strade nelle paludi campane*. Annali civili del Regno delle due Sicilie. (1844), Napoli.
- [3] Di Natale, M., Di Ronza, S., Eramo, C. e Vicinanza, D. - *Il Laboratorio di Idraulica Marittima della SUN. Caratteristiche e Potenzialità*, 31° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, Settembre, 2008.
- [4] Fiengo, G. *I Regi Lagni e la bonifica della Campania Felix durante il Viceregno spagnolo*. (1988) Leo S. Olschki Editore, Firenze.
- [5] Hughes, S.A. - *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. (1993) World Scientific Pub. Co., River Edge (NJ).
- [6] Kamphuis, J.W. - *Scale selection for mobile bed wave models*, Proc. of 13th Conf. on Coast. Eng., Vancouver, Canada, 1972.
- [7] Kamphuis, J.W. *Introduction to Coastal Engineering and Management*. Advanced Series on Ocean Engineering. vol. 16 (2000), World Scientific, Singapore.
- [8] Reniers, A. J. H. M. e Battjes, J. A. *A laboratory study of longshore currents over barred and non-barred beaches*. Coastal Engineering, (1997) 30, 1 - 22.
- [9] Ruberti, D., Verde, R., Vigliotti, M. *Changes in land use and landscape pattern in a reclaimed coastal area of Campania Region (southern Italy)*. Regional Environmental Change (submitted)
- [10] Seabergh, W. C., Curtis, W. R., Thomas, L. J., Hathaway, K. K. *Physical Model Study of Waves Diffraction-Refraction at an Idealized Inlet*. Coastal Inlet Research Program, US Army Corps of Engineers, Technical Report, 2001.
- [11] Skafel, M. G. Laboratory measurement of nearshore velocities and erosion of cohesive sediment (till) shorelines. Coastal Engineering, (1995) 24, 343 - 349.
- [12] US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center. *Shore Protection Manual*, Vols I and II, 4<sup>th</sup> ed., (1984), US Government Printing Office, Washington, D.C.

## STORIA DELL'ANTICA POLIS DI ELEA: DA CITTÀ PORTUALE A INSEDIAMENTO RURALE

Salvatore Patrizio<sup>1</sup>, Ferdinando Jannuzzi<sup>2</sup>, Gabriella Nora Maria Giudici<sup>3</sup>

<sup>1</sup>C.N.R. – Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale – UOS di Napoli  
Via P. Castellino, 111 – 80131 Napoli, Tel. 0816132321, e-mail: salvatore.patrizio@ibaf.cnr.it

<sup>2</sup>Direttore dell'Osservatorio per lo Sviluppo Sostenibile della Val Comino, Alvito (FR)

<sup>3</sup>Agronoma-Libera Professionista, Pozzuoli (NA)

**Riassunto** – Il fenomeno dell'insabbiamento dei porti situati presso le foci dei fiumi, causato dal progressivo accumulo di sedimenti trasportati dai corsi d'acqua, è un problema fisiologico dovuto alla scarsa profondità del fondale che impedisce l'allontanamento verso il largo dei depositi, rendendo in tal modo più difficile l'approdo. Oggigiorno, per ovviare a tale problematica, nei pressi dei moli vengono periodicamente effettuate delle operazioni di dragaggio del fondale marino con lo scopo di asportare i sedimenti che si sono depositati rendendolo, così, più profondo.

Nell'antichità, però, non esistevano mezzi e tecnologie attualmente a nostra disposizione per cui, in caso di insabbiamento dei porti, si preferiva cercare dei siti più idonei agli ancoraggi delle imbarcazioni abbandonando i luoghi preesistenti per fondarne di nuovi. In altri casi, per tutta una serie di motivi che analizzeremo nel corso del nostro lavoro, gli abitanti sceglievano di lasciare le città costiere per insediarsi in zone interne dedicandosi ad altre attività commerciali come la pastorizia, l'agricoltura e l'artigianato.

Le vicende storiche e l'evoluzione geomorfologica dell'antica polis di Elea, dalla sua fondazione alla sua decadenza, danno una chiara fotografia di ciò che accadeva o poteva accadere in passato alle città costiere del Mediterraneo.

***Abstract** – Infilling process caused by rivers transported sediments is a natural event for close-to-estuaries harbours. It could depend by shallow water preventing sediments to move to open sea. Today the problem can be solved dredging the harbor bottom, this way sediments are removed and the harbor made deeper.*

*Once devices and technologies were different, so in case of infilling, harbours were abandoned in favour of new locations. In other events, depending on reasons we'll analyze in our paper, people abandoned coastal towns to settle down in internal areas to practise agriculture and craftsmanship.*

*Historical and geomorphic evolution of ancient Elea, from foundation to decay, will give a clear image of what could happen in the past to a Mediterranean coastal town.*

### **Introduzione**

La fascia costiera italiana rappresenta un'unità ambientale di notevole importanza per i fenomeni naturali di cui è soggetta e per gli eventi economici, sociali, culturali e storici che si sono susseguiti nel tempo.

In età storica il litorale viene visto come luogo ideale di insediamento per i traffici marittimi, fonte primaria di sostentamento delle popolazioni mediterranee come fenici, greci, etruschi, ecc.

Tra il medioevo e il Seicento, a causa delle continue incursioni piratesche e alla presenza nelle zone paludose-salmastre di focolai infettivi, come la malaria, le popolazioni rivierasche abbandonano le zone costiere e si rifugiano nelle località interne più difendibili e più salubri.

Solo con la rivoluzione industriale la costa ritorna sede di sviluppo urbano, industriale e commerciale e oggi tale sviluppo richiede una sempre più accurata gestione e conservazione.

## Area di studio

Il sito oggetto del nostro lavoro e che ha visto che nel corso dei secoli modificare radicalmente la propria geomorfologia a causa del fenomeno del dilavamento dei fiumi circostanti è una città della Magna Grecia: l'antica e splendida polis di Elea (chiamata Velia dai Romani). Fu fondata intorno al 535 a.C. sulle coste della Campania meridionale, esattamente nell'attuale comune di Ascea (SA), dai greci di Focea in fuga dal nemico persiano.

Grazie all'opera *Storie* dello storico greco Erodoto di Alicarnasso sappiamo che intorno alla metà del VI secolo a.C., circa 545 a.C., il re di Persia, Ciro II detto *il Grande*, propose alle città greche dell'Asia Minore un formale atto di sottomissione. Solo Mileto accettò mentre le altre polis che non si erano sottomesse furono conquistate con le armi dall'esercito persiano comandato dal generale Arpago.

La prima città della Ionia sulla quale il comandante rivolse la propria attenzione fu Focea (attuale Foça – Turchia). L'abitato sorgeva su un promontorio, poco a nord della foce del fiume Ermo, di fronte alla propaggine più settentrionale della penisola di Smirne.

I Focei, che non volevano sottostare al dominio straniero, misero in mare le "pentecontere" (imbarcazioni veloci e di forma slanciata ad un ordine di remi, con 50 rematori – 25 remi per ogni lato della nave – usate sia come mezzi di trasporto che come navi da guerra), imbarcarono le donne, i figli, le masserizie, i viveri, le statue dei templi e, dopo varie peripezie, arrivarono a Reggio, loro città amica.

Qui incontrarono un ambasciatore di Poseidonia, altra polis ellenica situata lungo la costa tirrenica della Campania, che consiglia loro di acquistare dagli Enotri (antica popolazione preromana di stanza nell'Italia meridionale) un territorio confinante con la sua città dove vi è una fonte chiamata con il nome di una ninfa: Yele.

Convinti dall'argomentazione i Focei comprarono la zona indicata fondando una città a cui diedero il nome di Elea (ca. 535 a.C.).

I rapporti con gli Enotri sembrano essere amichevoli ed anche la narrazione di Erodoto non fa cenno alcuno a contrasti tra i Greci e le popolazioni locali all'atto della fondazione della polis.

La zona prescelta presentava una morfologia molto simile a quella della madrepatria: un promontorio (Castellammare della Bruca) alto circa 72 m, a picco sul mare e con due profonde insenature: una a nord ed una a sud. Di fronte al promontorio vi erano le isole Enotridi fornite di approdi, come ci ricorda Strabone e di cui Plinio il Vecchio, nella sua *Naturalis Historia*, ci fornisce sia l'ubicazione, *contra Veliam*, che i nomi, *Pontia et Isacia*.

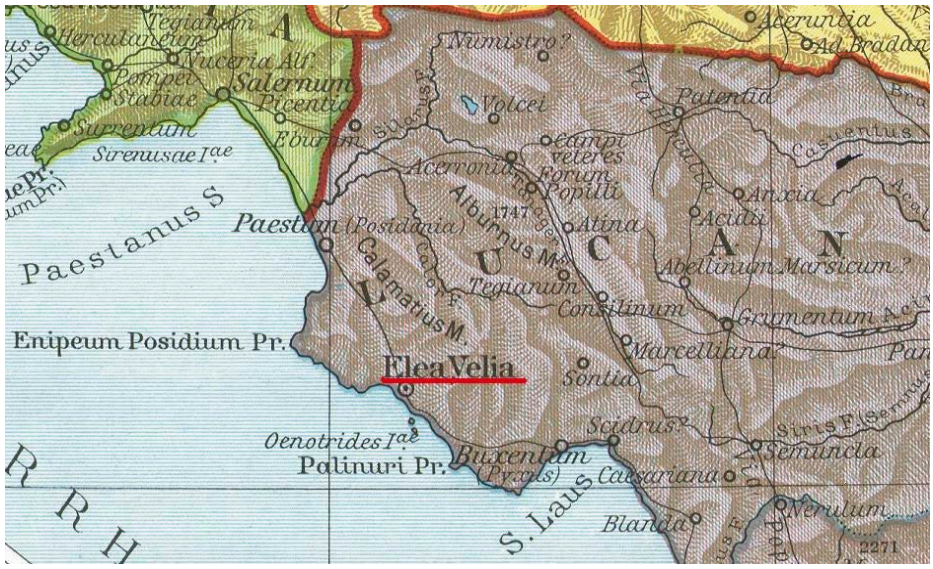


Figura 1 – Elea-Velia (Atlante storico DeA).



Figura 2 – Linea di costa all'epoca della fondazione.

Come attestato dalle fonti storiche sulla geomorfologia locale, oltre ai dati stratigrafici e archeologici, si deduce che la linea di costa era situata a circa 100 metri da Porta Marina Sud, punto di ingresso del quartiere meridionale della antica città, mentre il promontorio protendeva verso il mare per circa 400-500 m. Il litorale toccava le pendici meridionali di Tempa Malconsiglio quindi, come si desume anche da alcuni scritti di Cicerone, è certo che i due fiumi, Alento e Palistro, sfociavano a mare indipendentemente e poco distanti l'un dall'altro mentre oggi il Palistro è un affluente di sinistra dell'Alento.

Il territorio, esteso per circa 90 ettari, era delimitato, verso l'interno, da un sistema collinare ricco di terrazze coltivabili racchiuso da una catena di monti ricoperti da una fitta boscaglia mentre digradando verso il mare vi erano delle fertili pianure alluvionali dovute alla presenza di ben tre fiumi: oltre ai succitati Alento e Palistro, a nord, vi era la Fiumarella S. Barbara, a sud.

La città greca era al centro del *Sinus Eleates* o, in latino, *Velinus* (Golfo Velino). La fascia costiera sotto il suo controllo si estendeva per circa 60 km: da Punta Licosa, confine con la *chora* di Poseidonia, fino a Palinuro, confine con la *chora* di Pixunte, colonia di Reggio. All'interno, per difendere l'esiguo territorio destinato all'agricoltura dai bellicosi lucani, gli eleati avevano fortificato le alture di Catona (frazione di Ascea), Nobe (che prenderà il toponimo di Novi Velia), Civitella (Moio), Gioi, Torricelli (presso Vallo Scalo), Monte della Stella, Punta della Carpinina (Perdifumo) e Castelluccio (presso Pisciotta).

L'archeologo Mario Napoli, in riferimento ad una di queste fortificazioni, dice: *l'avamposto difensivo di Moio della Civitella, strategicamente collocato e ben munito di fortificazioni, non era isolato ma faceva parte di un sistema che si stringeva a semicerchio intorno a Velia, seguendo la conformazione orografica. Aldilà di questo semicerchio c'era il territorio lucano.*

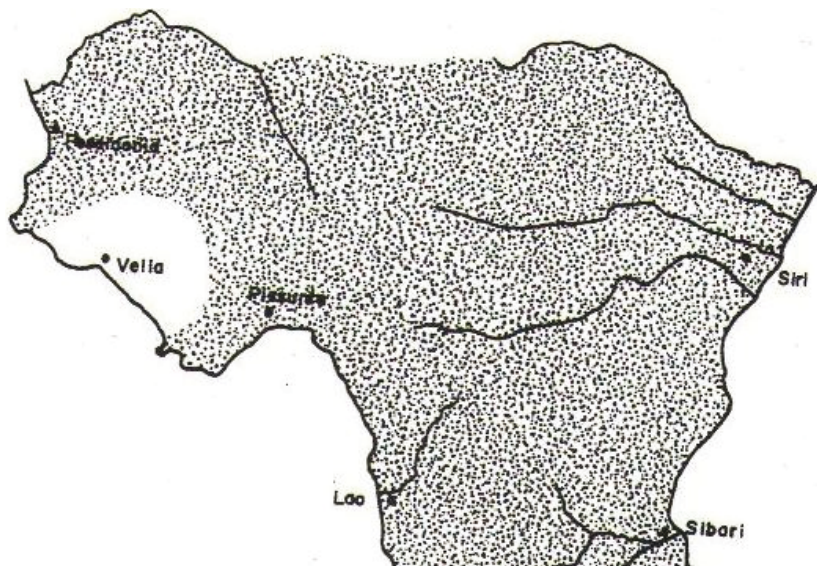


Figura 3 – Chora di Elea.



La forma della città in età arcaica è chiaramente leggibile dal mare: il promontorio ne costituisce l'ossatura portante, con a sud e a nord i due approdi collegati da un asse stradale. La collina divide l'abitato in due quartieri. Il quartiere settentrionale, più piccolo, era in funzione del porto fluviale alla foce dell'Alento. Il quartiere meridionale, molto più ampio, aveva un suo porto vicino ai piedi dell'acropoli e, molto probabilmente, un secondo porto alle foci della fiumarella di S. Barbara che con il suo corso segnava i limiti meridionali della città vera e propria.

La polis era legata prevalentemente ad un'economia mercantile ma prosperò anche grazie alla produzione di olio e pesce salato ed alla costruzione navale. Fu governata da leggi (le famose "buone leggi" fondate sull'ordine e sull'uguaglianza tra i cittadini), volute dal filosofo eleate Parmenide, qui nato intorno al 540 a.C., secondo Apollodoro di Atene, o 515 a.C., secondo Platone, che consentirono agli eleati di vivere un periodo di pace sociale e prosperità economica.

Accanto a Parmenide si formò una vera e propria scuola filosofica presocratica, conosciuta come Scuola Eleatica, che ebbe una grande influenza nell'evoluzione del pensiero greco. Uno degli allievi più importanti fu Zenone (489-431 a.C.), anch'egli nativo di Elea, da molti considerato il padre della matematica di precisione.

Nel corso del V secolo a. C., Elea entrò nell'orbita della sfera politica e culturale ateniese, fatto ben documentato nei culti dedicati ad Athena, nella monetazione e nella tradizione relativa al viaggio di Parmenide e Zenone ad Atene di cui parlano Platone e Plutarco.

Accanto alla Scuola Filosofica Eleate prosperò e crebbe anche quella medica, alla quale si ispirò la Scuola Medica Salernitana nel medioevo, che verosimilmente ne fu l'erede diretta. Inoltre, nella polis è ben documentato il culto ad Asclepio, il dio della medicina, di cui è stata ritrovata una statua ed un vero e proprio *Asklepieion*, complesso monumentale destinato sia al culto della divinità sia alla cura dei malati, alla stregua di un moderno ospedale.

In breve tempo la bellezza e l'incantevole paesaggio di questi luoghi richiama illustri personaggi come i filosofi Senofane di Colofone, Empedocle di Agrigento, Melisso di Samo e Leucippo di Mileto.



Figura 4 – Rappresentazione della città V-IV sec. a.C.

Tra la seconda metà del V e la prima metà del IV secolo a.C. la morfologia costiera subisce modificazioni radicali a causa di una successione di eventi climatici che determinano un accumulo di sabbie marine grossolane e depositi di sedimenti alluvionali provenienti dalla conoide naturale del Frittolo, provocando l'allontanamento della linea di costa e l'innalzamento del piano di campagna tra i 3 ed i 4 metri.

Durante questo periodo la comunità è impegnata in una riorganizzazione della forma stessa della città. Il quartiere abitativo lungo la fascia costiera viene distrutto mentre quello sul promontorio viene intenzionalmente spostato, lasciando l'intera area alle sole funzioni sacro-pubbliche comportando, così, la trasformazione dell'acropoli in santuario.

Nasce il quartiere di abitazioni nella zona del Vignale, mentre il circuito murario viene potenziato e si costruiscono solidi terrazzamenti lungo il vallone del Frittolo e nella città bassa. La città si estese, quindi, sulle pendici collinari, disponendosi per terrazze con organizzazione di due quartieri collegati da una grande strada, che si insinuava in una sella a Est dell'acropoli e poi scendeva lungo le falde della collina. Nella parte più alta della sella fu sistemato un grande arco a tutto sesto, la famosa Porta Rosa, importante testimonianza dell'uso dell'arco, opera di architetti greci del IV secolo a.C.

In epoca ellenistica lo sviluppo urbanistico della città raggiunge la sua completa definizione. Le aree residenziali, organizzate per quartieri, con ampie case a corte centrale, occupano di nuovo la fascia costiera e le pendici occidentali.

Imponenti sono le opere pubbliche: la rete stradale con i collegamenti tra i quartieri; la sistemazione idrica con la costruzione di canali, fontane, cisterne e pozzi; l'impianto di edifici pubblici quali il Teatro sull'Acropoli e il Santuario ad Asclepio nel vallone del Frittolo.

L'intervento alle mura comprende la costruzione di numerose torri, del fortilizio di Castelluccio, e la monumentalizzazione dello snodo viario con la Porta Rosa. Lungo il crinale vengono realizzati una serie di santuari che ne seguono il tracciato e dominano dall'alto la città e il territorio.

Vista la pressione dei Lucani ed i continui conflitti tra le città magno-greche Elea, nei primi decenni del III sec. a.C., strinse un trattato di alleanza con Roma e, proprio in virtù di questa alleanza, fornirà navi e marinai ai Romani durante tutte le alterne vicende della I e della II guerra punica (264-202 a.C.) ottenendo il titolo di *socii navales* ("alleati navali") ed un'autonomia sia politica che economica.

Nel giro di pochi anni Roma iniziò a conquistare gran parte dell'Italia meridionale e nel 267 a.C. l'unificazione era un fatto compiuto; il territorio sotto il dominio di Roma si estendeva da Rimini a Reggio. Elea, anche durante il dominio dell'Urbe, godeva di un'ampia autonomia (almeno fino all'88 a.C.), continuò a mantenere il controllo delle rotte sul Tirreno e la polis vide un'enorme espansione edilizia.

In età romana sorgono numerosi edifici pubblici di notevole rilevanza, quale il complesso dell'Insula II, quello alla Masseria Cobellis, le Terme del Quartiere Meridionale e quelle del Vignale. Al periodo romano appartengono due complessi termali, il criptoportico (I e II secolo d.C.) e il collegio degli Augustali (i sacerdoti dediti al culto dell'imperatore).

Grazie alla lealtà mostrata nei confronti di Roma, la città riuscì a mantenere non solo la propria autonomia ma ottenne, insieme a Napoli, la possibilità di conservare l'uso della lingua greca per le cerimonie ufficiali e di continuare a battere moneta propria (privilegi che Roma concedeva solo in casi eccezionali), fino alla chiusura della zecca alla fine della Repubblica o in prima età imperiale.



Figura 5 – Per gentile concessione del Museo Archeologico Nazionale di Napoli (MANN).

Nell'anno 88 a.C., dopo la guerra sociale, Elea divenne Municipio Romano cambiando il suo nome in Velia e fu ascrivita alla tribù Romilia.

Durante l'Impero di Augusto (63 a.C.-14 d.C.), il territorio a sud del Sele ed a nord del fiume Lao (e quindi anche Velia), denominato Lucania, fu incluso nella *tertia regio augustea* (Lucania e Brutii).

La polis, anche in questo secolo, continua ad essere una città prospera; si costruiscono edifici pubblici e complessi termali e, nel territorio, sorgono ville rustiche e piccoli insediamenti rurali.

Viene decantata da numerosi scrittori per la dolcezza del suo clima, l'ospitalità e l'alto tenore di vita degli abitanti, diventando meta di villeggiatura per i ricchi romani tra cui Paolo Emilio e Orazio.

Nel corso del I sec. a.C. il porto fluviale alla foce del'Alento diventa base navale prima di Bruto (44 a.C.) e poi di Ottaviano (38 a.C.).

La prosperità della città continuò fino a tutto il I secolo d.C. ma la costruzione, avviata nel 132 a.C., della Via Popilia-Annua, che collegava Roma con il sud della penisola per vie interne, portò la città a un progressivo isolamento e impoverimento.



Dal III sec. fino al V sec. d.C. tutta la piana velina è interessata da alluvioni e collusioni che, in circa 150-200 anni, porteranno ad un ulteriore innalzamento del piano di campagna di altri 4-6 metri ed un ulteriore allontanamento della linea di costa.

Gli straripamenti dell'Alento e la palude che si forma nella parte bassa costrinsero, poi, gli abitanti a rifugiarsi sull'acropoli dove la vita continua per tutto il Medioevo (nel 562 d.C. Velia è sede vescovile). Negli itinerari medievali la città è riportata con il nome di Bellia o Bellias.

Il declino economico di Velia fu lento ma inarrestabile determinato soprattutto dalla realizzazione di nuove vie di comunicazione tra Roma e l'Oriente attraverso l'Adriatico, che la escludevano dai traffici commerciali, ma anche dall'insabbiamento dei suoi famosi porti a causa dello scorrimento dei fiumi della piana.

Dopo la caduta dell'Impero Romano di Occidente (476 d.C.), Velia soffrirà delle invasioni barbariche di Visigoti, Vandali e Ostrogoti, dell'occupazione dei Bizantini e dei Longobardi e dei continui saccheggi messi in atto dai Saraceni fra l'VIII e il X secolo d. C.

La popolazione che abbandonò Velia si rifugiò sui promontori e sui monti dell'entroterra o nelle antiche fortezze "veline". Sorgono così i primi piccoli insediamenti a Capaccio Vecchia, a Licosa, a Nobe (che prenderà il toponimo di Novi Velia), a Bonati (Vibonati), ad Agropoli e al Castellum Cilenti sul Monte Cilento (Monte Stella) mentre chi decise di rimanere occupò unicamente l'area dell'antica acropoli.

Dopo la conquista normanna (metà dell'XI sec.) e la conseguente cessazione della minaccia saracena, fu edificato un castello sovrapposto alle preesistenti strutture greche e romane ed un borgo. L'esistenza di questo villaggio fortificato è documentata nel 1113 come *Castrum Maris* o *Castellum Maris* e successivamente, nel 1144, come Castellammare della Bruca, probabilmente dalla contiguità di una vasta foresta di lecci (volg.: *bruca*), che si estendeva da Cuccaro Vetere fino alla costa.

Con Federico II di Svevia, inizio sec. XIII, rientra tra i castelli del principato e durante il successivo periodo angioino (1266-1441), esattamente ai tempi della guerra dei Vespri Siciliani (1282), fu costruita la torre di Velia, detta anche Torre di Sanseverino, per difendersi dagli attacchi degli Aragonesi. Il manufatto sorge anch'esso sull'acropoli, nello stesso punto dove era stato eretto il castello alto-medievale.

Nel 1420 Francesco Sanseverino, conte di Lauria, duca di Scalea e barone di Cuccaro, acquistò il feudo per 500 once e ne fece dono, nel 1447, alla Real Casa dell'Annunziata di Napoli che lo tenne fra i suoi lasciti fino al 1702.

Dopo il clamoroso fallimento della Santa Casa, il feudo fu venduto dapprima ai Caracciolo e successivamente ai Maresca che lo tennero in proprietà fino all'abolizione della feudalità (1806) mentre i Ferolla ne furono proprietari fino alla fine dell'ottocento.

L'abitato era ancora vivo nella prima metà del XVII secolo e il censimento focatico del 1648 vi registrò l'esistenza di 12 famiglie (*fuochi*), ma dovette essere presto andato deserto o abbandonato se non se ne trova più traccia già nel successivo censimento del 1669, susseguente all'epidemia di peste che, nel 1656, colpì l'Italia e il Regno di Napoli.

Con il passare degli anni la città, ormai disabitata, viene man mano sommersa dalla palude e lentamente si perde anche la memoria storica della sua esatta collocazione geografica.

Solo agli inizi dell'800, grazie all'archeologo François Lenormant, verranno identificati i primi ruderi affioranti e, alla fine del secolo, si avrà la prima bellissima planimetria di ciò che era visibile dell'antica e nobile città di Elea, grazie all'ingegnere

tedesco W. Schleuning, in occasione dei lavori per la costruzione del tratto ferroviario Vallo-Pisciotta.

A partire dal 1921 furono condotte accurate campagne di scavo che a poco a poco hanno messo in evidenza le bellezze artistiche e architettoniche dell'antica città ed oggi è finalmente possibile ammirare gran parte della straordinaria fisionomia di questa antica *polis*.

L'UNESCO ha dichiarato il sito Patrimonio Mondiale dell'Umanità.

## Conclusioni:

Il golfo velino, da punta Licosa al promontorio di Palinuro, è oggi molto meno evidente di quanto fosse in passato per la sensibile trasformazione subita dalla linea di costa a causa del notevole interrimento, per fatti alluvionali, provocati dai fiumi Alento e Palistro, a nord del promontorio di Velia, e dalla fiumarella di S. Barbara a sud dello stesso. I sedimenti erosi dal dilavamento superficiale dei tre fiumi ha portato col passare dei secoli alla scomparsa delle due isole Enotridi (la posizione dei due isolotti è oggi facilmente riconoscibile essendo gli unici punti calcarei nella piana alluvionale), al completo riempimento della piana alluvionale, al progressivo insabbiamento dei porti velini ed all'allontanamento della linea di costa che oggi giorno dista circa 700 metri dal Quartiere meridionale dell'antica città (figura 6).

Inoltre, il promontorio su cui sorgeva l'acropoli, che un tempo era a picco sul mare, dista oggi più di 500 metri (figura 7) ed appare ai nostri occhi come una bucolica collinetta magnificamente inserita in un ambiente rurale.



Figura 6 – Distanza odierna del Quartiere meridionale dalla linea di costa: 722 metri.

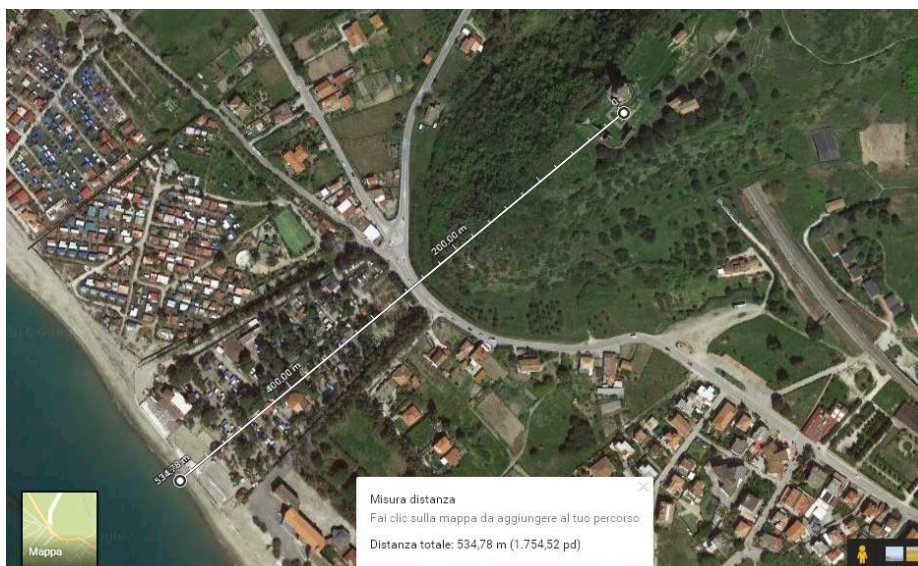


Figura 7 – Distanza odierna dell’Acropoli dalla linea di costa: 534 metri.

### **Ringraziamenti:**

Si ringrazia il dr. P. Giulierini, Direttore del Museo Archeologico Nazionale di Napoli, per l’autorizzazione alle riprese fotografiche delle monete di Elea. Si ringraziano, altresì, G. Bifulco, V. Sanpaolo, G. Scarpati e G. Stingone per la grande professionalità dimostrata e per la gentile collaborazione offerta in occasione delle riprese fotografiche.

### **Bibliografia**

- [1] Amato V., Bisogno G., Cicala L., Cinque A., Romano P., Ruello M.R., Russo Ermolli E. - *Palaeo-environmental changes in the archaeological settlement of Elea-Velia: climatic and/or human impact signatures?*, Atti del convegno “Scienze Naturali e Archeologia”, Napoli, Ottobre, 2010.
- [2] Cantilena R. - *La monetazione di Elea e le vicende storiche della città: limiti e contributi della documentazione numismatica*, Atti del XLV convegno di Studi sulla Magna Grecia (ISMAG), Taranto, Settembre, 2005.
- [3] Guariglia E. - *Parco archeologico e antiquarium di Velia - Progetto di musealizzazione dell’acropoli*, Tesi di laurea, Facoltà di Architettura e Società del Politecnico di Milano, A.A. 2010-2011.
- [4] Naimoli M. - *Storia della città e del paesaggio*, Dottorato di Ricerca, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Napoli “FEDERICO II”, A.A. 2006/2007.
- [5] Patrizio S. - *Elea/Velia: dalle origini alla decadenza*, Atti 4° convegno internazionale sulle Coste del Mediterraneo, Salerno, Dicembre, 2003

# COGOLETO AND ITS COASTAL LANDSCAPE MODIFIED BY SECULAR ACTIVITIES OF LIME PRODUCTION: INITIATIVES FOR RECOVERING THE HISTORICAL TRACKS

Daniela Pittaluga<sup>1</sup>, Fabio Fratini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DSA Dipartimento di Scienze per l'Architettura –Scuola Politecnica di Genova, stradone Sant'Agostino 37, 16100 Genova, phone +39 3356712135, [daniela.pittaluga@arch.unige.it](mailto:daniela.pittaluga@arch.unige.it)

<sup>2</sup>CNR- ICVBC Istituto Conservazione e Valorizzazione Beni Culturali, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (Firenze), phone: +39 055 5225414, [f.fratini@icvbc.cnr.it](mailto:f.fratini@icvbc.cnr.it)

**Abstract** – From the Middle Ages up to the 50s of XX<sup>th</sup> century Cogoleto, little town of the coast west of Genoa, developed an important lime production activity that left obvious and numerous traces on landscape and architecture. In recent years the restoration of some lime production sites has brought to light new elements and suggested research activities focused in particular on the lime production techniques and its trade by sea, reaching all the Mediterranean. Behind the village of Cogoleto the quarries of dolomite are well visible. In the period of greatest development (XVIII<sup>th</sup> century) there were no less than 12 working kilns, 7 still in the XIX<sup>th</sup> century. In particular the Bianchi kiln represents the passage from the oldest "intermittent fire" kilns to the more recent "continuous fire" kilns. Therefore its recovery has a meaning even from this point of view. The restoration, strongly promoted by the municipality of Cogoleto in 2007, is a further opportunity for a new awareness about the history of the village strongly characterized by this lime production industry that makes it different from the other villages of the Ligurian coast. The archaeological analysis of the masonries of the kiln and the survey of the quarry sites has involved several scholars from different disciplines and made it possible to investigate the evolution of the production activity.

## Introduction

Cogoleto (GE) and lime: a long history. The interest in this area and the activities that for centuries (from the Middle Ages to the 50<sup>s</sup> of XX<sup>th</sup> century) developed and pursued with tenacity, is motivated by the fact that in this territory the traces of quarrying activity and of lime production plants are still evident.

Particularly in recent years, thanks to the restoration of some production plants, new researches focused on the production of lime and its trade have started. *"It was the lime production industry to form for centuries the mainstay of life in the village and to result in a series of activities linked to it such as the transport and sale of timber and the maritime activity, as well as all the operations connected more specifically to the burning of the raw material, the maintenance of the kilns, the extraction of the stone. Each of these operations in fact required qualified personnel, with specific technical knowledge, and manpower able to cope with all the processing phases. Therefore behind the development of Cogoleto there is a very strong "industrial vocation" made possible by the availability of a raw material so much sought in Liguria as the magnesian limestone, and a parallel development of trade, first with Genoa and the whole region, favoured by the excellent seaside location, preferred*

*place of transport in medieval and pre-industrial age*" [1]. This industrial vocation linked to the lime production changed with the coming of the railway and the introduction of a new material for the construction: cement. However the lime kilns in Cogoleto remain in operation until 1950 and their good lime was used by chemical companies like Sclopis of Donegaro, Stoppani of Lerone, the Ghigliotti paper mill of Arestra and Ilva foundry (later Italsider group) then called the "Tubi Ghisa".

In 2007 the municipality of Cogoleto strongly promoted the restoration of the Bianchi kiln (at present "Tiziano Mannoni Area of Industrial Archaeology"). as part of a broader project aimed to recover the identity of a territory that is so different from most part of the other villages of the Ligurian coast (Fig. 1, 2). This identity in recent years (since the 80<sup>s</sup> until 2007) was also denied because memory of problems related to the working processes that were conducted like health problems related to dust, deforestation in neighbouring areas, traffic problems (loading-unloading on the beaches). The lime trade, flourishing since the XV<sup>th</sup> century has lasted alive and vital until the late XIX<sup>th</sup> century and it was carried out mainly by sea, reaching all over the Ligurian coast. Behind the village of Cogoleto the quarries where the stone for the lime was excavated (dolomite) are still visible. In the period of greatest development (XVIII<sup>th</sup> century) in Cogoleto there were no less than 12 working kilns, 7 in the XIX<sup>th</sup> century.

The Bianchi kiln represents the passage from the old "intermittent fire" kilns to the more recent "continuous fire" kilns and its restoration was preceded by the archaeological analysis of the masonries kiln and by the survey of the supplying quarry site involving several scholars from different disciplines. Therefore, it was possible to investigate the evolution of the production activity also thanks to a comparison with the information obtained from the examination of the published and unpublished documentary sources.



Figure 1 – Bianchi kiln before restoration.



Figure 2 – Bianchi kiln after restoration.

### **The method: an interdisciplinary study**

As mentioned above, the territory of Cogoleto retains significant traces of the lime production along the centuries. The research undertaken about this aspect of the territory took advantage of interdisciplinary skills ranging from historian, architect, archaeologist, materials scientist. The institutions are the municipality of Cogoleto, the University of



Genoa (Department of Sciences for Architecture - DSA), the Institute for Conservation and Promotion of Cultural Heritage of CNR in Florence. This research was also supported by *InItiner@* grant (first prize in Liguria), for the enhancement of the monumental heritage of the Piedmont and Liguria"). The following tools were used:

- examination of the written sources related to the lime industry in different historical periods (from the Middle Ages to the mid XX<sup>th</sup> century). Historical archives of the municipality, parish archives, private archives of individual families have been utilised;
- cartography and historical iconography. Often in ancient maps of the production activities present in a particular place were reported. Sometimes the geographical indication can not be so precise as to allow an immediate detection but the intersection of the information derived from other sources can overcome this problem;
- examination of the toponyms. Often the place name recall an activity even when it has disappeared;
- photographic images. They are useful for the more recent periods. It is worth mentioning that the information can also be found in photos that had not, as main subject, that we are interested in: the production plant, the quarry can be in the background of the images, yet providing important information;
- the oral source. These are useful to reconstruct the most recent transformations. Testimonies of the elders of the village can help rebuilding environments, names, properties. The risks are that the memory of the person is altered or that the given information is not true;
- analysis of the territory for the identification of quarry fronts;
- analysis of the artefacts related to the lime processing. It relies on the "archaeology of the masonries" "global archaeology" [2, 3, 4, 5, 6]. Through these tools it is also possible to determine the historical period of the buildings. The observations are not limited to the production plants but also take in consideration any infrastructure (roads, bridges, piers, etc.) and the modifications of the territory (quarry fronts, landfills etc.). Moreover a study on the nature of the materials used in construction (stone blocks, bedding mortars) and their state of conservation has been carried out [7, 8, 9].

The data were compared with each other and only by crossing multiple sources it was possible to reconstruct (starting since Middle Ages) the exploitation along the centuries of the stone for lime around Cogoletto and its impact on the territory.

## Results

**The indications drawn from written sources** - According to local traditions, since Roman times the inhabitants of Cogoletto had skilfully exploited the resources of the territory, in particular the presence of large outcrops of carbonate rocks for the production of lime. As a matter of fact this secular activity, fundamental for the village economy, is very old as it is clear from many documents found in public and private archives.

With regard to the productive activities, the data collected by Chabrol de Volvic [10], the prefect appointed by Napoleon in 1806 to organize the Montenotte department., are very interesting. He notes that: "*.. on the coast and in the surrounding area of Savona there is an active lime trade: it is the main exchange product for the inhabitants of Segno,*

*Vado and Cogoletto*". Concerning the Cogoletto territory, he points out the consistent presence of serpentine and compact carbonate stone that covers many local hills, near the sea and allows an abundant production of lime, which is almost the unique resource for the inhabitants of the municipality. The lime trade is flourishing, in Cogoletto, already in the XV<sup>th</sup> century, as evidenced by the first document found concerning such activity. As reported in this document, Giovanni Colombo of Cogoletto takes out a loan with Simone from Sestri Levante that could be extinguished with a supply of lime [11]. The lime production required large amounts of combustible. In this respect, in 1741, the events relating to a dispute between the municipalities of Cogoletto and Varazze for the exploitation of a forest called "La Bandita" are published. In the statement of facts it is noted that in this forest the inhabitants of Cogoletto, "*for many centuries behind*", collected brushwood just to use as combustible the kilns for the lime.

The number of lime kilns present in Cogoletto ranged from a minimum of 6 to a maximum of 12 and considering that each kiln could have different fire chambers, (e.g. 3 for the Bianchi kiln), the total number of fire chambers was much higher. The oldest, at "intermittent fire", were sited among the houses of the village, near the slipways to the sea, from which departed the boats for the transport of lime, as evidenced by a map of Cogoletto where the position of some of these kilns is reported (Fig. 3) Given the large number of kilns located in the area, the road facing thereupon became "*via delle Fornaci*" (street of the kilns), where also the main skipways used by vessels for the transport of lime were sited. This closeness, not accidental, facilitated the transport from the site of production to shipping by sea. The quarries were located, as he highlighted Count Chabrol, in the hills immediately above the village, not far from the sea. (Fig. 4).

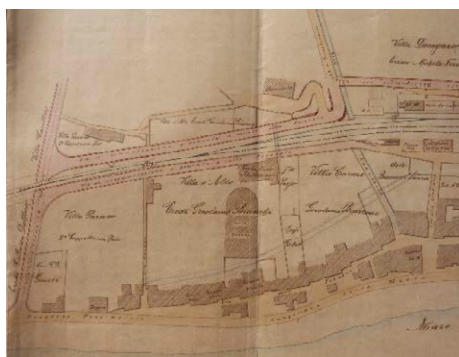


Figure 3 – Map of Cogoletto with position of some of these kilns [12].



Figure 4 – Map of Cogoletto and its surroundings with position of the quarries (1904) [13].

In ancient times, both in the reports of the various mayors and in the Municipality resolutions, there is the tendency to highlight the great importance of the lime industry, which is subjected to strict regulations establishing, among other things, the cost, the supply and distribution of brushwood, the supply of stones for the construction of the vault and the

filling of the kiln, the order of the ships loading, in order to ensure regularity and punctuality in the production cycle for the benefit of the entire community. At the present state of the research, the first regulation found, wanted by the lime producers and by the owners of vessels for the transport, it dates back to 1741 [13].

**Analysis of the territory and artefacts associated with the lime processing** - In the '90s, on the initiative by Tiziano Mannoni, a research work in the area was developed to identify, where possible, the traces of the historical production activity, and therefore the historical lime industrial plants, before the advent at the end of XIX<sup>th</sup> century of the chemical industry [14]. As well delineated by Count Chabrol and by Antonio Calcagno [15] the lime industry involved for centuries all the population of the village and it was not limited to the simple production of the lime material, but invested a whole series of tasks, according to the following chain: collectors and transporters of brushwood (even through the use of sled oxen); miners for the stone excavation; mule drivers to transport the limestone to the kiln; skilled workers for the construction of the vault of the kiln and arrangement of limestone blocks; staff (4 men ) to keep the fire for eight days; workers with the task of clean the quick lime from the under-burnt and over-burnt clots and disposal of waste on site; weighers; workers for the land transport; workers to load of ships, sailors and ships masters. In the following we see in detail the challenges and opportunities that arise in the reconstruction of the different activities.

**Traces of the quarrying activity** - The archaeology of architecture and the global archaeology help to locate in the area the traces of the still visible quarries. The period of quarrying is not always easily determinable with archaeology tools alone. Currently the quarry fronts can be observed and the amount of quarried material can be estimated by comparing the current morphology (e.g. half the volume of a hill is left) with the hypothetical historical situation. In some cases, however, the urbanization can have completely erased the memory of the quarry. In this case the information coming from other sources (archival documents, maps, photographs and oral sources) makes it possible to reconstruct the actual presence of the quarries in the area (Fig. 5, 6).



Figure 5 – Image from the parish archives where the quarry fronts are visible (beginning XX<sup>th</sup> century).

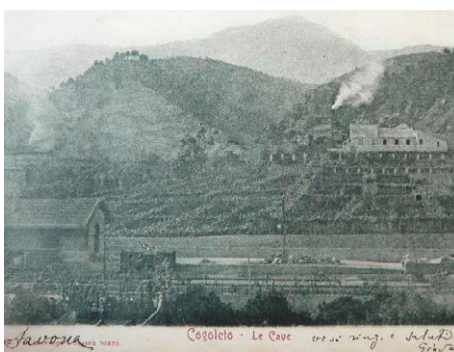


Figure 6 – Old image where a quarry front and a working kiln are visible (credit Antonio Calcagno).



The oldest information on the names and locations of the quarries found in archival documents, dates back to the XVI<sup>th</sup> century; this does not mean that in earlier periods there was no quarrying activity in the area, in fact, a document dating back to 1414 [15] reports the possibility of paying off a loan with lime supplies. Often from archival documents it is possible to know the name the owner, the size of the quarry and sometimes even the description of the stone that can be extracted [15]. The discovered documents related to the historic quarries of the XVI<sup>th</sup> -XVII<sup>th</sup> centuries are reported in Pittaluga [16]. As evidenced from the archive documents, along the years often the properties of the quarries changes as well as their denomination. Therefore it is difficult in some cases to correlate the information derived from the archival document with the actual position in the territory. However it is undeniable the great number of quarries present at the same time in a quite limited area. At present, starting from the western area of Cogoleto the following quarries are still visible: Lenora, Paraxo, Bianchi, Benefixio, Buriane, Calcina, Bianchi, Chiappa, Torazza, Ronco, Gassa (Fig. 7, 8).



Figure 7 – The quarries still visible in Cogoleto.



Figure 8 – Map of the quarries still visible in Cogoleto [17].

**Traces of the transport of the material from the quarry to the kiln** - The quarried stone was transported to the kiln in different ways, depending on the different periods, before on the shoulders of porters and/or mules, through trails, lately with small carts conducted on a track system. Unfortunately the traces of these systems in most cases have been destroyed; only in some cases, in the vicinity of the production plants are still visible (e.g. near Vallarino and Bianchi kilns) (Fig. 9). The names of the streets can help in investigating these tracks; in the case of Cogoleto a lane called today "vico alle Cave" goes from the beachfront to the quarry areas.

**Traces of the combustible supply** - The supply of the combustible in historical times was often provided by women and children going to recover brushwood in the woods behind the village. This activity has been testified by some local elders. From archival sources, however, it was possible to obtain a memory with regard to a dispute between adjacent communities (comunaglie) regarding the supply of firewood [15].

**Traces of the lime production** - Cogoleto keeps traces of several production plants with different technologies like the “intermittent kilns” (oldest) with a curved shape such as Fornaxin in the historic centre (Fig. 10) and the more recent “continuous fire” (in use until the XX<sup>th</sup> century). The study of these kilns makes it possible to understand many aspects of this industrial activity. In some cases, such as in the Bianchi kiln, it is possible to see not only the real system of burning but also the structures for preparatory activities and storage of the material [18, 19]. Even for these reconstructions, in addition to the analysis of the artefact, it was possible to make use of testimonies of elderly and archival documents. The oral testimonies allowed us to better reconstruct the dynamics of the working process (how many men were involved in the loading of the material, how to the unloading, etc.). The archive documents allowed to obtain information, in some cases, on the amount of product material [15], of the names of manufacturers of the plants, the names of owners of quarries. In this regard it should be emphasized that in some cases the quarry owners controlled the whole chain since they had also the kilns and the boats needed to market the product.



Figure 9 – The track system to transport the quarried stone to the Vallarino kiln.



Figure 10 – The curve shaped masonry of the Furnaxin “intermittent kilns” in the historical centre of Cogoleto

**Selection of the finished product /local disposal of waste** - In this regard Bruno Soracco, in his speech at the Seminar of Studies "The lime kilns of Cogoleto" held in Cogoleto 23 September 2009 [20] stated that in the hills behind the latest active kilns, under the grass cover, there are several cubic meters of not well burned stone (therefore waste of the productions) that in some cases give the shape to the current hilly profile.

**The lime trade** - The product was marketed in little amount in the local market and mainly on a regional scale reaching through shipping also France, Tuscany and the island of Capraia [13, 21]. It was mainly transported in lime in clods. Regarding the study of the trade by land, the bibliographic source and archival documents are more useful while the direct observation of the territory around the production sites could have suffered strong modifications. Concerning the trade by sea old photos and historical iconography of the harbours can be precious because ships often appear in the background with different loads and presumably also lime (Fig. 11).

**The secular exploitation of the dolomite quarries and the landscape change -**  
*"Throughout Liguria there were only three places where in the past the lime was produced and these supplied the lime throughout the Republic of Genoa. One of these places was Cogoleto".* So begins Tiziano Mannoni in a conference on the production of lime in the pre-industrial era in Liguria. In this region, the main traces of this rich industrial past were in the Genoa area in correspondence of the dolomite formations of Sestri Ponente (Monte Gazzo) [22] and Cogoleto, and near Savona in dolomitic outcrop of Monte Mao (Vado Ligure). The important influence on the landscape of the historical quarrying activity and production plants described for Cogoleto, is also visible in these aforementioned places (Fig. 12). Often local communities are very tied to this history and strong actions for the protection of the sites have been undertaken (eg in Sestri Ponente when years ago, the project of a new road would have destroyed the remains of some pre-industrial kilns and various initiatives were pursued until the change of the track was obtained).



Figure 11 – The beach of Cogoleto with *leudi* before loading the clod lime (late XIX<sup>th</sup> century).

Figure 12 – The quarry of Monte Gazzo near Sestri Ponente.

## Conclusion

Keep memory of the past, convey the tangible and intangible heritage (knowledge, traditions, ways of doing things) to the new generations, to become the historical production sites occasions for the future (research, tourism ...): these are the tasks that the administrators of the municipalities of the Ligurian coast, which territory has been so deeply marked by the secular lime industry, have to face. In Cogoleto, the iconic action that led to the restoration of the Bianchi kiln involved the whole community, from the children of the schools to the elderly that interviewed, told of a past now visible only from traces. The memory of these places was being removed because memory of the hard working processes linked to the lime production and for speculative purposes in the building sector. Nevertheless the willingness of the institutions, particularly the Municipality, to collaborate with research organizations and professionals made it possible to further move towards the direction of making these places, places for the future, that is "places producing culture" and also places that produced a landscape that had been lost and that has been found again.

## Acknowledgments

The authors wish to thank the Municipality of Cogoleto and the “Associazione Fornace Bianchi” for the collaboration and support provided in the research

## References

- [1] Davico, M.A. - *Archeologia della produzione: le fornaci da calce in Liguria, Cogoleto*, degree thesis, Facoltà di lettere e Filosofia, Università di Genova, tutor C. Varaldo, cotutors C. Dufour and T. Mannoni, a.a 1994-1995.  
[http://www.associazionefornacebianchi.org/ita/documenti/tesi/TESI\\_DAVICO.pdf](http://www.associazionefornacebianchi.org/ita/documenti/tesi/TESI_DAVICO.pdf)
- [2] Mannoni T., - *Archeologia delle tecniche produttive*, (1994), Ed. Sagep-Escum.
- [3] Mannoni T., - *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, (1994), Ed. Sagep-Escum.
- [4] Mannoni T., - *Archeologia dell'urbanistica*, (1994), Ed. Sagep-Escum.
- [5] Mannoni T., - Giannichedda E., *Archeologia della produzione*, (1996), Ed. Einaudi.
- [6] Pittaluga D. - *Questioni di archeologia dell'architettura e restauro*, (2009), Ed. ECIG, Genova.
- [7] Fratini F. - *The archaeometric analysis of building materials*, in "Earthen Domes and Habitats: villages of Northern Syria, an architectural tradition shared by East and West", S. Mecca and L. Dipasquale Editors, (2009), Edizioni ETS Pisa, 313-321.
- [8] Pecchioni E., Fratini F. - L'importanza dello studio delle malte antiche, *Arkos-Scienza e Restauro*, numero monografico in memoria di Carlo Manganelli Del Fà, a cura di E. Pecchioni, F. Fratini, A. Giusti, n 24, Luglio/Settembre 2010, 87-89.
- [9] Rescic S., Tiano P., Fratini F., Valentini E. - *Application of two portable tools for the characterization of the mechanical properties of stone materials*, Proceedings of the International Workshop SMW8 "In situ Monitoring of Monumental Surfaces", Florence, 27-29 October 2008, 347-352.
- [10] Chabrol de Volvic G. - *Statistique des provinces de Savone, Oneille, d'Aqui et de partie de la province de Mondovi formant l'ancien département de Montenotte*, (1824) J.Didot, Parigi, a cura di Giovanni Assereto, 1994, Savona.
- [11] Salone A.M., - *Nove secoli di storia*, con la collaborazione di Antonio Calcagno e Gianni Ottonello, (1991), Ed. Glauco Brigati, Genova.
- [12] Calcagno A., - *Block notes: notizie e curiosità sulla Cogoleto di un tempo I*, (1994), Ed. Brigati Glauco, Genova.
- [13] Salone A.M., Calcagno A. - *Navi e marinai di Cogoleto fra XV e XIX secolo*, (2004), Ed. Brigati Glauco, Genova.
- [14] Pittaluga D. - *Le radici della cultura materiale a Cogoleto*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 31-38, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG, Genova.
- [15] Calcagno A. - *Una produzione che investiva tutto il paese*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 53-57, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG, Genova.

- [16] Pittaluga D. - *Tracce nel territorio degli impianti*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 66-76, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG, Genova.
- [17] Nanni L. - *Una mappa ricostruita*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 77-79, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG.
- [18] Pittaluga D., - *Attorno alla calce un cantiere: il restauro della fornace Bianchi (2008-2011)*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 81-120, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG, Genova.
- [19] Pittaluga D. - *Il post restauro della fornace Bianchi (dal 2011)*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 121-145, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG, Genova
- [20] Pittaluga D. - *Una mostra e un seminario di studi: momenti di riflessione per fare il punto sul lavoro svolto (settembre 2009)*, in “Dalla calce della Fornace Bianchi ai dipinti di Gino Grimaldi”, 104-107, Edited by Daniela Pittaluga, Luca Nanni, Ed. ECIG, Genova
- [21] Fratini F., Pecchioni E., Pandeli E., Camaiti M., Amadei L., - *Le malte della Torre dello Zenòbito all' isola di Capraia: come murare in un'isola vulcanica?*, Atti del Atti del VII Congresso Nazionale di Archeometria AIAR, 22-24 febbraio 2012 Modena, 753-762.
- [22] Vecchiattini R., - *La civiltà della calce: storia scienza e restauro*, (2009), Ed. De Ferrari, Genova.

# I FARI OTTOCENTESCHI DEL LITORALE NAPOLETANO

Maria Russo

Seconda Università di Napoli - Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale "L. Vanvitelli"

Via S. Lorenzo *ad septimum* – 81031 Aversa (CE)

Tel. 339 7269463 - e-mail: mariaarchetta.russo@unina2.it – mariaarchetta.russo@alice.it

**Riassunto** – Il rinnovamento delle infrastrutture marittime, avviato nel corso del XIX secolo dal governo borbonico, conferì un ruolo prioritario all'installazione di fari lungo le coste dell'Italia meridionale, al fine di rendere agevole e sicura la navigazione.

Adeguandosi alle più moderne tecnologie, si prescelse il sistema lenticolare, messo a punto, intorno al 1820, dal fisico francese A. J. Fresnel. Nel 1841, si accese il primo impianto nel costruendo porto di Nisida e si costituì la 'Commissione dei Fari e Fanali' incaricata di provvedere al piano d'illuminazione del golfo di Napoli. La successiva estensione del programma a tutto il Regno portò alla classificazione degli apparati secondo la portata e la visibilità in tre tipi che, combinandosi, formavano una vera e propria cintura luminosa lungo il litorale.

Attraverso la consultazione di fonti archivistiche ed iconografiche, materiali editi ed antiche riprese fotografiche, nel presente saggio si ricompono la vicenda degli apprestamenti della rada partenopea, giunta a termine solo dopo l'Unità d'Italia.

*Abstract – The renewal of maritime infrastructure, which began in the nineteenth century by the Bourbon Government, gave a major role to lighthouses installation along the coasts of southern Italy, in order to make navigation easier and safer.*

*Adapting to the latest technology, lenticular system, developed, around 1820 by French physicist A. J. Fresnel, was chosen. In 1841, the first lighthouse in the port of Nisida was lit, and the 'Commission of Lighthouses', responsible for organizing the lighting scheme of the Bay of Naples, was formed. The subsequent extension of the program to the entire Kingdom led to the classification of headlights depending on the scope and visibility into three types which, combined, formed a real light belt along the coast.*

*By consulting archival and iconographic sources, published materials and ancient photographs, this essay puts together the story of lighthouses of the Bay of Naples, which ended only after the unification of Italy.*

## Introduzione

Il bisogno di disporre di segnalazioni luminose, che indicassero pericoli o approdi, fu sentito fin dai tempi più remoti e si risolse con allestimenti anche spettacolari, annoverati tra le meraviglie del mondo antico, come quello di Alessandria situato sull'isola di Faro – da cui l'odierna denominazione – ed il Colosso di Rodi, noti attraverso l'ammirata descrizione di cronisti e storici dall'età classica al Medio Evo.



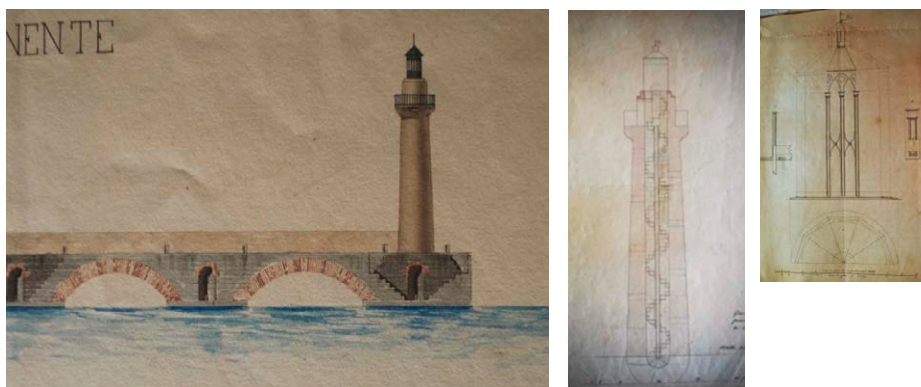


Figura 1 – A. Giordano, L. Perillo, *Porto di Nisida. Molo di ponente*, 1850 (MNSM).

Figure 1 – A. Giordano, L. Perillo *Port of Nisidawas*, 1850.

Figura 2 – A. Giordano, *Faro al molo di ponente del porto di Nisida*, 1834, sezione (MNSM).

Figure 2 – A. Giordano, *Lighthouse of pier west Port of Nisidawas*.

Figura 3 – A. Giordano E. Lauria, *Progetto della lanterna del faro di Nisida* (ASNa).

Figure 3 – A. Giordano, E. Lauria, *Plan of lighthouse of Nisidawas* (ASNa).

La prassi, proseguita nei secoli con diverse modalità strettamente connesse alle risorse illuminanti, fu oggetto di sistematizzazione a partire dal tardo Settecento, allorché vennero varati in diversi stati piani per la salvaguardia dei naviganti.

L'evoluzione degli studi sull'ottica condusse al miglioramento delle fonti di luce, fino alla messa a punto intorno al 1820 del sistema diottrico, ad opera del fisico francese A. J. Fresnel, basato sull'uso di lenti concentriche che, associate ad un meccanismo temporale rotante, consentiva la proiezione dei raggi luminosi a grande distanza. La tecnica, diffusasi celermente sulle coste francesi e del Nord-Europa, è oggi in uso in tutto il mondo.

## I programmi borbonici di illuminazione del Golfo di Napoli

Nella prima metà del XIX secolo, il governo borbonico intraprese il potenziamento dei traffici marittimi, languenti, nonostante lo spiccato sviluppo costiero e la presenza di una marineria competente. Ravvisandone la causa nell'inadeguatezza dei porti del Tirreno e dell'Adriatico, soggetti a fenomeni di insabbiamento o dismessi, si delineò un piano per la ripresa e l'incremento degli stessi [1, 2].

Le ricerche in merito indicarono come soluzione l'adozione dei moli a traforo usati dai Romani che, consentendo il normale deflusso delle acque, impedivano i deleteri accumuli di materiali sui fondali. Poiché i resti di tali costruzioni esistevano con dovizia sul litorale flegreo, nel 1831, si promosse un esperimento di recupero delle vetuste strutture presenti a Nisida, l'isolotto che fronteggia il Capo di Posillipo, ora collegato alla terraferma. Qui, si voleva insediare un porto franco, facilmente attuabile per la persistenza di un lazzaretto per la quarantena di persone e merci. L'antico ancoraggio comprendeva due bracci rivolti ad est e ad ovest, dei quali permanevano alcuni piloni semisommersi, che si

stabili di ricomporre e soprelevare collegandoli con arcate su cui poggiare la nuova banchina. L'ingegnere di Ponti e Strade Giuliano de Fazio, da decenni impegnato negli studi sul tema, fu incaricato dell'opera, fortemente sostenuta dal dirigente dell'Ufficio [1]. Avviati i lavori, nel 1834, si decise di erigere sulla testata del molo di ponente un faro, progettato dall'ingegnere Alessandro Giordano e realizzato dal collega Ercole Lauria.

Il manufatto consistette in una torre rastremata a pianta decagonale, alta circa 17 metri, rischiarata da otto finestrini aperti nelle pareti perimetrali, nella cui cavità una scala a chiocciola, dal nucleo in muratura e dagli scalini in pietra, saliva ad una balconata retta da una cornice intagliata a guisa di capitello e delimitata da una ringhiera metallica, sulla quale si elevava un alto basamento che reggeva la lanterna<sup>1</sup> - costruita dalla ditta partenopea Zino & Henry - composta da un'elegante armatura in ferro fuso dal disegno neogoticheggiante, racchiusa da lastre in vetro e da una calotta in rame, a riparo del congegno luminoso<sup>2</sup>.

Su sollecitazione del fisico Macedonio Melloni - famoso per i suoi studi sul calore radiante, docente presso il locale ateneo e direttore del Conservatorio di Arti e Mestieri, nonché dell'Osservatorio Vesuviano, da lui approntato personalmente - si optò per un apparecchio a lenti diottriche di 5° ordine, fornito dalla società *Henri-Lepaute* di Parigi, che costituì il primo impiego del metodo lenticolare in Italia, a conferma della supremazia tecnologica dello stato borbonico, che già aveva creato la prima ferrovia ed il primo bacino di raddobbo in muratura della penisola.

L'accensione avvenne nel 1841.

Nel 1852, fu eretto sul molo, a breve distanza, un piccolo immobile da destinarsi ad abitazione dei guardiani e magazzino dei materiali e delle attrezzature indispensabili alla conduzione<sup>3</sup>. Una sostanziale trasformazione fu apportata all'insieme un decennio più tardi, quando, ritrovandosi ormai obsoleto il macchinario e l'ingabbiatura metallica tanto degradata dagli agenti atmosferici, da non assicurare la tenuta della fiamma, si stanziarono le somme necessarie per gli opportuni rifacimenti. Le verifiche effettuate confermarono lo stato di pericolo e nel contempo la necessità di trasportare il volume di servizio a ridosso della torre. L'ing. Lauria, a cui fu affidato il ripristino, al fine di non guastare la "simmetria" della veduta del faro sia dal mare che dal molo, ideò una costruzione anulare che circondava la base, addossata al muro di difesa e raggiungibile dalla doppia scaletta che scendeva in acqua. All'interno furono ricavati due appartamenti con ingressi autonomi e depositi, coperti da una volta a botte continua, protetta da una falda di tetto su armatura lignea con tegole (Fig. 4).

Nel rifare la lanterna si provvide anche ad accorciare il cilindro di base, che per l'eccessivo sviluppo impediva l'agevole manovra di accensione e pulitura. I lavori, conclusi nel 1862, conferirono al manufatto la conformazione conservatasi fino alla metà del Novecento, della quale oggi non si ravvisa traccia<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> ARCHIVIO DI STATO DI NAPOLI (ASNa), *Ponti e Strade*, 2°serie, b. 601, b. 1082; *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 318, fasc. 5 e fasc. 13. Cfr. pure Museo Nazionale di S. Martino di Napoli, Gabinetto Stampe e Disegni: A. Giordano, *Faro al molo di ponente del porto di Nisida*, 20-8-1834 (inv. 6523); A. Giordano, L. Perillo, *Prospetto e pianta del molo di ponente*, settembre 1850 (inv. 6780).

<sup>2</sup> La lanterna, inizialmente prevista in ferro forgiato, fu poi realizzata in ferro fuso, per "maggiore eleganza e leggerezza" (ASNa, *Ponti e Strade*, 2° s., b. 1082 (Fig. 3); *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 318, fasc. 5).

<sup>3</sup> ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 310, fasc. 10.

<sup>4</sup> ARCHIVIO CENTRALE DELLO STATO (ACS), *Ministero dei Lavori Pubblici. Ufficio stralcio della Direzione generale dei lavori pubblici (Napoli) 1861-1865*, b. 71, fasc. 4; ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fasc. 16.





Figura 4 – E. Lauria, *Progetto di un nuovo fabbricato da costruirsi al pianterreno dell'esistente Faro sul molo di Nisida pel magazzino ed abitazione dei guardiani*, 26-7-1860 (ACS, Ministero LL.PP.).

Figure 4 – E. Lauria, *Plan of new building at pier of Nisida for storehouse and home of keepers*, 26-7-1860 (ACS, Ministero LL.PP.).

L'attivazione del 1841 rappresentò una pietra miliare nell'illuminazione costiera. Infatti, nello stesso anno, recependo il rescritto reale del 1837 che aveva sancito la formulazione di un piano luministico per l'intero golfo di Napoli<sup>5</sup>, venne istituita la "Commissione dei fari e fanali", formata dal citato Melloni, dal Lauria responsabile della parte architettonica, e dall'alfiere di Marina, Giovanni Vacca, per la designazione dei siti<sup>6</sup>.

Gli esperti misero prontamente a punto un'articolata proposta, che esposero in una lunga relazione<sup>7</sup>. Evidenziando i vantaggi assicurati dal metodo Fresnel ed i motivi delle scelte operate, prevedero l'impianto di dieci fari nelle aree più significative, quali gli ingressi al golfo, i porti e le isole, subordinandone l'altezza all'ordine – ovvero la distanza a cui si spingeva la luce<sup>8</sup> - e conferendo loro configurazioni differenti, indicative delle varie località. I luoghi prescelti furono delineati in un ipotetico tragitto, nel quale si incontrava, venendo dal largo, dalla Sicilia o dalla Calabria, il faro di Punta Carena – all'estremo occidentale di Capri - e, ad indicare la via verso Napoli, quelli di 4° ordine di Punta Campanella, a cui seguiva il segnalatore dello scalo di Castellammare (4° ord.) ed, infine, quello di 3° ordine della

<sup>5</sup> ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fasc. 12 e 13.

<sup>6</sup> Ivi, fasc. 16.

<sup>7</sup> La relazione (ivi, fasc. 13 e b. 312, fasc. 7) è continuamente richiamata nei carteggi consultati.

<sup>8</sup> L'ordine andava da 1 a 6 e la potenza si riduceva col crescere del numero.



Figura 5 – I fari previsti per il Golfo di Napoli.  
 Figure 5 – The lighthouses of the Bay of Naples.

gran torre del porto della capitale e la torretta sul nuovo molo di S. Gennaro (5° ord.)<sup>9</sup>. Invece, arrivando da nord, faceva da richiamo il faro della Punta Caruso di Ischia (1° ord.), poi quello di Punta Chioppeto di Procida (4° ord.) che rimandava al sito nevralgico di Capo Miseno (2° ord.), da dove ci si dirigeva agli attracchi di Baia – fornito di un fanale – di Nisida o di Napoli<sup>10</sup>. Le spese di costruzione si sarebbero ammortizzate applicando un diritto di lanternaggio ai natanti superiori a 50 t [3].

Le operazioni partirono subito e, dopo due anni, si accesero i dispositivi nel porto di Napoli e di Castellammare. Quali fossero l'aspetto e le caratteristiche di questi e dei successivi, variati o scomparsi nel tempo, si desume dall'*Album dei fari*, edito nel 1873 dal Ministero dei Lavori Pubblici [5].

L'antica "gran torre di angolo tra il molo angioino e di S. Gennaro a sud del porto mercantile" della capitale, era stata rifatta in età vicereale, in seguito ai gravi danni apportati dai fulmini. Poiché l'alta costruzione cilindrica, poggiante su un massiccio basamento ottagonale scarpato, versava ancora in precarie condizioni statiche, Lauria, prima di convertirla alla tecnica lenticolare dovette consolidarne le fondamenta e la sopraelevò fino a circa 40 metri di altezza, per consentire ai raggi di raggiungere le oltre 20 miglia preventivate<sup>11</sup>. Accanto fu innalzata, all'estremità della banchina di S. Gennaro, una torretta esagonale a segnalazione del bacino mercantile.

<sup>9</sup> I fari avevano rispettivamente la portata di miglia: 30, 10, 15, 20, 6.

<sup>10</sup> La portata prevista era di miglia: 26, 10, 25, 5.

<sup>11</sup> Sulla porta venne apposta un'epigrafe che ricordava la ricostruzione seicentesca e la conversione diottrica del 1843. La vecchia lanterna aveva 15 lampade e non era visibile a più di 5-6 miglia [EC].

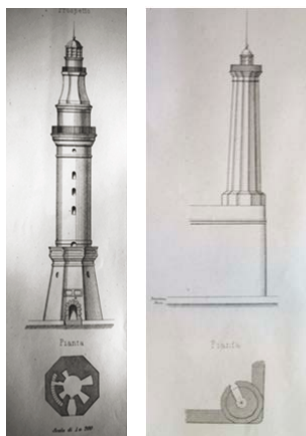


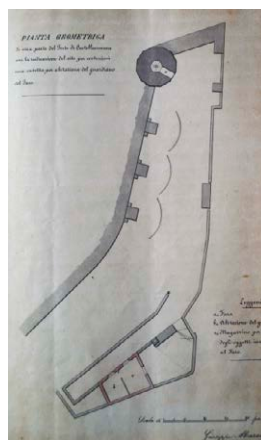
Figure 6, 7 – *Album dei fari*: Gran torre di Napoli e Faro di Castellammare.

Figure 6, 7– *Album dei fari*: Great tower of Naples and Lighthouse of Castellammare.

sormontato da una torre quadrata<sup>15</sup>, deputato a “dirigere la navigazione attraverso il canale di Procida onde evitare i bassi fondali che vi si trovano e la secca della morsiglia” [5]. Nel 1852 fu attivato il terzo faro del porto della capitale, posizionato sull’appena costruito pontile di S. Vincenzo, che delimitava la zona militare ed il bacino di raddobbo<sup>16</sup>.

Figura 8 – G. Marangio, *Pianta geometrica di una parte del forte di Castellammare ...* (ASNa, Ministero LL. PP., b. 417).

Figure 8 – G. Marangio, Plan of fortress of Castellammare... (ASNa, Ministero LL. PP., b. 417).



Il presidio di Castellammare fu assimilato dal Lauria ad una colonna dorica di oltre 20 metri, a base dodecagona, poggiante sulla batteria del molo, sormontata dal capitello reggente la lanterna<sup>12</sup>; come a Nisida, nel 1862 fu corredato di due stanze per gli addetti, ricavate nello spazio trapezoidale generatosi dalla parte opposta<sup>13</sup> (Fig. 8). Procedendo secondo la disponibilità economica, lo schema continuò con costanza negli anni seguenti. Infatti, poco dopo furono attivati gli impianti di Punta Campanella, Baia e Procida, sfruttando delle preesistenti strutture difensive.

Il primo, ricadente nel comune di Massalubrense, annunciava l’entrata sud del golfo. Fu fatto sulla spianata sottoposta alla torre vicereale detta “della Minerva” da cui aveva accesso e consistette in un piccolo edificio rettangolare, “in stile egiziano”, con i muri a scarpa e le cornici in pietra di Sorrento. Davanti si allargava per l’intera ampiezza una terrazza semicircolare, sulla quale spiccava la lanterna<sup>14</sup>.

Il secondo, rispecchiando le iniziali previsioni era un fanale su traliccio metallico, situato sulla batteria detta “della Tanaglia”<sup>15</sup>; l’ultimo, ubicato sulla punta di Chioppeto, a nord dell’isola, era un massiccio organismo ottagonale

<sup>12</sup> ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fasc. 2; b. 312, fasc. 2. La costruzione fu approvata nel 1837 ed avvenne a spese del Comune, a cui furono rimborsate le cifre.

<sup>13</sup> Ivi, b. 417, fasc. 10. Per l’eccessiva ristrettezza, tre anni dopo, ne venne aggiunta una terza (ACS, *Ministero dei Lavori Pubblici. Direzione generale ponti acque e strade. Divisione porti, spiagge e fari*, b. 117, fasc. 28).

<sup>14</sup> ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fasc. 7; b. 312, fasc. 8; b. 417, fasc. 12.

<sup>15</sup> Il progetto fu trasmesso dal Lauria al direttore di Ponti e Strade il 12-2-1845 (ivi, b. 311, fasc. 6). Il faro fu riparato nel 1866 (ACS, *Ministero dei Lavori Pubblici. Direzione ... cit.*, b. 118, fasc. 15).

<sup>16</sup> Nel 1867, la torre fu spostata in seguito all’allungamento del molo (ivi, b. 117, fasc. 9).

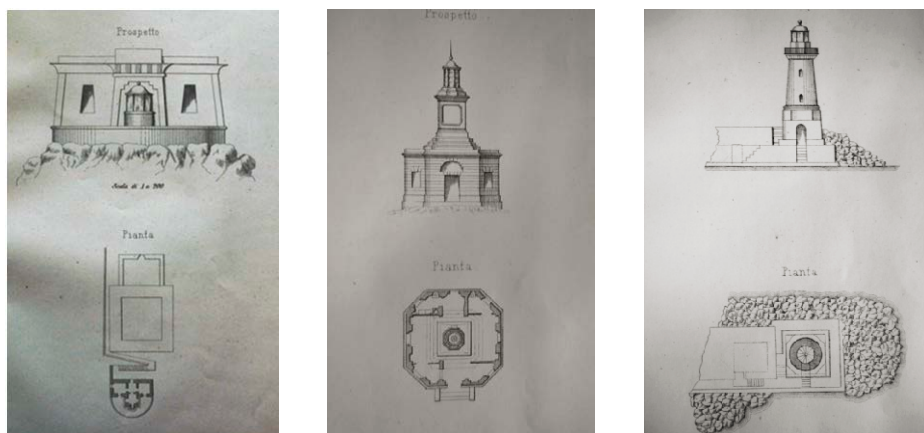


Figura 9 – Fari di Punta Campanella, Procida, Ischia (*Album dei fari*).  
 Figure 9 – Lighthouses of Punta Campanella, Procida, Ischia (*Album dei fari*).

Di particolare impegno fu la dotazione luminosa dell'isola di Ischia. Mentre, il preventivato faro di 1° ordine rimase a lungo in sospeso, con l'apertura del cratere vulcanico spento detto "lago de' bagni" e la creazione del porto a N-E, si rese necessario elevarne uno di 4° ordine all'estremità della scogliera che ne difendeva l'entrata. Allo scopo si formò una piccola torre tonda su una piattaforma rettangolare, attivata nel 1856<sup>17</sup>, in concomitanza con l'inaugurazione dello scalo. Per segnalare i margini dello stretto passaggio che allora come adesso immetteva nella rada, vi furono montati due lampioni in ghisa - della stessa foggia di quelli di via Toledo, la più importante della capitale - recanti lampade dalla luce colorata, per non confonderle con il prossimo faro. Trovandosi a circa 1 metro dalla banchina, erano continuamente danneggiati dai natanti in transito ed in caso di mare agitato era impossibile accenderli. Di conseguenza, nel 1862 furono sostituiti con elementi in muratura troncopiramidali, reggenti una lanterna ottagonale in bronzo<sup>18</sup>.

## L'estensione del piano del 1857. Le realizzazioni post-unitarie

Nel 1857, quando ancora restavano da compiere gli impegnativi impianti di Capri, Ischia e Capo Miseno, la commissione fu ampliata, aggregandovi altre personalità, con l'intento di applicare il detto sistema lenticolare a tutto il litorale, dall'Abruzzo allo Jonio e da Ponza a Reggio Calabria. Perciò, si ravvisò il bisogno di sessantasette installazioni - poi portate a settanta - di cui erano attive sedici, e si redasse un regolamento generale, che codificò le planimetrie e le proprietà in base alla visibilità<sup>19</sup>. Il documento indicò tre tipi di

<sup>17</sup> ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 332, fasc. 1.

<sup>18</sup> Ivi, b. 417, fasc. 8 e 14; ACS, *Ministero dei Lavori pubblici. Ufficio stralcio ...* cit. b. 71, fasc. 6.

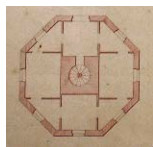
<sup>19</sup> Il regolamento fu pubblicato nel 1859. All'epoca erano stati attivati pure i dispositivi di: Ponza, Gaeta, Brindisi, Reggio Calabria, Taranto, Molfetta, Barletta (ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 312, fasc. 7; b. 331, fasc. 1; b. 332, fasc. 1; b. 333, fasc. 5).



strutture: “di scoperta”, sui siti più sporgenti da dove si proiettava luce a grande lontananza; “di riconoscenza” in prossimità dei porti o di un ostacolo; “di richiamo”, all’imboccatura di un approdo, con raggi luminosi di breve portata. Collocando i primi sui promontori e sulle isole, i secondi sulle punte secondarie e gli altri in prossimità degli ancoraggi, si sarebbe delineata una vera e propria cintura luminosa intorno alle coste del Regno.

Le dimensioni venivano dettate dall’ordine che vincolava il diametro di base e la relativa altezza e dalla condizione se a luce fissa o rotante. Il faro consisteva in una torre a sezione circolare, ottagonale o quadrata, dotata di uno spazio superiore sul quale alloggiare il meccanismo e la lanterna, intorno alla quale doveva girare una balconata per permettere il montaggio e la pulizia dei vetri che chiudevano la fonte di luce, operazione necessaria molte volte durante la notte<sup>20</sup>. Ad esso era annesso un corpo di fabbrica contenente magazzini, camere per gli ispettori di sorveglianza e per i guardiani, normalmente tre nei fari di 1°, 2° e 3° ordine, ed una cisterna, in assenza di acqua sorgiva (Fig. 10).

Le prescrizioni in causa vennero integralmente recepite dal governo unitario, trasferendone la gestione dall’Ufficio di Ponti e Strade al Genio Civile, che curava la costruzione, la dotazione luminosa e l’appalto a privati tenuti ad assicurare il funzionamento, provvedendo al personale, al rifornimento di tutto il necessario, dal combustibile agli stracci per la pulitura, al loro lavaggio ed, infine, alla manutenzione ordinaria dello stabile [8].



Nel periodo di transizione si realizzò il faro di 6° ordine di Pozzuoli, incassato nell’ultimo pilone dell’antico molo detto “di Caligola”, acceso nel gennaio 1861<sup>21</sup>. Il piccolo insieme - che nonostante la dismissione, permane nella condizione primitiva - consisteva in una cameretta quadrata quasi del tutto scavata nel corpo del vetusto manufatto ed accessibile scendendo una scaletta, alla quale si affiancava una torretta circolare emergente che reggeva il lume, raggiungibile da una scala a chiocciola interna (Fig. 11).

Le direttive borboniche vennero abbandonate nel 1862, allorché il Ministero dei Lavori Pubblici prescrisse la pianta rettangolare in luogo della centrale, fornendo appositi prototipi per i fari dal 1° al 4° ordine, limitando quelli del 5° e 6° al solo pianterreno [8].

È con i nuovi orientamenti che si completa l’illuminazione del golfo di Napoli, con i fari di Punta Carena a Capri, Capo Miseno e Punta Imperatore a Forio d’Ischia.



Il primo, ideato dal Lauria fin dal 1849<sup>22</sup> e spesso volte sollecitato, fu avviato solo nel 1860 con le direttive dell’ing. Cintio, ed acceso nel 1867<sup>23</sup>. La sua forma ripropone integralmente quella dei quasi coevi impianti di scoperta di Capo Palinuro (SA) [7] e Capo Spartivento (RC): un fabbricato rettangolare a due piani, formato da una doppia fila di ambienti dai quali spicca l’alta torre ottagonale, forse residuo dell’originario, non documentato disegno.

Figura 10 – Tipi di faro (ACS, *Ministero dei LL. PP.*, Direzione generale, b. 118).

Figure 10 – Models of Lighthouse (ACS, *Ministero dei LL. PP.*, Direzione generale, b. 118).

<sup>20</sup> La tavola con i relativi grafici, datata 29-7-1862, si ritrova in ACS, *Ministero dei Lavori Pubblici, Direzione generale ... cit.*, b. 118, fasc. 1.

<sup>21</sup> ASNa, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 333, fasc. 1.

<sup>22</sup> Ivi, b. 310, fasc. 2.

<sup>23</sup> Ivi, b. 417, fasc. 2 e 13; ACS, *Ministero dei Lavori Pubblici. Direzione ... cit.*, b. 122, fasc. 55.



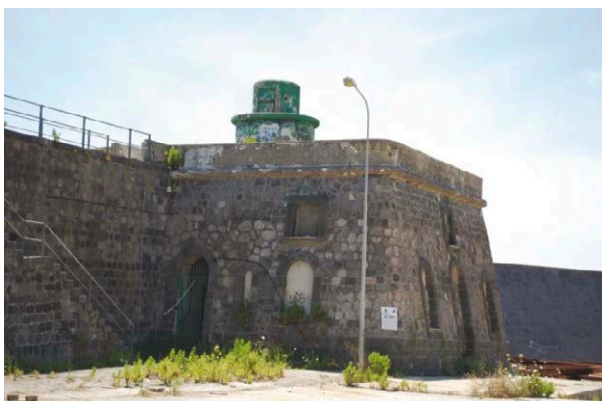
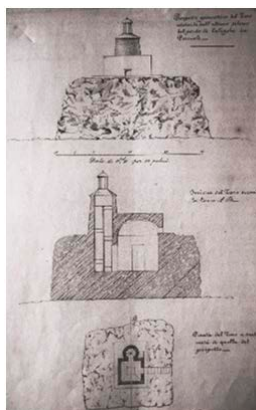


Figura 11 – G. Marangio, *Progetto del faro esistente sull'ultimo pilone del ponte di Caligola in Pozzuoli*, prospetto, sezione, pianta (ASNa, Ministero LL. PP., b. 333).

Figure 11 – G. Marangio, *Plan of lighthouse on last pillar of pier of Caligola at Pozzuoli* (ASNa).

Il modello semplificato, come voleva la normativa, fu applicato alle prossime installazioni di 3° ordine di Capo Miseno (Bacoli) e Forio d'Ischia, attivate rispettivamente nel 1869 e 1884. La costruzione del primo fu approvata nel 1847, ma solo dopo dieci anni partirono le pratiche per l'edificazione, invalidate da molteplici imprevisti<sup>24</sup>.

La messa in funzione dell'apparato ischitano, deputato con quello di Capri a guidare i tragitti in mare aperto, completò il programma iniziato mezzo secolo prima. Quasi contemporaneamente si concretizzò parte del piano di illuminazione delle rimanenti coste campane, tema trattato in altra sede da chi scrive [6, 7, 8].

Le molteplici traversie a cui gli allestimenti in causa sono stati soggetti nel tempo ha fatto sì che solo alcuni ci siano giunti in una condizione assimilabile all'originaria.

La "lanterna del molo" di Napoli, elemento peculiare del paesaggio urbano con la sua alta e ridondante mole fin dal XVII secolo, è stata abbattuta insieme alla torre di S. Gennaro negli anni trenta del Novecento per far posto alle nuove infrastrutture che dovevano segnare il rilancio delle attività portuali. Uguale sorte è toccata agli impianti di Castellammare, distrutto dai guastatori nazisti durante la seconda guerra mondiale, e di Punta Campanella, oggi allo stato di rudere e soppiantato da un prossimo meccanismo su traliccio. Altri sono stati dismessi e sopravvivono menomati e privi di destinazione in un contesto ambientale spesso molto cambiato, come avviene a Nisida, Pozzuoli e Procida.

## Bibliografia

- [1] Buccaro A. – *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, (1992), Napoli.
- [2] Carelli G. - *Sommario di un reso-conto de' porti, fari e lazzeretti costruiti, in costruzione od in progetto ne' Reali Domini di qua dal faro a tutto l'anno 1855, 1858*, Napoli.

<sup>24</sup> ACS, *Ministero dei Lavori Pubblici. Ufficio stralcio ... cit.*, b. 71, fasc. 1.

- [3] Cirillo O. – *Illuminare le coste: i fari del golfo di Napoli nel XIX secolo*, Atti del 2° Convegno Nazionale di Storia dell’Ingegneria, Napoli, Aprile, 2008, vol. II, 1193-1204.
- [4] E. C. - *Nuovo sistema di fari nel Regno*, Annali civili del Regno delle Due Sicilie (1843), XXXI (LXII), 109-119.
- [5] Ministero dei Lavori Pubblici del Regno d’Italia - *Album dei fari, illustrato dalle notizie intorno ai loro caratteri e posizione, non che da quelle intorno alle spese di costruzione ed impianto e di annuo loro mantenimento ed illuminazione*, 1873, Roma.
- [6] Russo M., *Dotazioni marittime otto-novecentesche in Costiera Amalfitana: il porto di Amalfi, i fari di Fuenti e Capo d’Orso*, Atti del IV Simposio Il monitoraggio costiero mediterraneo. Problematiche e tecniche di misura, Livorno, Giugno 2012, 651-658.
- [7] Russo M. - *Il piano ottocentesco di illuminazione delle coste: i fari della provincia di Salerno*, Atti del 6° Convegno Nazionale di Storia dell’Ingegneria, Napoli, Aprile, 2016, vol. II, 783-792.
- [8] Russo M. - *Realizzazioni architettoniche e nuovi assetti urbani in Costiera Amalfitana tra Otto e Novecento*, 2015, CCSA, Amalfi.



Figura 12 – Dall’alto a sinistra gli odierni fari di: Nisida, Punta Campanella, Capri, Capo Miseno.

*Figure 12 – Today’s lighthouses: Nisida, Punta Campanella, Capri, Capo Miseno.*

# RIGENERARE LA CITTÀ-PORTO PARTENDO DAL CONTROLLO VISUALE. IL CASO DI LIVORNO

Matteo Scamporrino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DidaLab in Regional Design, Dipartimento di Architettura di Firenze,  
Via Micheli, 2 - 50100 Firenze,  
Tel. 055 575735, e-mail: [matteo.scamporrino@unifi.it](mailto:matteo.scamporrino@unifi.it)

**Riassunto** – Può espandersi un porto moderno rispettando il patrimonio storico della città di cui è parte? E a livello di paesaggio è possibile integrare le nuove strutture con il patrimonio esistente? Questo breve testo parte dal problema della trasformazione in un porto moderno in un territorio storico e stratificato proponendo strumenti informatici utili nella progettazione, pianificazione e valutazione. Il caso di Livorno è sintomatico del problema. Per secoli il porto si è evoluto con la città. All’inizio del ‘900 questo si è però espanso in aree libere adiacenti al porto storico. Adesso che le dimensioni delle navi toccano i 400 metri, e gli spazi per lo stoccaggio delle merci raddoppiano, necessita di una espansione a mare. Questa evoluzione è necessaria quanto pericolosa per la salvaguardia del patrimonio e del paesaggio. Livorno è in Toscana, e le leggi che regolano il territorio e il paesaggio sono estremamente restrittive. Il metodo di controllo del paesaggio portuale messo a punto per il caso di Livorno, parte dalle esperienze di *View Management* del piano di Londra e di Liverpool riconosciuti e validati dall’UNESCO. Il metodo sperimentato utilizza modelli 3D GIS e strumenti come la *Viewshed Analysis* e la *Line of Sight Analysis*. Questi sono direttamente derivati dagli esempi anglosassoni e olandesi.

**Abstract** – *Can a modern port be expanded while respecting the historical heritage of the city to which it belongs? Is it possible to integrate, at the landscape and aesthetic level, new facilities with the existing heritage? This paper explores the problems related to the transformation and development of a modern port in a historical context. The aim is to offer useful tools for the design, planning and evaluation. The case of Livorno is symptomatic of the problem. For centuries, the port coevolved with the city. At the beginning of '900, the city expanded into the available areas adjacent to the historic harbour. In the present day, the size of the ships reach 400 meters and storage space for goods has doubled. Therefore, the port needs a new expansion towards the sea. This evolution may be dangerous, but necessary for the preservation of historical heritage and landscape. Livorno, in Tuscany, and the laws that regulate this territory and landscape are extremely restrictive. The Port-landscape monitoring method developed for the city of Livorno has been influenced by View Management experiences of the London Plan and Liverpool Plan. Plans which have been recognised and validated by UNESCO. The method implemented uses 3D models and GIS tools such as Viewshed Analysis and Line Of Sight Analysis. These are directly derived from the British and Dutch examples.*



## Introduzione

Il *core* della ricerca sono i metodi e gli strumenti di controllo visivo delle trasformazioni in ambito portuale. Il tema del controllo visivo in questo ambito è recente e deriva dalla necessità di prevedere strutture e spazi molto grandi per ricevere le navi attuali spesso più lunghe di 400 metri. Le strutture attuali del porto e quelle proprie della città sono dimensionalmente più piccole e rischiano di essere minimizzate o cancellate dalle nuove strutture. Contemporaneamente nel caso di città porto è importante dare una immagine coerente tra i due ambiti per mantenere il rapporto spaziale e di immagine.

I porti e le città in passato erano un tutt'uno sia a livello funzionale che paesaggistico. I traffici commerciali del porto erano funzionali allo sviluppo della città. Viceversa i prodotti e le merci dell'entroterra erano la linfa vitale dei porti. Questa simbiosi socio-economica si rifletteva anche nella forma stessa delle città-porto. Quindi dell'immagine d'insieme: il paesaggio portuale. Nel passato gli edifici urbani e quelli portuali avevano dimensioni comparabili. Anche gli spazi tra le costruzioni erano simili. Gli stoccaggi di merci avvenivano all'interno degli edifici della città oltre che in magazzini sul *waterfront*. Con l'avvento della nautica Globale, a partire dall'inizio del '900 il legame inizia a rompersi. I porti diventano sempre più industriali e logistici. Dal "Porto Emporio" si passa al "Porto Hub". Con questo mutamento cambiano le necessità di spazio (Fonti, 2010; Gras, 2013). Porto e città hanno esigenze spaziali e funzionali molto differenti. Il porto per motivi di manovra delle navi, logistica e movimentazione merci ha bisogno di spazi e strutture fuori scala rispetto alla città. Inoltre per motivi di sicurezza e doganali gli spazi comuni e porte di passaggio sono ridotti al minimo (Gras, 2013).

Il porto moderno ha quindi bisogno di nuovi spazi, nuove strutture e nuove reti di collegamento. Queste spesso sono in conflitto con la città e il territorio. Non a caso i nuovi porti internazionali più competitivi sorgono lontano dalle città così da potersi espandere liberamente, essi hanno una relazione con il contesto solamente di tipo funzionale, nessun legame storico, identitario o spaziale. Tutto questo nel mediterraneo e in Europa è più difficile. Soprattutto a causa della densità insediativa delle coste e per la difficoltà a realizzare nuove infrastrutture in territori densamente costruiti (Gras, 2013).

Il legame tra porto e città, alla base per secoli del successo di molti luoghi, diventa nella competizione globale una restrizione allo sviluppo. Molti Porti nord europei sono comunque riusciti a espandere i porti lungo le foci fluviali su cui sorgevano. È il caso di Rotterdam, Liverpool e Amburgo. Ciò, assieme alla loro collocazione atlantica, gli ha permesso di essere competitivi a livello globale. I porti affacciati sul mediterraneo sono invece rimasti maggiormente legati alle loro città di origine occupando terreni adiacenti a queste dal dopoguerra ad oggi. Negli ultimi 20 anni l'attenzione alla progettazione delle Città porto è aumentata a livello internazionale. La guida alla progettazione "*Plan the city with the port*" della aiVP (*The Worldwide Network of Port Cities*) riporta alcuni esempi insieme a delle linee guida. Riprogettare la città-porto è quindi molto più complesso che progettare un semplice porto. Riprogettando questi complessi sistemi i benefici in termine di immagine e di miglioramento socio-economico per la città e l'entroterra possono essere maggiori. Barcellona, Valencia, Marsiglia hanno fatto del *waterfront* portuale un luogo pubblico d'eccellenza suggestivo e caratterizzante. In questi casi però non esistevano elementi patrimoniali interni al porto come invece spesso succede nelle città porto italiane. In quest'ultimo caso i progetti di trasformazioni proposte devono tener conto del

patrimonio esistente visto il valore di quest'ultimo e la vocazione turistica del territorio. Non basta solo una progettazione di qualità divisa in zone, ma occorre salvaguardare in maniera puntuale gli edifici storici e le parti di città che si fondono con il porto in trasformazione. La tesi avanzata è che questa operazione può essere facilitata dai nuovi metodi e i nuovi strumenti di controllo visivo e paesaggistico.

In questa ottica l'obiettivo iniziale di questa ricerca è sperimentare e adattare i nuovi strumenti di *View Management* nella progettazione dei nuovi porti città nel contesto italiano, nel nostro caso Livorno. Si è partiti da tre filoni di ricerca internazionali riadattandoli alle esigenze portuali e al contesto italiano:

1. *View management* che definisce il *framework* utile per la pianificazione.
2. *Visual Landscape* che fornisce strumenti di supporto alla progettazione.
3. *Geodesign*, utile nella costruzione delle basi e delle analisi tecniche GIS.

## **Panoramica sul ruolo del paesaggio nella trasformazione dei porti italiani**

L'Italia è uno dei casi europei più problematici in quanto a mix tra patrimonio storico e porto operativo. Questo è il primo motivo per cui lo sviluppo dei suoi porti non è avvenuto con la velocità e l'efficacia di altri esempi europei. I porti italiani si sono tutti nati con la città.

L'avvento della nautica moderna ha reso progressivamente inadeguate le strutture e gli spazi che per secoli avevano fatto la fortuna delle città-porto italiane. La separazione tra porto e città è stato un processo lento ma costante soprattutto dal dopoguerra. Anche se rimasti adiacenti a livello spaziale e geografico i porti e le città in Italia si sono gradualmente distaccate in altri ambiti. Il principale è sicuramente quello della *governance* e della pianificazione. La prima è particolarmente articolata e comprende il Ministero delle Infrastrutture, le regioni e il Comune. Questa eccessiva complessità dei processi di *governance* non hanno permesso ai porti italiani di trasformarsi velocemente e quindi essere competitivi (Di Venosa, 2005; Pellegrino, 2008). Circa la pianificazione, a causa della lentezza nella redazione dei Piani Portuali in molti casi le strutture una volta approvate risultavano già inadeguate per le esigenze dinamiche della nautica internazionale. Per questo motivo spesso si ricorreva a variazioni del piano che facevano perdere il disegno complessivo.

Tornando ai problemi spaziali, la maggior parte dei porti italiani ha adeguato le strutture portuali utilizzando spazi liberi adiacenti fuori da una pianificazione sistematica. Per rendere i porti funzionali ed essere competitivi a livello globale gli spazi di acqua e di terra dei porti andrebbero ridisegnati. Ma i porti italiani sono "incastonati all'interno dei tessuti compatti" spesso compressi tra città e mare. L'alternativa che rimane è quella dell'espansione verso il mare. Opzione scelta da Livorno<sup>1</sup>. Così facendo si possono anche

---

<sup>1</sup> Il caso di Livorno, e in particolare della "Piattaforma Europa, mostra come a seguito dello sviluppo dimensionale degli scafi e degli spazi operativi portuali sia necessario dirigere l'espansione verso il mare. Visto che la storica struttura lineare risulta insufficiente per le nuove esigenze di manovra, stoccaggio e movimentazione merci. La piattaforma ha misure imponenti, 3 700 m di lunghezza per 1 500 m di larghezza, quasi 200 ettari di nuove banchine e 250 ettari di nuovi specchi d'acqua. Possono sembrare dimensioni imponenti, ma se rapportate ad altri porti mediterranei lineari di pari rango risultano perfettamente in linea, anzi, grazie a questa configurazione il rapporto tra la lunghezza lineare delle banchine e la superficie occupata risulta migliore di altri.

liberare delle zone di *filtering* tra porto e città risolvendo in parte i conflitti di uso esistenti. Per rimediare ai problemi attuali le nuove trasformazioni portuali devono essere quindi radicali. Inoltre i tempi di realizzazione dei nuovi porti italiani devono essere rapidi per colmare il gap con gli altri porti europei e mondiali.

Il rischio è quello che il poco tempo e le poche risorse non facciano tener conto, in queste trasformazioni radicali, dei caratteri paesaggistici ed estetici delle città porto italiane. L'Autorità Portuale di Livorno, come altre italiane recentemente, vuole prevenire questo rischio. Ha deciso che la salvaguardia del patrimonio e del paesaggio è un obiettivo del Piano Portuale. Di fatto la progettazione di qualità paesaggistica culturale è una spesa apparentemente voluttuaria. Cosa spinge l'autorità portuale a una scelta simile?

I motivi principali sono due. Il primo è legato all'attrazione di investimenti. I porti italiani moderni non sono solamente funzionali soprattutto nelle aree adiacenti alla città. Molte aree liberate dalle attrezzature portuali possono attrarre investimenti. Per essere competitivi si vuole che il nuovo porto sia specchio di modernità, dinamismo e economia come hanno fatto, Valencia, Barcellona, Amsterdam, Melbourne, Sidney, ecc. Il secondo motivo è legato alla crocieristica. Infatti assieme ai traffici commerciali i grandi porti città attraggono anche le crociere. Possono diventare le porte per l'entroterra circostante. Il Porto di Livorno diventerebbe la porta della Toscana che ha una forte attrattività a livello internazionale. Anche in questo caso gli operatori crocieristici sarebbero invogliati ad investire.

La qualità del paesaggio portuale assume quindi un'importanza economica e strategica al pari della funzionalità e logistica commerciale. L'obiettivo è chiaro e condiviso: riuscire a riprogettare il porto salvaguardando il patrimonio e il paesaggio portuale, e contemporaneamente renderlo più funzionale e competitivo a livello globale. Quindi il problema non è cosa fare, ma come farlo: con quali metodologie, con quali strumenti operativi. Le grandi trasformazioni funzionali necessarie non possono essere rallentate dagli aspetti paesaggistici e di tutela. Ci vuole chiarezza, in un territorio, quello italiano, senza una tradizione e una metodologia in tal senso.

## **Problemi, metodo e strumenti**

Questo lavoro di ricerca sperimentale del DidaLab in *Regional Design* è stato voluto dall'Autorità Portuale di Livorno. Come già detto si vogliono studiare un metodo e degli strumenti innovativi per controllare l'impatto sul paesaggio delle nuove strutture previste nel porto di Livorno.

Per raggiungere questo obiettivo la metodologia proposta deve affrontare i due problemi principali del contesto italiano:

- La necessità di uno strumento semplice e flessibile che superi la rigidità della *governance* e pianificazione portuale italiana
- L'esigenza di strumenti di analisi quantitativi che permettano il calcolo dell'impatto visivo delle trasformazioni e consentano la valutazione all'interno di matrici ambientali ed economiche.

La risposta a questi due problemi che danno gli strumenti e le ricerche italiane è incompleta. A Livello italiano esistono esperienze di analisi visuale quantitativa ma solamente a livello regionale. In particolare si ricorda il Piano Paesaggistico della Regione

Piemonte, con le sperimentazioni riguardanti Torino, e la carta dell'Intervisibilità del Piano Regionale Toscano. Purtroppo in entrambi i casi la scala è più grande rispetto a quella del Porto quindi utile solamente per la definizione dei bacini visivi e delle viste panoramiche.

Si è allargato così la ricerca a casi e applicazioni stranieri in particolare anglosassoni e olandesi. In questi troviamo dei casi di applicazione, metodologie e strumenti molto utili per rispondere ai problemi sovraesposti. Il compito di questa ricerca è testarli ed adattarli al contesto italiano. Il *View Management*<sup>2</sup> aiuta nella risposta al primo problema. Di origine anglosassone utilizzato sia a Liverpool che a Londra. È molto utile nell'ambito della pianificazione. Consiste in un documento supplementare che affianca il piano urbanistico. Non essendo interno al piano si configura come uno strumento flessibile e implementabile durante il processo di trasformazione. Come abbiamo visto la *governance* e la pianificazione dell'autorità portuale sono molto rigide. La metodologia del *View Management* permette di risolvere questo problema. Questa metodologia costituisce il *Framework* di riferimento per le analisi visuali di progetto e per la valutazione delle trasformazioni.

Per ognuna delle categorie visuali individuate nella carta è ricercato lo strumento informatico e la rappresentazione migliore. Il *Visual Landscape* aiuta invece a rispondere al secondo problema. Questa ricerca propone strumenti di analisi quantitativa che scendono fino al dettaglio architettonico. Se per la costruzione del *View Management Framework* (WMF) bastavano strumenti 2D GIS per le analisi di dettagli di *Visual Landscape* (Nijhuis, 2011) è necessario costruire un modello 3D GIS.

L'integrazione tra questi due metodi vuole essere il valore aggiunto di questa ricerca. Una scelta innovativa che vuole superare il concetto di paesaggio basato sulla percezione soggettiva cercando di oggettivizzare almeno la percezione visiva.

Il metodo sperimentato può essere riassunto nei seguenti punti:

1. È un documento supplementare al Piano Regolatore Portuale. È quindi autonomo e modificabile da parte degli attori durante il realizzarsi delle trasformazioni di piano
2. Ha un *framework* di riferimento che analizza tutte le visuali dell'intera area portuale. Questo viene riassunto con la carta delle visuali strategiche.
3. La scelta delle visuali avviene secondo quattro categorie: I con visuali strategici verso il mare, Le finestre visuali strategiche dalla città, Linee di salvaguardia dell'intervisibilità e Percorsi paesaggistici
4. Per ogni singola visuale individuata nella mappa vengono dettagliati i caratteri paesaggistici, le linee visuali da salvaguardare totalmente, le visuali su cui è necessaria una approvazione da parte degli attori competenti e le visuali libere.
5. Le analisi informatiche nelle visuali individuate nella carta delle visuali strategiche sono di tipo quantitativo sulla base di modelli 3D GIS derivati dalle cartografie ufficiali.
6. Le analisi puntuali possono sia supportare la progettazione che fornire dati quantitativi sull'impatto visivo. Quindi essere utili per il *Decision Support System* (DSS) e per le valutazioni ambientali.

---

<sup>2</sup> A livello internazionale il controllo visuale (*View Management*) è stato utilizzato come matrice prestazionale (e non vincolistica) per trasformazioni urbane consistenti e in scenari simili a quello di Livorno. In particolare nei casi di Liverpool (*Local Development Framework, Liverpool Maritime Mercantile City*, 2009) e Londra (*London View Management Framework*, 2012) si è sviluppato tale strumento seguendo le direttive dettate dall'UNESCO. In entrambi i casi il *View Management Framework* è servito sia per la salvaguardia strategica del paesaggio che per fornire indicazioni prestazionali ai soggetti chiamati a progettare e realizzare le trasformazioni previste.

Il metodo è multi scalare. Infatti si va dalla scala urbana a quella architettonica. A scala urbana il *framework* ha una funzione strategica. Le schede sono invece lo strumento “tattico” che scendendo di scala permette una analisi approfondita degli impatti visuali generati dalle proposte di trasformazione. Il metodo è integrato. Permette di avere un quadro per la pianificazione e la normazione dei suoli grazie alla carta delle visuali strategiche. Le analisi 3D GIS permettono di valutare e supportare il progetto e le strutture previste. Possono anche essere comparate diverse soluzioni. La natura quantitativa permette l'utilizzo nelle valutazioni d'impatto ambientale e per la Valutazione Ambientale Strategica. Il metodo è verificabile. Grazie agli strumenti informatici, ogni passaggio delle analisi può essere verificato e corretto. In caso di errore basterà cambiare il parametro o correggere il modello per avere in tempo reale l'esito.

### **Tre sperimentazioni preliminari da legare al WMF**

Le sperimentazioni applicative hanno riguardato solo alcune aree puntuali. In questa sede per brevità si riportano tre esempi più significativi che si riferiscono ad altrettante categorie visuali individuate nella carta delle visuali strategiche. Per le sperimentazioni si sono utilizzate le trasformazioni di progetto attualmente disponibili. Oltre alle opere foranee (dighe, banchine, darsene) il Piano Particolareggiato proposto dalla stessa *authority port*. In futuro queste simulazioni riguarderanno eventuali opzioni di progetto che verranno presentate all'*authority port* da investitori e progettisti.

La carta delle visuali strategiche attraverso le schede e le linee guida specifiche per ogni ambito forniranno indicazioni precise per rispettare la percezione degli elementi patrimoniale e del mare. Gli strumenti sperimentati sono quindi quelli di verifica del progetto. Servono per fornire una valutazione dell'impatto visivo quantitativo e forniscono indicazioni spazialmente esatte per eventuali modifiche come nel caso del terminal passeggeri.

I coni visuali strategici verso il mare. Sono le viste di colore blu nella carta delle visuali strategiche. Grazie alle simulazioni 3D GIS si può misurare l'impatto delle nuove strutture. La misurazione avviene principalmente in gradi. È ovviamente possibile conoscere la distanza a cui la nuova struttura interferisce con la vista. Le distanze in questo esempio hanno due range e una soglia: prima e dopo i 2 km.

Infatti dopo questa soglia la visione di elementi lineari sul mare non è più stereoscopica e quindi la visione dell'elemento è minore perché “confusa” con lo sfondo. In questo caso il mare e il cielo. La soglia può variare a seconda di studi e analisi specifiche sulla vista che possono essere dettagliate nella scheda specifica fornita dal VMF.

Linee di salvaguardia dell'intervisibilità. Questa sperimentazione relativa alle linee di salvaguardia dell'intervisibilità si riferisce al Terminal Passeggeri. Come accennato precedentemente in questo caso si era in presenza di una proposta di progetto. È bastato avere il planivolumetrico di questo per costruire il modello della trasformazione. Quello chiamato S1. L'intervisibilità che si voleva migliorare era quella della Fortezza Vecchia dal terminal passeggeri. Dopo la prima simulazione ci si è resi conto che le strutture di progetto occludevano la vista. Si è quindi consigliato un percorso sopraelevato (S2) che ha migliorato sensibilmente la visibilità. In questo caso la sperimentazione è stata più di *Decision Support System* che di valutazione.

Percorsi paesaggistici Il percorso paesaggistico che si presenta è marino. Infatti è la rotta che le piccole imbarcazioni compiono e compiranno per arrivare dal porto turistico alla Torre del Marzocco. Si è misurato la visibilità della Fortezza Vecchia dello stato di fatto (S0) e di progetto (S1). Essendo stato rilevato un miglioramento della visibilità sia delle mura che della torre non si è ritenuto opportuno fornire indicazioni di modifica al progetto S1.

## Lo sviluppo della carta delle Visuali strategiche

Questa carta permette un quadro completo delle visuali sensibili alle trasformazioni. La mappa deve essere comunicativa e non tecnica. Questo per essere comprensibile da progettisti e investitori. Gli elementi più importanti sono la localizzazione e l'orientamento delle categorie visuali identificate. Con i rettangoli neri e le lettere sono perimetrate le *Designated View Areas*. Cioè i luoghi pubblici da cui vengono predisposte le diverse categorie visuali.

Ecco in dettaglio le categorie visuali individuate nella mappa:

- I coni visuali strategici verso il mare. L'obiettivo è studiare e garantire la visibilità del mare e degli elementi caratteristici del porto. Questi punti di osservazione riguardano aree di grande fruizione della città o del territorio che godono di una visuale del porto e del mare. I coni hanno un grande raggio e le simulazioni devono essere ripetute da diversi punti di osservazione così da valutare l'impatto nell'intera area.
- Le finestre visuali strategiche dalla città. L'obiettivo è studiare e garantire le relazioni visuali del porto dalla città. Questi punti di osservazione riguardano percorsi urbani che si affacciano sul porto da cui attualmente sono riconoscibili elementi caratteristici del paesaggio portuale. Le finestre hanno un raggio particolarmente stretto proprio perché la visione è limitata lateralmente dagli edifici, di fatto questi fungono da cornice per il paesaggio portuale.
- Linee di salvaguardia dell'intervisibilità. L'obiettivo è quello di studiare e garantire l'intervisibilità da aree o elementi fisici dei Landmark. L'analisi in questo caso riguarda in solo elemento di cui si vuole garantire la visibilità. I punti di osservazione possono essere su aree come su elementi caratteristici di queste come ad esempio il ponte di un traghetto o di una nave da crociera nel caso dell'area terminala passeggeri.
- Percorsi paesaggistici. L'obiettivo è quello di studiare e garantire la riconoscibilità e identità del porto dai percorsi. Questi possono essere terrestri, come le passeggiate lungo il *waterfront* o la viabilità costiera, o marittimi, come i corridoi marittimi per le navi da crociera o per i diportisti.

Alla carta delle visuali strategiche è affiancato un documento contenente le linee guida e schede specifiche per ogni *Designated View Areas*. Affianca la mappa e contiene esempi, indicazioni operative e linee guida per la valutazione e il supporto delle trasformazioni in diversi ambiti applicativi. In particolare i rilievi panoramici e le relative schede delle *Designated View Areas* individuate nel VMF forniranno una "fotografia" del porto attuale. Contemporaneamente si fornisce una "vision" del porto futuro grazie a foto inserimenti, schemi tipo e modelli 3D. Le linee guida indicano a priori criteri e metodi con cui saranno valutati i progetti e i piani di trasformazione del porto. Assieme al VMF, le linee guida fungono da "base chiara e condivisa" su cui "poggiare" le progettualità future previste dal PRP.

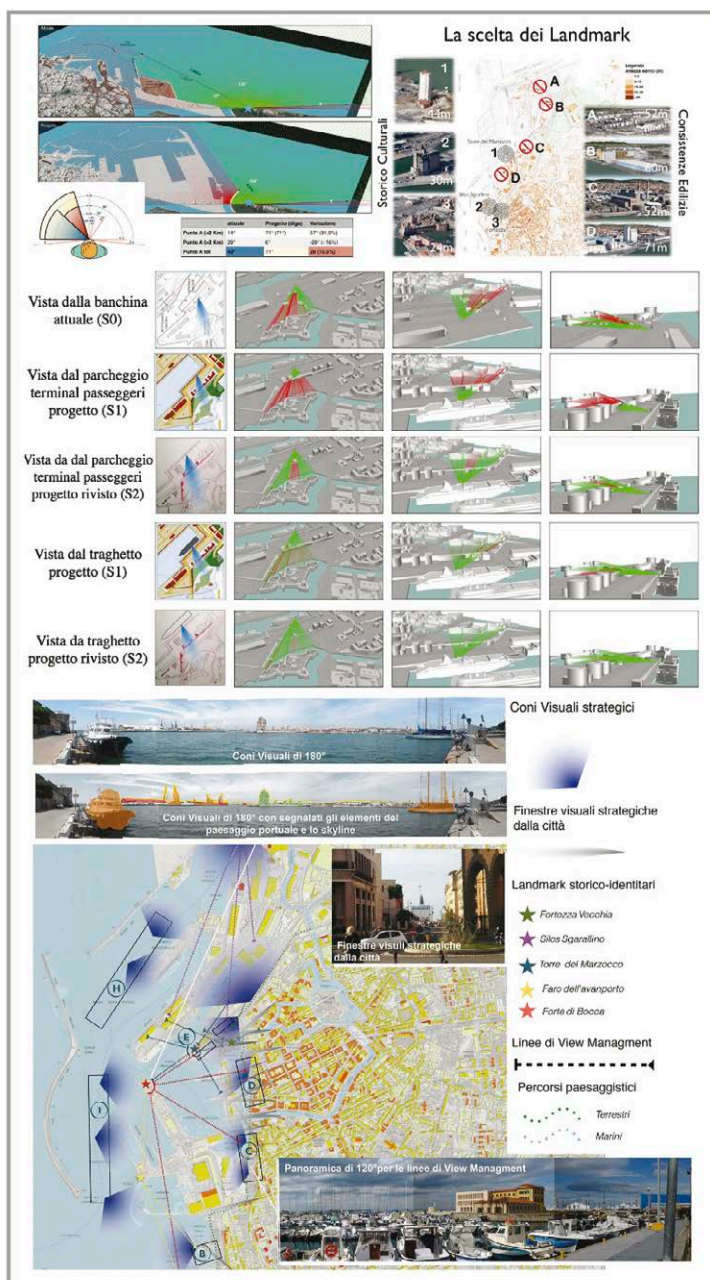


Figura 1 – Sperimentazioni della VIA dell’area del Calambrone (in alto sinistra); la scelta dei *landmark* (in alto a destra); il DSS al progetto del Terminal Passeggeri (centro); lavori preliminari e rilievi per il *View Management Framework*.

## Conclusioni

Ciò permette di salvaguardare il patrimonio di fronte a grandi trasformazioni come quella di Livorno. La prima sperimentazione riguardante l'impatto rispetto al mare è rappresentativa di questo aspetto. Questo è molto importante in Italia dove la preponderanza di analisi qualitative lascia spesso progettisti e imprenditori nell'incertezza rispetto alla realizzazione di progetti di medie e grandi dimensioni. La seconda e la terza sperimentazione che hanno riguardato dei progetti reali hanno dimostrato che i nuovi strumenti informatici 3D GIS possono anche aiutare molto nella correzione dei progetti previsti. Gli strumenti sono quindi da intendersi utili per il *Decision Support System*.

Lo sviluppo del *Visual Management Framework*, e il suo affiancamento alla pianificazione tradizionale, può sopperire alla poca chiarezza sotto il profilo paesaggistico delle trasformazioni previste. Londra si è avvalsa di questo strumento per il medesimo motivo. I grattacieli della Down Town sono necessari alla sua immagine quanto la salvaguardia di Buckingham Palace e di St. Paul. Una osservazione doverosa è che il *View Management Framework* non è da intendersi come necessario per tutte le città e tutti i territori, ma utile per quelli dove vi siano previste grandi trasformazioni in presenza di un ricco patrimonio.

La ricerca sta procedendo con la copertura di tutti degli ambiti del Porto per arrivare un sistema di controllo visuale completo del Porto. Sono in elaborazione le schede con le indicazioni quantitative per l'analisi dell'impatto visuale. Contestualmente si stanno mettendo a punto specifiche 3D GIS specifiche per ogni *Designated View Areas*. Queste saranno fornite prima possibile agli investitori e ai progettisti perché abbiano un quadro completo sulle verifiche informatiche che verranno fatte sui loro progetti.

Ultimo aspetto che si sta implementando è quello di integrare alcune analisi qualitative all'interno del metodo. La volontà è quella di poterle sintetizzare attraverso indici e numeri così che siano comparabili all'interno del processo. Per questo si stanno ricercando degli indicatori e delle metodologie scientifiche di raccolta dei dati come avviene all'interno delle Valutazioni Ambientali sostenibili.

## Bibliografia

- [1] AA.VV. - *Liverpool Maritime Mercantile City World Heritage Site Supplementary Planning Document*, (2009), Liverpool City Council.
- [2] AA.VV. - *Linee Guida per la redazione dei Piani Regolatori Portuali*, (2004), Commissione Ministero Infrastrutture e Trasporti.
- [3] Bandarin F., Van Ores R. - *The Historic Urban Landscape: Managing Heritage in an Urban Century*, (2012), Wiley-Bachkwell.
- [4] Bettini M. - *Storia del porto di Livorno*, (2004), Edizioni Erasmo.
- [5] Bruni F. - *Elementi per una geografia del paesaggio e del territorio portuale*, (2011), Portus Plus.
- [6] Cassatella C. - *Linee guida per l'analisi, la tutela e la valorizzazione degli aspetti scenico-percettivi del paesaggio*. Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio (DIST), (2014), Politecnico e Università di Torino, e Direzione Regionale per i beni culturali e paesaggistici del Piemonte.



- [7] Di Venosa, M. - *L'interfaccia porto-città*. In: *Portus*, vol. (10), (2005), pp. 74–76
- [8] Fonti L. - *Porti-città-territori. Processi di riqualificazione e sviluppo*, (2010), Alinea.
- [9] Gras P. - *Storia dei porti. Declino e rinascita delle città portuali*, (2013), Odoya.
- [10] Lattarulo P. - *I porti della Toscana. Fattore di coesione territoriale e crescita*, (2007), IRPET.
- [11] Massa M. - *Città portuali e il territorio in toscana*, (2004), Edizioni ETS.
- [12] Massa M. - *Passeggiate in molti mari*, (2005), Maschietto Editore.
- [13] Nijhuis S, Van Lammeren R. Van Der Hoven F. - *“Exploring the Visual Landscape* (2011), IOS Press BV. Amsterdam
- [14] Panella G. - *Iniziative per la salvaguardia dei porti storici*, (2012), Portus Plus.
- [15] Peano A.. - *Fare paesaggio. Dalla pianificazione di area vasta all'operatività locale*, (2011), Alinea editrice.
- [16] Pellegrino F. - *L'ambito portuale ed i Piani Regolatori Portuali*, (2008), in *Giureta. Rivista di Diritto dell'Economia, dei Trasporti e dell'Ambiente*, N°VI.
- [17] Rosselli A. - *Il porto come struttura e significato*, (2005), *Portus*, 10, 4-9.
- [18] Teoferi C., Clarino F. - *Riconquistare il paesaggio. La Convenzione Europea del Paesaggio e la Conservazione della Biodiversità in Italia* (2008), WWF Italia ONG ONLUS, Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, Roma

# DESIGN PRINCIPLES OF PUBLIC SPACES IN URBAN WATERFRONTS- THE CASE OF İSTANBUL ORTAKÖY

Reyhan Yıldız<sup>1</sup>, Nihal Senlier<sup>2</sup>, Burcu Imren Guzel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gebze Technical University, Faculty of Architecture, Kocaeli, Turkey

<sup>2</sup>Yeditepe University, Faculty of Architecture, Kayışdağı Cad., 34755, Istanbul, Turkey,  
phone +90 5322916040, telefax +90 2165780299, e-mail: nsenlier@gmail.com

<sup>3</sup>Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Turkey

**Abstract** – Urban waterfronts with their outstanding characteristics have offer unprecedented opportunities for public spaces of cities. Today, in the studies made with the purpose of increasing the urban life quality and livability, provisioning of public access to the waterfronts is considered as a prerequisite for all waterfront developments. The approach accepted all over the world in recent years for the design process of the urban waterfronts is an active planning approach based on the cooperation and contribution of public and private interest groups, non-governmental organizations and public; themes are developed following the common values and goals of the community.

Public spaces, which are one of the most essential symbolic elements of urban life, are of critical importance for development and continuity of urban identity and community culture, spatial diversities, physical and social dynamics. In literature of urban planning and design, very important researches which are focused on the improvement of design principles of public spaces in waterfronts are available. In line with this, there also exist waterfront design guidelines, which are prepared in order to implement the planning principles, and which are successfully used by many countries as design tools. The common point of all these urban design guidelines of different countries and cities can be summarized as; the integration the waterfront with its wider setting, creation of a unique identity throughout the waterfront and ensuring its sustainability, the facilitation of public access to the waterfront, routes which are designed to be easy, accessible, convenient and readily identified, creation of new public spaces to form focal points for different activities, adoption of sustainable design approach for the design of buildings and public spaces, design of walkable and human-centered public and private places, use of the recreational potential of the waterfront for public with an emphasize on water as an important asset and an attractive item.

In this study, design principles of Ortaköy waterfront in İstanbul Bosphorus is evaluated as a case study. Ortaköy waterfront is an unique and special public place both Turkey and Istanbul due to its natural, historical and cultural values. It has been an important place where different cultures and religions have lived together in all historical periods and today it also stands out with historical identity and unique landmark buildings, different uses and activities for tourists and local people. The design principles of public spaces in urban waterfronts and İstanbul- Ortaköy waterfront shall be systematically evaluated and the conceptual studies in related literature as well as design guidelines integrating the theory with application shall be investigated in the study. The study will provide propositions for constructive contributions for the design process of public spaces on topics like sustainable development of waterfront areas, raising the quality of life for both the visitors and also for the local population.

## **Introduction**

Urban waterfronts are prominent areas in urban settlements due to their natural and built environment as well as their unique functions identifying and differentiating that settlement. Urban waterfronts that are defined as the interaction regions between urban development and water constitute the focal point of many cities in uses such as transportation, commerce, recreation, etc. Likewise, these areas are of significant importance in terms of not only socio-cultural and economic value but also ecological environment and landscape.

Considering waterfronts as an integral part of the city that contribute to the city's liveliness; supporting mixed uses, including cultural, commercial, and residential uses as well as public spaces; and setting public access to waterfronts a prerequisite for urban waterfront development are among the basic principles that were identified in 2000s across the world for ensuring sustainable urban waterfront development [2]. In particular, principles for strengthening public spaces in urban waterfronts have become the focal point in planning and design works of waterfronts that are conducted in recent years. While many scientific studies conducted on the subject set out the design principles for developing successful public spaces in urban waterfronts, the waterfront area design guidelines that are used successfully by many countries also provide significant contributions to planning and implementation with very detailed design criteria. The leading planning and design organizations such as the Project for Public Spaces (PPS) establish the design principles for developing successful public space projects in urban waterfronts by assessing successful public spaces across the world [16].

On the other hand, it is strikingly emphasized in the related researches that significant problems are encountered in terms of planning, design, and ecological aspects in the development of urban waterfronts around the world [10, 11, 15, 18, 20, 22, 23]. In this context, issues such as not being able to integrate the waterfront with the city and functional deficiencies in the use of waterfronts; differences in approaches for developing urban waterfronts; emergence of imitated spaces and ignoring local characteristics; unclear ecological concepts; errors in location of land uses in the design stage; not being able to establish a healthy transportation system; deficiencies in management aspects; the lack of a flexible approach in the planning and design in terms of sustainable development are notable and the sustainable planning of urban waterfronts is of great importance.

In this study, we perform assessments within the framework of waterfront design principles on Istanbul-Ortaköy waterfront [17], which is highlighted by the Project for Public Spaces (PPS) among the most successful public spaces in the world, and set out design and implementation problems. Previous studies on the subject and design guidelines constitute a framework for this assessment and the assessment is based on the principles followed by the Project for Public Spaces (PPS); namely, access and linkages, uses and activities, comfort and image, and sociability.

## **Literature review on design principles of public spaces in urban waterfronts**

Providing public access to the waterfront and establishing high quality public spaces are at the top of the issues that are prominent in the planning and design process of urban waterfronts. Public spaces are defined as places that reflect social values and beliefs,

places where social life and culture have developed and are expressed; "open, with public access, to be visited by people either individually or in groups, spaces that are open to public, managed and owned mainly by public and sometimes private organizations" [4, 7]. Today's modern society requires public spaces that are organized well in terms of social and psychological health [14]. These spaces that aim to provide a balance between the economic inequalities and to raise the livability of the city are considered as nodes that allow social integration and bring together different people; therefore, they are of great importance in terms of the urban identity and the formation of social culture [1, 6].

The increased demand for high quality public spaces with the changes in living conditions and the fact that the quality of public spaces is considered an indicator of the quality of urban life have motivated local authorities and project developers around the world to create high quality public spaces [5, 8, 21]. The principles for the design of public spaces have become more important in this process. There are important studies in the literature that establish the design principles for creating successful public spaces [3, 7, 9, 13, 19]. It is possible to specify accessibility, comfort, functionality, liveliness, feasibility, originality, attractiveness, inclusiveness, cleanliness and orderliness, safety, durability, etc. as the principles that are prominent in the design of public spaces. Owing to the fact that waterfronts have a unique element such as the water, principles that are specific to waterfronts are also included in the design principles of public spaces. The primary principles are urban and waterfront integration, water-centered development, variety in the usage and activities, physical, visual, and symbolic access to water, authenticity, identity and meaning, protection of water and the quality of the environment, aesthetics and public art, landscape, interaction and socialization, and maintenance and management. The design of high quality public spaces in urban waterfronts as well as the improvement of the quality of urban life are considered of utmost importance in terms of strengthening the urban vision and the urban identity.

Waterfront design guidelines that are successfully implemented by many countries across the world establish the key targets in sustainable development of waterfront and determine the detailed design principles in different subjects [24]. When these design guidelines are examined, it is observed that issues such as sustainable development, compatibility with the natural environment, the provision of shore-city integration, public access and public uses, water-centered development and activities, originality and identity, public-private partnerships in development, continuity, readability, comfort, diversity, safety, livability, flexibility, architectural improvements, landscape features, etc. become prominent. In this context, while the principles such as the creation of a unique identity throughout the urban waterfront and ensuring its continuity, the design of axes with high accessibility and readability, the creation of landmarks, the design of public squares and public art as the focal point of the urban waterfront and the integration of these reference points with pedestrian and cycle paths, the creation of lawn areas for special events and festivals, the provision of seating facilities for all in coastal and open spaces are notable; it is also emphasized that the water is a significant entity and an attractive element and the recreational potential of the waterfront should be used for the public.

The Project for Public Spaces, which has done research on more than 1000 public spaces across the world, groups the characteristics of successful public spaces under four main categories (access and linkages, uses and activities, comfort and image, and sociability). In terms of access and linkages, the prominent qualities are accessibility, connectedness, proximity, readability, walkability and continuity; in terms of the uses and

activities, the prominent qualities are activity, entertainment, liveliness, originality, effectiveness, usability, localization, visibility, sustainability; in terms of the comfort and image, the prominent criteria are security, cleanliness, walkability, seating facilities, reflectiveness, charisma, attractiveness, and historical nature; and finally, in terms of sociability, the prominent criteria are diversity, management, reliance on cooperation, the friendliness of the area, the neighborhood, the interaction, and tolerance [16].

### The case of İstanbul Ortaköy

Situated on the European side of Bosphorus, Ortaköy waterfront has a unique coastal space for both Istanbul and Turkey with its natural, historical, and cultural values (Figure 1). Ortaköy waterfront, where different religions and cultures had lived together in the past, is a focal point and a meeting space today as well with its historical identity and original landmark buildings, different uses and activities and because it is a window opening to the Bosphorus. Moreover, its proximity to and strong interaction with other public spaces located on the Bosphorus waterfront are the most important factors for its integration with public spaces and the city at an urban scale.



Figure 1 – Location of Ortaköy waterfront [12].

The Etz Haim Synagogue, the Armenian Church (Surp Asdvadzadzin), the Greek-Orthodox Church (Ayios Phokas), and the Ortaköy Mosque are noteworthy among the most important symbolic buildings. This neighborhood that was described as cosmopolitan in the past, is one of the liveliest and colorful places in Istanbul today with its cafes, antique shops, art workshops, and entertainment venues that are heavily used by both local people and tourists at any time of the year (Figure 2).



Figure 2 – Aerial photograph of Ortaköy waterfront.

When the land use in Ortaköy waterfront is analyzed, it is observed that there is a mixed land use which includes mainly commercial and hotel functions (Figure 3). There are two parking lots in the area; one open and the other closed. In addition to public buildings such as the PTT, the EU General Secretariat Building, Municipal Police Headquarters, and the pier, other uses in the area comprise religious facilities, children's playgrounds, cafes and bars, and art galleries. Ortaköy waterfront is not only a busy haunt for people living in the neighborhood, but also a focal point for people coming from different parts of the city and tourists visiting the city and the country.

When Istanbul-Ortaköy waterfront, which is included among the most successful public spaces in the world by the Project for Public Spaces (PPS) [17], is assessed in terms of waterfront design principles (access and linkages, uses and activities, comfort and image, and sociability), the following main points are noteworthy:



**Access and linkages:** The problems associated with Ortaköy waterfront are mainly focused on access and linkages. The most important problems are the difficulty of access via private vehicles and public transport, the limited maritime transport, and the inadequacy of parking spaces. Access to the waterfront and the water is provided via two main axes. Streets in the entire area are directed towards the waterfront, providing physical and visual access to the water; however, the continuity of a strong pedestrian system could not be established. Although it is possible to wander along the waterfront, uninterrupted physical contact with the water cannot be provided; it is observed that open space areas that belong to private businesses located on the waterfront affect the access to water negatively at some points. The connections of various regions in the area are established through streets that are largely pedestrianized. The main problem encountered in terms of readability is the fact that entry points to the waterfront cannot be clearly perceived. Although location names and various marks exist within the area, there are no signs guiding the people visiting from outside the area.

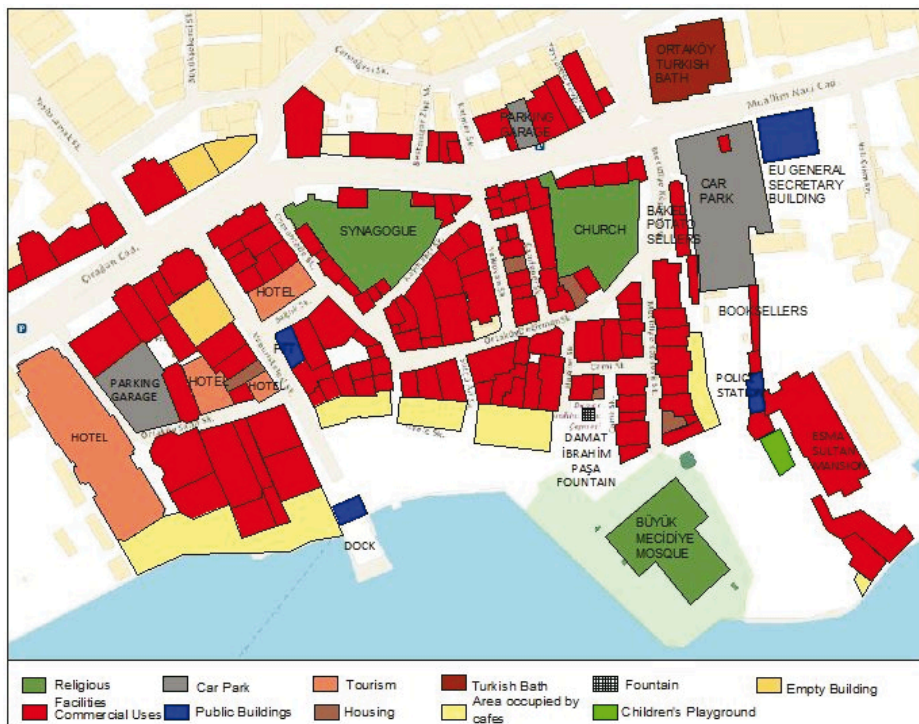


Figure 3 – Land use of Ortaköy waterfront.

**Uses and activities:** Whilst commercial, residential, hotel, and office uses are prominent on the main street, it is observed that there are retail stores, hotels, and a few residences in Ortaköy waterfront. Owing to the uses and activities that are appropriate for

people of all ages, the area is heavily used during the week and at the weekends in all seasons. There exist foci where people could gather, a square in the waterfront, and open-green spaces. Moreover, concerts, new year's parties, and public activities organized in open spaces throughout the year and exhibitions organized at the weekends increase the liveliness of the area. Handmade articles, jewelry, paintings, blown glass products, etc. are exhibited owing to the "there is life on the street" and "handcraft" projects of Beşiktaş Municipality. These activities are considered important in terms of stimulating the local economy in the area and creating employment opportunities especially for women. The structure of the area and the openings of streets towards the water reinforce the effect of the water. The water is the focus and attraction point of the space. The streets and buildings in the area are interesting; they induce a discovery and surprise feeling with both their appearance and different products and services they offer. It is observed that Ortaköy waterfront is intensively used as an impressive public space when it is considered with its unique identity, exclusive Bosphorus view, and cultural values.

**Comfort and image:** Ortaköy waterfront stands out with its own character and identity. Historical values have been respected as much as possible in this space; its historical and cultural identity has been protected and enhanced. With its natural, historical, and cultural values as well as the unique view of the Bosphorus, it has a different meaning for its users. There is no integrity observed among the landscape elements in this space. Although there are different seating areas, these are not sufficient, especially at the weekends due to the high volume of visitors. The lighting system in the space supports the feeling of safety. While the water is the focal point of this space, water-centered uses have not been developed. There are arrangements that respect the human scale in the area; however, there are no special arrangements for the disabled. The Bosphorus view and historical and cultural elements are aesthetic values that add to the originality of the space on their own. Although there are no large parks in Ortaköy waterfront, the area is considerably green. There are many trees in various places in the waterfront. Although garbage is collected regularly in the area, an accumulation of garbage is observed at busy times.

**Sociability:** One of the strongest aspects of Ortaköy waterfront is its providing an opportunity for sociability. Groups of different ages and statuses can easily use this space together. The structure of the space, seating areas, and dining units support socialization. From the viewpoint of the users, the fact that people visit this space most often in groups and people of different ages and professions use this space proves the existence of a social environment. Moreover, since users put forward suggestions about issues such as the uses and activities, urban furniture, maintenance and management, and landscaping it could be concluded that they feel themselves a part of this space. Ortaköy's being a square also makes the waterfront a focal point; public activities, celebrations, festivals, and events such as concerts that take place in this area strengthen the community ties and facilitate the integration of social groups.

## **General evaluations**

Today, principles such as facilitating public access to urban waterfront, designing walkable and human-centered public and private spaces, and using the recreational



potential of the waterfront for public purposes appear to have a priority in the planning and design process of urban waterfront, which provide unique public space opportunities for urban settlements. In this context, applications based on design approaches such as creating and maintaining an original identity along the waterfront, designing axes with high accessibility and readability, creating new public spaces that will become focal points for different activities, and integrating waterfront with the rest of the city are considered successful in terms of sustainable development of urban waterfront. The design of high quality public spaces in urban waterfronts as well as the improvement of the quality of urban life are extremely important in terms of strengthening the urban identity and the social culture.

When Ortaköy waterfront investigated in this study is evaluated in terms of the planning and design problems encountered in waterfront developments across the world, it is observed that it exhibits a very favorable situation in terms of factors such as the inability to achieve integration between the waterfront with the city, the functional deficiencies in the use of waterfront, the differences in approaches for developing waterfronts, the emergence of imitation spaces, the negligence of local characteristics, unclear ecological concepts, errors made in location of land uses in the design phase, the inability to establish a healthy transport system, managerial deficiencies, and sustainable development in the planning and design [10, 15, 18, 20, 22]. Its proximity to and strong interaction with other public spaces located on the Bosphorus waterfront, its integration with public spaces at urban level, the compatibility of land uses with the local characteristics, the preservation and the development of historical and cultural characteristics, its unique identity, its activities allowing integration and socialization, and its unique Bosphorus view constitute its strong points. Owing to its qualities, Ortaköy waterfront, which is included among the most successful public spaces of the world by the Project for Public Spaces (PPS), is a public space that is enjoyable by not only people living in the neighborhood but also for all city dwellers as well as tourists visiting the country and therefore, it is heavily used by all. However, the impact of rent-based policies followed in the urbanization process of Istanbul in recent years constitutes a major threat to sustainable development of Ortaköy waterfront.

In the light of our studies/ findings about the area, when we evaluate this issue considering the waterfront design principles that are studied in the literature, the following points could significantly contribute to increasing the quality and the livability of Ortaköy waterfront:

- Strengthening accessibility to the waterfront via public transport, rearrangement of the number of trips in maritime transport by taking into account the users,
- Overcoming the shortage in parking spaces by increasing the parking capacity as much as possible using new technologies,
- Taking into account arrangements for the disabled while accessing and inside the area,
- Ensuring the compatibility of historical structures and landscaping in the area with the rest of the area,
- Rearranging the entry points to the area by strengthening information panels and lighting and ensuring continuity in the directions inside the area,
- Diversifying the events and activities organized in the area in a way that is compatible with the identity and the character of the area (concerts, art events, film screenings, etc.) and informing the public about these,
- Keeping the sustainability aspects at the forefront in the use of this space,

- Using water elements in new arrangements to be carried out in the area, lighting the water, developing water-light exhibits synchronized with music, etc.,
- Including a health unit in the area for emergencies,
- Selecting arrangements, such as landscaping elements, public art, planting, lighting, garbage bins, etc. in such a way to reflect the unique identity of Ortaköy and making sure they are consistent with each other,
- Increasing the number of seating elements, using different types of seating elements (moving tables, chairs, seating units that are protected from the sun and the wind, etc.),
- Preventing noise pollution.

## References

- [1] Amin A. – *Collective Culture and Urban Public Space*, 2006.  
<http://www.publicspace.org/en/text-library/eng/b003-collective-culture-and-urban-public-space>
- [2] Bradbury M. – *The sustainable waterfront*, 16th Annual International Sustainable Development Research Conference, Hong Kong, 2010.  
[http://www.kadinst.hku.hk/sdconf10/Papers\\_PDF/p254.pdf](http://www.kadinst.hku.hk/sdconf10/Papers_PDF/p254.pdf)
- [3] Carmona M., Magalhaes C., Hammond L. – *Public Space The Management Dimension*, 2008, Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York.
- [4] Carr S., Francis M., Rivlin, L. G., Stone A. M. – *Public Space*, 1992, Cambridge University Press, Cambridge.
- [5] Cattell V., Dines N., Gesler W., Curtis S. – *Mingling, observing, and lingering: Everyday public spaces and their implications for well-being and social relations*, *Health & Place*, (2008) 14, 544 - 561.
- [6] Dovey K. – *Flows, Fluid City: Transforming Melbourne's Urban Waterfront*, 2005, Routledge, New York.
- [7] Francis M. – *Changing values for public spaces*, *Landscape Architecture*, (1988) 78, 54 - 59.
- [8] Gehl J. – *Winning back the public spaces*, (In)visible Cities. Spaces of Hope, Spaces of Citizenship, Centre of Contemporary Culture of Barcelona, 2003, 25-27 July.
- [9] Gehl J. – *Public spaces for a changing public life*, *Topos*, (2007) 61, 16 - 22.
- [10] Giovinazzi O., Moretti M. - *Port cities and urban waterfront: transformations and opportunities*, *Land Use and Environment*, (2010) 3, 57 - 64.
- [11] Gospodini A. - *Urban waterfront redevelopment in Greek cities*, *Cities*. (2001) 18 (5), 285 - 295.
- [12] <http://www.outlookmaps.com>
- [13] Júlia P.A., Antoni R., Pedro B., Fernando N.S. – *Planning public spaces networks towards urban cohesion*, 46th ISOCARP Congress, Nairobi, Kenya, 2010, 19-23 September.
- [14] Mehta V. – *A toolkit for performance measures of public space*, 43rd ISOCARP Congress, Antwerp, Belgium, 2007, 19-23 September.
- [15] Papatheochari D. – *Examination of Best Practices for Waterfront Regeneration*, Theme 2: Leadership in Developing the Marine and Coastal Economy, 2011. DOI [http://dx.doi.org/10.1051/litt/201102003\\_02003/1-7](http://dx.doi.org/10.1051/litt/201102003_02003/1-7)

- [16] Project for Public Spaces, *What Makes a Successful Place?*, <http://www.pps.org/reference/grplacefeat/>
- [17] Project for Public Spaces, *Great Waterfronts of the World, Best Waterfront Places, Honorable Mention*, <http://www.pps.org/reference/greatwaterfronts/>, [http://placemaking.pps.org/great\\_public\\_spaces/one?public\\_place\\_id=821](http://placemaking.pps.org/great_public_spaces/one?public_place_id=821)
- [18] Schubert D. – *Waterfront Revitalizations, From a Local to a Regional Perspective in London, Barcelona, Rotterdam, and Hamburg* in G. Desfor, J. Laidley, Q. Stevens and D. Schubert (eds.) *Transforming Urban Waterfronts Fixity and Flow*, 2011, Routledge, New York, 74 – 97.
- [19] Shaftoe H. – *Convivial Urban Spaces- Creating Effective Public Places*, 2008, Sterling, VA, London.
- [20] Shaw B. – *History at the Water's Edge*, in R. Marshall (ed.) *Waterfronts in Post-industrial Cities*, Taylor & Francis e-Library, 2004, 160 - 172.
- [21] Varna G., Tiesdell S. – *Assessing the publicness of public space: the star model of publicness*, *Journal of Urban Design*, (2010) 15 (4), 575 - 598.
- [22] Wang C. – *Waterfront Regeneration*, Cardiff University City and Regional Planning Master Thesis, UK (Cardiff), 2003. <http://www.scribd.com/doc/7222338/Waterfront-Regeneration>
- [23] Yassin A. B. M., Eves C., McDonagh J. – *An evolution of waterfront development in Malaysia*, 16th Annual Conference of the Pacific Rim Real Estate Society, New Zealand (Wellington), 2010, 24-27 January, 33-37.
- [24] Yildiz R., Senlier N., Guzel B. I. – *Sustainable urban design guidelines for waterfront developments*, International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Turkey, 2015, 26-28 May, 487-494.

## **SESSION**

# **MORPHOLOGY AND EVOLUTION OF COASTLINES AND SEABEDS**

**Chairman: Giuliano Gabbani**  
**Dipartimento di Scienze della Terra**  
**Università degli Studi di Firenze**



## MORFOLOGIA ED EVOLUZIONE DELLE COSTE E DEI FONDALI

Siamo giunti alla chiusura dei lavori della Sessione *Morfologia ed Evoluzione delle Coste e dei Fondali* del Sesto Simposio Internazionale *Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: Problematiche e Tecniche di Misura* il bilancio delle attività della sessione e della partecipazione che ne è derivata è senza dubbio positivo, fatto che ci spinge a continuare in questa avventura sì faticosa ma di elevato interesse scientifico.

Questo bilancio risulta particolarmente premiante, sia per la partecipazione numerosa di lavori collegati alle tematiche focali della Commissione sia per la notevole diffusione in campo nazionale ed internazionale.

Purtroppo pur considerando meritevoli di partecipare al Simposio la quasi totalità dei lavori pervenuti che sono stati un numero interessante; tuttavia alcuni di essi sono stati rigettati o inviati ad altre sessioni poiché non sono stati ritenuti in linea con le tematiche della sessione.

La limitata possibilità, per i noti problemi logistici e temporali dei Congressi in generale, di poter portare alla sessione orale un numero ristretto di lavori, ha costretto a dirottare alla sessione poster, che però avrà pari dignità di pubblicazione con quella orale, i rimanenti lavori che hanno subito una scelta territoriale o su particolari temi trattati.

Tutti sono stati ritenuti meritevoli di interesse, ma come dicevamo prima, sono stati selezionati lavori che potevano offrire un quadro omogeneo delle varie zone del Paese e dell'ambito mediterraneo.

Gli autori coinvolti nei lavori, sono 13, di cui un importante 40 % è costituito da colleghi stranieri. Nel suo complesso i temi principalmente trattati nelle comunicazioni sono stati individuati nell'evoluzione del sistema costiero, nella caratterizzazione e gestione della costa e nei problemi dell'erosione delle spiagge e nella sua mitigazione. Ci preme fare un inciso, il collega tunisino Saidi, pur avendo una presentazione orale non è potuto venire causa problemi insormontabili comunque la Commissione ha deciso di pubblicare il suo interessante lavoro negli atti.

Sei regioni costiere italiane sono state rappresentate nelle diverse località trattate nelle comunicazioni; e quattro regioni costiere straniere sono state oggetto dello studio dettagliato qui presentato. Sono così rappresentate alcune regioni e molte delle università che si affacciano nelle zone costiere.

Livorno ha ospitato il Simposio per la quarta volta, il gratificante risultato della Sessione, documentato dalla qualificata partecipazione e soprattutto dall'ottima qualità delle comunicazioni, deve incentivare tutti gli organizzatori a proseguire, nei prossimi bienni, nel percorso finora tracciato che vede questo Simposio, riproposto come detto ogni due anni, alla sua VI edizione.

Il Simposio vede la partecipazione a questa iniziativa del mondo degli studiosi di geomorfologia, dei geografi fisici e dei geologi marini e dei tecnici del mare in generale.

Un ringraziamento particolare va agli organizzatori del Simposio che hanno, subito dopo la conclusione del Simposio precedente, iniziato a pensare e organizzare quello che si conclude in questa giornata. Un ulteriore ringraziamento va ai colleghi del Comitato Scientifico che hanno vagliato i lavori con coscienzioso rigore scientifico, anche un plauso ai ricercatori presenti che hanno sempre più prestato interesse alle presentazioni e ai poster

sviluppando un'attenzione sui problemi del paesaggio fisico costiero, alla sua dinamica e alla sua evoluzione. Infine un ringraziamento agli autori che hanno accuratamente sviluppato i ristretti temi che la Commissione aveva stabilito e focalizzato.

Il risultato è un successo non dubitabile che porta alla realizzazione di uno scenario stimolante nel mondo della ricerca dove già da tempo operano consolidate associazioni scientifiche e tecniche che possono notevolmente contribuire ad una crescita sicuramente interessante per l'ambiente costiero.

Infine è di questi ultimi istanti la notizia che finalmente è stato approvato il Decreto sulla Normativa dei Dragaggi sia in ambienti normali che in situazioni inquinate come i siti SIN e SIR. Questo Decreto ha avuto una gestazione molto sofferta, ma che ha trovato soprattutto nel Sottosegretario On. Silvia Velo una forte determinazione per la realizzazione, con i tecnici del Ministero, di ISPRA e Istituzioni Scientifiche, di Norme certe e rispettose per l'Ambiente.

Formuliamo, pertanto, l'auspicio di un cammino comune verso gli obiettivi di una crescita scientifica con iniziative concrete che possano mostrare agli amministratori ed agli operatori che insistono nei territori costieri quanto la comunità scientifica ha finora svolto nell'ambito della conoscenza e della soluzione ai problemi, che il fragile mondo delle coste in generale comporta e con queste vive, speranze di crescita ci piace concludere l'impegno della Commissione.

Giuliano Gabbani  
Dipartimento di Scienze della Terra  
Università degli Studi di Firenze

# ENVIRONMENT ANALYSIS WITH CORE DATA OF TARSUS DELTA PLAIN (SE TURKEY)

Mustafa Eryılmaz<sup>1</sup>, Coşkun Kaya<sup>2</sup>, Fulya Yücesoy Eryılmaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mersin University, Faculty of Engineering, Geological Eng. Department, Çiftlikköy Campus, Mersin-TURKEY, phone +90324 3610001/7312, e-mail: meryilmaz@mersin.edu.tr

<sup>2</sup> Bilim Mühendislik, Çankaya Mh., İstiklal cad., Minüre apt., No7, Mersin - TURKEY

**Abstract** – This study consists the interpretation of Tarsus-Tarsus River-Lake Tuzla Quaternary sediment development with the help of geological data. Formation and development of the delta plain formed by the sediments carried by Tarsus, Seyhan and Ceyhan rivers after the slowing of tectonic rise, is investigated by sedimentological and geophysical methods. 3 drilling cores each 25 meters was studied at 1 cm intervals. SK-1 drilling was dug in the town of Yeşiltepe, 8,5 km away from the sea, SK-2 drill at Çayboyu village 7 km from the sea and SK-3 at Tabaklar village, 3,5 km to the shore.

In SK-1 and SK-2 cores from top to bottom 3 separate accumulation sections was observed. These are the levels created by sediments of flood alluvium, lagoon medium and marine environment. Thickness of alluvium layer is the top 150 cm. Lagoon layer with characteristic of dark colored organic materials, occasionally observed carbonization, and silt and clay sized laminated layers is not observed in drilling SK-3. Lagoon layer which observed as 10 meters thick layer in SK-1 is limited with 5 meters in SK-2. Marine environment core is observed in 5 meters depth in SK-1, 6 meters depth in SK-2, 2 meters depth in SK-3.

For the correlation of drilling data,, east-west directioned, paralel to each other, geophysical study with direct current resistivity method was conducted. Study including also the drilling points yielded results consistent with the drilling data.

*Keywords: Tarsus Plain, core sample, delta sediments, marine- lagoon environment*

## Research area

The study area is within the boundaries of Mersin Province. (Figure 1). It is located in Cukurova Delta and located between Tarsus River and Salt Lake. Alluvial deposits of the field has created by the Seyhan and Ceyhan Rivers.

## General geology of the study area

The study area, the Taurus orogenic belt is located in the south-eastern sector.

**1.Basic units:** Tertiary in the region is based on the Paleozoic (Permo-Carboniferous) (Karahamzauşağı Formation) old autochthonous rocks, metamorphic limestone and schist (Mersin Ophiolitic Melange). Tertiary units are unconformably on top of the unit. Quaternary units are common in study area (Figure 2, 3) [1, 2,3].



**2. Tertiary units:** It is transitional in the lateral and vertical directions with each other. Oligo-Miocene, Gildirli Formation; Lower-Middle Miocene; Güvenç Formation and Karaisalı Formation, Middle-Upper Miocene; Kuzgun Formation Upper Pliocene; Handere Formation [ 1, 2,3].

**3. Quaternary Sediments:** On the Terrace, caliche, talus, delta sediments, river terrace, sand dunes [1, 2,3, 4, 5].

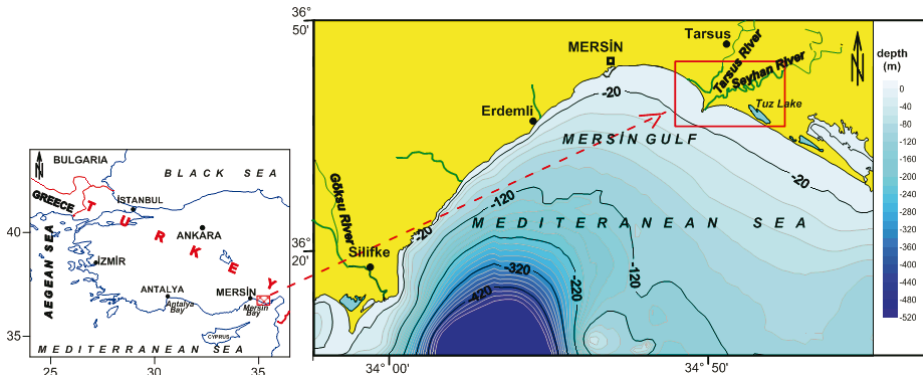


Figure 1 – Study area location map.

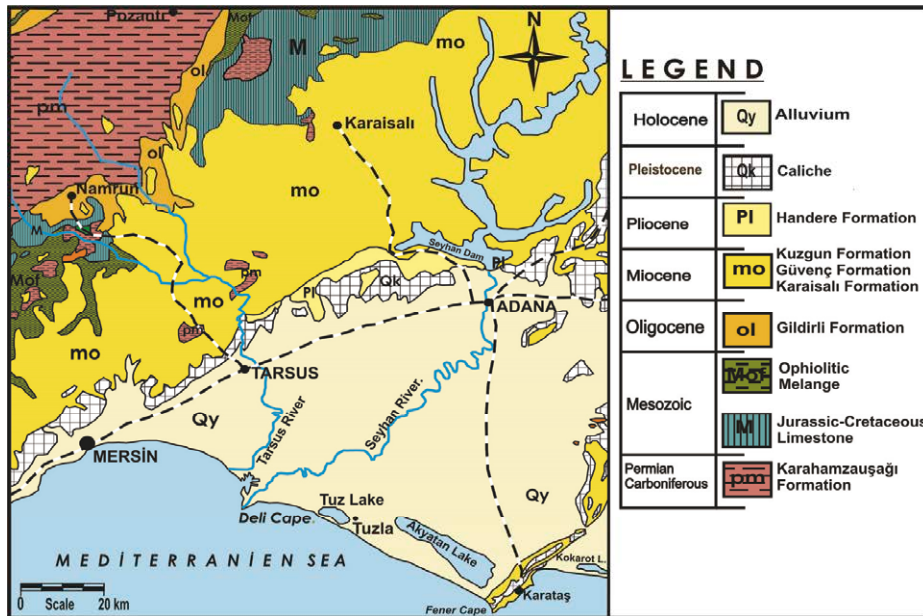


Figure 2 – Study area geological map [1].

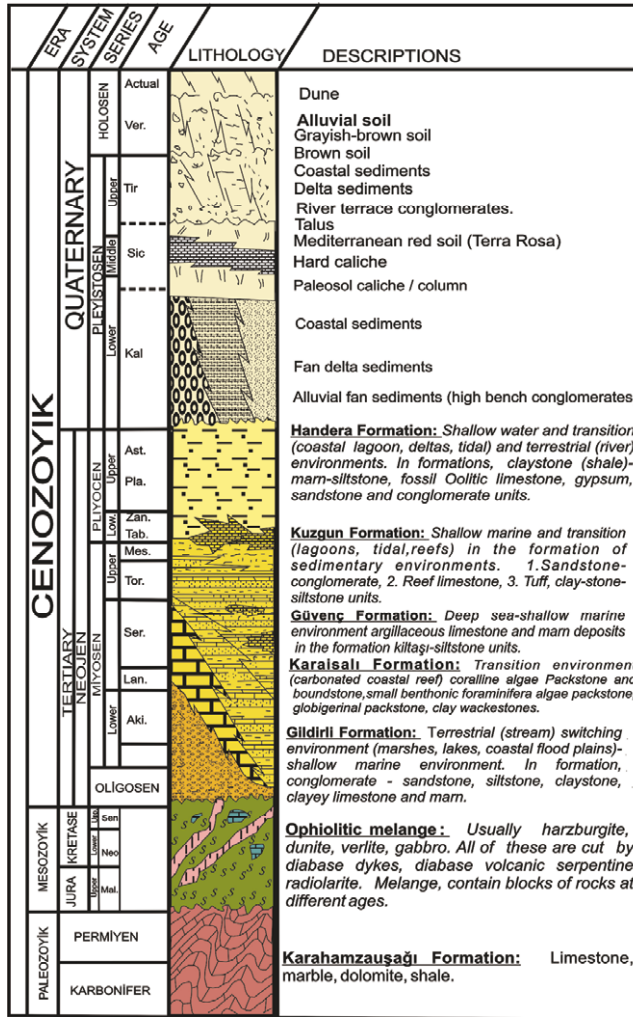


Figure 3 – Study area geological generalized stratigraphic section [1, 2].

## Materials and methods

This study consists the interpretation of Tarsus-Tarsus River-Lake Tuzla Quaternary sediment development with the help of geological data. Formation and development of the delta plain formed by the sediments carried by Tarsus, Seyhan and Ceyhan rivers after the slowing of tectonic rise, is investigated by sedimentological and geophysical methods. 3 drilling cores each 25 meters was studied at 1 cm intervals. SK-1 drilling was dug in the town of Yeşiltepe, 8,5 km away from the sea, SK-2 drill at Çayboyu village 7 km from the sea and SK-3 at Tabaklar village, 3,5 km to the shore.(Figure 4). For

the correlation of drilling data, east-west directioned, parallel to each other, geophysical study with direct current resistivity method was conducted (Figure 3). Study including also the drilling points yielded results consistent with the drilling data.

Sediment samples were made geochemical analysis with grain size and wet sieve analysis (Figure 5). Type and grain size of sediment samples were determined with wet sieve analysis. We used Folk's (1974) [6] ternary diagram for sediment classification according to Wentworth (1922) [7] grain size scheme and constructed maps for our study area illustrating the distribution of gravel+sand, silt and clay percentage. CaCO<sub>3</sub> and organic carbon have been measured [8, 9]. All of datas evaluated with geostatistical methods. Position determination is made by DGPS device.

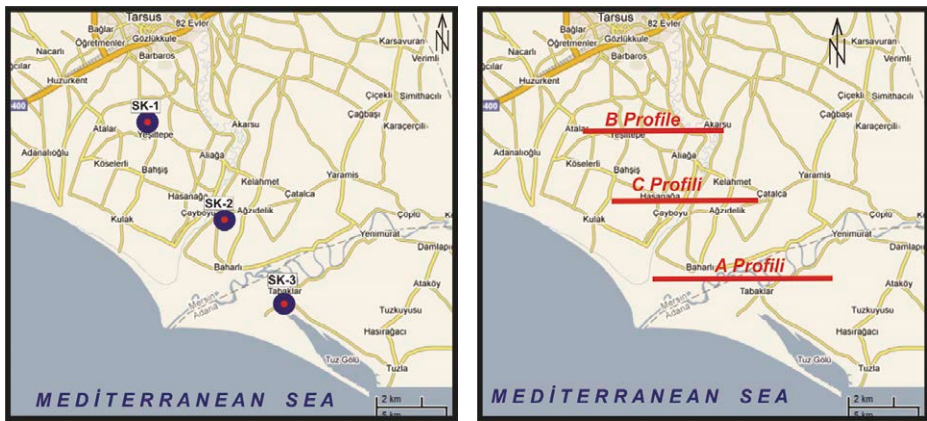


Figure 4 – Study field drilling locations and geophysical studies DES lines.

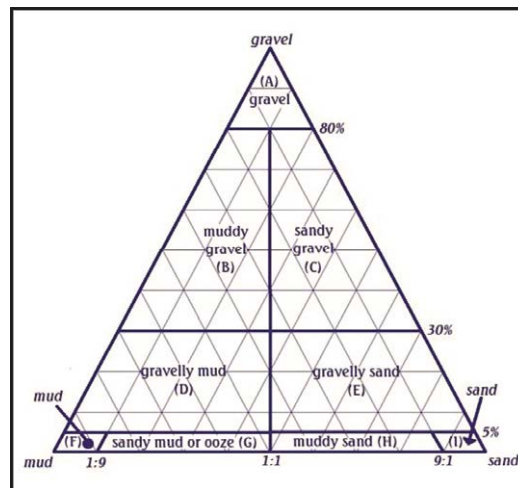


Figure 5 – Sedimentary classification triangular diagram Folk (1974).

## **Evaluation of the datas**

### **SK-1 Drilling (in 27 core sampling)**

Gravel does not observed in 17 in the pieces of the sampling interval. SK1-23 sample (11.50 m to 12.00 m interval), shows the highest value in the gravel with all the core values of 64,50 %. SK1-18 in the sample (9.00 m to 9.25 m), the lowest percentage of gravel in the sample (0.60 %) is observed (Figures 6 and 7). SK-1 is seen in the core material in 20 samples in the range of sand sizes. 7 cases was observed. SK1-27 in the (21.00 m ÷ 23.00 m) example, sand unit is the highest value (68.80 %). SK1-10 No. (3.20 m to 3.35 m), the lowest in the sample (1.88 %) in value (Figures 6 and 7). Silt and clay were observed in all samples. Silt, SK1-10 in sample (in the range of 3.20 m to 3.35 m) and the highest (73.08 %). SK1-24 in sample (in the range of 12.00 m to 15.00 m) is at the lowest value (10.41 %) (Figures 6 and 7). Clay, SK1-12 sample (in the range of 3.50 m ÷ 3.65 m) the highest (80.03 %). SK1- in sample 23 (in the range of 11.50 m to 12.00 m) and the lowest (1.12 %) in value (Figures 6 and 7). Silt + clay is 100 % in 7 cases. 13 samples were above 50 % [10, 11, 12].

SK1 total carbonate content of the core from the drilling unit is on average 50 %. This is mainly the origin of the total carbon content. It is terrestrial in origin. They were transported by rivers in the region. Organic carbon content is from 0.01 ÷ 5.68 %.

A portion there of, it is due to the origin of Biogenetic material [10, 11, 12].

### **SK-2 Drilling (in 21 core sampling)**

21 samples are taken in core drill profile. In these samples, in 9 out of was observed the gravel. No. SK2-11 example (7.00 m ÷ 7.50 m interval), shows the highest value in the gravel with all the core values of 62.80 %. The lowest sand percentage 0.30 % (SK2-14) is observed in the between 10.00 m and 13.00 meters (Figure 7). This drill core material was seen in the sand sample size 17 point, it was found in 4 point samples. The sand unit are seen between 10.00 m and 13.00 meters intervals (SK2-14) with a rate of 99.05 % of the highest value. Also, sand in SK2-14 sample (in the range of 3.00 m ÷ 3.20 m) is at the lowest value (18.91 %) (Figure 7). Silt and clay were observed in all samples. Silt, SK2-4 in the sample between 2.10 m and 2.50 m range is highest rate of 67.77 %. Also, SK2-4 in the sample in the range of 0.00 m to 1.50 m is the lowest, with 12.58 % ratio (Figure 7). Clay, in SK2-8 sample (in the range of 3.70 m ÷ 4.00 m) the highest (81.06 %). In the range of 0.00 m ÷ 1.50 m (SK2-1) the lowest in value (26.84 %). Silt + clay is 100 % in 4 cases. 8 samples were above 50 % (Figure 7) [10, 11, 12].

SK2, total carbonate content of the core from the drilling unit is on average 50 % (Figure 8). This is mainly the origin of the total carbon content. It is terrestrial in origin. They were transported by rivers in the region. Organic carbon content is from 0.01 ÷ 6.35 % (Figure 8). A portion there of, it is due to the origin of biogenetic material.

### **SK-3 Drilling (in 16 core sampling)**

16 samples are taken in core drill profile. In these samples, in 7 out of was observed the gravel. SK3-3 sample (2.00 m ÷ 4.00 m interval), shows the highest value in the gravel with all the core values of 15,68 %. The lowest percentage of grit in the range of 18.00 m to 20.00 m, 0.12 % (SK3-13) is observed (Figure 6, 7). This drill core materials were seen in the

sand sample size all of point. The sand unit are seen between 4.00 m and 5.00 meters intervals (SK3-4) with a rate of 99.82 % of the highest value. Also, sand in SK3-1 sample (in the range of 0.00 m ÷ 1.00 m) is at the lowest value (30.42 %) (Figure 7). Silt and clay not were observed in all samples (Figure 7). SK3, total carbonate content of the core from the drilling unit is on average 50 % (Figure 8). This is mainly the origin of the total carbon content. It is terrestrial in origin. They were transported by rivers in the region [10, 11, 12].

Organic carbon content is from 0.01 ÷ 4.65 %. A portion there of, it is due to the origin of biogenetic material [10, 11, 12].

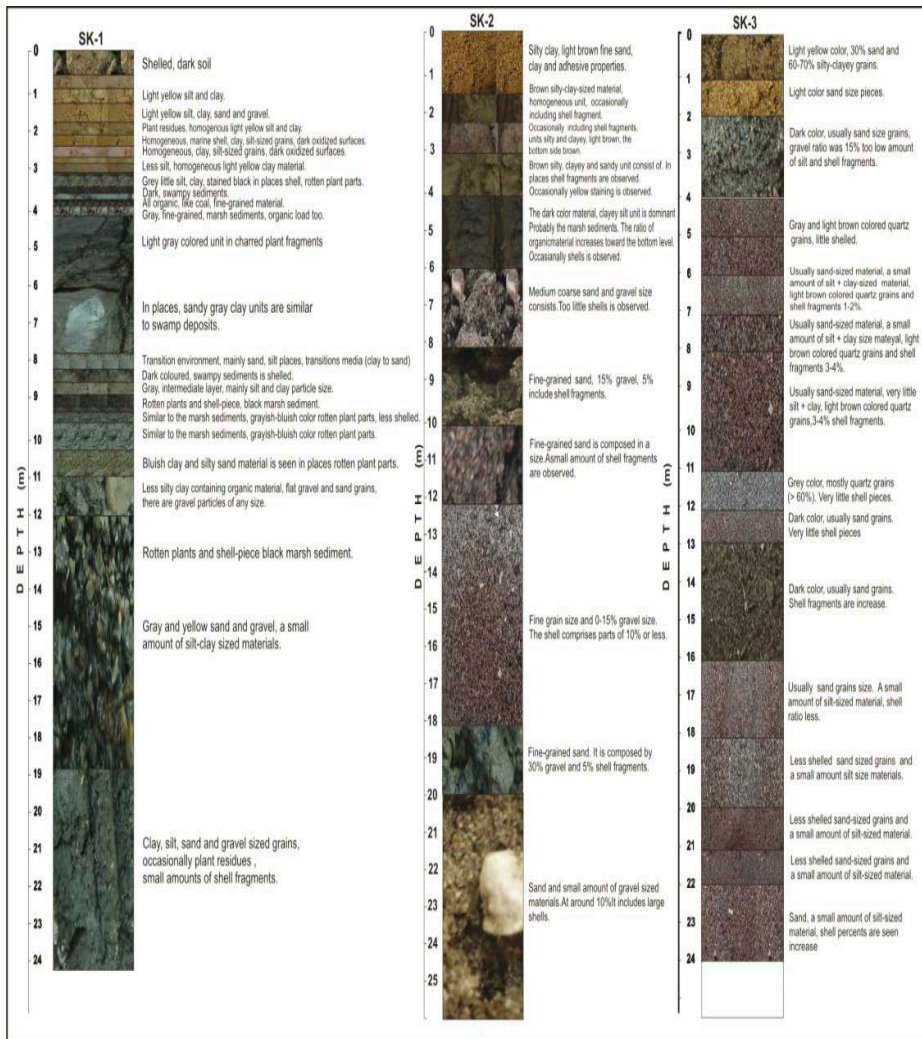


Figure 6 – Core logs of SK-1, SK-2, SK-3 drilling.



## Results and discussion

In the study area, the effects of Tarsus River and Seyhan River is great. In addition, the drainage of area and the tectonic structure of the region is important geology. At the last years the barrages which were building over Tarsus creek and Seyhan river decrease the sediment load that rivers carry and set up new balance. The effect of this balance to the sand movement in shore is obstruct to formation of new lagoon, swamp and sand banks. Especially this balance obstruct the floods which effect development of delta. When this new alterations are evaluated with geomorphologic observations and measurement which was performed in shore and the cross section was published from sounding studies, it was founded that erosion in shore and regression at shore line, delta's development will be slow down and it will be retarded until a new balance is formed (Figure 9).

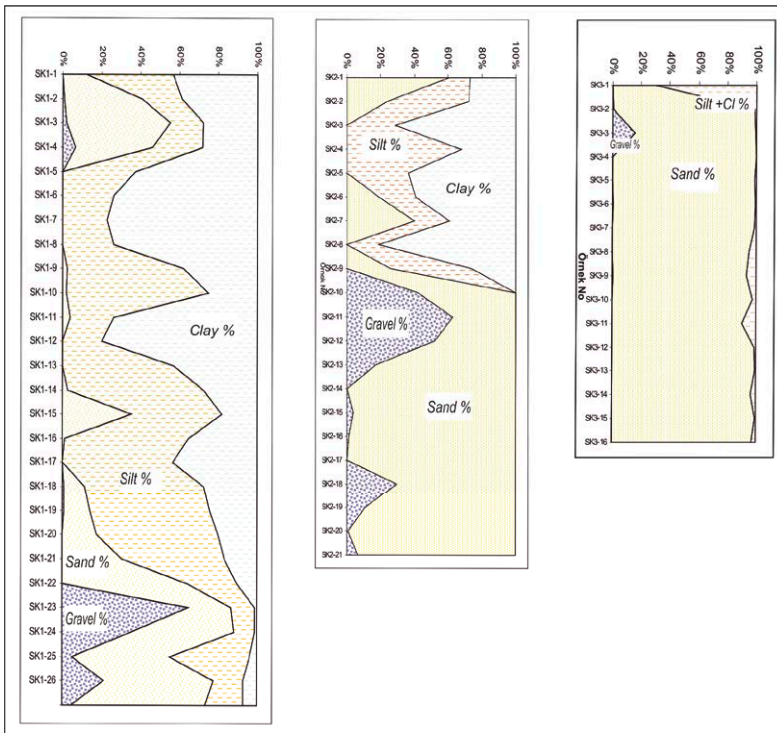


Figure 7 – SK-1, SK-2 and SK-3 from the gravel of drilling samples, sand, silt, clay and mud percentage distribution.

In SK-1 and SK-2 cores from top to bottom 3 separate accumulation sections were observed. These are the levels created by sediments of flood alluvium, lagoon medium and marine environment (Figure 6). Thickness of alluvium layer is 150 cm on the top. Lagoon layer with characteristic of dark colored organic materials, occasionally observed

carbonization, and silt and clay sized laminated layers are not observed in drilling SK-3 (Figure 7, 8, 9). Lagoon layer which observed as 10 meters thick layer in SK-1 is limited with 5 meters in SK-2. Marine environment core is observed in 5 meters depth in SK-1, 6 meters depth in SK-2, 2 meters depth in SK-3 (Figure 6) [10, 11, 12].

- SK-1 drilling core analysis results are: transition environment is between 0.0 m ÷ 2.20 m, the marine environment is from 2.20 m to 9.90 m, lagoon environment is between 9.90 m ÷ 23.00 m
- SK-2 drilling core analysis results are: the marine environment is between 0÷4 m, lagoon environment is between 4÷ 26 m
- SK-3 drilling core analysis results: point at that the marine environment or may be old riverbed.

In the work area, from the 12 different points of the along the 3 profile line, DES measurements were made. 5 separate layers are distinguished. The obtained data are correlated with drilling log data. And it appeared to be in accordance with each other.

In the study area, the average is around 50 % of total carbonate content (Figure 8). This value is weighted as land-based materials, it has formed the transportation by rivers in the region. Origin of a portion of the organic carbon is thought to be due to the biogenetic origin of the material (Figure 9).

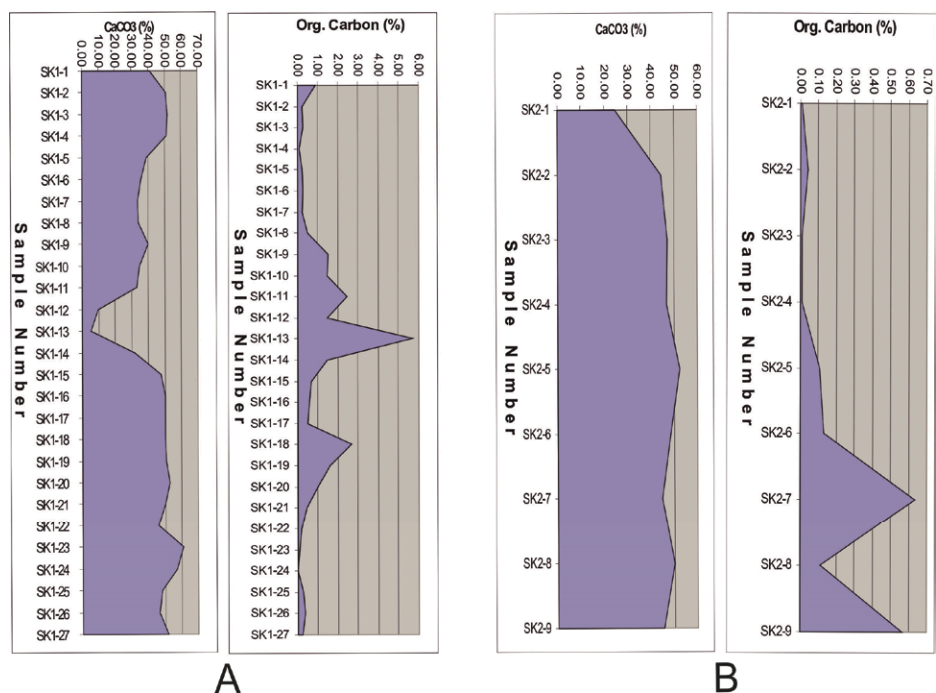


Figure 8 – CaCO<sub>3</sub> and organic carbon distribution of SK-1 (A) and SK-2 (B) drilling samples percent.

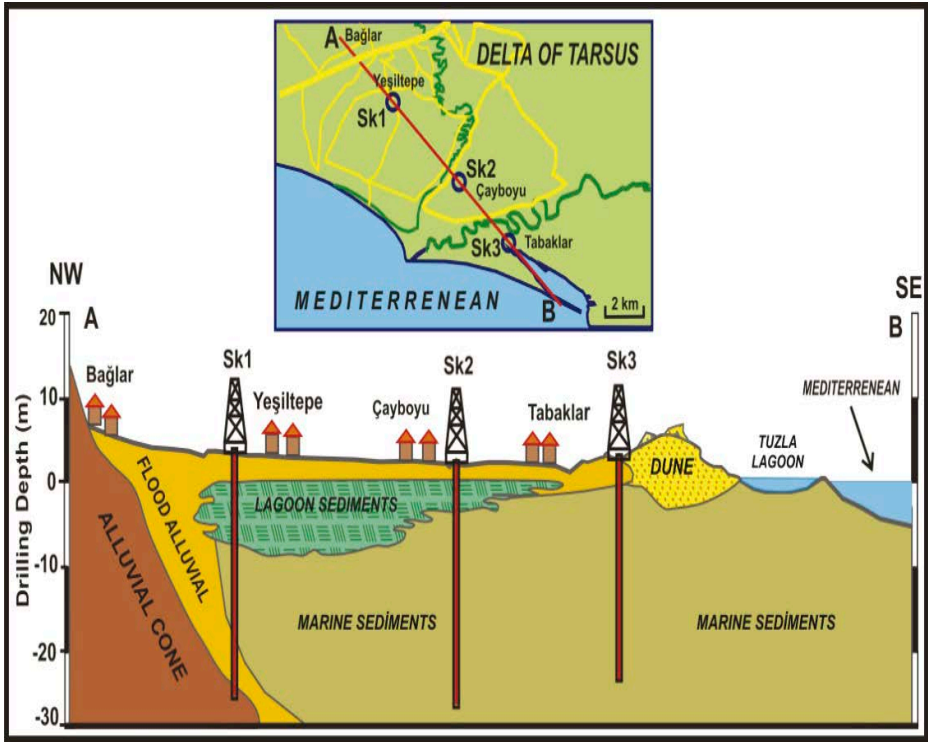


Figure 9 – Northwest-southeast direction stratigraphic section of the study area.

## References

- [1] Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman, T.,(1998). *Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüt Raporu*, M.T.A Yayınları, Adana.
- [2] Şahin, Ş., Böke N., Yalçın, N. Ve Mengeloğlu, M. K.,(2003). *İçel İli Jeolojik Özellikleri*. MTA Doğu Akdeniz Genel Müdürlüğü, Adana
- [3] Schmidt, G.,(1961). *VII. Adana Petrol bölgesinin stratigrafik Nomenklaturü*, Petrol Dergisi Yayını, 6, Ankara, s.47-63.
- [4] Eryılmaz, M, Ve Yücesoy-Eryılmaz, F., (2009 a): *Recent Underwater Morphology of Mersin Bay*. Mersin Valiliği Sempozyum Dizisi: 1, Mersin Sempozyumu, (19-22 Kasım 2008), Bildiriler Kitabı (1. Baskı, Eylül 2009), Cilt 3, s. 2785-2795, 11 s., Mersin.
- [5] Eryılmaz, M, Ve Yücesoy-Eryılmaz, F., (2009 b): *Mersin Körfezi Mezitli-Susanoğlu Beldeleri Arası Denize Boşalan Yeraltı Sularının Oşinografik Parametrelerle Saptanması*. Mersin Valiliği Sempozyum Dizisi: 1, Mersin Sempozyumu, (19-22 Kasım 2008), Bildiriler Kitabı (1. Baskı, Eylül 2009), Cilt 3, s. 2805-2815, 11 s., Mersin.



- [6] Folk, L. J.(1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publ.Co., Austin, Texas.
- [7] Wentworth C. K. (1922). *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments*. The Journal of Geology, Vol. 30, No. 5, Jul. - Aug., 1922 Page 377 of 377-392. .
- [8] Martin, (1972). *Marine chemistry*, 389, vol. 1, Marcel Dekker Inc. New York.
- [9] Gaudette, H. E., Flight, W. R., Toner, L. and Folger, D. W., (1974). *An Inexpensive Titration Method for Determination of Organic Carbon in Recent Sediments*. Jour. Sed. Petr., 44(1), 249-253.
- [10] Kaya, C. 2008. *The geological development of the Quaternary sediments of Tarsus, Tarsus tea-Salt Lake*. Master's Thesis. (Mersin University, Institute of Science, Geological Engineering Department, (Advisor Mustafa ERYILMAZ), 98 pages, Mersin
- [11] Eryılmaz, M. and Kaya C., (2010): *Geological Development of Quaternary Sediments between Tarsus River and Tuzgözü*. Uluslararası Katılımlı 35. Yıl Jeoloji Sempozyumu. 4-7 Ekim 2010, Selçuk Üniversitesi, Bildiri Özetleri Kitabı, s. 32- 33, Konya.
- [12] Eryılmaz, M. and Kaya, C. (2011): *Tarsus Delta Ovasının Karot Verileri İle Ortamsal Analizi*, 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı (25-29 Nisan 2011), Bildiri Özleri Kitabı, 376 s. s.74-75, Ankara.

## RECENT SEDIMENT DISTRIBUTION AND OCEANOGRAPHY OF ILDIR BAY (KARABURUN PENINSULA-AEGEAN SEA)

Mustafa Eryılmaz<sup>1</sup>, Fulya Yücesoy Eryılmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> and <sup>2</sup>Mersin University, Faculty of Engineering, Geological Eng. Department, Çiftlikköy Campus, Mersin-Turkey, phone +90324 3610001/7312, e-mail: meryilmaz@mersin.edu.tr

**Abstract** – Gulf of Ildır is located between Karaburun Peninsula and Çeşme Canal in the west of Turkey. Maximum depth is 67 m (east of the Toprak Island). North coastal strip of Ildır Gulf is very narrow and shows a sudden deepening structure. The average slope of study area varies between 3 and 5 %.

In the study area, physical parameters of the sea water (temperature, salinity, pH, conductivity, resistivity) were measured in situ using a CSTD equipment. Water current (velocity-direction) was measured by a currentmeter. Current measurements were made in short-term, with three different levels; surface, 20 m and bottom. All of the the physical parameter measurements were made seasonally. A total of 58 surface sediment samples were collected with orange-peel and snapper types grap sampler. Samples were processed with Standard Methods of grain size analysis. We generated a recent sediment distribution map for the region by combining our sedimentary data with a 1:10 000 scale regional bathymetric map.

In the study area, the temperature of the surface waters show variations parallel to weather temperature. In the bottom water layer (50 m depth), water temperature begins to drop from 18 °C and stabilizes at 15-16 °C. Salinity difference between surface and bottom layers is almost negligible in winter and spring seasons. Winds from the north and north-west may force surface waters to the east and south-east directions and constitute localize longshore water currents. From time to time, continuous and strong wind blowing from south-west direction can create an anticlockwise surface current with an opposite direction

Sediment distribution in this region is affected by current systems, bathymetry and both submarine, and terrestrial topographic features of the region. In the coast region, finer materials do not accumulate because of high waves energy. Thus from shore to off-shore grain size gets thinner. Either sediments do not accumulate at all along continental slopes exceeding 10 degrees or very little sediment accumulates there. Sediments in our study area consist of five types of basic sedimentary material: rock, gravel, sand, silt and clay. Gravelly materials are gravel, sandy gravel and muddy (silt+clay) sandy gravel. Sandy materials are sand, gravelly sand silty sand. Silty material is composed of silt, and sandy silt and clayey silt. Silty and clayey material is observed in a narrow range. Most deep parts of the study area is located silty clay and clay materials. Generally, grain size distribution in this region is transitional from coarse to fine and trends parallel to the coastline.

*Keywords: Ildır Gulf, water temperature, salinity, bathymetry, recent sediment.*

## Characteristics of the Ildır Bay

Bay of Ildır is located between Karaburun Peninsula and Çeşme Canal in the west of Turkey. Maximum depth is 70 m (east of the Toprak Island) (Figure 1). North coastal strip of Ildır Gulf is very narrow and shows a sudden deepening structure. The average slope of study area varies between 3 and 5 %. (Figure 1).

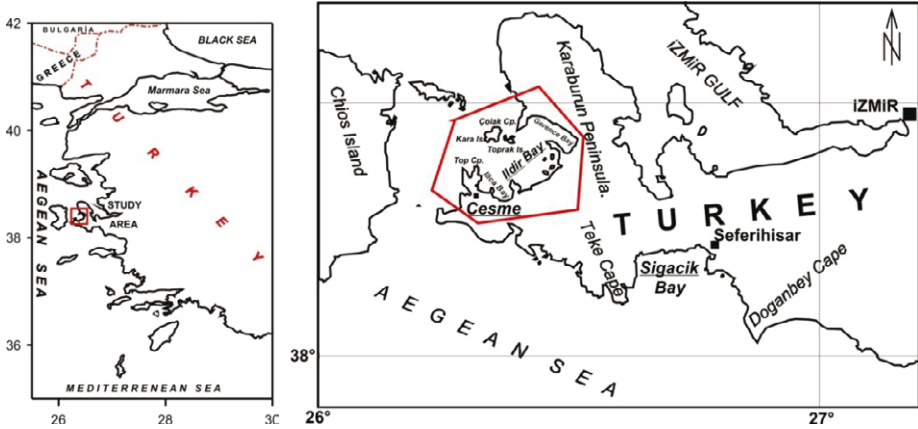


Figure 1 – Map of the study area (Ildır Bay).

## Climate

The study area is under the influence of the Mediterranean climate. Seasonal average air temperatures in of the region are 14.9 °C in spring, 24.2 °C in summer, autumn 17.7 °C and 10.0 °C in winter. The average annual precipitation in the Gulf of Kusadasi is 659.5 mm. Winter season total rainfall is 380.5 mm and in summer 4.9 mm [1].

The prevailing winds of the region are N and NW directions. Annual average wind speed is 5.0 knots (9.3 km / h). In December and January highest wind speed is observed (6.8 knots (12.6 km / h)). The lowest wind speed (3.9 knots (7.2 km / h)) is observed in May and August. The study area is a slightly windy area.

## Underwater morphology and bathymetry

Geographically Aegean Sea is a part of the Mediterranean. However, geologically Aegean Sea shows quite different and more complex structures than the other parts of the Mediterranean.

Submarine topography of the Ildır Bay, continues in accordance with the topography of Turkish coastal land. The water depth reaches 60 meters in short distance (Figure 2).

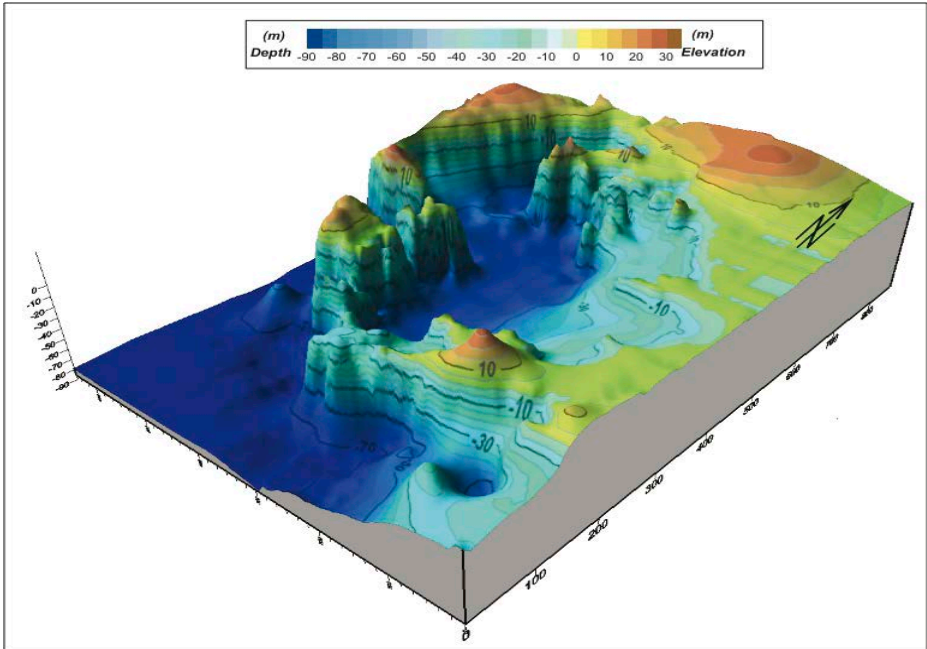
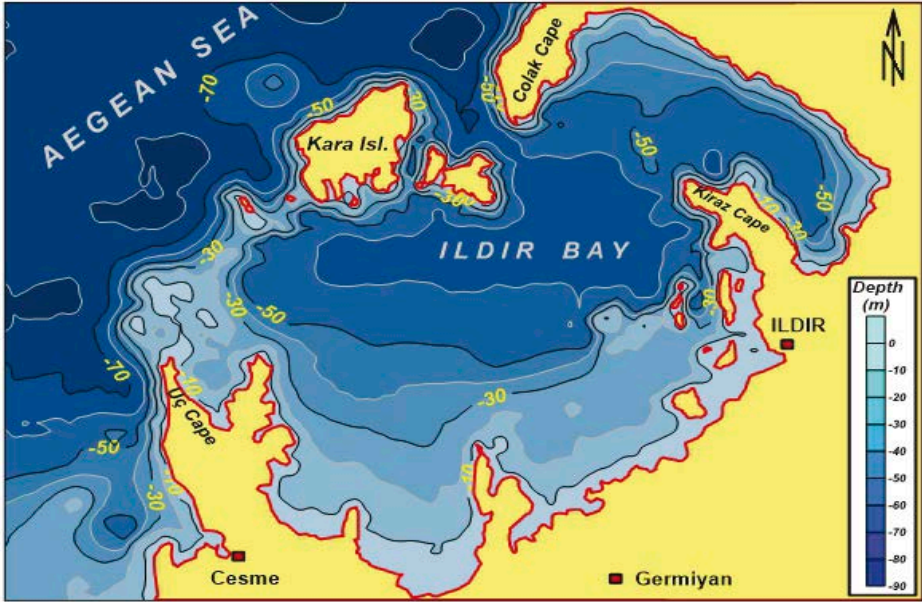


Figure 2 – Ildir Bay bathymetry map and 3D diagram (depth is in meters).

This region has been exposed to sea descent and ascent after the last glacial period (Figure 2) [2, 3, 4, 5]. Undersea ridges, islands and islets are the latest forms of the topographic sea rise. In the Gerence Gulf and the Ildir Bay, large and small islands and islets are observed close to the shore [6]. The north part of the Ildir Bay deepens abruptly. Further south coast of the Ildir Bay is shallow. On the other hand NE part slowly deepens. 3 km from the coast, depth reaches to 20 meters. In the north coast of Kara Island and Toprak Island the sea depth increases rapidly, goes down to 75 meters with a sudden slope. (Figure 2) [ 7, 8, 9, 10, 5, 11, 12, 13, 14 ].

The large and small faults are observed between Seferihisar and Teke Cape in the coast line, perpendicular to the shore. [10, 11].

## Material and methods

In the study area, physical and chemical parameters of sea water were measured in place using the CSTD and Multy Parameter Water Quality devices (water temperature, dissolved oxygen, salinity, pH, conductivity, resistivity, total dissolved solids (TDS), flow velocity-direction, water color-visibility). CSTD measurements were taken seasonally. Seasonal discharge measurements were done short-term, in three different depth; surface, middle and bottom (Figure 3).

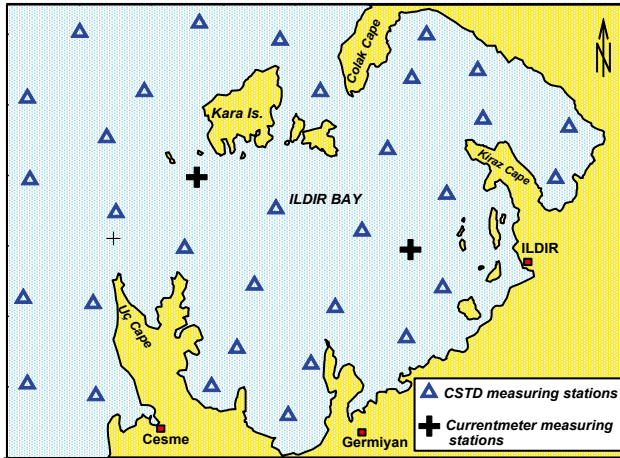


Figure 3 – Oceanographic station map of the Ildir Bay.

65 surface sediment samples were taken with orange-peel and snapper types grab sampler in Ildir Bay. Type and grain size of sediment samples were determined with wet sieve analysis. We used Folk's (1974) [14] ternary diagram for sediment classification according to Wentworth (1922) [15] grain size scheme and constructed maps for our study area illustrating the distribution of gravel+sand, silt and clay percentage. We generated a 1:50.000 scaled recent sediment distribution map for the region by combining our sedimentary data with a regional bathymetric map.

## Physical characteristics of sea water

### Temperature

In Ildır Bay water temperature at the surface and at 50 m are as follows: in spring, surface:  $16.90 \div 17.91$  °C, at 50 m depth  $15.76 \div 16.15$  °C; in summer, surface,  $20.67 \div 25.62$  °C, at 50 m depth  $16.67 \div 17.00$  °C; in autumn, surface,  $21.26 \div 22.87$  °C, at 50 m depth,  $18.15 \div 19.98$  °C; in winter, surface,  $13.60 \div 15.01$  °C, at 50 m depth,  $13.75 \div 15.02$  °C. Seasonal temperature variations according to depth are given in Figure 4 illustrating the development of a thermocline in spring (10 ÷ 21 m) in the summer (9 ÷ 28 m) and autumn (36 ÷ 57 m) [16, 13, 17, 18] (Figure 4 A ).

### Salinity

The salinity difference between the surface and the substrate is almost absent. Salinity differences in surface layers depends on meteorological factors. Seawater salinity seasonal variations in Ildır Bay are as listed: In spring, surface 39.07 ‰, 50 m 39.03 ‰; in summer surface 39.56 ‰, 50 m 39.19 ‰; in autumn, surface 38.66 ‰, 50 m 38.30 ‰; in winter, surface 38.36 ‰, 50 m 38.38 ‰ (Figure 4 B) [13, 16].

### Sea water sensity (sigma-t)

Seawater density (sigma-t), seasonal variations in Ildır Bay as listed: In spring, surface  $28.468 \div 28.672$ , 50 m  $28.823 \div 28.927$ ; in summer surface  $26.730 \div 28.50$ , 50 m  $28.670 \div 28.970$ ; in autumn, surface  $27.036 \div 27.140$ , 50 m  $27.27.425 \div 27.863$ ; in winter, surface  $28.555 \div 28.844$ , 50 m  $28.568 \div 28.837$  (Figure 4 C) [13].

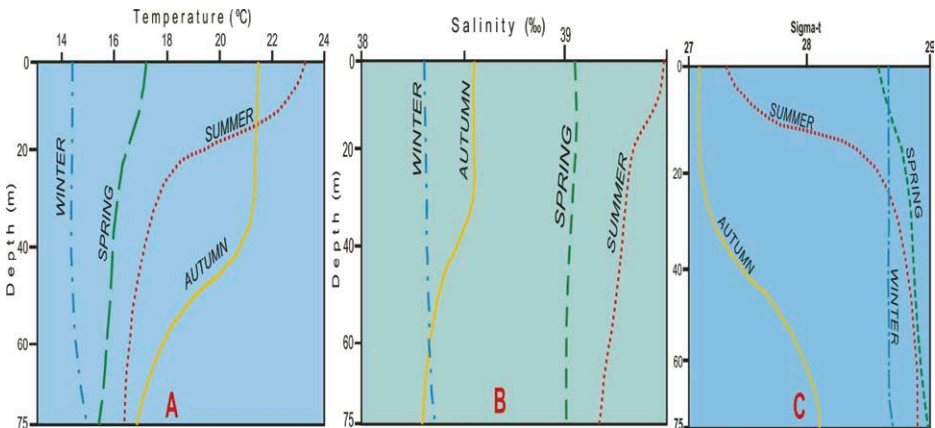


Figure 4 – Seasonal change of average sea water temperature (A), salinity (B) and sigma-t (C) by depth in the Ildır Bay.

## Currents

In the study area, short period seasonal current speed and directions were measured at two stations (IK-01 (39 m), IK-02 (44 m)). They are shown as IK-01 and IK-02 in Figure 4. Surface currents in the region follow general current patterns of the coast, running parallel to the shoreline in NW-SE direction. Discharge data obtained with the structure of the region were evaluated with the general discharge. It is not possible to speak of a general discharge system in the Ildır Bay. Winter water mass generally moves from north to south in the Ildır Bay, but these currents are hindered by small islands and underwater rocks. In the S coast of the Ildır Bay this current system continues clockwise through Ilıca Bay. This mass movements are transformed into the coastal currents at the southern coast of the Ildır Bay. In the SE coast of the Ildır Bay, this current system continues anticlockwise through Kiraz Cape and Çolak rocks. Therefore, in the study discharge system moves very slowly from east to west. Also in Gerence Bay this type of coastal currents are observed.

This general pattern of current varies depending on meteorological conditions. From time to time continuous and strong winds blowing from southern directions can create counter clockwise surface currents. In summer, increase in the salinity on the surface due to evaporation, and temperature differences between layers can produce local currents in the shore. These are usually more effective in the inner parts of the bay. In addition, Imbat winds blowing from west to east in the afternoon produces the longshore local currents (Figure 5 ) [12, 13].

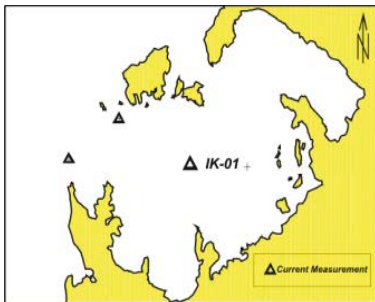
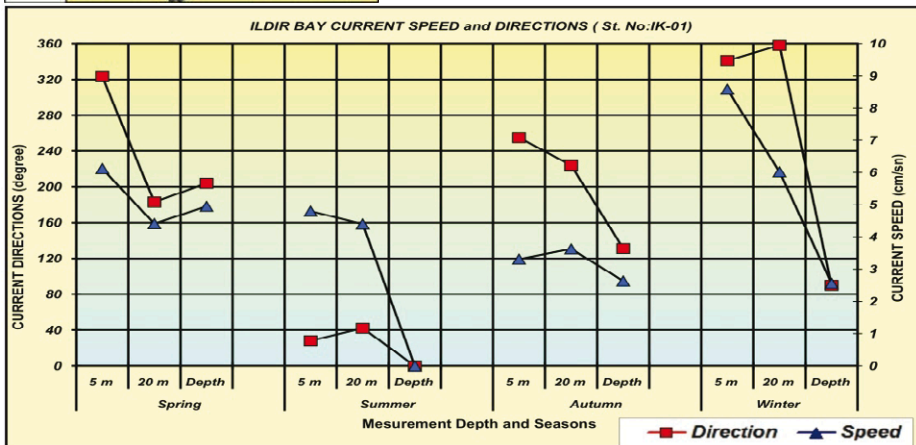


Figure 5 – Current speeds and directions of Ildır Bay.





## Distribution of recent sediments

In the study area from coast to deeper parts, sandy materials (sand, silty sand), silty materials (sandy silt, clayey silt) and clayey materials (silty clay) are seen. These materials may move offshore to the deep sea floor in times of deep currents. In the study area from coast to deeper parts, sandy materials (sand, silty sand), silty materials (sandy silt, clayey silt), clayey materials (silty clay) and biogenic materials are seen. Biogenic material in the region consists shells, fragmented shells, plant debris, and organic remains in sedimentary matter.

Due to low slope, only silt and clay-size materials of terrestrial origin are carried long distances with flows. These materials may move offshore to the deep sea floor in times of creek flood. Muddy sediments deposits in the deep bottoms of bay in the south-east of Toprak Island. In the shore, the sediment areas formed with sand and gravelly sand sediments are relatively tight (Figure 6) [2, 3, 4, 19, 20, 21, 22, 13, 23, 24].

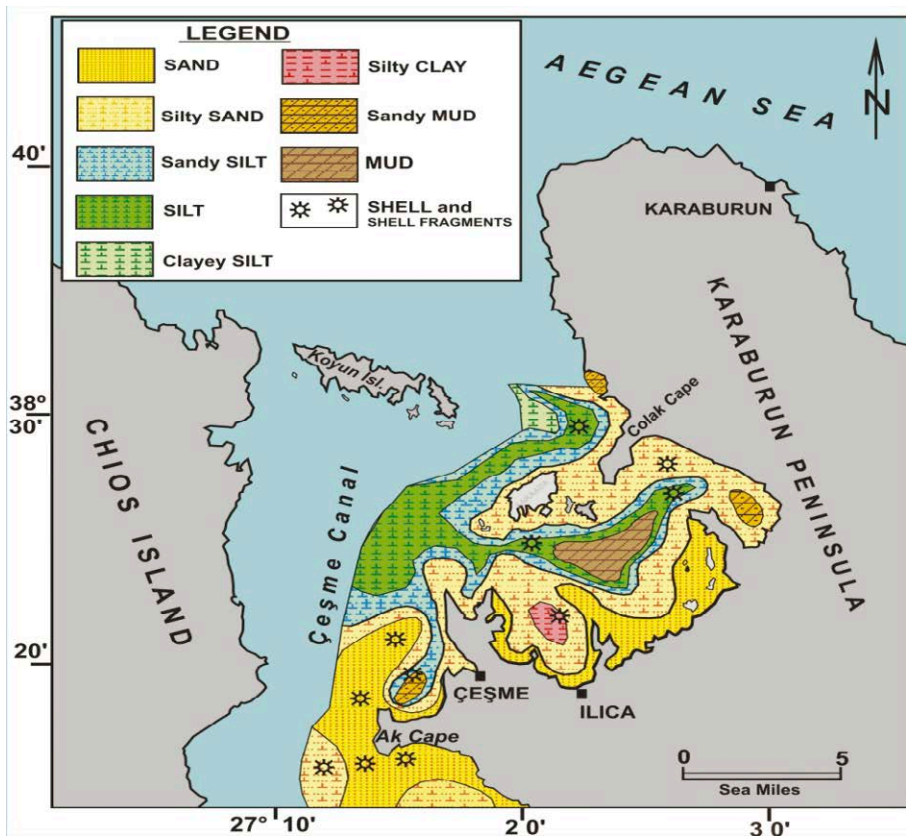


Figure 6 – Recent submarine sediment distribution in the Ildır Bay (Aegean Sea, NW Turkey) [13].



Gravel units are observed in a narrow line in the shore (0 ÷ 1 m depth). In general, gravelly sediments (gravel, sandy gravel, gravelly sand, gravelly silty sand and gravelly muddy sand) is found in regions shallower than -5 m. Particularly large boulders are found at the seabed along steep and rocky coastlines. These blocks are limestones. Gravel is abundant in the area and sandy materials are found in bands from 0 m to -10 m. The sandy units are the sand, gravelly sand and silty sand. Silty materials are common in bands at 50 ÷ 60 m water depth. The silty units are silt, clayey silt and sandy silt. Clayey material is common in areas deeper than 40 m. Clay unit are not seen alone in the study area as it is seen with clayey silt and silty clay units. Muddy material is found at 60÷70 m depth.

## Results

In the Ildır Bay the thickness of the surface water changes according to air conditions. Between surface water temperature and 50 m deep water temperature there is 0.1 ÷ 6.76 °C difference depending on the season. This difference is minimum in winter and maximum in summer. Temperature change is very small until 50 m depth. After 50 m depth, we reach to bottom water layer where water temperature begins to drop from 18 °C and stabilizes at 15÷16 °C. The transitional zone is found at roughly 8÷66 meters depth and this zone thins or completely disappears during winter months. The thickness of transition layer (thermocline) is very small (~11 m) in spring. The transition layer thickness is approximately 19 meters (between -9 m and -28 m) in summer and in autumn 27 m (-30 m and -57 m) and does not occur in winter. Surface water salinity is clearly influenced by seasonal changes in precipitation and freshwater supply from local watersheds and the lateral distribution of salinity in bottom waters also varies seasonally. While the salinity of surface water during spring, summer and winter varies between 38.42÷39.02 ‰, it ranges between 38.40 to 39.12 ‰ at 150 m water depth.

In the region, salinity difference between surface layers and bottom layers is almost negligible in winter and spring seasons. An intermediate layer does not exist. However, in summer and autumn, 3-layer structure is seen between sea surface and sea bottom. In these seasons, surface water, the transition layer (Holoklin) and a sub-layer where the salinity is fixed at 50 m deep are observed in the study region. Holoklin layer is correlated with sigma-t values.

It is not possible to speak of a general discharge in the Ildır Bay. It varies depending on meteorological conditions. Southerly winds and seasonal changes, temperature and density difference may affect these current systems. Winds from the N and NW may force surface waters to the southeast and east creating localized longshore water movement. From time to time, continuous and strong winds blowing from southern directions can create opposite direction surface currents.

Coastal and deep marine sediments in the Ildır Bay are controlled by local current systems, terrestrial topography, submarine morphology, coastal shape, bathymetry and sediment load of local rivers. Terrestrial sediments and sediments produced from wave action are further modified by current activity and diminish in size. Thus, grain size gets smaller from shore to open sea. In areas where slopes exceed 10 degree and along the shelf break, sedimentation is minimal. Sediments in the Ildır Bay region are mostly lithogenous and cohesive in character. Loose and coarse-grained materials are more common in high energy coastal regions, while deeper regions contain fine and cohesive material.

## References

- [1] Meteorology. Bulletin, (1984). *The Republic of Turkey General Directorate of State Meteorological Service, Average and externa temperature, precipitation values for our newsletter.* p. 678, Ankara.
- [2] Eryılmaz, M and Kırca, Z. 1998; *Turkey, Aegean Sea, Kuşadası Gulf (Çeşme-Dilek Strait), Surface Sediment Distribution Maps (Depending On The Grain Size), Scale 1: 25,000*, Department of Navigation, Hydrography and Oceanography, İstanbul.
- [3] Eryılmaz, M. ve Aydın, Ş., (2001). *Turkey, Sediment Distribution Map of the Aegean Sea, Scale 1:1.102.000*, Department of Navigation, Hydrography and Oceanography, İstanbul.
- [4] Eryılmaz M., Aydın, Ş. ve Türker, A., (2002); *Recent Surface Sediment Distribution Of The Aegean Sea.* 55. Geological Congress of Turkey, Proc.Book., p. 91-92, Ankara.
- [5] Eryılmaz M., (2003). *Paleogeographic evolution of the Aegean Sea.* Mersin Ü. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl. 10.yıl semp. (15-18 Ekim) Bildiri özleri kitabı, s. 96, Mersin.
- [6] TR-2223, (2001). *Aegean Sea, Ildır-Gerence Bay cahart. Scale 1:25.000*, Department of Navigation, Hydrography and Oceanography, İstanbul.
- [7] Erol, O., (1991). *Geomorphology Map of Turkey. 1/1.000.000*, MTA General Directorate Of Mineral Research And Exploration Of Turkey, Ankara.
- [8] Erol, O., (1997). *Photo-geomorphological study of the Büyük Menderes delta.* Aegean regions Bull., No :91-42, İzmir.
- [9] Erol, O. Ve Yücel, Y., (1997). *According to the Aegean graben formation stages of geomorphological data.* Western Anatolia Raw Materials Symposium, 25s, İzmir.
- [10] Eryılmaz, M., (1996). *Ege Denizi'nde Anadolu'nun Doğal Uzantısının Saptanmasında Kullanılan Yerbilimleri Kriterleri (Geosciences Criteria used to determine, Natural Extension of Anatolia in the Aegean Sea)*, PhD thesis, İstanbul Univesity, Institute of Marine Sciences, İstanbul.
- [11] Eryılmaz M. ve Yücesoy-Eryılmaz F., (1999). *Tectonic Structure Of The Aegean Sea.* 52 Geological Congress of Turkey, Proceedings Book, 10-12 May, p.358-365, Ankara.
- [12] Eryılmaz, M. ve Yücesoy-Eryılmaz F., (2001). *Underwater Morphology Of The Aegean Sea And Natural Prolongation Of The Anatolia In The Eastern Aegean Sea.* Geosound Derg, Çukurova Uni., Sayı 39, s117-132, ISSN 1019-1003, Adana
- [13] Eryılmaz M. ve Yücesoy Eryılmaz F., (2015). *Recent Sediment Distribution And Oceanography Of Ildır Gulf (Karaburun Peninsula).* 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı (06-10 Nisan/April 2015 68th Geological Congress of Turkey) Bildiri Özleri Kitabı, 636 s., s.104-105, Ankara.
- [14] Folk, L.R., (1974); *Petrology of sedimentary rock.* Hemphill Publ.Co., Texas. 182 s.
- [15] Wentworth C. K. (1922). *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments.* The Journal of Geology, Vol. 30, No. 5, Jul. - Aug., 1922 Page 377 of 377-392.
- [16] Eryılmaz, M. ve Yücesoy- Eryılmaz, F. (2008). *Oceanography and submarine sediment distribution in Marmaris-Kaş region of SW Turkey.* Micropaleontology, vol.54,nos,3-4,pp.187-197p.
- [17] Meriç, E., Avsar, N., Barut, İ.F., Yokeş, M.B., Taş S., Eryılmaz, M., Dincer, F., and Bircan C., (2009). *Opinion and comments on the benthic foraminiferal assemblages*

*observed around the mineral submarine springs* in Kuşadası (Aydın). Earth System Evolution and the Mediterranean Area From 23 MA To The Present, Abst. Book, pp.222-223, Vol 45 n. 1/4, Italy.

- [18] Meriç, E., Avsar, N., Barut, İ.F., Yokeş, M.B., Taş, S., Eryılmaz, M., Dincer, F., Bircan C., (2010). *Kuşadası (Aydın) deniz dibi mineralli su kaynağı çevresinde bentik foraminifer topluluğu hakkında görüş ve yorumlar*. 13.Sualtı Bil. ve Tek.Topl., SBT Bildiri Kitabı, s.80-92, Kıbrıs.
- [19] Meriç E., Avşar N., Nazik A., Yokeş B., Dora Ö., Barut İ.F. , Eryılmaz M., Dinçer F., Kam E., Aksu A., Taşkın H., Başsarı A., Bircan C., Kaygun A., (2013 a). *The Influences Of Oceanographical Characteristics Of The North Coasts Of Karaburun Peninsula On The Benthic Foraminiferal And Ostracod Assemblages*. General Directorate Of Mineral Research And Exploration Of Turkey, M.T.A. Bulletin, vol. 145, p.22-47, Ankara.
- [20] Meriç E., Avşar N., Nazik A., Yokeş B., Barut İ.F. , Eryılmaz M., Kam E., Taşkın H., Başsarı A., Dinçer F., Bircan C., Kaygun A., (2013 b). *Ilıca Bay (Çeşme-İzmir) Benthic Foraminifer-Ostracod Assemblages And Pacific Ocean Red Sea Originated Foraminifera And Abnormal Individuals*. General Directorate Of Mineral Research And Exploration Of Turkey, M.T.A. Bulletin, Vol. 145, p.62-78, Ankara.
- [21] Meriç E., Avsar N., Yokes M.B., Barut İ., Tas S., Eryılmaz M., Dincer F. and Bircan C., (2014 a). *Opinions and comments on the benthic foraminiferal assemblage observed around the mineral submarine spring* in Kuşadası (Aydın, Turkey). Marine Biodiversity Records, page 1 of 17. #Marine Biological Association of the United Kingdom, doi:10.1017/S1755267214000840; Vol. 7; e103; 2014.
- [22] Engin Meric, Yokeş, M.B., E., Avsar, N., Öncel,M.S., Eryılmaz, M. and Barut, İ., (2014 b). *The Expanded Population Of Amphistegina Lobifera At Üç Adalar And Beş Adalar (Antalya, Turkey)*. Marine Biodiversity Records, page 1 of 10. Marine Biological Association of the United Kingdom, doi:10.1017/S175526721400044X, Vol. 7, e52; United Kingdom.
- [23] Eryılmaz, M.,Yücesoy-Eryılmaz F., Doğan E., Yüce H. ve Bayraktar T., (1998). *Ege Denizi'nin sualtı morfolojisi ve Anadolu'nun Doğu Ege Denizi'ndeki doğal uzantısı*. 51.Türkiye Jeoloji Kurultayı bildiri özleri, s.60-61. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- [24] Eryılmaz, M., Doğan, E. ve Alpar B., (1998). *The Aegean Sea fault tectonics and sedimentary thickness*. Marine geology, Turkey Marine Research Workshops -IV, İstanbul University. s.176-182, İstanbul.

# SEA LEVEL RISE VULNERABILITY ON COASTLINE. A GEOGRAPHICAL MULTICRITERIA ANALYSIS AS A SUPPORT TOOL FOR COASTLINE DEVELOP PLANNING

Simone Gorelli<sup>1</sup>, Jesus Gomez-Enri<sup>2</sup>, Marco Rotonda<sup>1</sup>, Stefano Vignudelli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Environmental Management Agency srl. Loc. Boddo n. 5 Buti (PISA) 56032

Phone: +390587723367 – e-mail: sgorelli@emasrl.eu

<sup>2</sup> Applied Physics Department - University of Cadiz

<sup>3</sup> CNR Istituto di Biofisica (Pisa)

**Abstract** – For effective coastal management, is important to understand how sea levels will change in the future and how environment, social and economic effects we will have on coastline. Changes to mean sea level, sea level extremes (e.g., storm surges) and/or wave events will lead to changes in coastal impacts. We mainly focus on changes to mean sea level. The main contributors to GMSL (Global Mean Sea Level) changes are changes in ocean mass, largely from land ice, and changes in ocean density. Regional differences in sea level arise due to spatial differences in ocean density change, ocean mass redistribution and circulation, atmospheric pressure and winds, as well as changes to the gravity field. Observations of sea level changes from the 1700s are available from the global tide gauge network and, for the last few decades, from satellite altimetry. We have input data to create a vulnerability map around Tuscany coasts under different scenarios. The questions to answer are: Can Tuscany considered to be vulnerable to sea level rise? How is the coastline characterized? Which areas will be more vulnerable? Then, we estimated a monthly Sea Level Anomaly (SLA) at each grid location and removed the seasonal cycle following a harmonic model (annual and semiannual components). Finally, the de-seasoned data were used to estimate a gridded map of Sea-level rise (SLR). Growth rate in the average level estimated in the period 1993-2015 is  $2,85 \pm 0,01$  (max  $3,20 \pm 0,51$ ; min  $2,59 \pm 0,49$ ). A geographic multicriteria analysis model enables to construct vulnerability map with different coast effect in relation with different sea live rise scenarios. Analysis of the SLR effects on the coast requires the integration of the resources of the social sciences (interviews, focus groups, etc.) with their instruments environmental valuation (AMC) and spatial planning (GIS). The scenario simulations show an estimated loss of important soil (minor damage) that will be related to the facilities and the coastal human activities to determine the total damage caused.

## Introduction

The scientific community considers global warming the most important forcing of climatic changes and therefore a serious environmental threat facing the world today [13]. Global warming has the potential to affect many humans dramatically and adversely as a consequence of both natural and anthropogenic changes to temperature, precipitation, sea level, storms, air quality, ecosystems, and other climatic conditions [7]. Sea-level rise (SLR) is one of the most significant effects of climate change and poses a particularly threat because 10 % of the world's population (634 million people) lives in low-lying coastal regions within

10 m elevation of sea level [17]. In addition to inundating low-lying coastal areas, rising sea level increases the vulnerability of coastal regions to flooding caused by storm surges, tsunamis, and extreme astronomic tides. As sea level rises, storms of a given magnitude reach higher elevations and produce more extensive areas of inundation. Likewise, storm surges of a given height have greater recurrence intervals. Rising sea level causes natural thresholds to be exceeded more frequently, which, in turn, leads to greater occurrences of waves breaking over seawalls, flood waters overtopping levees, and storm surges overwashing and breaching barriers [7]. Many of the present ills associated with rising sea level represent the cumulative effects of processes that have been ongoing for many decades and perhaps centuries. In fact, these effects may be related to other natural and anthropogenic factors in addition to SLR, such as reduced or exhausted sediment supplies and human actions. Despite the possible influence of these other factors, SLR may still have served as the major forcing agent in promoting long-term erosion of coasts worldwide ([15], [26]). As acknowledged in the IPCC (2007) report, a growing number of field studies using tide gauge measurements demonstrate that the rate of SLR began increasing between the mid-nineteenth and mid-twentieth centuries ([3], [4], [8], [24]). Recent scientific studies suggest that since 1993, the rate of SLR has increased to 3 mm year<sup>-1</sup> [2]. Thus, many of the impacts of accelerating SLR can be generalized as worsening widespread existing conditions. For example, flooding lowlands, beach erosion, saltwater intrusion, and wetland loss are all processes that have been ongoing along coasts for centuries and have been widely recognized for many years ([1], [15]). In addition to increased flooding and greater storm impacts to coastal communities in many low-lying regions, accelerated SLR will dramatically alter sandy beaches and barrier island coasts. These impacts go beyond simple inundation caused by rising ocean waters, and involve the permanent or long-term loss of sand from beaches. The loss results from complex, feedback-dependent processes that operate within the littoral zone, including onshore coastal elements (e.g., the nearshore, beachface, dunes, tidal inlets, tidal flats, marshes, and lagoons). Sediment budget analyses have shown that nearshore, tidal deltas, capes, and the inner continental shelf can serve as sediment reservoirs [14]. Long-term beach erosion may increase due to accelerated SLR and may eventually lead to the deterioration of barrier chains ([37], [6]). Barriers protect highly productive and ecologically sensitive wetlands as well as the adjacent mainland coast from direct storm impacts and erosion. Moreover, barriers support residential communities and a thriving tourist industry. Determining the socioeconomic impacts of SLR on coastal areas constitutes one of this century's greatest challenges ([30], [31], [21], [10]). This challenge, in turn, depends on accurate determinations of the effect of accelerated SLR on the natural (physical and ecological) environment. Consequently, studies have used various SLR scenarios to explore the socioeconomic, physical, and ecological impacts around worldwide coasts (e.g., [36], [5], [31], [38], [34], [22]). The magnitude and types of impacts of SLR are related to the geologic setting and physical and ecological processes operating in that environment. Unlike infrequent, large-magnitude storms that can change the appearance of the coast in a few hours, impacts attributed solely to SLR are usually slow, repetitive, and cumulative. No widely accepted method is currently available for producing probabilistic projections of sea level rise at actionable scales (i.e. regional and local). Coastal management decisions based solely on a most probable or likely outcome can lead to vulnerable assets resulting from inaction or maladaptation ([35], [11]). Given the range of uncertainty in future global SLR, using multiple scenarios encourages experts and decision makers to consider multiple future

conditions and to develop multiple response options. Scenario planning offers an opportunity to initiate actions now that may reduce future impacts and vulnerabilities [23].

### Satellite altimetry data

Gridded maps of Sea Level Anomaly (SLA, henceforth) were used to estimate the SLR in the study area (Tuscan coast). The maps are from the Copernicus Marine Environment Service (CMEMS: <http://marine.copernicus.eu/>). Data are equally spaced ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) in a daily time scale. We obtained these high resolution maps of SLA from January 1993 to December 2015. Then, we estimated a monthly SLA at each grid location and removed the seasonal cycle following a harmonic model (annual and semiannual components). Finally, the de-seasoned data were used to estimate a gridded map of SLR.

Growth rate in the average level estimated in the period 1993-2015 is  $2,85 \pm 0,01$  (max  $3,20 \pm 0,51$ ; min  $2,59 \pm 0,49$ ).

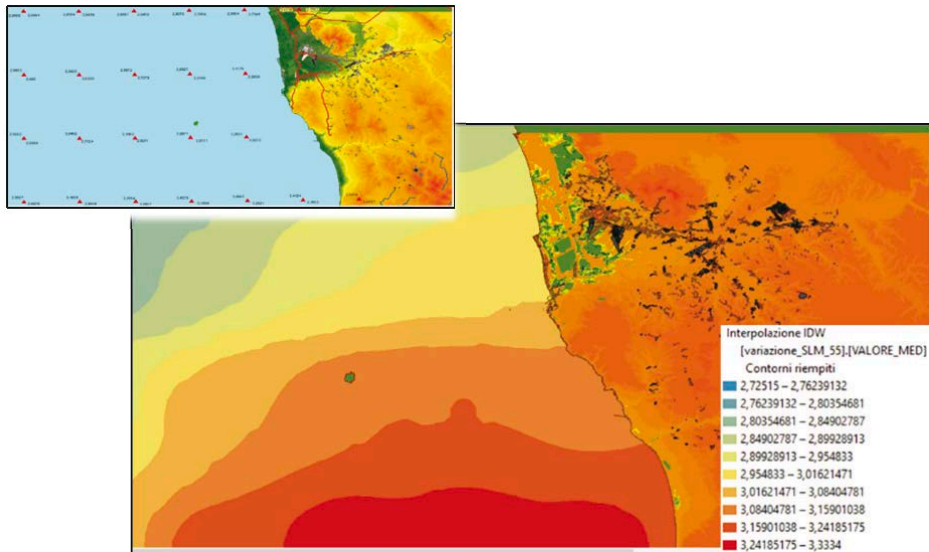


Figure 1 – Gridded maps of Sea Level Anomaly (SLA, henceforth) were used to estimate the SLR in the study area. Mean sea level change 1993-2015 and interpolation of the Mean sea level change 1993-2015.

### Sea level change scenarios

Scenarios do not predict future changes, but describe future potential conditions in a manner that supports decision-making under conditions of uncertainty ([19], [11], [35]). Scenarios are used to develop and test decisions under a variety of plausible futures. This approach strengthens an organization’s ability to recognize, adapt to, and take advantage of changes over time. This work describes a support method to provide scenarios to help

assessment experts and their stakeholders analyse the vulnerabilities and impacts associated with possible, uncertain futures. There are many different approaches to developing and applying scenarios ([19], [12]). Scenarios differ in terms of, among other things: varying degrees of qualitative and quantitative information, the goals for which scenarios are used, and the context for the development of the scenario. The purpose may be exploring the consequences of alternative response options; identify impacts of uncertain future conditions; or develop a consensus response option [18]. This report provides scenarios to aid assessment experts and their stakeholders in analyzing the vulnerabilities and impacts associated with possible, uncertain futures. Specifically, we provide scenarios in order to help assessing the key uncertainties surrounding estimates of future global SLR. The development of sea level change scenarios (global, regional, and local) is an initial stage in conducting coastal vulnerability assessments [23]. The choice of scenarios involves interdisciplinary scientific experts, as well as coastal managers and planners who understand relevant decision factors. Three decision factors are generally considered in the choice of sea level scenarios are: location, time horizon, and risk tolerance [20]. Location refers to the planning or management area for which assessment or analysis is being conducted. In this work the location is Tuscan coast in central Italy. Time horizon refers to the committed life span of a particular use in a coastal area and varies depending on whether you are planning temporary flood control, building long-term infrastructure such as an airport or shipyard, or restoring or preserving ecosystem function. We take into account as time horizon, one hundred years from today, because it's time for the evaluate effect of planning. Finally, risk tolerance refers to a community's or decision maker's willingness to accept a higher or lower probability of impacts. Risks associated with SLR may not be evident when considering sea level change in isolation from climate or over a narrowly defined coastal planning area. Power stations or airports at specific locations along the coast may be critically important to the regional or national economy and thus may be protected with a low tolerance for projected long-term, regional, or global scale impacts (e.g. a large levee). Such levels of protection, however, may have adverse effects on adjacent parts of the coast or create a false sense of reduced risk if sea level rises and coastal flooding increases ([29], [25]). Additional information should be combined with the global scenarios to incorporate regional and local conditions when conducting risk analysis. These factors include regional mean sea level variability, local and regional vertical land movement, coastal environmental processes (geological, ecological, biological, and socio-economic), and the effect of extreme weather and climate on RSL. The information described above come elaborated in the model by means of a multicriteria spatial analysis. In the proposed "*model for the governance of sustainable coast evolution*" all the evaluations are based on the integration between tools proper of territorial and environmental analysis as *GIS-based Multicriteria Decision Aid Techniques* and participative instruments. Within this model, the participative method has a fundamental role [9] as it allows to collect information at different analysis levels: in the initial phase, to understand both the stakeholders perception on coast elements, their evolutionary dynamics and the classification of the determinants influencing developed strategies; in the following phases, to propose and appraise the effectiveness of possible intervention actions directed towards a sustainable coast develop. This governance instrument is able, for each homogeneous territorial ambit, to individualize priorities and intervention methods in accordance with coast specific characteristics and plan strategies. The proposed model (figure 2) firstly provides an historical and evolutionary investigation, necessary to evaluate the incidence of SLR and driving forces affecting decision maker's choices in relation to SLR and territorial evolution.

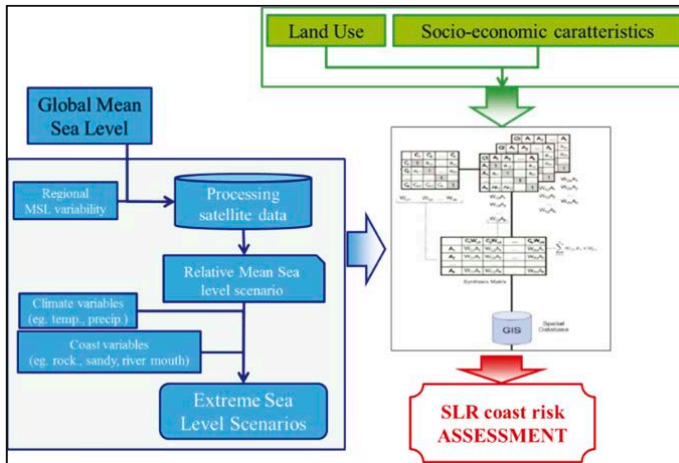


Figure 2 – Scenario analysis model proposed.

Subsequently, the analysis consists of two phases:

- an extreme Sea Level Scenarios necessary to classify the territory under study in relation to its *flood areas* due to the sea level rise and other relevant environmental characteristics. A geographic multicriteria analysis model enables to construct a thematic map that locates homogeneous zones with different intervention priorities in relation to their flood critical state;
- a Coast anthropic activity analysis which consent to evaluate and map the coast anthropic activity adaptation propensity to the changes induced by flood areas and the planning effects. This study, based on socio-economic anthropic activity characteristics and land use, is conducted via a GIS-based multicriteria procedure and allows to individualize anthropic activity adaptation strategies to the above mentioned external changes. Both extreme sea level scenario and coast anthropic activity analysis are implemented by *Geographic Multicriteria Decision Aiding Techniques* able to rank the spatial decisional alternatives under study in relation to different and often conflicting evaluation criteria represented by standardized map layers as well [16]. Among the different multicriteria analysis techniques present in the literature, the Multiattribute Saaty's Analytical Hierarchical Process (AHP) ([27], [33], [28]) is the most suitable for the present study. This method structures the entire evaluation process through distinct phases, assuming, as a general methodological principle, the possible segmentation of a complex decision making problem into smaller and simpler subproblems composing a hierarchical structure within which it is always possible to measure the influence that each part has on the whole system. The AHP method can in fact be summoned in three different stages: analysis, pairwise comparisons and hierarchical recomposition. The analysis phase consists on defining a hierarchical structure able to encompass the most important elements for the decision problem: a first level is represented by the general aim of the valuation (goal), then there are a series of intermediate levels represented by criteria, attributes and subattributes, while the last one is typically made up of the decision alternatives. In a geographical multicriteria decision making analysis both criteria, attributes and alternatives are reported in the physical space of territory, so the hierarchical structure generally finishes at the attribute or subattribute level. Therefore, the decisional alternatives can be represented,



under a GIS framework, via points, lines, polygons or pixels which contains the attributes values. In the present study, the alternatives are geographically represented by polygons that locate landscape systems and subsystem in the territorial analysis, farms and plots areas in the farm analysis. Once the hierarchical tree has been defined, the pairwise comparisons are carried out among the elements of the hierarchy; this is done by comparing elements from the same level with the ones of the level above to which they are linked, in order to rank them and quantify their importance order. Such outputs, defined as dominance coefficients, are then synthesised in the so-called pairwise comparisons matrix. Whenever the dominance coefficients cannot be quantified, Saaty (1980) suggests a qualitative approach using a semantic scale that allows to express the preferences in a numeric form. An ordering array is computed for each pairwise comparisons matrix: its elements are the local weights of the considered level when compared to the element of the above one. The pairwise comparisons matrix is often inconsistent due to the unavoidable inconsistency of the decision maker answers; however, provided the consistency error, (expressed by a Consistency Ratio) is small enough, the ordering array can be estimated through the eigenvector method. The ordering vector to be computed is indeed the dominant eigenvector for the pairwise comparisons matrix, so the local weights coincide with the components of the corresponding principal eigenvector. Lastly, the recomposition stage consists on determining the global weights of the alternatives with respect to the general goal: this is achieved by multiplying the local weights of each element by the corresponding weights of the above ordered element and then summing the products previously obtained. In this work we will present only the extreme sea level scenario analysis results which can then be combined to the complete evaluation as described in the model. The objective of extreme sea level scenario is to individualize and geographically locate homogeneous areas of flood within the investigated study area. In this research, as the case study is comprised in the Tuscan coast (Italy), and for analysis, the most important data used will be the best available and accessible Digital Elevation Model (DEM) and the sea level rise estimated following these assumptions:

- The digital elevation models used to map SLR do not incorporate a detailed pipe network analysis or engineering-grade hydrologic analysis;
- The mapped SLR levels assume that the present conditions will persist and do not take into account geomorphology changes associated with natural processes and future human actions.

We described 3 SLR scenarios where it ranged in time according to a current steady increase (best situation) or in increments defined by following the instructions described by local key players in accordance with the values in the table 1.

The scenarios in the three years of reference describe a range of variation as shown in table 2. Figure 3 describes the trend of the three scenarios in the hundred years of reference.

Table 1 – Increments values for three scenarios in the hundred years of reference.

	Scenario			
	Year 0 (2016)	Year 20 (2036)	Year 50 (2066)	Year 100 (2116)
Scenario 1 Increase (cm)	0	5,70	14,25	28,50
Scenario 2 Increase %	0	44,50	82,45	156,90
Scenario 3 Increase %	0	124,79	195,44	285,36

Table 2 – Range of variation for three scenarios in the hundred years of reference.

Range scenario			
	Year 20 (2036)	Year 50 (2066)	Year 100 (2116)
Minimum (cm)	5,70	14,20	28,50
Average (cm)	8,91±3,60	27,45±13,98	70,51±40,73
Maximum (cm)	12,81	42,10	109,83

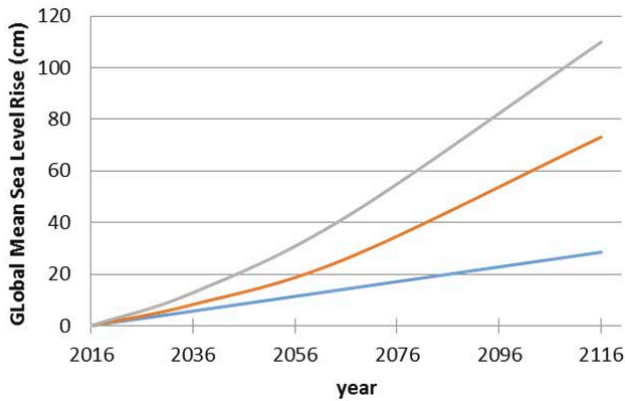


Figure 3 – Trend of the three scenarios in the hundred years of reference.

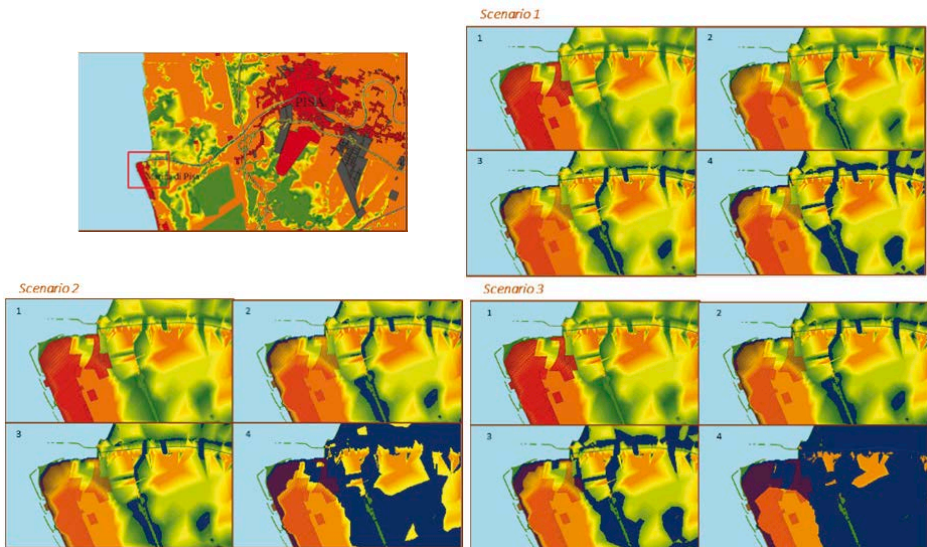


Figure 4 – Maps of the three scenarios in the hundred years of reference, zoom Marina di Pisa (Pisa, Italy) coast.

The different variations of the SLR help to the definition of the flood maps and the identification of the flooded areas by the SLR. The maps show in Scenario 1 a 317,93 hectares area lost at least twenty years, increases to 1081,23 hectares after 50 years and reaches 2282,02 after 100 years; in the scenario 2 a 678,89 hectares area lost at least twenty years, increases to 1081,23 hectares after 50 years and reaches 7216,46 after 100 years; in the scenario 3 a 1081,23 hectares area lost at least twenty years, increases to 3239,48 hectares after 50 years and reaches 10805,93 after 100 years. The scenario simulations estimated show a soil loss (minor damage) that will be related to the facilities and the coastal anthropic activities to determine the total damage caused.

## Concluding remarks

The future of Tuscany coast remains uncertain. In this work the potential impact of the SLR in this century has been investigated. Data and modelling have been used to come to an understanding of the changes in sea level that can be expected for the Tuscany coast. It will still take some time to settle the question of how much the sea level in the Mediterranean as a whole and around Tuscany coasts can differ. The sea level rise in the Mediterranean might be dominated by the global signal, even if some local differences might continue to exist. However, in the long run, the Mediterranean Sea is thought to follow the global ocean [32]. The same problem of how independently the single sub-basins react to sea level rise arises when dealing with the Tuscany region. However, in this case the connection with the rest of the Mediterranean is much less restricted as the one between the Mediterranean and the Atlantic Ocean. It is therefore conceivable that the Tuscany region should follow the trends in the Mediterranean. Based on the above considerations the growing awareness of the role played by coastal areas in Italy requires "innovations" in policies and planning actions, they should always be designed and can produce structural changes in the actors' behaviours. Analysis of the SLR effects on the coast requires the integration of the resources of the social sciences (interviews, focus groups, etc.) with their instruments environmental valuation (AMC) and spatial planning (GIS). The scenario simulations show an estimated loss of important soil (minor damage) that will be related to the facilities and the coastal human activities to determine the total damage caused. We need, at this stage of change, investing in the knowledge of the phenomena / reality and in raising awareness of the local actors. – rephrase as “The SLR as a consequence of climatic changes calls for a better scientific understanding of the involved processes at land/ocean/air interface. It is also important to raise awareness of stakeholders about potential impacts of SLR in order to stimulate potential adaptation measures.

## References

- [1] Bird E. 1993. *Submerging Coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. New York:Wiley
- [2] Church JA, White NJ. 2006. *A 20th century acceleration in global sea-level rise*. *Geophys. Res. Lett.* 33:L01602, doi:10.1029/2005GL024826
- [3] Donnelly JP. 2006. *A revised late Holocene sea-level record for northern Massachusetts, USA*. *J. Coast. Res.* 22:1051–61

- [4] Donnelly JP, Bertness MD. 2001. *Rapid shoreward encroachment of salt marsh cordgrass in response to accelerated sea-level rise*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 98:14218–23
- [5] FEMA. 1991. *Projected impact of relative sea level rise on the national flood insurance program*. FEMA Rep., Washington, DC: FEMA.
- [6] FitzGerald DM, Howes N, Kulp M, Hughes Z, Georgiou I, Penland S. 2007. *Impacts of rising sea level to backbarrier wetlands, tidal inlets, and barriers: Barataria Coast, Louisiana*. Coast. Sediments '07, Conf. Proc., CD-ROM13.
- [7] FitzGerald D. M., Michael S. Fenster, Britt A. Argow and Ilya V. Buynevich. (2008). *Coastal Impacts Due to Sea-Level. Rise Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. Vol. 36: 601-647 (Vol. publication date May 2008) first published online as a Review in Advance on February 4, 2008. DOI: 10.1146/annurev.earth.35.031306.140139.
- [8] Gehrels WR. 1999. *Middle and late Holocene sea-level changes in eastern Maine reconstructed from foraminiferal saltmarsh stratigraphy and AMS C-14 dates on basal peat*. Q. Res. 52:350–59
- [9] Gorelli S., Santucci A., Balducci E., Mazzoncini M. & Russu R. (2008) - *Spatial simulation model to analyse coexistence scenarios between GM and GM-free crops*. Proceedings of the Conference on “Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales” April 2-4, University of Bremen, Germany.
- [10] Gornitz V, Couch S, Hartig EK. 2002. *Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area*. Glob. Planet. Change 32:61–88
- [11] Gray, S. 2011. *From Uncertainty to Action: Climate Change Projections and the Management of Large Natural Areas*. BioScience 61(7): 504-505.
- [12] Henrichs, T., M. Zurek, B. Eickhout, K. Kok, C. Raudsepp-Hearne, T. Ribeiro, D. van Vuuren, and A. Volkery. 2010. “Scenario development and analysis for forward-looking ecosystem assessments.” In *Ecosystems and human well-being: A manual for assessment practitioners*, edited by Neville Ash, Hernan Blanco, Keisha Garcia, Thomas Tomich, Bhaskar Vira, Monika B. Zurek and Claire Brown.
- [13] IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et al., Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007).
- [14] Komar PD. 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall
- [15] Leatherman SP, Zhang K, Douglas BC. 2000. *Sea level rise shown to drive coastal erosion*. EOS Trans. Am. Geophys. Union 81:55–56
- [16] Malczewski Jacek. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. ISBN 0-471-32944-4
- [17] McGranahan G., Balk D., Anderson B, Environ. Urban. 19, 17 (2007).
- [18] McKenzie, E., A. Rosenthal et al. 2012. *Developing scenarios to assess ecosystem service tradeoffs: Guidance and case studies for INVEST users*. World Wildlife Fund, Washington, D.C.
- [19] Moss, R., Edmonds, J. A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D. P., Carter, T., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, G. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., and T.J. Wilbanks. 2010. *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. Nature 463, 747-756 (11 February 2010) | doi:10.1038/nature08823.

- [20] Mote, P., Petersen, A., Reeder, S., Shipman, H. and Binder, L. (2008) *Sea Level Rise in the Coastal Waters of Washington State*. A report by the University of Washington – Climate Impacts Group and the Washington Department of Ecology.
- [21] Nicholls RJ, Leatherman SP. 1996. *Adapting to sea level rise: relative sea level trends to 2100 for the United States*. *Coast. Manag.* 24:301–24
- [22] Nicholls RJ, Tol RSJ. 2006. *Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century*. *R. Soc. London Trans. Ser. A* 364:1073–95
- [23] NOAA, 2012 Parris, A., P. Bromirski, V. Burkett, D. Cayan, M. Culver, J. Hall, R. Horton, K. Knuuti, R. Moss, J. Obeysekera, A. Sallenger, and J. Weiss. 2012. *Global Sea Level Rise Scenarios for the US National Climate Assessment*. NOAA Tech Memo OAR CPO-1. 37 pp.
- [24] Nydick KR, Bidwell AB, Thomas E, Varekamp JC. 1995. *A sea-level rise curve from Guilford, Connecticut, USA*. *Mar. Geol.* 124:137–59
- [25] Parris, A. and L. Lacko 2009: *Climate change adaptation in the San Francisco Bay: A case for managed realignment*. *Shore and Beach*, vol. 77, pp 46-52.
- [26] Pilkey OH, Cooper JAG. 2004. *Society and sea level rise*. *Science* 303:1781–82
- [27] Saaty T. L. (1980) *The analytic Hierarchy process*, Wiley, New York
- [28] Saaty T.L., G. Vargas (1994) *Decision Making in Economic, Social and Technological Envi-ronments*, ISBN 0-9620317-7-1
- [29] Smits, A.J.M., Nienhuis, P.H., and Saeijs, H.L.F. 2006. *Changing Estuaries, Changing Views*. *Hydrobiologia* 565: 339–355.
- [30] Titus JG, Barth MC. 1984. *An overview of the causes and effects of sea level rise*. In *Greenhouse Effect and Sea Level Rise*, ed. JG Titus, MC Barth, pp. 10–21. New York: Van Nostrand Reinhold
- [31] Titus JG, Park RA, Leatherman S, Weggel R, Greene MS. 1991. *Greenhouse effect and sea level rise: the cost of holding back the sea*. *Coast. Manag.* 19:171–204
- [32] UNESCO 2012, *Workshop Report From Global to Regional: Local Sea Level Rise Scenarios makes a story in A World of SCIENCE*.
- [33] Vargas, L.G. (1990) *An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications*, *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2-8
- [34] Walsh KJ, Nguyen KC, McGregor JL. 2004. *Fine-resolution regional climate model simulations of the impact of climate change on tropical cyclones near Australia*. *Clim. Dyn.* 22:47–56
- [35] Weeks, D., Malone, P, and L. Welling. 2011. *Climate change scenario planning: A tool for managing parks into uncertain futures*. *Park Science*, Vol. 28, Number 1.
- [36] Weggel R, Escajadillo JC, Breen P, Doheny E. 1989. *The cost of defending developed shorelines along sheltered water of the United States from a two meter rise in mean sea level*. Appendix B: sea level rise. *Environ. Prot. Agency Rep.* 230-05-89-052. Washington, DC: EPA
- [37] Williams SJ, Penland S, Sallenger AH Jr., eds. 1992. *Louisiana Barrier Island erosion study. Atlas of shoreline changes in Louisiana from 1853 to 1989*. USGS/La. State Univ., Misc. Investig. Ser. I-2150-A. Reston, VA: USGS
- [38] Yohe G, Neumann J, Marshall P, Ameden H. 1996. *The economic cost of greenhouse induced sea-level rise for developed property in the United States*. *Clim. Change* 32:387-410

## VULNERABILITY ASSESSMENT OF TWO ADRIATIC MIXED BEACHES FOR POTENTIAL OIL SPILL EVENTS

Edoardo Grottoli<sup>1</sup>, Paolo Ciavola<sup>1</sup>, Michele Molinelli<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Università di Ferrara – Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra,

Via Giuseppe Saragat, 1 – 44122 Ferrara, phone +390532 974739, e-mail: grtdrd@unife.it

**Abstract** – Oil still represents the most adopted source of energy for several human activities and goods production. Its extraction, transport and storage frequently occur across the sea and affect the largest ports all over the world. These actions have an environmental cost which can affect the marine environment at several levels among which the coastline is one of the most vulnerable. The NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) in 2002 established the ESI guidelines (Environmental Sensitivity Index) in order to create vulnerability maps of the coastline for oil spill emergencies. Here it is presented an assessment of the vulnerability index for two Adriatic beaches (Portonovo and Sirolo) located in the Conero Headland which is one of the most congested areas for oil transportation due to the close port of Ancona. The aim of the work is to understand the specific role of coastal morphodynamics on the vulnerability assessment for oil spill events on mixed beaches. Portonovo and Sirolo are two mixed sand and gravel beaches (MSG) where sediment ranges from medium sand to cobble and boulders with a prevalent pebble fraction especially in Portonovo. Sediments are made of limestone and marl originated by cliff erosion which is the only sediment source of the beaches. The average tidal range at spring tide is 0.5 m. The dominant winds come from NE and SE, which correspond also to the main directions of storms. The wave heights are between 0.25 m and 2 m for most of the time. Topographic surveys of the beach surface and sediment sampling were undertaken in April 2015 in order to characterize the two beaches from a geomorphic and sedimentological point of view. Portonovo can be considered a borderline case between levels 5 and 6 of oil spill vulnerability given the larger quantity of gravel which increase the potential permeability of oil within the sediment wedge. Sirolo can be classified as lower vulnerability (5) because is a better defined mixed sand and gravel beach due to the larger sand fraction. The northern part of Sirolo, which is mainly comprised of cobbles and where the shoreline is almost in touch with the rocky cliff, is classifiable as the lowest vulnerability (1C). The burial entity of sediments can reach high depths (1 to 1.5 m), with several orders of storm berms on top. In normal conditions of wave motion the entity of burial is 25-30 cm in Portonovo (field tested) and up to 16 cm in Sirolo (formula derived). The temporal sequence of storms is also important: given the bimodal direction of storms in the Adriatic (NE and SE) consistent shoreline rotation of beaches has been already demonstrated [15; 17]. The high dynamism of beach topography and surface sediments is highlighted by obstructing structures that occupy and limit the beach in Portonovo where the entity of burial and sediment transport is higher. Despite the NOAA (2002) classification for oil spill vulnerability covers a wide range of environments and consider several aspects [23], an improvement is still needed focused on the geomorphic changes that mixed beach can experience in short periods of time.

## Introduction

Oil and gas are currently the most adopted energy resources in the world, therefore it is still necessary their transportation through pipelines and oil tankers across the sea, creating the conditions for oil spill whether offshore or toward the coasts. Given their significant value from ecological, socioeconomic and cultural point of views, coastal environments are subjected to several pollution sources among them oil spill represents one of the most harmful [26]. In the recent years, with the implementation of satellite and SAR images, oil spill monitoring and observation have received more attention by the scientific community [4; 9; 12; 27]. According to [8] coastal vulnerability can be conceptually defined as the combination of (1) shoreline type (substrate, sand grain size, tidal range), (2) exposure to wave and tidal energy, (3) the biological sensitivity index [22], (4) the analysis of the persistence of oil on the shoreline, (5) crisis management, and (6) the importance of the affected activities. The first attempts of classification for oil spill vulnerability were proposed in the late seventies by [16] and [21]. These efforts were merged later into the most complete tool known so far that was established by [23] with the ESI (Environmental Sensitivity Index) maps. The priority in case of oil spill is surely to stop the dispersion of pollutants in the beach and through the water column. The oil spill vulnerability assessment requires accurate analyses done previously and should provide guidelines to help the local authorities to take the proper decision in case of oil spill [24] in order to lead prompt interventions. As stated by [1], beaches cannot be simply considered from a statistical point of view and coastal morphodynamics is an important factor to take in account into evaluate in the vulnerability assessment for oil spill events. The aim of this paper is to adopt the NOAA (2002) classification for two mixed sand and gravel beaches of the Conero Headland and try to focus on the role of coastal morphodynamics in the vulnerability assessment for oil spill events. The study area consists of two mixed sand and gravel beaches located on the eastern side of Conero Headland which represents a rare case of high coast for the Adriatic Sea. The first site is a 500 m long and 20 to 50 m wide beach located on the eastern side Portonovo. The beach is limited on both sides by artificial structures defending historical buildings [25], its orientation is NW-SE. The southern portion of the beach is slightly embayed and wider. The central portion is limited on its backshore by a seawall protecting local restaurants. The northern side is limited landward by a natural cliff made of limestone and marls which also represents the only source of sediments for the beach [15]. Beach sediments grain size ranges from medium sand to cobbles, with a prevalent fraction of pebbles. Between 2006 and 2010, local authorities injected 18500 m<sup>3</sup> of nourishment material made of alluvial sediments ( $D_{50}=10\div 50$  mm, limestone) to prevent beach erosion (informal communication by local authorities). The framework involved all the beaches of Portonovo and the exact quantity deployed on the study site is unknown. The gravel fraction usually occupies the swash zone, with granules and fine pebbles normally found on the berm and in the swash zone and cobbles and boulders usually found on the step zone. The beachface typically slopes 0.2, whereas the seabed seaward of the step is approximately 0.01, like other parts of the Adriatic seabed [14]. According to the [19] classification, Portonovo is a mixed sand and gravel beach (MSG) where a complete intermixing of sandy and gravelly sediments occurs (Figure 1). The second study site is Sirolo (San Michele-Sassi Neri beach) which is located 5 km south from Portonovo. The beach is 1.2 km long and 30 to 40 m wide: it can be considered a natural embayed pocket beach given its

longshore and landward limits due to the Conero cliff. The beach orientation is N-S and the breaking zone is quite narrow with a steep beachface [17]. As in Portonovo, the only sediment source for Sirolo is the limestone and marl cliff behind the beach. Also Sirolo beach experienced a gravel nourishment realized by local authorities. Between 2009 and 2011, 156000 m<sup>3</sup> of alluvial material ( $D_{50} = 6 \div 12$  mm, limestone) were deposited on the beachface to contrast coastal erosion [25]. According to the [19] classification, Sirolo is also a mixed sand and gravel beach (MSG). The beach surface looks extremely heterogeneous due to the intermixing of sand and gravel and likewise Portonovo the swash zone is typically gravelly (Figure 1). The two study sites have a semidiurnal tide regime with the typical tide excursion at spring tide of 0.47 m and a maximum record of 0.58 m [7]. Typical wave directions of this Adriatic sector, recorded by the Ancona offshore buoy between

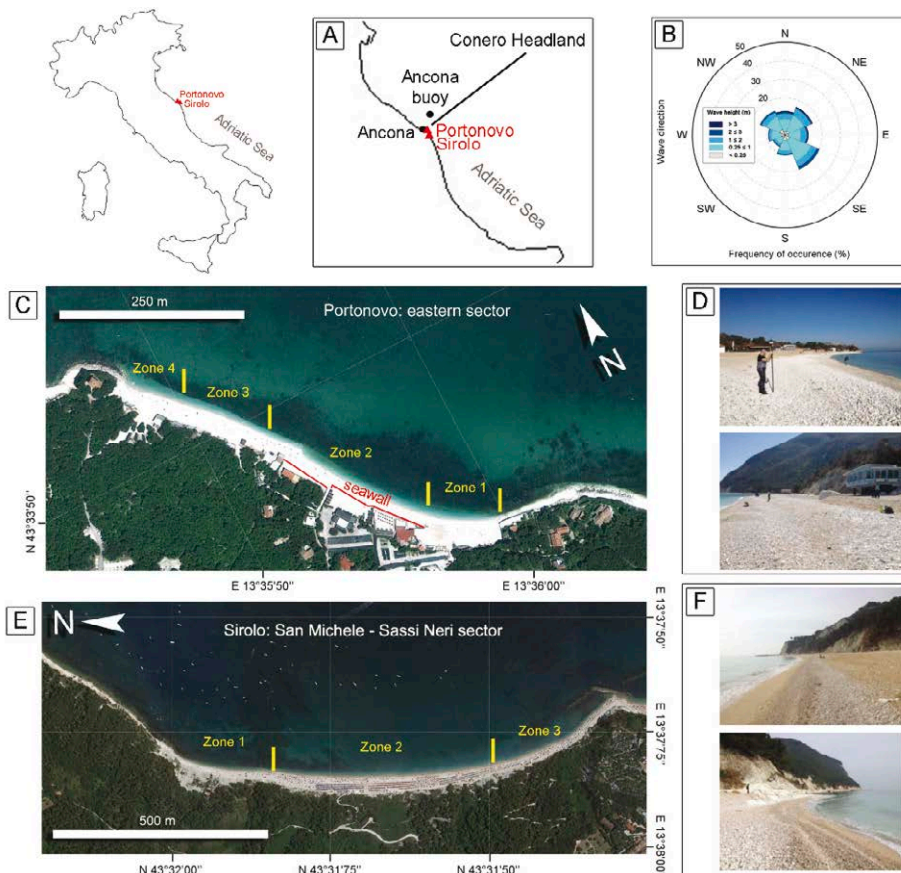


Figure 1 – Study sites: A) Location; B) Multiyear wave climate for Portonovo (recording period from 1999 to 2006). Wave data recorded by ISPRA buoy of Ancona [3]; C) Zone subdivision in Portonovo; D) Beach sediments in Portonovo; E) Zone subdivision in Sirolo; F) Beach sediments in Sirolo.



1999-2006, are from SE (20 %) and NE (16 %) which correspond also to the main directions of storms (SE driven by “Scirocco” wind and NE driven by “Bora” wind [3]. The significant wave height is usually between 0.25 and 2 m (80 % of the time), less than 0.25 m for the 10 % and higher than 2 m for the rest of the time (last 10%, [3]; Figure 1B). In the study area, littoral drift is directed northward given the influence of easterly winds [7; 25].

## Material and Methods

In order to characterize the two beaches for the vulnerability assessment for potential oil spill events, in situ investigations were realized in April 2015. Beach topography was measured by means of an RTK-DGPS (Trimble R6,  $\pm 2$  cm of accuracy). In Portonovo, a network of 50 cross-shore profiles, 10 m spaced, was investigated. In Sirolo, a total of 18 cross-shore profiles, 50 m spaced, were measured. At the same time, surface sediment samplings were also performed in both beaches. Fourteen profiles were sampled in Portonovo, for a total amount of 51 samples (3 to 4 samples for each profile); in Sirolo, 26 samples were collected over 9 profiles (3 samples for each profile). Grain size analyses were performed by means of 1 phi intervals dry sieving. Grain size parameters (mean diameter and sorting) were calculated following [11] formulas. The traffic evaluation of oil tankers in the Ancona area was done checking the website [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com) daily. To be consistent with the in situ data gathering, on each day of April 2015, during two time windows (12.00 to 14.00 and 20.00 to 22.00), all the oil tankers crossing the offshore area were counted. In 2002, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) established the ESI (Environmental Sensitivity Index) guidelines to be followed in order to create vulnerability maps [23]. The aim of the NOAA (2002) classification is to collect all the critical resources and natural characteristics of each water environment (fluvial, lacustrine and coastal) in order to assess the potential oil spill vulnerability of a specific environment. The classification contains three different information requested to complete ESI maps: (1) shoreline classification; (2) biological resources; and (3) human-use resources. This study is focusing only on the shoreline classification. According to [23] coastal habitats are vulnerable to oil spills for the high probability to be reached by the oil. Shoreline classification according to [23] is controlled by the following factors: (1) beach exposure to waves and tides; (2) beach slope; (3) substrate type (i.e. sediment grain size, mobility, penetration and/or burial and trafficability); (4) biological productivity and sensitivity. Concerning wave and tide exposure, [23] distinguishes three categories. High-energy shorelines (1A-2B) are regularly exposed to large waves or strong tidal currents during all seasons. Medium-energy shorelines (3A-7) often have seasonal patterns in storm frequency and wave size. Low-energy shorelines (8A-10E) are sheltered from wave and tidal energy, except during unusual or infrequent events. With the term beach slope is meant the inclination of the swash zone. The slope categories are: steep (if  $> 30^\circ$ ), moderate (if between  $5$  and  $30^\circ$ ) and flat (if  $< 5^\circ$ ). The substrate type can be classified as: bedrock (permeable or impermeable, depending upon the presence of surface deposits on top of the bedrock); sediments, which are divided by grain size, and man-made materials (basically riprap or seawalls). The fourth factor (biological productivity and sensitivity) was not considered in this work.

Table 1 – NOAA (2002) shoreline classification for vulnerability assessment of oil spill events ([23], modified).

ESI NO.	ESTUARINE (Coastal)	ESI NO.	ESTUARINE (Coastal)
1A	Exposed rocky shores	8A	Sheltered scarps in bedrock, mud, or clay Sheltered rocky shores (impermeable)
1B	Exposed, solid man-made Structures	8B	Sheltered, solid man-made structures Sheltered rocky shores (permeable)
1C	Exposed rocky cliffs with boulder talus base	8C	Sheltered riprap
2A	Exposed wave-cut platforms in bedrock, mud, or clay	8D	Sheltered rocky rubble shores
2B	Exposed scarps and steep slopes in clay	8E	Peat shorelines
3A	Fine- to medium-grained sand beaches	9A	Sheltered tidal flats
3B	Scarps and steep slopes in sand	9B	Vegetated low banks
3C	Tundra cliffs	9C	Hypersaline tidal flats
4	Coarse-grained sand beaches	10A	Salt- and brackish-water marshes
5	Mixed sand and gravel beaches	10B	Freshwater marshes
6A	Gravel beaches Gravel Beaches (granules and pebbles)	10C	Swamps
6B	Riprap Gravel Beaches (cobbles and boulders)	10D	Scrub-shrub wetlands; Mangroves
6C	Riprap	10E	Inundated low-lying tundra
7	Exposed tidal flats		

## Results

The tanker traffic around the Ancona area is quite high. During the observation window that goes from 12.00 to 14.00 there are on average 3 tankers; the number increases to 4 during the second observation period from 20.00 to 22.00. In April 2015 at least one oil tanker per day was observed. Portonovo beach has an average slope of  $9^\circ$  (0.18), so that the whole beach can be considered as moderately sloping according to the NOAA (2002) classification. The average grain size (mean diameter,  $M_z$ ) is 11.6 mm (-2.8 phi) and the material is generally poorly sorted ( $\sigma_1 = 1$  phi). According to similar geomorphic and sediment characteristics, Portonovo beach can be divided in 4 zones (Figure 1C). Zone 1, is

the most southern area which has an average width of 25 m and a beach slope between 6° and 10° (0.11 ÷ 0.18). The zone presents a storm berm that becomes flatter towards the central part of the beach. Zone 2, is strongly controlled by the seawall protecting local restaurants which generates wave reflection during the most intense storms. Here the beach is only 20 m wide and slopes between 8° and 10° (0.14 ÷ 0.18). Zone 3 is distinguished by the presence of the cliff (3-4 m high) which is the landward limit of the beach. The average width is 24 m and the beach slope is between 10° and 14° (0.17 ÷ 0.25). A storm berm starts here and grows in elevation approaching the zone 4 northward. Zone 4 is a sort of small basin with the backward cliff, lower and discontinuous if compared to the cliff of the zone 3. The average width is 20 m and the average slope is 5° (0.09). The storm berm here reaches the highest elevation of 1.5 m towards the zone's edge. Grain size decreases southwards. Sorting of sediment shows a less clear trend even though larger sediments seem to be also better sorted. Nevertheless the predominant gravel fraction throughout the beach, in the southernmost zone (zone 1) shows a considerable sandy fraction (30 % of the whole). According to [22], a vulnerability level of 6 is assignable to Portonovo (Table 2). In Sirolo, on the basis of geomorphic and sediment similarities, the beach was divided in three zones (Figure 1E). Zone 1 is characterized by the cliff which is divided from the sea by a small beach made by very large pebbles and cobbles collapsed from the cliff. The beach width has an average value of 13 m and the swash zone is sloping of 5° (0.09). Zone 2 is the central portion of Sirolo beach with an average width of 35 m and a slope of 10° (0.17). The zone is also characterized by a 1 m high storm berm. Zone 3 is conditioned by a longshore breakwater which is connected to the southern limit of the beach. In this area the beach width is 40 m and the slope is 10° (0.17). A storm berm, 2 m high and 10 m distant from the cliff, characterize the beach. In Sirolo, grain size decreases southward and landward. Sorting of sediments does not show any trend: the best sorted areas are in the backshore of the central portion of the beach and at the cliff toe in the northern end. According to [23], a vulnerability level of 5 can be assigned to Sirolo (Table 2).

Table 2 – The NOAA (2002) classification for Portonovo and Sirolo.

Max tidal range 0.5 m Typical Hs 0.5 m	Beach slope (Swash zone)			Grain size			NOAA (2002) Classification  Vulnerability level
	<5°	5°<x<30°	>30°	Mean Diam.  Mz (mm)	Sorting  $\sigma 1$ (phi)	S/G ratio	
Portonovo - Zone 1		6°÷10°		10.3	1.1	0.3	6
Portonovo - Zone 2		8°÷10°		12.8	1	0.1	6
Portonovo - Zone 3		10°÷14°		-	-	-	6
Portonovo - Zone 4		5°÷6°		-	-	-	6
Sirolo – Zone 1		5°÷6°		10.2	1.3	0	1C/5
Sirolo – Zone 2		9°÷11°		3.7	1.1	0.6	5
Sirolo – Zone 3		8°÷12°		4.4	1.2	1	5

## Discussion

The natural mixture of sandy and gravelly sediments of the two beaches suggests several implications only mentioned in the NOAA (2002) classification [23]. Burial and penetration of beach sediments are crucial phenomena that could raise the dangerousness of an oil spill. Penetration and burial are mechanically different but, when either or both occur, they increase the persistence of oil, leading to potential long-term biological impacts, and make cleanup much more difficult and intrusive [23]. Given its predominant gravelly fraction, Portonovo is constantly affected by burial which can occur rapidly and not only during storm events. As already experienced by [14], the mixing depth in the swash zone with ordinary waves (with typical  $H_s$  of 0.3 or 0.4 m) is around 0.25-0.3 m. According to [23], beaches of level 6 can experience penetration depth up to 1 m. If this depth value is added to the elevation that is usually reached by the storm berm (1.5 m) and to the tested mixing depth, it is clear that in Portonovo the potential burial of oil is up to 2.75-2.8 m. [14] and [15] highlighted also the high dynamicity of sediments in Portonovo after storms. Depending on the direction of storm wave approach, the beach is easily affected by a clockwise (waves from SE) or counter-clockwise (waves from NE or NNW) rotation, with a displacement and an accumulation of sediment towards the beach limits of approximately 1.5 m in height. Portonovo is classified as level 6 because of its largely predominant fraction of gravel, but the not negligible percentage of sandy sediments (10 to 30 %) makes the beach also considerable as level 5. The mixing depth in Sirolo was not tested but from the experimental formulas by [6] and [10], developed for sandy beaches, mixing values of 0.13-0.16 m were computed for the intertidal zone and with typical  $H_s$  of 0.5 m. This value, if added to the 1 m height of storm berms and to the 0.5 m of penetration (value for mixed beaches according to [23]), could potentially reach 1.6 - 1.7 m. Comparable entities of burial were experienced by [13] in some sandy macro-tidal oceanic beaches of Spain: two years after a big oil spill they found the contaminant at depths of 2-3 m. Similar burial depths (1.5 m) were also expected in the sandy meso-tidal beaches of New Zealand [20]. Prompt cleaning operations after the oil spill allowed [20] to state that the beach was basically completely cleaned after one year from the incident with the help of natural oil degradation. The burial values potentially occurring in our study sites are meant just in case of the worst scenario, that is a storm occurrence right after an oil spill reaching the beaches. It is obvious that the mixing depth could increase the burial of oil only in the intertidal zone, which is typically steep on reflective mixed beaches. However, at the beach edges, where the storm berms are usually piled up in significant thickness very close to the intertidal zone, the mixing depth could actually worsen the oil burial and its successive cleaning. Sirolo beach, giving its wider and longer arrangement, develops lower and wider storm berms if compared to Portonovo. Furthermore, the higher sandy fraction is the main reason to assess Sirolo as vulnerability level 5. The less alarming part of Sirolo in case of oil spill is the northernmost, where the narrow beach, basically comprised by cliff boulders, could be easily cleaned by the normal swash fluxes and wave reflection which would confine the oil in sea water [2]. The case of Portonovo is more troubling. Here there is a strong coarsening of sediments downdrift in accordance with the storm direction [5; 14]; as stated before, storm berms made of cobbles are frequently developed, especially towards the edges of the beach that represent the most vulnerable areas of Portonovo. The process related to the development of high storm berms, also of few orders, towards the beach

limits is the beach rotation. Shoreline rotation is an active phenomenon both in Sirolo [17] and in Portonovo [15]. Oil burial processes of mixed beaches were also explained by [18], highlighting the dangerous concomitance of storm berms deposition, beach rotation and downdrift coarsening of sediments after a storm event. Another critical issue is the lack and the scarcity of access points. Especially in Sirolo, where the entire beach is limited backward by the cliff, the only access for cleaning purposes after an eventual oil spill is from the sea. The NOAA (2002) classification [23] was born for different water environments and specifically for meso- and macro-tidal oceanic beaches; therefore some critical issues were already noted by other authors. According to [2], grain size is the most important factor to evaluate the burial entity and the penetration depth, and this aspect is usually neglected by investigations on pure sandy beaches. [2] highlighted also that NOAA (2002) classification, is hardly applicable to microtidal beaches because beach slope is likely overrated if compared to the wider oceanic beaches. [1] found that an extra factor should be considered by the NOAA (2002) classification which is the dynamicity of a beach. The studied beach changed after few years its vulnerability level from 3 to 6 because the concomitant effect of seasonal storms and sediment deficit that no longer could nourish the beach. The surface sandy layer of the beach was then eroded, transforming it in a gravel beach. A similar process was already noted in Portonovo as shown in Figure 2.

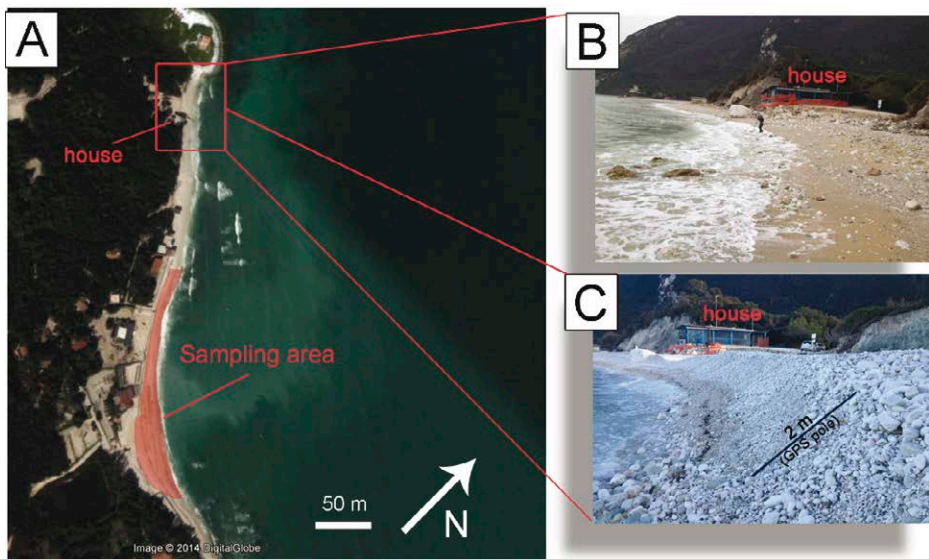


Figure 2 – View of the same beach portion of Portonovo after two storm driven by opposite direction (B storm from NE, C storm from SE). The high dynamism associated to burial and the clear sediment size variation can be noticed comparing B and C figures.

## Conclusions

The oil tankers traffic affecting the offshore area of the two study sites is elevated. From a geomorphic and sediment point of view, Portonovo could be assessed as vulnerability level 6 given its more predominant gravel fraction if compared to Sirolo which is a proper mixed beach with a vulnerability level 5. On both beaches, the bimodal direction of storm approaching is the controlling factor of geomorphology and grain size variations. Burial and/or penetration of oil resulted the most worrying elements to consider in case of oil spill. Especially after storm events, when storm berms tend to be piled up with impressive thickness towards the beach limits, burial and penetration of oil could reach significant entities (2.5-2.8 m in Portonovo and 1.6-1.7 m in Sirolo). The NOAA (2002) classification, born for oceanic beaches, could be improved with the addition of a “dynamicity” factor that could account for significant short term variations in terms of sediments and geomorphic features. A more specific classification is needed, suitable for microtidal beaches, which could assess the risk level basing on the human use and the biological characteristics.

## References

- [1] Aps, R., Tõnisson, H., Anfuso, G., Perales, J. A., Orviku, K., Suursaar, Ü. - *Incorporating dynamic factors to the Environmental Sensitivity Index (ESI) shoreline classification-Estonian and Spanish examples*. J. Coast. Res. (2014), 70, 235-240.
- [2] Bello Smith, A., Cerasuolo, G., Perales, J. A., Anfuso, G. - *Environmental Sensitivity Maps: the northern coast of Gibraltar Strait example*. J. Coast. Res. (2011), 64, 875.
- [3] Bencivenga, M., Nardone, G., Ruggiero, F., Calore, D. - *The Italian data buoy network (RON)*. Proc. Advan. Fluid Mech. (2012), IX, 321-332.
- [4] Brekke, C., Solberg, A. H. - *Oil spill detection by satellite remote sensing*. Remote sens. Envir. (2005), 95, 1, 1-13.
- [5] Carr, A.P., Gleason, R., King, A. - *Significance of pebble size and shape in sorting by waves*. Sed. Geol. (1970), 4, 89-101.
- [6] Ciavola, P., Taborda, R., Ferreira, Ó. - *Field observations of sand-mixing depths on steep beaches*. Mar. Geol. (1997), 141, 1, 147-156.
- [7] Colantoni, P., Mencucci, D., Baldelli, G. - *Idrologia e idraulica costiere processi litoraliattuali e deposizione dei sedimenti*. In: Coccioni, R., Eds. (2003), Verso la gestione integrata della costa del Monte San Bartolo, Urbania, 15-37.
- [8] Fattal, P., Maanan, M., Tillier, I., Rollo, N., Robin, M., Pottier, P. - *Coastal vulnerability to oil spill pollution: the case of Noirmoutier island (France)*. J. Coast. Res. (2010), 26, 5, 879-887.
- [9] Fiscella, B., Giancaspro, A., Nirchio, F., Pavese, P., Trivero, P. - *Oil spill detection using marine SAR images*. Int. J. Remote Sens. (2000), 21, 18, 3561-3566.
- [10] Ferreira, Ó., Ciavola, P., Taborda, R., Bairros, M., Dias, J.A. - *Sediment mixing depth determination for steep and gentle foreshores*. J. Coast. Res. (2000), 16, 3, 830-839.
- [11] Folk, R.L., Ward, W.C. - *Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters*. J. Sed. Petr. (1957), 27, 3-26.

- [12] Gambardella, A., Giacinto, G., Migliaccio, M., Montali, A. - *One-class classification for oil spill detection*. Pattern Anal. Appl. (2010), 13, 3, 349-366.
- [13] González, M., Medina, R., Bernabeu, A. M., Novoa, X. - *Influence of beach morphodynamics in the deep burial of fuel in beaches*. J. Coast. Res. (2009), 25, 4, 799-818.
- [14] Grottoli, E. - *Sediment transport and morphodynamics of mixed beaches: case studies of two Mediterranean sites*. PhD thesis (2015), University of Ferrara.
- [15] Grottoli, E., Bertoni D., Ciavola P., Pozzebon A. - *Short term displacements of marked pebbles in the swash zone: Focus on particle shape and size*. Mar. Geol. (2015), 367, 143–158.
- [16] Gundlach, E. R., Hayes, M. O. - *Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts*. Mar. Tech. Soc. J. (1978), 12, 4, 18-27.
- [17] Harley, M.D., Andriolo, U., Armaroli, C., Ciavola, P. - *Shoreline rotation and response to nourishment of a gravel embayed beach using a low-cost video monitoring technique: San Michele-Sassi Neri, Central Italy*. J. Coast. Cons. (2014), 18, 551–565.
- [18] Hayes, M. O., Michel, J., Noe, D. C. - *Factors controlling initial deposition and long-term fate of spilled oil on gravel beaches*. Proc. Int. Oil Spill Conf. American Petrol.Inst. (1991), 1, 453-460.
- [19] Jennings, R., Shulmeister, J. - *A field based classification scheme for gravel beaches*. Mar. Geol. (2002), 186, 211-228.
- [20] de Lange, W. P., de Groot, N. P. H. M., Moon, V.G. - *Burial and degradation of Rena oil within coastal sediments of the Bay of Plenty*. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research (2016), 50, 1, 159-172.
- [21] Michel, J., Hayes, M. O., Brown, P. J. - *Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska*. Envir. Geol. (1978), 2, 2, 107-117.
- [22] Nansingh, P., Jurawan, S. - *Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills*. Spill Sc. Tech. Bull. (1999), 5, 171–172.
- [23] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - *Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3*. NOAA Technical Memorandum Nos OR and R11 (2002). Hazardous Materials Response Division, National Ocean Service, Seattle, WA.
- [24] Pourvakhshouri, S. Z., Mansor, S. - *Decision support system in oil spill cases (literature review)*. Disaster Prevent. and Manag.: An Int. J. (2003), 12, 3, 217-221.
- [25] Regione Marche - *Studi, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del piano di difesa della costa*. Bollet. Uff. Reg. Marche (2005), 21, 4199–4675.
- [26] Santos C.F., Andrade, F. - *Environmental sensitivity of the Portuguese coast in the scope of oil spill events-comparing different assessment approaches*. J. Coast. Res. (2009), SI 56, 885-889.
- [27] Xu, L., Li, J., Brenning, A. - *A comparative study of different classification techniques for marine oil spill identification using RADARSAT-1 imagery*. Remote Sens. Envir. (2014), 141, 14-23.

# GEOMORPHOLOGICAL EVIDENCES OF THE EUSTATIC CONTROL ON THE QUATERNARY EVOLUTION OF BALAI COASTAL KARST AREA (NORTH SARDINIA, ITALY)

Laura Sanna<sup>1</sup>, Michele Uda<sup>2</sup>, Vincenzo Pascucci<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>CNR – Institute for Biometeorology, Traversa La Crucca, 3 - 07100 Sassari, Italy  
phone +39 079 2841513, telefax +39 079 2841599, e-mail: sanna@ibimet.cnr.it

<sup>2</sup>Gruppo Speleo Ambientale Sassari, Sassari, Italy

<sup>3</sup>Università degli Studi di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design, Urbanistica, Sassari, Italy

**Abstract** – The carbonate outcrop of Porto Torres constitutes the unique coastal karst of North Sardinia. In this study its geomorphological features have been investigated focusing along the Balai headland with the aim to reconstruct the eustatic and/or tectonic history of this coast.

In the area various orders of active and fossil wave-cut shore platforms, marine terraces, fossil and modern tidal notches, and lithodome holes bands have been observed at different elevation along the 3 km long carbonate shoreline. Other coastal physiognomies are directly related to karst dissolution and comprise coastal karren fields, solution pans and several caves opening along the marine cliff.

Among the karst systems, Fungo Cave is one of the most interesting. It is composed of two overlapping cave levels clearly developed along weakness in the limestone host rock. The marine influence on speleogenesis and its correlation with the current sea level have been analysed. In fact, it seems that cave development reflects the change in the eustatic conditions: the upper conduits formed likely during last interglacial, while the lower passages developed during sea level fall. Also a slight tectonic uplift is not excluded.

Both eustatic and tectonic processes are also responsible for the whole evolution of the typical landscape in the coastal karst of Balai promontory.

## Introduction

The coastal areas are currently the regions with the highest population densities in the world, subject to modifications often relevant even in minimum eustatic fluctuations. Because of global warming, the impact of climate change on the marine system in the coming decades should also be evaluated in terms of minimal changes. A detailed analysis of the ancient shorelines allows reconstructing how climate and glacial-eustatic variations affect the delicate balance of coastal environments [11].

These studies are a topic of great interest and relevance and represent the baseline on which to build predictions of possible scenarios of future environmental changes. In particular, the coastal karst landscapes are very important for investigations of the past sea level oscillations. In fact, coastal caves are among the more precise makers of the relative sea level position and offer an approach that filters out high-frequency information recorded instead in marine sedimentary successions. They can preserve sediments and landforms related to paleoenvironment that are otherwise difficult to find in deposits exposed on the surface. In the karst terrains, the erosion is limited compared to the non-



karst zones, since most of rainwater penetrates easily underground, giving rise to the formation of a network of voids where marine markers are protected.

The aim of this study is to investigate the karst features of the carbonate cliff of Balai headland (N Sardinia, Italy) through a geomorphological survey of epigeal and hypogean karst phenomena with the purpose of acquiring a technical-scientific knowledge capable to contribute to the reconstruction of the past evolution of the rocky promontory of Porto Torres coast in framework of the central-western Mediterranean.

## **Study area**

The Balai karst headland is located along the North coast of Sardinia, facing the central part of the Gulf of Asinara, near the town of Porto Torres and comprised between the homonymous harbour and Platamona beach (Fig.1). The carbonate rock outcropping in this area is a relatively flat plain weakly dipping North-towards, with an average altitude of 50 m asl. From a geomorphological point of view, this karst plateau has monocline geometry truncated by the coastal escarpment from 10 metres up to a maximum of 40 m high. The 3 km-long marine cliff is locally interrupted by small pebbly and sandy coves in correspondence of hanging dry valley.

Currently the hydrography is characterized by the complete lack of perennial surface water while groundwater circulation mostly flows to North-West, feeding the Rio Mannu River watershed [6], and only marginally towards the North, with some underwater outlets (Acque Dolci and Abbacurrente springs).

The climate is typically Mediterranean with an average annual temperature of 15.7 °C. It shows summer thermal maximum that are mitigated by the thermoregulatory influence of the sea, while in winter the cold period is almost non-existent, with summer and winter temperature averages of 24.0 °C and 9.6 °C, respectively [3]. The rainy season records a fairly scarce mean rainfall regime of 500 mm per year, spread over 66 days [12]. During the dry season (from May to September) some southerly storm events occur, often bringing Saharan dust. The wind unquestionably characterizes the climate of the area, where the westerlies dominate by frequency and intensity. The territory has a very sparse vegetation cover and rock outcrops are widespread.

## **Geological setting**

The study area lies in the Porto Torres Sub-basin (PTB), a Neogene extensional basin located in north-western Sardinia and originated as a result of the counterclockwise rotation of the Corsica-Sardinia block, during the opening of the Ligurian-Provencal and Balearic basins [15]. The PTB is a 16 km-wide, NNW-oriented semigraben which extends in the Gulf of Asinara. It is in onlap on the structural high of Nurra region to the West, where Miocene deposits directly cover the Triassic and Jurassic units of the Mesozoic carbonate sequence, with rare interposed Oligo-Miocene pyroclastic flows [16]. It dips to East where is bordered by a major N-S oriented fault (Osilo Fault). Its southern margin is recognized in the Ittiri Fault that with its E-W trend represents a transfer zone with the adjacent Logudoro Sub-basin [5]. These two sub-basins share common sedimentary and

tectonic evolution which includes syn- and post-rift deposits [14]. The tectonically active phase during the opening of the basin was associated with the emplacement of calco-alkaline volcanic series (23-17 Ma) later covered with fluvial-lacustrine deposits (Burdigalian). In a later phase the sequence was drowned creating new space for the accommodation of post-rift sediments in which three depositional cycles corresponding to transgression-regression events have been recognized [8].

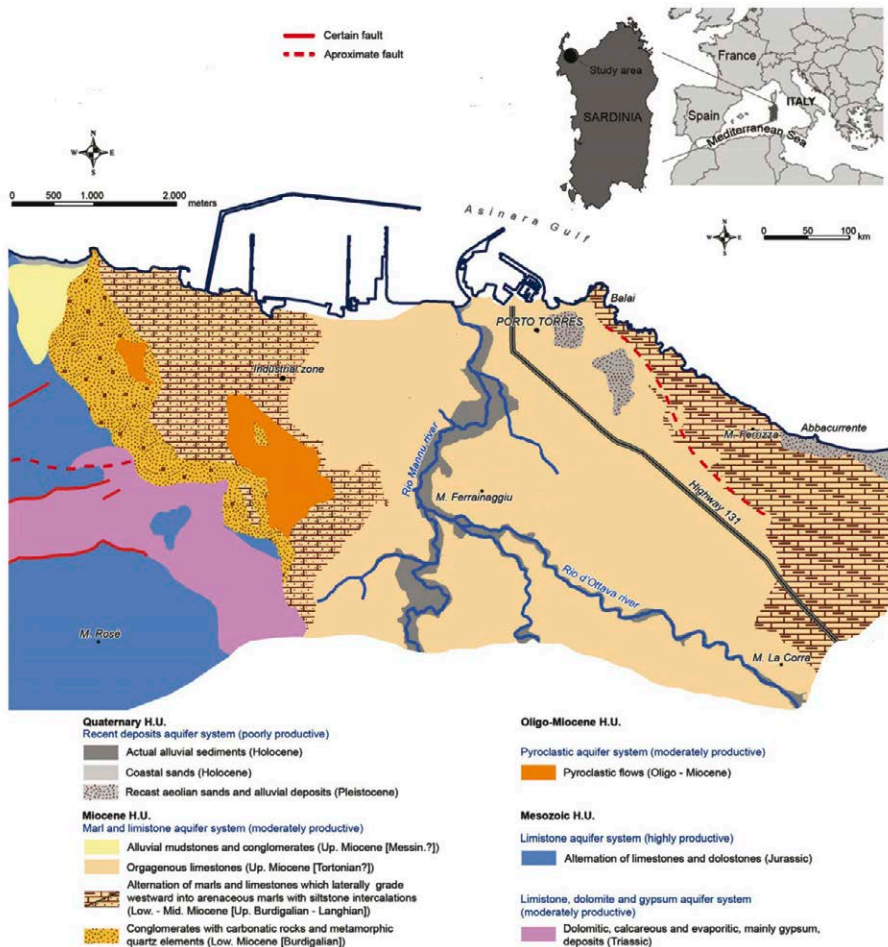


Figure 1 – The geological sketch map of the study area (modified from [6]).

The Miocene series consists of two major sequences: the first is a polygenic conglomerate with metamorphic quartz elements and carbonates clasts (Burdigalian) then covered by an alternation of marls and limestone which laterally grade westward into arenaceous marls with siltstone intercalations (upper Burdigalian - Langhian). The second

sequences are organogenous limestones (Tortonian) few meters thick that have a high permeability while the marls, rich in spatangoid and interbedded with limestones show a medium-low permeability, which is further reduced in the sandstone facies [6]. In the western sector of the basin on top of the previous sequences continental alluvial mudstones and conglomerates (Messinian) occur with thickness of about 40 m. The whole Miocene sequence has a significant increase eastward reaching 200 m of thickness. A limited outcrop around the urban area and along the coastline is characterised by Quaternary units represented by aeolian sands and alluvial deposits (Pleistocene) together with recent coastal sands and alluvial sediments (Holocene). Post-depositional high-angle faults with NNW and NNE trends (i.e. Abbacurrente Fault) have reorganized the geometry of this region [14]. According to some authors, except for the recent gravitational deformation, the area was affected by a continuous moderate uplift from Middle Pliocene to Pleistocene followed by a period of quiescence in the late Pleistocene and Holocene [1].

Detailing on the Balai promontory, organogenous limestones are not present in the study area and just marly lithologies rich in echinoderms, upper Burdigalian – Langhian in age, extensively outcrop. In its eastern zone the carbonates are covered with a horizon of coarse fossiliferous marine conglomerate (Pleistocene), overlapped from the bottom to the top by more or less well-cemented aeolian sand with marine bioclasts and continental brown-reddish and yellow-brown sands [13].

## **Geomorphological survey**

From November 2013 to September 2014 the carbonate coast between the Porto Torres harbour and the Balai chapel has been investigated for a total development of about 3 km in length. The fieldwork involved the observation of surface geomorphological features focusing on marine deposits and landforms linked to ancient shorelines, both on land and underwater. Based on the available literature it was also verified the correspondence of the data already entered into the speleological cadastre and the cave survey data collected during this study.

From a geomorphological point of view the Balai promontory constitutes an outcrop of Miocene eogenetic carbonates benches arranged in more or less horizontal plateau with an area of about one hectare. Morphologically the carbonate formation is slightly dipping towards NNW and is interrupted at the sea from a cliff with a height of about ten meters in the eastern sector. To the West it degrades according to dipping of the plateau up to the sea level with an alternation of low-elevated rocky platform interrupted by small sandy and pebbly beaches in correspondence Scoglio Lungo reef.

Along the longitudinal profile of the promontory, three morphological steps have been recognised at 15, 8 and 6.5 m a.s.l. that discriminate as many flat surfaces corresponding to wave cut platforms. The coastline is quite articulated, crossed by coves over 50 m long that cut the rocky coast perpendicularly to it, with width and depth below sea level that never exceeds 10 m and -5 m, respectively. These coves (a total of 7 in the study area) follow a series of fractures NE-SW and NW-SE oriented, and occasionally N-S, that are clearly visible inland on the bare rock.

On the cliff wall the modern tidal notch of about 0.5 m high and up to 2 m deep is recognizable. In carbonate coasts its development is amplified by the mixing of salt and

fresh water coming from the underwater springs [4]. In addition to the modern tidal notch an ancient one is present in some coves there at an elevation of 6.5 m a.s.l. together with three well defined lithodomes bands at 2, 6 and 8 m a.s.l.. In the most protected part of the coves marine conglomerates and sands are also preserved.

More inland, in the no-urbanised epigeal and hypogean karst phenomena are also observable. The surface karst phenomena are generally inconspicuous and represented by some macro-forms, as some sub-circular depressions (sinkholes) related to the collapse of cave roof. The most spectacular has a diameter of about 3 m and a depth that exceeds 10 m. Regarding to the micro-forms small corrosion trays (kamenitze) are present on the bare rock close to the sea spray zone, while karren fields are observed along the surfaces of the cliff.

The hypogean karst features include 18 coastal caves already described in the literature by the Gruppo Speleologico Sassarese caving club [10], 5 of which are hosted in the Balai headland. They are characterised by small size, horizontal trend, with a cross-section wider respect to their height. They are set in correspondence with rock weakness (fractures), for enlargement to a preferential level that generally corresponds to a marine markers (tidal notch, lithodome boreholes, etc.). Coastal caves are lacking completely in speleothems (stalactites and stalagmites) and are mostly invaded by the sea, some entirely other only partially. Moreover underwater springs were also localized along some fractures, but it was not possible to assess its discharge.

The most interesting karst system is Fungo Cave, located in the north-western side of the Balai headland, not far from the chapel. The cave is hosted in the Miocene marl

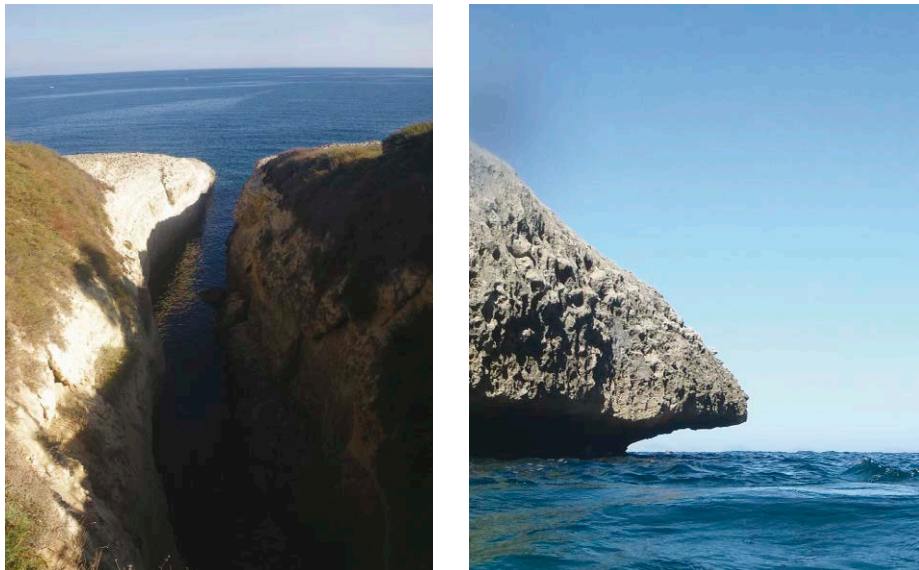


Figure 2 – Main features of coastal karst area of Balai headland: on the left, a 50 m long cove; on the right, the modern tidal notch.

along a fracture oriented 30° N and is organized on two horizontal and stacked levels, one partly submerged and the other one completely emerged with an overall spatial development of 45 meters. The two conduits are connected by an impenetrable passages along the fracture on which they develop. The lower entrance opens at the sea level and the upper one at 3.5 m a.s.l.. The upper gallery has a 3 m-wide and 3.5 m-high entrance that give access to a slightly ascending gallery of 10 m in length, closed by sediments. From the base to the top, they consist of coarse pebbles covered by continental fine sands with a thickness of 1.5 m. A channel cut these deposits filled by a 8 cm-thick layer constituted by a brownish soil overlaid by 1 m-thick sands with rare carbonate pebbles. The same sedimentary sequence was found in another cove not far from this cave. Litophaga boreholes was found on the cave wall up to a maximum height of 6.5 m a.s.l.. At the same elevation a fossil tidal notch was observed. The lower conduit has flooded entrance 0.8 m wide and 2 m high above the present sea level, while sea floor is localized at -4 m b.s.l.. Along its straight longitudinal profile of about 35 m in length a modern tidal notch was observed. An underwater rounded enlargement was detected at about 1 m b.s.l., that shrink in size towards the inland part of the cave, where the cross section assumes a shape larger that high. The lower conduit ends on a blind passage filled by pebbles floated by waves action.



Figure 3 – Epigean karst features: on the left, coastal kamenitzes; on the right, structural discontinuity along which caves develop.

## Discussion

The geomorphological data collected during this study lead to define the evolution of the coastal karst landscape in Balai headland. Based on field observations it is evident



that the area has preserved a record of the past sea level oscillations both on the surface and within coves and caves, while erosion has erased any marine clue along the cliff segments exposed to high energy waves action.

The development of karst processes in this coastal area is related to mixing corrosion along rock weakness, at the interface between groundwater lens and sea water, the so-called Cave Flank Margin genetic model [9]. A minor contribution is related to tectonic as element that affects porosity of the carbonate outcrop. The role of waves action, typical erosion phenomenon of sea caves, seems rather marginal given that all the caves in this area are relatively protected within deep coves. Even the evolution of the coves is influenced by the mixing of waters with different salinity and the sea level oscillation rather than from the hierarchical importance of the surface drainage network. In fact the predominance of structural control is evident in the coves genesis with karst processes involved in enlargement and then collapses of underground conduits and/or capture of sinkholes. In this sense, the coves of the Balai promontory could be defined as the so-called "Calas", a characteristic element of the coastal morphology in carbonate plateau of the Mallorca island, in which the interaction between karst processes and deep river incision during the sea level low-stand created straights coastal canyons cut perpendicular to the coastline. Their shape and size is not related to the catchment area neither to the lithology, but rather to the density of fractures and their spacing [7].



Figure 4 – Past marine markers along the coastal cliff: on the left, the ancient tidal notch at +6.5 m a.s.l. and the entrances of Fungo Cave; on the right, the +8 m a.s.l. lithophaga boreholes band.

The presence of wave cut platforms, marine fossil conglomerates and lithodomes boreholes at different elevations along the coastline indicate that the sea level fluctuations are a key factor in the evolution of this coastal karst area. In the Mediterranean, the highest eustatic stages were recorded during Quaternary interglacial phases, such as during MIS 5e (125 000 years ago) with +4-6 m a.s.l. on average in Sardinia [2]. Lacking radiometric dating for the observed marker the chronological constrain of the geomorphological evolution of Balai promontory could be based only on paleontological age of fossils hosted in the marine conglomerate. If Sardinia is considered a stable island in the last 200 000 years, it could be assumed that the marine wave cut platform and the lithodomes boreholes band at 6.5 m a.s.l. correspond to the MIS 5e, while marine wave cut platforms at 8 and 15 m a.s.l. are older, presumably related to MIS 9 (337-300 ka) and MIS 11 (424-374 ka), respectively, when in the island a moderate uplift was present. In subaerial condition, probably since the end of the Pliocene, the fractures served as preferential drainage network within the carbonate platform.

The underground drainage of meteoric water along this structural weakness created proto-conduits that extended for the entire length of the coves at an elevation dictated by the watertable, similarly to the current feeding of the submarine springs. Due to the sea level still stand, the mixing corrosion action close to the coastline would have widened the passages and allowed the preferential carbonate dissolution at the interface salt-fresh waters, the lithophaga colonization and the deposition of marine conglomerates. The subsequent eustatic oscillations would lead the development of conduits at a lower level, the upstream erosion of the coves and the retreat of the cave entrances. During the glacial phases, the sea-level low stand (about -120 m) left the marine platform exposed continental environment, leading to the deposition of aeolianites and cave sandy infills.



Figure 5 – Past marine wave cut platforms at +6.5 m and +8 m a.s.l. along the coast of Balai promontory. The highest at +15 m a.s.l. correspond to the top of the hill on the right.

## Conclusions

The coastal karst landscapes are very important to study the past sea level oscillations, since they can preserve sediments and landforms that otherwise are difficult to find in deposits exposed on the surface. In karst areas the erosion is limited compared to the non-karst regions, since most of rainwater easily penetrates underground, giving rise to the formation of a network of underground "voids", that preserves the marine markers.

The karst geomorphology of Balai headland reflects the changes in sea level: flat surfaces (e.i. marine wave cut platforms), chemical erosion (e.i. tidal notches) and biological (e.i. lithodome holes) morphologies, clastic deposits of marine and continental environment.

The study of the Fungo Cave revealed different speleogenetic phases that can be also correlated with the landscape evolution of the area. The upper cave conduit seems to be a relic of a eustatic level at an altitude of +6.5 m a.s.l., probably during last interglacial. At the same time of the lithophaga community settlement and tidal notch development on the cave walls, the waves action eroded more exposed part of the carbonate platform and a high energy conglomerate deposited in already existing voids and in zones protected from the cliff retreat. The subsequent sea-level low-stand has led to the development of the lower conduit, currently flooded by seawater, and to the rapid incision of the coves, as their hanging walls indicate.

Radiometric dating such as geochemical techniques on fossil shells and OSL on aeolian sands would chronologically constrain the evolution of this coastal sector by providing useful data for the reconstruction of the eustatic curve of northern Sardinia. It should be an important input into models for future projections and scenarios of global sea level rise.



Figure 6 – A thick fossiliferous marine conglomerate covered by Aeolian sands and alluvial sediments deposited on a wave cut platform.



## References

- [1] Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Zanferrari A. - *Neotectonic Map of Italy. 1:500,000 - Sheet 3.* (1987) SELCA, Firenze.
- [2] Antonioli F., Ferranti L., Kershaw S. - *A glacial isostatic adjustment origin for double MIS 5.5 and Holocene marine notches in the coastline of Italy.* Quaternary International (2006) 145-146, 19-29.
- [3] Biondi E., Filigheddu R., Farris E. - *Il paesaggio vegetale della Nurra (Sardegna nord-occidentale).* Fitosociologia (2001) 38 (2): 3-105.
- [4] Forti P. - *Le cavità di origine continentale e la loro evoluzione marina. In: Grotte Marine. Cinquanta anni di ricerca.* Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (2003) pp 505.
- [5] Funedda A., Oggiano G., Pasci S. - *The Logudoro basin: a key area for the tertiary tectono-sedimentary evolution of North Sardinia.* Boll. Soc. Geol. Ital. (2000) 119, 31-38.
- [6] Ghiglieri G., Carletti A., Pittalis D. - *Analysis of salinization processes in the coastal carbonate aquifer of Porto Torres (NW Sardinia, Italy).* Journal of Hydrology (2012) 432-433, 43-51.
- [7] Gomez-Pujol L., Gelabert B., Fornos JJ., Pardo-Pascual JE., Rossellò VM., Segura FS., Onac B.P. - *Structural control on the presence and character of calas: observations from Balearic Islands limestone rock coast macroforms.* Geomorphology (2013) 194, 1-15.
- [8] Martini IP., Oggiano G., Mazzei R. - *Siliciclastic-carbonate sequences of Miocene grabens of northern Sardinia, western Mediterranean Sea.* Sedimentary Geology (1992) 76, 63-78.
- [9] Mylroie JE., Carew JL. - *The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platform.* Earth Surface Processes and Landforms (1990) 15, 413-424.
- [10] Mucedda M., Cossu S. - *Le grotte costiere di Porto Torres.* Speleologia Sarda (1984) 49, 1-20.
- [11] Pirazzoli P.A. - *Sea Level Study. Geomorphological indicators.* Treatise of Geomorphology (2013), 377-384.
- [12] Pulina M.A. - *Clima.* In: Pietracraprina A (Ed.), La Nurra, Ed. Gallizzi, Sassari (1989): 51-61.
- [13] Segre A.G. - *Molluschi del Tirreniano di Porto Torres e di Golfo Aranci (Sardegna).* Boll. Serv. Geol. It. (1952) 73, 3-24.
- [14] Sowerbutts A. - *Sedimentation and volcanism linked to multiphase rifting in an Oligo-Miocene intra-arc basin, Anglona, Sardinia.* Geological Magazine (2000) 137 (4), 395-418
- [15] Thomas B., Genesseeux M. - *A two-stage rifting in the basins of the Corsica-Sardinian Straits.* Marine Geology (1986) 72, 225-239.
- [16] Vigorito M., Murru M., Simone L. - *Architectural patterns in a multistory mixed carbonate-siliciclastic submarine channel, Porto Torres Basin, Miocene, Sardinia, Italy.* Sedimentary Geology (2006) 186, 213-236.

# COASTAL MONITORING FOR XBEACH MODEL CALIBRATION IN THE ANALYSIS OF THE COASTAL EROSION AT CESENATICO

Silvia Unguendoli<sup>1,2</sup>, Barbara Zanuttigh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Arpae Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteoClima, Viale Silvani 6, - 40122 Bologna Italy. Phone +39 0516497513, e-mail: [sunguendoli@arpae.it](mailto:sunguendoli@arpae.it)

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università degli Studi di Bologna, Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna Italia. e-mail: [silvia.unguendoli2@unibo.it](mailto:silvia.unguendoli2@unibo.it)

**Abstract** – Many of the most densely populated areas are located near the coast which is a vulnerable system, affected by erosion and flooding [18]. In order to provide an efficient coastal management and coastal risk reduction, a fundamental knowledge of the hydrodynamic and morphodynamic processes in the coastal areas is needed. Numerical models are usually adopted to support long-term and short-term predictions. They need to a proper calibration/validation that is possible thanks to field measurements. XBeach [12] is used in this analysis as a tool to describe the morpho-dynamic coastal behavior. Thanks to a monitoring of a coastal stretch of the Emilia-Romagna littoral, at Cesenatico, it was possible a sensitivity analysis and a morphological calibration of the model.

***Riassunto** – La zona costiera, nella quale si concentrano le aree maggiormente popolate, è un sistema vulnerabile, soggetto ad erosione e inondazioni [18]. Allo scopo di effettuare un'efficiente gestione della costa e riduzione del rischio costiero è fondamentale avere una buona conoscenza dei processi idro-morfodinamici che si verificano vicino a riva. I modelli numerici vengono sempre più spesso utilizzati a supporto delle previsioni a lungo e breve termine. Tali modelli necessitano però di una buona calibrazione/validazione, possibile grazie alla disponibilità di dati di campo. In tale studio, il modello XBeach [12] viene utilizzato come strumento per l'analisi dell'evoluzione morfologica di spiaggia. Grazie al monitoraggio di una zona costiera dell'Emilia-Romagna, a Cesenatico, è stato possibile eseguire un'analisi di sensitività e ad una calibrazione morfologica del modello.*

## Introduction

Always more frequently, erosion of the Emilia-Romagna beaches and inundation of the hinterland areas occurs as a results of extreme events (large storm surges and high waves) with simultaneous strong wave and sea level increase. These events cause many damages to beaches and to the structures located in the areas behind. The morphological trim of the coastal plain, characterized by large areas with altimetric elevations near or lower than the mean sea level, aggravates such criticality [8]. The several extreme storm events, that occur on our littoral, are the cause of large losses of sandy material by the emerged beach. This phenomena leads to a beach extent reduction and consequently it causes an higher exposition to flooding risk and marine ingression of the behind inhabited

areas. Indeed, in many cases, the waves run up on the whole emerged beach, causing flooding of the rural areas and damages to buildings. Furthermore the most dynamic coastal changes take place during extreme events and so it's important to focus on them, because they often reach relevant significant wave height and sea level rise until 1 m.

The aim of this study is to analyze the erosion phenomena through the use of the numerical modelling. In particular, an analysis of the beach profile evolution due to extreme storm events and the consequent erosion quantification are presented. A coastal stretch of the Emilia-Romagna littoral between Cesenatico and Cervia was chosen as study area. Topo-bathymetric and sedimentological surveys were performed before and after two single storm events. XBeach model [12] was used in the analysis as tool to describe the morphodynamic behaviour and to investigate the importance of the coastal processes. A sensitivity analysis and calibration of the model was carried out.

## Case study

Cesenatico is located in the Emilia-Romagna littoral. For the study a coastal stretch of about 1 km was chosen (Fig.1). The region coasts are featured by dissipative beaches composed by medium-fine sediment sand.

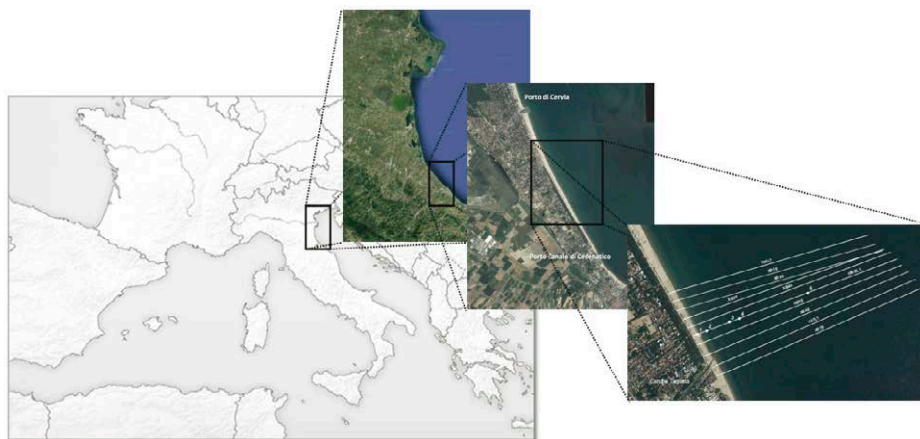


Figure 1 – Localization of the study area, beach relief sections and sampling points.

*Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio, sezioni di rilievo e punti di campionamento.*

Also, their altitude is little higher than the mean sea level [10]. The coast is NorthWest - SudEast oriented and it overlooks on Northern Adriatic Sea and it limits a little steeper epicontinental platform featured by low tidal amplitudes [6]. The most critical wave events come from North-East (Bora, ~60°N) and South-East (Scirocco, ~120°N). Bora wind is a fast cold wind that occurs during the winter period and it provides the most energetic event. The wave climate and the movement of currents of the Northern Adriatic Sea are

heavily influenced by this wind [13]. More than half of the Emilia-Romagna coasts (about 74 km) are shielded by *hard-defenses*. The *shore-detached breakwaters* are the most used and they defend about 40 km of coast [9]. The remaining 30 km are protected by *along-shore breakwaters*, *low crested structures*, *sand bag barriers* and *groynes* [1]. The stretch analysed for the study has no defence structures. The net sediment transport is north-sud oriented [1]. The bed level is featured by well formed sand bars. This morphological elements ensure a better wave breaking and so an improved littoral defence.

## Material and Methods

### Topo-bathymetric surveys

Topo-bathymetric surveys took place along 10 cross-shore transects (Fig.1), with spacing of about 100 m. The topographic and bathymetric relief covered emerged and submerged beach, starting from the highest point of the beach up to the bathymetric of 8 m.

Each cross-shore section is composed by an emerged beach around 150-200 m and a submerged stretch long about 2000 m. Altogether the monitoring covered about 20-22 km of topo-bathymetric profiles. If present, the winter dike has been properly detected, defining measuring points at the foot and at the height of the structure.

The beach profiles were divided in the following sections, related to the different methodology used for the reliefs:

- *Emerged/submerged beach*: head of section – 1 m depth. The relief was made with a geographic positioning system (GNSS), double frequency, manually transported by an operator. Plano-altimetric placement was performed using the NRTK satellite receiver differential mode. The elevations referred to the ellipsoid ETRF2000 have been converted in to orthometric levels using the ARPA Benchmarks. The acquisition of measuring points was made with a distance within the range 2÷5 m.
- *Submerged littoral*: 1 m depth – section closing (-8 m). The relief was made with a geographic positioning system (GNSS), coupled by a depth single-beam eco-sounder with single frequency (210 khz) with a transducer P01540 installed on a special boat. Plano-altimetric placement was performed using the NRTK satellite receiver differential mode.

### Sedimentology

Surface sediment samples were taken in 6 points placed along the profile 106BL, at various depths. The samples of the emerged beach were collected with a shovel, while for the submerged beach was used a lightweight bucket type Van Veen. The samples were conserved inside plastic bins sufficiently large to place in much of the water, allowing the deposition of the fine fraction and then carefully remove the excess water. The grain size analyses were performed in the laboratory of the provincial section of Arpa Ravenna, while the sedimentological parameters were calculated using Gradistat software [3]. In the context of the present study was used as input for the model given the D50 sedimentologic averaged about 6 samples.

## Storm events

In the winter 2015-2016, two storm events occurred on the Emilia-Romagna littoral, were measured. The wave heights were extracted by the NAUSICAA buoy located approximately 8 km offshore from Cesenatico. The tide levels were obtained by the tidal gauges located at Porto Garibaldi and Rimini. Because of the failure of the tidal gauge located at Porto Corsini (Ravenna), a data processing was required. The features of the events are reported in Tab.2, while the trend of wave heights and tidal levels in Fig.2.

Table 1 – Significant storm events. *Tabella 1 – Eventi ondosi significativi.*

	Initial Date	Final Date	Duration [h]	H <sub>max</sub> [m]	T <sub>picco</sub> [s]	Level <sub>max</sub> [m]
<b>Event 1</b>	21 Nov 2015	29 Nov 2015	240	3.33	10	0.55
<b>Event 2</b>	27 Febr 2016	2 March 2016	144	2.3	11	0.80

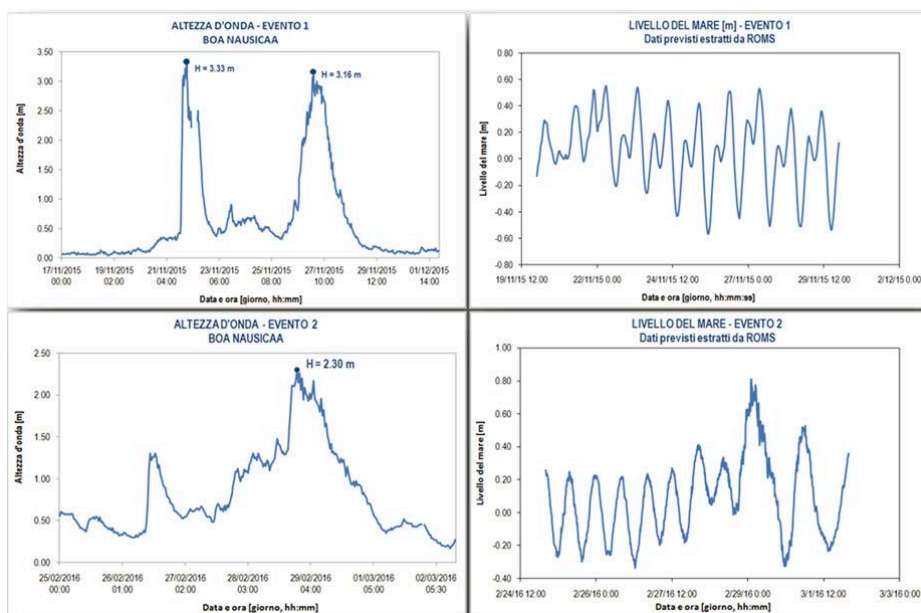


Figure 2 – Wave height and sea level of the storm events.

*Figura 2 – Altezza d'onda e livello del mare degli eventi ondosi.*

The event forecast was a crucial point for the study, in particular in order to have the necessary time to make the pre-storm relief. To cope with this complication, the support of the forecast-modeling area of Arpa Emilia-Romagna has been essential. Processing of the weather forecast up to 3 days before the event was made using the global model of the European Centre (ECMWF) deterministic and Ensemble (ECMWF – EPS). Moreover, to refine the short term forecast the limited area forecast models (COSMO) have been used.

## Numerical modeling with XBeach model

The second part of the study focused on the numerical modeling with XBeach model. It is a 2DH (depth averaged) model that solves coupled short wave energy, flow and infragravity wave propagation, sediment transport and bed level change. The model has a robust numerical scheme [15], allowing it to simulate flooding and drying, thereby removing the need for separate dry and wet domains and procedures. XBeach uses a coordinate system in which the x-axis is oriented towards the coast, approximately perpendicular to the shoreline. The model allows the grid size to vary in cross shore and long-shore direction. A more comprehensive description is given by Roelvink *et al.* (2009).

### Sensitivity Analysis

The XBeach model has a number of free parameters which can be used to calibrate the model. These govern the parameterizations in the short wave hydrodynamics, flow, sediment transport and bed update [7]. A sensitivity study was carried out in order to define the significant parameters related to the model performance.

A first mono-dimensional series of simulations was run using the pre-storm data measured as morphological input. The beach profile was represented with a varying distance grid with a distance points that varying by 10 m off-shore to 1 m near-shore.

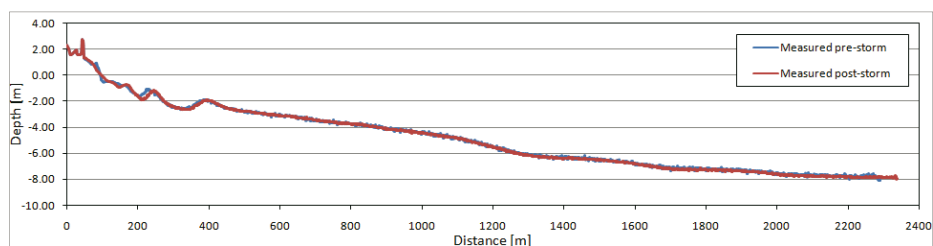


Figure 3– Measured beach profile pre and post-storm.

*Figura 3 – Profilo di spiaggia rilevato pre e post mareggiata.*

Fig.3 shows an example of a beach profile measured pre and post-storm in the study area. All measured profiles have a double sand bars located at 2-3 m depth and a slope of 3 % onshore and 0.4 % for the bed level. The wave and surge data described in the previous section were entered as input for all the simulations. The wave data were entered in spectral mode with the *Jonswap* spectrum. Thanks to sedimentological samples, performed at different depths, it was also possible to characterize the beach profile with the D50 diameter.

Several validations of the model provided the default values for each model parameter. This values can also be varied within their validity range. A reference simulation was made, in which the default values for each parameters were used [11]. This simulation was used as a reference to define the model performance.

An approach “one-at-the-time” was followed [14]. A single parameter was varied for each run within their validity range. Because of the large amount of parameters it was not possible to analyze the entire input “space” and so only the significant parameters have

been subjected to the analysis. The sensitivity analysis was carried out on the following parameters, reported in Tab.2.

Table 2 – Analyzed model parameter and their description.

*Tabella 2 – Parametri del modello analizzati e la loro descrizione.*

Parameter	Description	Default Value	Range
<b>cf</b>	Bed friction coefficient	55	20 ÷ 100
<b>cmax</b>	Maximum allowed sediment concentration	0.1	0.0 ÷ 1.0
<b>delta</b>	Fraction of wave height to add to water depth	0	0.0 ÷ 1.0
<b>eps</b>	Threshold water depth above which cells are considered wet	0.005	0.001 ÷ 0.1
<b>epsi</b>	Ratio of mean current to time varying current through offshore boundary	-1	-1.0 ÷ 2.0
<b>facua</b>	Calibration factor time averaged flows due to wave skewness and asymmetry	0.1	0.0 ÷ 1.0
<b>fw</b>	Short wave friction factor	0	0.0 ÷ 1.0
<b>gamma</b>	Breaker parameter	0.55	0.4 ÷ 0.9
<b>gammax</b>	Maximum ratio wave height to water depth	2	0.4 ÷ 5.0
<b>gwflow</b>	Turn on groundwater flow	0	0 / 1
<b>hmin</b>	Threshold water depth above which Stokes drift is included	0.2	0.001 ÷ 1.0
<b>lws</b>	Switch to enable long wave stirring	1	0 / 1
<b>morfac</b>	Morphological acceleration factor	1	0.0 ÷ 1000
<b>smax</b>	Maximum Shields parameter for equilibrium sediment concentration	-1	-1.0 – 3.00
<b>turb</b>	Switch to include short wave turbulence	bore_averaged	none, wave_averaged, bore_averaged
<b>umin</b>	Threshold velocity for upwind velocity detection	0	0.0 – 0.2
<b>wetslp</b>	Critical avalanching slope under water	0.3	0.1 – 1.0
<b>dryslp</b>	Critical avalanching slope above water	1	0.1 – 2.0
<b>break</b>	Breaker formulation	Roelvink2	Roelvink1, Roelvink2, Roelvink_daly, Janssen

As indicator of the morphological evolution, for each simulation were defined: shoreline retreat, beach runup and erosion volume of the emerged beach. A *Sensitivity Index (SI)* was calculated for the different parameters with the equation shown in (1):

$$SI = \frac{Value_x}{Value_{default}} \quad (1)$$

Where  $Value_x$  is the  $n$ -simulation output value, and  $Value_{default}$  represents the corresponding value of the reference simulation (default).

In Fig.4 are shown the sensitivity indices calculated on the 2 % values of the shoreline retreat, runup and erosion volumes above MSL. This index provide a comparison between the  $n$ -simulation and the reference simulation, defining the model sensitivity due to the variation of the single parameter.

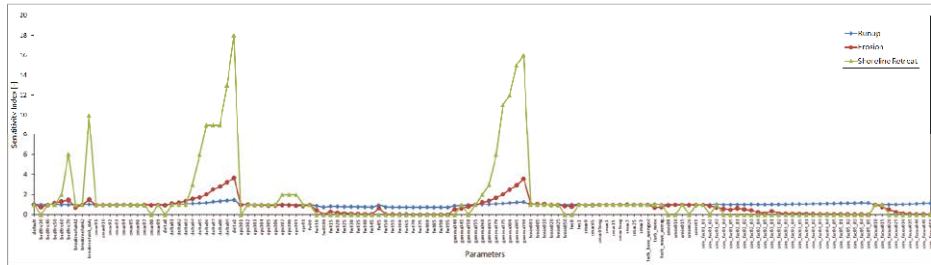


Figure 4 – Sensitivity Index for the several model parameters.

Figura 4 – Indici di sensitività per i differenti parametri.

### Morphological calibration

The sensitivity analysis results underline a requirement of a correctly calibration of the model for low and sandy coasts like in the study area. The performance of the model are heavily influenced by different parameters values. Since no measurements exist in order to calibrate the hydrodynamics of the model, only the morphological calibration was possible.

When waves propagate to the near-shore, their shapes gradually change due to the combination of wave shoaling, breaking and nonlinear interactions. XBeach is a (short) wave-averaged model which resolves hydrodynamics associated with the shape of wave-group, as a result it does not explicitly solve short-wave shape. As a result, wave asymmetry and skewness are parameterized in the model. *Facua* enhances the effect of predicted wave non-linearity, affecting also the estimated sediment transport rates.

It was possible to calibrate that morphological parameter comparing the forecasted beach profiles with the measured data. The model performance was asses with *Brier Skill Score (BSS)*. Correlation of the measured profiles (pre-storm  $x_b$  and post-storm  $x_p$ ) and modelled profile ( $x_m$ ) can be expressed as follows (2):

$$BSS = 1 - \left( \frac{\langle |x_m - x_p|^2 \rangle}{\langle |x_p - x_b|^2 \rangle} \right) \quad (2)$$

Where  $x_m$  represents the final XBeach profile,  $x_b$  is the measured pre-storm profile and  $x_p$  is the measured post-storm profile. The classification of the ability of the model with



the BSS is defined as follow:  $BSS < 0$  *bad*,  $0 < BSS < 0.3$  *poor*,  $0.3 < BSS < 0.6$  *reasonable/fair*,  $0.6 < BSS < 0.8$  *good* and  $0.8 < BSS < 1$  *excellent* [16]. The BSS is commonly used as statistical indicator for numerical model evaluation, especially for morphological changes [4]. The BSS values were calculated for the stretch of the profiles above MSL, in order to not negatively influence the results with the sandy bars presence. RMSE and bias were used as additional indicators of the model performance.

## Results

The results of the sensitivity analysis showed that for the area of application (ie low and sandy coasts), the model is more sensitive to: *cf*, *delta*, *facua*, *gamma*, and *fw*. Considerable variations are visible in the erosion volumes because these parameters are related to the sediment transport rate. Also the formulation for the wave dissipation (*break*), influences significantly the results. Sensitivity analysis showed that the other parameters least affect the simulated morphological response. Therefore, the default values overestimates the emerged beach erosion volumes.

The results of reference simulation provide negative values of BSS for all beach profiles. BSS values below 0 imply that the initial profile is a more reliable prediction of the final topography than the one predicted by the model. The calculation of the BSS indicates the different trend of the model skill for all the parameters. The little variations of BSS values of the parameters *cmax*, *eps*, *smax*, *umin* point out that they have a very small effect on the model performance. An increase of the bed friction coefficient *cf* and breaker parameter *gamma* produces a worsening forecast skill of the model. Best results were obtained for the short wave friction factor *fw* and the calibration factor due to wave skewness and asymmetry *facua* that provide positive BSS values. The model setup recommended for the study area resulted in an average BSS = 0.60 (good) for all tested erosion events and defining a *facua* value of 0,30. Fig.5 represents the case of 106L1 beach profile. The first graph shows BSS, RMSE and bias values for different *facua* values, while the second shows the erosion volumes. At right (Fig.5) the beach evolution for different *facua* values is shown.

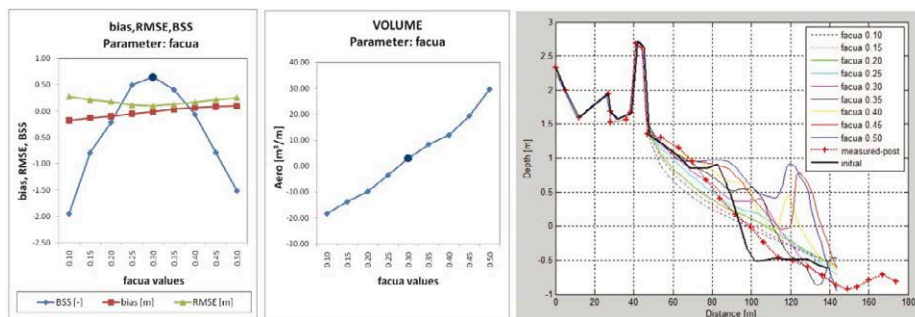


Figure 5 – Facua parameter analysis: bias, RMSE, BSS (left), erosion volumes (center), profile evolution for different values of facua (right).

Figura 5 – Analisi del parametro facua: bias, RMSE, BSS (sinistra); volumi di erosione (centro); evoluzione del profilo con diversi valori di facua (destra).

## Conclusions

This study has described an application of the XBeach model to analyze the morphological beach evolution during two separately storm events. A study area of Emilia-Romagna littoral was chosen for the analysis of hydro-morphodynamic near-shore processes. In situ, topo-batymetric and sedimentological surveys were made along 10 beach profiles, respectively pre and post-storm. The relief allowed to validate the numerical model XBeach in reference to low and sandy coasts of Cesenatico. Thanks to the availability of measured data pre and post-storm event it was possible to make a morphological calibration of the model. As a result of a sensitivity analysis of the parameters, it was shown a model sensitivity to some parameters which hence need a calibration. The most relevant parameter was *facua*, which is related to sediment transport due to the wave shape.

The study demonstrates that the XBeach model can be used with good skill to predict the hydrodynamic and morphodynamic processes near-shore but it needs to a good calibration of the parameters. It shown that XBeach performance largely improved when calibrated parameters value were used instead of default values as said by McCall et al., 2010; Roelvink et al, 2009 and so use of the model without proper testing and validation is not recommended. The crucial point of the study is the necessity of an accurate monitoring plan that provides the measured data to the analysis and the validation of the numerical models used in the coastal areas. Without the monitoring of the coastal areas the use of numerical models is very limited.

## Acknowledgments

This research was possible thanks to funding provided by Arpae Emilia-Romagna to make the coastal monitoring of the Cesenatico littoral. Acknowledgments to forecast-modeling area of the Hydro-Meteo Climate Service of Arpae Emilia-Romagna as forecasting support.

## References

- [1] Aguzzi M., Bonsignore F., De Nigris N., Morelli M., Paccagnella T., Romagnoli C., Unguendoli S. - *Stato del litorale emiliano-romagnolo al 2012. Erosione e interventi di difesa*. I quaderni di Arpae (2016), 227 pp.
- [2] Armaroli C., Ciavola P., Perini L., Calabrese L., Lorito S., Valentini A., & Masina M. - *Critical storm thresholds for significant morphological changes and damage along the Emilia-Romagna coastline*, Italy, *Geomorphology*, (2012) 143–144: 34–51.
- [3] Blott S.J. & Pye K. - *Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments*. *Earth Surf. Process. Landforms*, (2001) 26, 1237–1248.
- [4] Bugajny N., Furmańczyk K., Dudzińska-Nowak J. & Paplińska-Swerpel B. - *Modelling morphological changes of beach and dune induced by storm on the Southern Baltic coast using XBeach (case study: Dziwnow Spit)*. *Journal of Coastal Research*, (2013) 65 - International Coastal Symposium Volume 1, 672 – 677.

- [5] Harley M., Armaroli C. & Ciavola P. - *Evaluation of XBeach predictions for a real-time warning system in Emilia-Romagna, Northern Italy*. Journal of Coastal Research, (2011) 64, 1861-1865.
- [6] Martinelli L., Zanuttigh B., Corbau C. *Assessment of coastal flooding hazard along the Emilia Romagna littoral, IT*. Coastal Engineering, (2010) 57, 11-12, 1042-1058.
- [7] McCall, R.T., Van Thiel, J., de Vries, N.G. Plant, A.R. Van Dongeren, J.A. Roelvink and D.M. Thompson. *Two-dimensional time dependent Hurricane overwash and erosional modeling at Santa Rosa Island*. Coastal Engineering (2010) 57, 668–683.
- [8] Perini L., Calabrese L., Deserti M., Valentini A., Ciavola P., Armaroli C. - *Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna 1946-2010*. Progetto Micore. I quaderni di Arpa. (2011) 144 pp.
- [9] Preti M., De Nigris N., Morelli M., Monti M., Bonsignore F., Aguzzi M. - *Stato del litorale all'anno 2007 e piano decennale di gestione*. I quaderni di Arpa. (2008) 271 pp.
- [10] Regione Emilia-Romagna: Servizio Geologico Sismico e dei Suoli. - *Il Sistema Mare-Costa dell'Emilia-Romagna*, a cura di Perini L. & Calabrese L. (2010) 239 pp.
- [11] Roelvink D., Ad Reniers A., van Dongeren A., van Thiel de Vries J, Lescinski J., McCall R.. - *XBeach model description and manual 6end*. Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology. (2010) 108 pp.
- [12] Roelvink D., Ad Reniers A., van Dongeren A., van Thiel de Vries J. , McCall R., Lescinski J. - *Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*, Coastal Engineering, (2009) 56, 1133–1152.
- [13] Signell R.P., Chiggiato J., Horstmann, J., Doyle J.D., Pullen J., Askari F. - *High-resolution mapping of Bora winds in the northern Adriatic Sea using Synthetic Aperture Radar*. Journal of Geophysical Research, (2010) 115, 20 pp.
- [14] Simmons J. A., Marshall L. A., Turner I. L., Splinter K. D., Cox R. J., Harley M. D., Hanslow D. J., Kinsela M.A. - *A more rigorous approach to calibrating and assessing the uncertainty of coastal numerical models*. Australasian Coasts & Ports Conference 2015: 22nd Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 15th Australasian Port and Harbour Conference. Auckland, New Zealand: Engineers Australia and IPENZ, (2015) 821-827.
- [15] Stelling, G.S. and Duinmeijer, S.P.A., - *A staggered conservative scheme for every Froude number in rapidly varied shallow water flows*. International Journal for Numerical Methods in Fluids, (2003) 43(12), 1329-1354
- [16] Van Rijn L.C., Walstra D.J.R., Grasmeijer B., Sutherland J., Pan S., Sierra J.P. - *The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based Profile models*. Coastal Engineering, (2003) 47, 295-327.
- [17] Vousdoukas, M.I., Ferreira, O., Almeida, L.P., Pacheco, A. - *Toward reliable storm-hazard forecast: XBeach calibration and its potential application in an operational early-warning system*, Ocean Dynamics (2012) 62,1001-1015
- [18] Zanuttigh B., Simcic D., Bagli S., Bozzeda F., Pietrantoni L., Zagonari F., Hoggart S., Nicholls R.J. - *THESEUS decision support system for coastal risk management*, Coastal Engineering, (2014), Volume 87, p 218-239.

## **SESSION**

# **COASTLINE GEOGRAPHY: TERRITORIAL DYNAMICS AND INTEGRATED PROTECTION**

**Chairman: Donatella Carboni**  
**Dipartimento di Scienze Umanistiche e Sociali**  
**Università degli Studi di Sassari**



# LE GROTTE DEL BUE MARINO (SARDEGNA NORD-ORIENTALE) NELLO SVILUPPO DI UN SISTEMA TURISTICO INTEGRATO

Graziella Benedetto<sup>1</sup> Donatella Carboni<sup>2</sup> Alberto Mario Carta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio, Università di Sassari - [gbenedet@uniss.it](mailto:gbenedet@uniss.it)

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Umanistiche e Sociali, Università di Sassari - [carbonid@uniss.it](mailto:carbonid@uniss.it)

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio, Università di Sassari

**Riassunto** – L’esperienza turistica nella sua interezza e il ruolo di Internet come fonte principale di informazione turistica devono essere tenute in debita considerazione dalle DMO (*destination management organization*) locali che creano una destinazione turistica di successo. Guardando alla letteratura esistente sul turismo e ICT (*Information and Communication Technologies*) e focalizzando – al contempo – sul caso specifico delle Grotte del Bue Marino, questo lavoro discute della necessità di una migliore concettualizzazione della relazione tra la ricerca d’informazione turistica attuata nel cosiddetto “cyberspazio” e l’esperienza turistica reale *in situ* sottolineando – nel contempo – la mancanza di una metodologia comune e validata scientificamente per valutare la qualità dell’informazione turistica disseminata nel World Wide Web.

**Abstract** – *The tourist experience as a whole and the role of the Internet as the main source of travel information must be taken into account by local DMOs (destination management organizations) building a successful tourist destination. Looking at existing literature in tourism & ICT (Information and Communication Technologies) while focusing on the specific case of the Bue Marino Caves, this paper discusses the need to better conceptualize the relation between tourist information search in the so called “cyberspace” and the tourist experience in the reality on site, while underlining the lack of common and scientifically validated methodologies to evaluate the quality of tourist information scattered on the World Wide Web.*

## Introduzione

Il presente lavoro si colloca all’interno di uno studio più ampio (Progetto Finanziato dalla Regione Sardegna – Legge 7/2007) che mira alla valutazione e valorizzazione delle Grotte del Bue Marino (Fig. 1). In questa sede è stato affrontato il tema della valorizzazione ponendo le Grotte del Bue Marino al centro di un sistema turistico integrato, in cui esse costituiscono il principale attrattore, un simbolo territoriale “forte” capace di promuovere lo sviluppo locale.

Si è adottato un approccio interdisciplinare considerando tre aspetti della tematica in oggetto:

1. il continuo trasformarsi del rapporto uomo-ambiente al centro dell’esperienza turistica per effetto della mediazione degli strumenti ICT – *Information and Communication Technologies*;

2. le conseguenze che ciò comporta dal punto di vista economico nel marketing del prodotto turistico e nella costruzione dell'offerta turistica territoriale;
3. il ruolo dei processi comunicativi per l'informazione turistica e la promozione dell'offerta turistica territoriale tenendo in stretta osservazione – come sopra – la tematica dell'innovazione e trasformazione continua della prassi comunicativa attraverso l'uso delle ICT.

Un ruolo rilevante nel lavoro svolto è rappresentato dall'esperienza sul campo e dall'adozione di un approccio di “osservazione partecipante”, ossia dal tentativo di riprodurre i processi informativi che caratterizzano le prassi decisionali (*decision-making*) dei visitatori delle Grotte del Bue Marino e che si muovono nel sistema territoriale di cui sono il principale attrattore.

Al centro della presente analisi si pone così la ricostruzione dell'esperienza di fruizione turistica nel territorio nel quale si collocano le Grotte del Bue Marino a partire da un concetto fondamentale, ossia dalla crescente centralità dalle nuove tecnologie ICT e dal conseguente delinarsi di due dimensioni “spaziali” fondamentali dell'esperienza turistica progressivamente mediata da queste:

- la dimensione “virtuale” del cosiddetto “cyberspazio”;
- la dimensione “reale” nello spazio ambientale e culturale del territorio.

Il concetto, sociologicamente [1] e psicologicamente [2] inteso, di “esperienza turistica” deve rientrare nel campo d'interesse del presente lavoro giacché l'essere umano rappresenta il cardine (punto di partenza e punto di arrivo) dello sviluppo di un sistema turistico integrato.

Se la continua trasformazione dell'esperienza turistica è determinata dalla costante evoluzione delle tecnologie ICT (soprattutto<sup>1</sup> nei processi informativi, comunicativi e promozionali [3]), allora le caratteristiche e le modalità di questa trasformazione continua dell'esperienza dovranno essere tenute in debito conto:

1. nel design di quegli strumenti ICT (principalmente siti web e applicazioni informative mobili) creati e/o utilizzati dalle DMO – *Destination Management Organisations*;
2. nella selezione delle componenti stesse dell'offerta turistica territoriale e nella loro integrazione ad opera delle stesse DMO;
3. (in ultima analisi) nello studio delle sfide sempre nuove che il marketing turistico [4] trova di fronte a sé.

Se la definizione di un concetto tanto rilevante come quello di “esperienza turistica” non è univoca nella comunità scientifica, tuttavia vi è sostanziale accordo generale nell'analizzarla a partire dalla dimensione temporale e di suddividerla in step/fasi consecutive. I primi a teorizzare questa suddivisione furono Clawson and Knetsch (1966) [5] che suddivisero l'esperienza turistica in cinque fasi:

anticipazione → viaggio verso il sito → attività *in situ* → viaggio di ritorno → fase del ricordo

Successivamente Craig-Smith and French (1994) [6] definirono un modello dell'esperienza turistica divisa in tre fasi lineari:

fase anticipatoria → fase esperienziale *in situ* → fase riflessiva

---

<sup>1</sup> ma sappiamo che anche i processi di scelta e acquisto del prodotto turistico sono costantemente condizionati dalla trasformazione e innovazione delle ICT.

mettendo l'accento sull'influenza delle fasi precedenti nella formazione delle successive. Allo stesso modo Vittersø et al. (2000) [7] fanno riferimento a processi pre-esperienza, durante l'esperienza e successivi all'esperienza, per arrivare al più recente Neuhofer (2014) [8] che parla di:

esperienza nella fase pre-viaggio → esperienza nella fase in viaggio → esperienza nella fase post-viaggio

Ebbene l'influenza dell'evoluzione delle ICT (guardando in particolare ai processi informativi, comunicativi e promozionali) incide profondamente in tutte le fasi dell'esperienza turistica, determinando così una continua trasformazione in tutta l'industria del turismo (sotto ogni aspetto e in ogni settore della filiera<sup>2</sup>), trasformazione che le DMO devono tenere sotto stretta osservazione per creare la propria offerta turistica territoriale.

## **Zona di studio**

L'area in cui è ubicato il comune di Dorgali è dominata dalle rocce calcaree del Mesozoico; esse connotano il paesaggio con morfologie spettacolari e aspre, caratterizzate da altopiani imponenti con i loro limiti segnati da profonde scarpate che conducono rapidamente nel fondovalle.

Il centro abitato è situato alla base di una scarpata calcarea che, per motivi di basculamento tettonico verso est, costituisce un imponente dirupo lungo circa 30 chilometri, quasi al passaggio tra la formazione calcarea mesozoica e il sottostante basamento paleozoico, costituito da rocce metamorfiche spesso profondamente alterate.

Un altro elemento geologico che contraddistingue questo comune è la presenza delle colate basaltiche del Pliocene, vaste aree di questo territorio sono marcate dal paesaggio tabulare o sub orizzontale delle colate laviche. Tali manifestazioni vulcaniche sono molto presenti nell'area circostante il Monte Bardia che sovrasta l'abitato.

La costa è determinata da una lunga falesia solo localmente interrotta da brevi tratti di spiaggia, sabbiosa o ciottolosa, in corrispondenza delle foci dei torrenti che solcano i calcari mesozoici con profonde forre e cañon, denominate in questa zona "codule". La colata di lava proveniente dall'abitato di Dorgali si immerge lungo la costa di Orosei determinando l'esistenza delle due piccole spiagge di Osalla e Cartoe ubicate ai lati della colata che forma un netto promontorio sulla linea di costa.

La scelta della localizzazione del centro abitato è stata dettata dalle particolari condizioni idrogeologiche della regione: in questi punti era assai più facile trovare sorgenti di un certo interesse e si potevano facilmente coltivare terreni sabbioso argillosi decisamente più idonei all'agricoltura rispetto ai suoli residuali del calcare, più noti in letteratura come "Terre Rosse".

Il grande corso d'acqua di questa area è il fiume Cedrino, che corre, per gran parte del suo tratto finale, lungo un profondo cañon inciso sulle colate sovrapposte relative agli eventi vulcanici che hanno interessato questa regione per oltre un milione di anni.

---

<sup>2</sup> Si pensi solamente alla rivoluzione della cosiddetta *Sharing Economy* fondata proprio su un utilizzo tanto permeante delle ICT da trasformare completamente la filiera turistica eliminando progressivamente le attività di intermediazione e il modo di creare l'offerta.



La forte presenza di calcari ha favorito, inoltre, lo sviluppo di una circolazione idrica sotterranea, alimentando numerosi corsi d'acqua che caratterizzano imponenti sistemi ipogei come la Grotta del Bue Marino.

La Grotta del Bue Marino (Fig. 1) è ubicata tra Cala Gonone e Cala Luna e ricade nel territorio di Dorgali. Da oltre 50 anni è visitata da decine di migliaia di turisti e da numerosi speleologi, attirati dalla bellezza e dalla complessità geologica delle sue grandi gallerie.

La cavità, il cui sviluppo è attualmente di oltre 20 km, è raggiungibile via mare con imbarcazioni oppure via terra, percorrendo un facile sentiero che inizia da *Cala Fuili*, una piccola spiaggia posta alla fine della strada litoranea a sud di *Cala Gonone*. Riveste grande interesse sotto il profilo naturalistico, socio-economico e culturale.

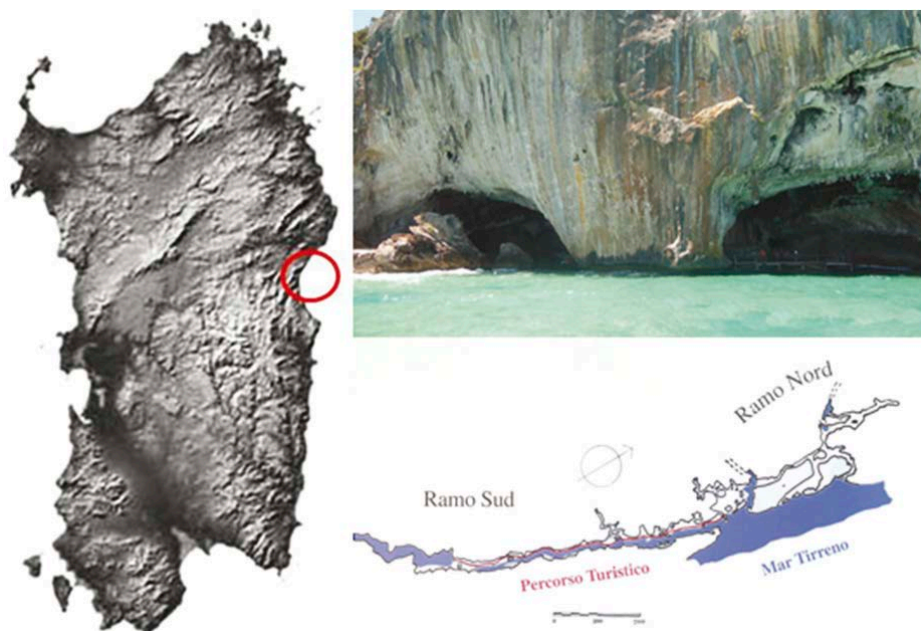


Figura 1 – La *Grotta del Bue Marino* è schematicamente composta da tre diversi rami che si congiungono in prossimità del mare, confluentovi con due alti e spettacolari portali. Nella figura sono posti in evidenza l'ubicazione geografica, la pianta e l'ingresso del ramo nord.

## Obiettivi

Il lavoro si pone come obiettivo principale il calarsi nell'esperienza turistica virtuale e reale dei fruitori turistici allo scopo di:

1. fare una prima valutazione della capacità delle DMO che operano in Sardegna (e che creano l'offerta turistica territoriale legata alle Grotte del Bue Marino) di cogliere l'importanza della creazione di connessioni (*link*) e quindi di una rete (*web*) tra la Grotta e le emergenze del territorio circostante;

2. offrire un punto di partenza per promuovere lo sviluppo locale mettendo al centro della politica territoriale la Grotta del Bue Marino e predisponendo la creazione di un “circuito virtuoso” che porti il turista dalla Grotta al territorio e dal territorio alla Grotta, attraverso l’integrazione progressiva delle altre emergenze locali (culturali, enogastronomiche, folkloristiche e religiose) in un unico sistema.

Gli effetti della creazione di un circuito virtuoso simile sono evidentemente di carattere economico e sociale e di forte impatto nel lungo periodo.

## Materiali e metodi

Nel presente lavoro si è partiti da uno studio dettagliato delle diverse emergenze, presenti nel territorio in cui si collocano le Grotte del Bue Marino, procedendo ad una loro catalogazione e raccogliendo sia quelle che possiamo identificare come “informazioni turistiche” [3] che quelle che possiamo definire “conoscenze scientifiche” relative a ciascuna di esse.

Un ruolo rilevante nel lavoro svolto è rappresentato dall’esperienza sul campo e dall’“osservazione partecipante” dell’esperienza turistica (virtuale e reale) con l’adozione di un approccio qualitativo ampiamente utilizzato – tra l’altro – nella progettazione e valutazione delle ICT [9] [10] [11] [12].

Nello specifico, il processo di analisi al centro del presente lavoro è composto dalle seguenti fasi:

1. Esplorazione di alcuni siti internet promozionali dell’offerta turistica territoriale:
  - a. a partire dai processi d’interrogazione del World Wide Web più semplici e diffusi (ossia a partire dall’interrogazione del motore di ricerca più diffuso, Google, attraverso delle semplici parole-chiave);
  - b. procedendo alla ricostruzione della “rete” delle emergenze d’interesse turistico collegate/collegabili alle Grotte del Bue Marino verificando il grado di sviluppo di una rete di *hyperlink* tra i siti web selezionati;
  - c. successivamente costruendo degli ipotetici/potenziati itinerari di visita che connettano due o più emergenze durante uno o più giorni di visita.
2. Valutazione sul campo della corrispondenza tra l’esperienza virtuale di un insieme (più o meno integrato) di emergenze territoriali con valenza turistica e quanto si riscontra nell’esperienza reale:
  - i. la possibilità o meno per il turista di “collegare” nella propria esperienza di visita “reale” le Grotte del Bue Marino con le altre emergenze territoriali;
  - ii. la corrispondenza tra le informazioni turistiche e le conoscenze scientifiche raccolte nell’esplorazione del cyberspazio e le informazioni e conoscenze cui si ha accesso nell’esperienza reale.

L’obiettivo generale del lavoro è valutare la capacità delle DMO in Sardegna di creare connessioni (*link*) efficaci e quindi una rete (*web*) o “circuito virtuoso” tra la Grotta e le emergenze del territorio circostante (punto di partenza per la costruzione di un sistema turistico integrato) attraverso un’efficace comunicazione turistica nello cyberspazio e nel mondo reale.

La valutazione di questa capacità passa innanzitutto (dimensione del cyberspazio virtuale) nella ricostruzione della rete di *hyperlink* tra i siti di promozione turistica selezionati:

gli *hyperlink* infatti – come è noto sin dalle considerazioni del suo fondatore Berners-Lee [13] – sono l’essenza stessa del World Wide Web perché permettono la costruzione di una rete di riferimenti che imita e riproduce i processi cognitivi dell’essere umano [14].

Tuttavia non è possibile dare una piena valutazione della suddetta capacità delle DMO senza una opportuna verifica sul campo che segua i percorsi dei turisti e si cali pienamente nella loro esperienza del territorio attraverso i mediatori “tradizionali” dell’informazione turistica (punti IAT – Informazione e Accoglienza Turistica, guide turistiche, cartellonistica informativa, etc.) e i nuovi mediatori ICT della comunicazione mobile [3: 20-22]

## Risultati ottenuti

Nella definizione di un metodo che permetta di “osservare partecipando” (con il miglior grado possibile di immedesimazione) all’effettiva esperienza del turista (genericamente inteso), si è proceduto a ipotizzare un processo riproduttivo che segua il percorso esperienziale sia nello spazio virtuale che reale.

Partendo dalle considerazioni di Pencarelli T., Cioppi M., Splendiani S., 2011 [15] che mettono in evidenza – in relazione alla valutazione dell’usabilità e dell’efficacia dei siti web nella loro funzione informativa – come non esista una metodologia universalmente riconosciuta e come sia difficile parlare univocamente di “qualità” dei siti web, si è deciso di ricostruire le tante possibilità offerte ad un turista alla ricerca di un’esperienza turistica alle Grotte del Bue Marino per poi – nelle fasi successive del lavoro – seguire alcuni percorsi tra dimensione virtuale e dimensione reale per valutare la capacità delle DMO in Sardegna di creare connessioni (*link*) efficaci e quindi un circuito virtuoso tra la Grotta e le emergenze del territorio circostante.

Il processo – ancora in corso di realizzazione – è composto dai seguenti *step*:

1. Interrogazione del motore di ricerca più diffuso, Google, attraverso delle semplici parole-chiave “Grotte Bue Marino”;
2. Esplorazione delle prime 5 pagine risultanti e annotazione delle emergenze territoriali riportate con maggiore frequenza;
3. Raccolta di informazioni dettagliate sulle principali emergenze e redazione di opportune schede che mettano insieme informazioni turistiche “generaliste” e conoscenze scientifiche aventi per oggetto le stesse emergenze;
4. Costruzione di ipotetici/potenziati itinerari di visita (attraverso la rete di *hyperlink* nei siti web individuati) che connettano due o più emergenze durante uno o più giorni di visita;
5. Verifica sul campo – nella dimensione reale – della effettiva possibilità di connettere tra di loro le emergenze turistiche, osservando in particolare:
  - a. l’esistenza di percorsi/collegamenti fisici praticabili (terrestri e/o marini);
  - b. il rispetto delle indicazioni di fruizione descritte sul web (ad es. giorni ed orari di apertura, presenza di servizi di guida e accompagnamento e altri servizi – ristorazione, servizi igienici, etc. – il grado di accessibilità nell’esperienza reale delle conoscenze scientifiche disponibili sull’emergenza).

Dei suddetti cinque *step* sono stati completati i primi tre con la realizzazione di venticinque schede relative alle emergenze individuate di cui si riporta a titolo esemplificativo la scheda relativa alla spiaggia di Cala Luna (Fig.2).

## Cala Luna.

### Localizzazione

Comune di riferimento Dorgali, al confine col territorio comunale di Baunei.  
Località Costa orientale, Golfo di Orosi, tra Cala Gonone e Cala Sisine.  
Coordinate 40° 13' 36" N 9° 37' 34" E

### Caratteristiche

Tipologia Spiaggia con grotte naturali che si aprono sul mare.  
Datazione Mesozoico.  
Uso originario Nella prima metà del novecento era un importante centro per la raccolta del carbone prodotto nelle fornaci del supramonte di Baunei e veniva detta "Portu 'Elune".  
Uso attuale Sito di importanza naturalistica.  
Stato di conservazione Ottimo.

Descrizione Cala Luna si presenta come una lingua di sabbia bianchissima a forma di mezzaluna che rappresenta la foce del torrente che delimita il confine tra il territorio comunale di Baunei e di Dorgali, pertanto è stata formata dai depositi delle acque dell'omonima codula che ha origine sulle pendici del monte Oseli (984 m slm) nel comune di Urzulei. A ovest l'istmo divide il mare da un piccolo lago naturale di acqua dolce (diverso ogni anno per forma e dimensioni) punto di arrivo delle acque della "Codula de Iluna". Nella parte antistante alla battigia a nord sono presenti 5 grottoni naturali e numerose insenature formatesi in seguito all'azione erosiva del mare sulle rocce calcaree; a sud svetta la ripida parete rocciosa. Alle spalle della spiaggia domina la natura selvaggia con le rocce spettacolari scolpite dalla maestria del vento, con la fitta macchia-foresta caratterizzata da lecci monumentali e ginepri rossi isolati e contorti o raggruppati a formare un'agrovigliata bosaglia, con lo stagno incorniciato dai giunchi e dal boschetto di oleandri rosa (che dopo lo sradicamento dovuto all'alluvione del 1997 sembra aver ripreso l'antico vigore): un mix di forme e colori che dà ancora più risalto ai toni blu-cobalto-verde dell'acqua, all'azzurro brillante del cielo, all'arenile bianchissimo e agli scogli di un grigio degradante. Tra le sue peculiarità la cala annovera il roccione "Su Masongiu" e la "Punta dei Lastroni" (sul lato sud) ove attraccano le motobarche con i visitatori.

La cala è stata la cornice per la registrazione di numerose pellicole del cinema nazionale ed internazionale: per esempio è stata uno dei set del film "Travolti da un insolito destino" sia nella versione con Mariangela Melato (1974) che nel successivo remake con Madonna.

La falesia a picco sul mare (circa 300 m. di altezza), che costeggia la cala sia a Nord che a Sud, è internamente costituita da rocce carbonatiche mesozoiche ricoperte da espadimenti basaltici plio-quaternari e da depositi detritici quaternari, mentre il complesso carbonatico lungo la fascia costiera è rappresentato da formazioni giuresi. Alcune parti della falesia sono chiodate e attirano ogni anno numerosi climbers. Tipica di questa zona è una particolare pietra di natura vulcanica, chiamata ossidiana. Il territorio, comunque, resta per la maggior parte caratterizzato da roccia di natura calcarea che ben s'interseca con la tipica macchia mediterranea circostante e offre un prezioso habitat a specie rare quali l'aquila reale, il falco pellegrino e il gabbiano corso.

Lungo la codula si rinvenivano depositi alluvionali con grossi massi granitici sferoidali e percorrendo il sentiero che conduce alla cala si possono osservare le innumerevoli scanalature della roccia calcarea separate da una serie di croste taglianti che evolvono a valle nei campi carreggiati incisi sulla massa calcarea.

La spiaggia, molto lunga, presenta una sabbia grossa mista a sassi; il fundale è basso e perciò agevole per i bambini; le sue acque trasparenti e limpide sono molto apprezzate da chi pratica la pesca subacquea.

### Informazioni e servizi

È raggiungibile via mare con mezzi propri o tramite escursioni in battello con partenza dal porticciolo di Cala Gonone, dalla spiaggia della Marina di Orosi, da Santa Maria Navarrese, e Arbatax e via terra tramite trekking con partenza da Teletottes attraverso un difficile sentiero partendo da Cala Fulli o da Baunei.

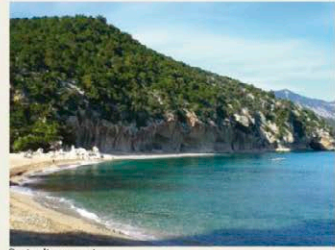
Visite	Ragione sociale	Indirizzo	Sito web	Info	Tel.
Via mare	Cala Gonone crociere	Piazza del Porto, 1, 08020, Cala Gonone	<a href="http://www.calagononecrociere.it">www.calagononecrociere.it</a>	<a href="mailto:info@calagononecrociere.it">info@calagononecrociere.it</a>	0784 93302 0784 93305 348 4160163 338 9583436 338 7823499
	Daivegolia srl	Via S.Michele,snc, 08048, Turtoli	<a href="http://www.daivegolia.it">www.daivegolia.it</a>	<a href="mailto:info@daivegolia.it">info@daivegolia.it</a>	334 7849316 347 7209696 340 0560861
	La Favorita srl	Via Colombo, 08022, Cala Gonone	<a href="http://www.escursionicalagone.it">www.escursionicalagone.it</a>	<a href="mailto:info@escursionicalagone.it">info@escursionicalagone.it</a>	347 7209696 340 0560861
	Nuovo Consorzio Marittimo Ogliastra	Porto Turistico, 08040, Santa Maria Navarrese	<a href="http://www.marcoagliastra.com">www.marcoagliastra.com</a>	<a href="mailto:info@marcoagliastra.it">info@marcoagliastra.it</a>	0782 628024 0782 615173
Via terra	Salinas	Baunei	<a href="http://www.supramontescelvaegio.it">www.supramontescelvaegio.it</a>	<a href="mailto:salinas@supramontescelvaegio.it">salinas@supramontescelvaegio.it</a>	340 5665739
Via mare e via terra	Escursioni Dolmen Servizi turistici	Piazza del Porto, 08020, Cala Gonone	<a href="http://www.sardegnaascoprire.it">www.sardegnaascoprire.it</a>	<a href="mailto:info@sardegnaascoprire.it">info@sardegnaascoprire.it</a>	360 692431 347 6698192 340 5357627

### Bibliografia

FLORIS F. (a cura di), *Grande Enciclopedia della Sardegna* (PDF), Sassari, Newton & Compton Editori, 2007.

### Sitografia

<a href="http://www.calalunasardegna.it">www.calalunasardegna.it</a>	<a href="http://www.sardegnaturismo.it">www.sardegnaturismo.it</a>	<a href="http://www.trekkingbaunei.it">www.trekkingbaunei.it</a>	<a href="http://www.visitbaunei.it">www.visitbaunei.it</a>
<a href="http://www.marcoagliastra.com">www.marcoagliastra.com</a>	<a href="http://www.sardegnaasentieri.it">www.sardegnaasentieri.it</a>	<a href="http://www.trekkingisardegna.it">www.trekkingisardegna.it</a>	
<a href="http://www.sardegnaasentieri.it">www.sardegnaasentieri.it</a>	<a href="http://www.supramontescelvaegio.it">www.supramontescelvaegio.it</a>	<a href="http://www.tripadvisor.it">www.tripadvisor.it</a>	



Serie di grottoni.



Vista mare dall'interno di uno dei grottoni.

Figura 2 – Scheda di raccolta dell'informazione nello cyberspazio: esempio per il sito di Cala Luna.

## Conclusioni

La definizione di una strategia di sviluppo territoriale che porti alla creazione di un sistema integrato dell'offerta turistica deve necessariamente prendere le mosse da un'analisi il più possibile aderente alla realtà dell'esperienza che il turista fa durante tutto il suo percorso dal luogo di residenza al luogo di destinazione finale. L'esperienza turistica nelle sue dimensioni spazio-temporali è influenzata dalle ICT in maniera sempre più permeante, certamente sul piano informativo e conoscitivo con la rete di connessioni rappresentate dal World Wide Web, ma sempre più anche sul piano dell'esperienza sensoriale e del vissuto attraverso tecnologie che stanno assumendo un ruolo come mediatori/canali dell'esperienza dei luoghi fisici [16]. Le novità più importanti sono quelle tecnologie come la realtà aumentata e la modellazione 3D [17] in grado di incidere profondamente sull'esperienza dei territori a valenza turistica sia nella dimensione temporale (anticipando virtualmente la loro fruizione sulle pagine web di presentazione/promozione) che nella dimensione spaziale (arricchendo lo spazio reale di contenuti dallo cyberspazio).

Anche limitando l'attenzione alle sole tecnologie del World Wide Web, l'ampiezza delle possibilità conoscitive insite nel passaggio dalla semplice rete di informazioni (web 1.0) alla costruzione partecipata dei contenuti e delle conoscenze (web 2.0) sino alla trasformazione in atto della costruzione del web semantico (web 3.0), mostra alle DMO un orizzonte di rivoluzione costante del modo di fare turismo e creare offerta turistica di cui devono tenere necessariamente conto.

Il complesso delle informazioni e delle conoscenze disponibili che ruotano intorno alle Grotte del Bue Marino e al suo "territorio vasto" potranno rappresentare il cardine dell'offerta turistica integrata solo se pienamente e facilmente accessibili: l'accessibilità è innanzitutto collegata alla loro connessione – e quindi "trovabilità"[18] – ed è il requisito necessario per prepararsi alla rivoluzione in atto del web semantico 3.0.

Proprio i DMS (*Destination Management Systems*) offrono la migliore area di applicazione per il paradigma del web semantico [19]. La disseminazione e lo scambio d'informazione costituisce infatti la spina dorsale della gestione delle destinazioni turistiche e i DMS permettono una migliore qualità d'informazione rispetto alla raccolta di quella "sparpagliata" nei siti web cui si ha accesso con le semplici ricerche per parole-chiave (*keyword-based searches*) realizzate con i motori di ricerca tradizionali (ad es. Google utilizzato nell'esplorazione nel cyberspazio per il lavoro qui presentato).

Proprio la possibilità di sfruttare appieno attraverso i DMS l'informazione e la conoscenza disseminata nel web è la promessa della rivoluzione in atto del web semantico 3.0. e l'orizzonte di sviluppo della comunicazione e del marketing turistico. La possibilità dello sfruttamento di queste potenzialità porta con sé la necessità che le informazioni e conoscenze disseminate nel cyberspazio trovino riscontro nel mondo reale e siano perciò pienamente vivibili nell'esperienza turistica, sebbene una metodologia per verificare questa corrispondenza non sia ancora condivisa dalla comunità scientifica.

## Bibliografia

- [1] Uriely N., *The tourist experience. Conceptual Developments*, Annals of Tourism Research, (2005), 32 (1), 199–216.

- [2] Larsen S., *Aspects of psychology of the tourist experience*, Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism, (2007), 7(1), 7–18.
- [3] Faggiani G., *Guida alla promozione turistica: la comunicazione delle località dei prodotti e delle occasioni*, (2011), Padova, CEDAM.
- [4] Volo S., *Conceptualizing Experience: A Tourist Based Approach*, Journal of Hospitality Marketing & Management, (2009), vol. 18, - Issue 2-3: The Marketing of Hospitality and Leisure Experiences, 111-126.
- [5] Clawson M. & Knetsch J., *Economics of outdoor recreation*, (1966), Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- [6] Craig-Smith S. & French CN., *Learning to live with tourism*, (1994), Melbourne, Pitman Publishing.
- [7] Vittersø J., Vorkinn M., Vistad O. I. & Vaagland J., (2000), *Tourist Experiences and Attractions*, Annals of Tourism Research, 27, 432–450.
- [8] Neuhofer B., *The Technology Enhanced Tourist Experience*, Information and Communication Technologies in Tourism, Baggio R., Sigala M., Inversini A. & Pesonen J. (Eds.), (2014), - Proceedings of the International Conference in Dublin (IR), Springer, 90–96.
- [9] Fele G., *Perché l'informatica si interessa all'etnografia? Appunti di una storia in corso*, Etnografia e Ricerca Qualitativa, (2009), 1, 49–76.
- [10] Garcia A. C., Standlee A. I., Bechkoff, J. & Cui, Y., *Ethnographic approaches to the internet and Computer-Mediated communication*, Journal of Contemporary Ethnography, (2009), 38(1), 52–84.
- [11] Hakken D., *Cyborgs@cyberspace?: An Ethnographer Looks to the Future*, (1999), Routledge Chapman & Hall, London.
- [12] Livari N., *'Representing the user' in software development—a cultural analysis of usability work in the product development context*, Interacting with Computers, (2006), 18(4), 635–664.
- [13] Berners-Lee T., *Information Management: A Proposal*, (1989), CH: CERN, Geneva.
- [14] Baggio R., Antonioli Corigliano M., *On the Importance of Hyperlinks: a Network Science Approach*, Information and Communication Technologies in Tourism, Buhalis D., Höpken W. & Gretzel U. (Eds.), (2009) - Proceedings of the International Conference in Amsterdam (NL), Springer, Wien, 309-318.
- [15] Pencarelli T., Cioppi M. & Splendiani S., *Web Communication nel Turismo: analisi dei portali turistici delle Regioni italiane*, “Corporate Governance and Strategic Communication”, (2011), Milano, IULM, 1- 29.
- [16] Tussyadiah I. & Fesenmaier D. R., *Mediating tourist experiences: access to places via shared videos*, Annals of Tourism Research, (2009), 36(1), 24–40.
- [17] Bellotti F., Berta R., Gloria A. & Primavera L., *Designing Online Virtual Worlds for Cultural Heritage*, Information and Communication Technologies in Tourism, Buhalis D., Höpken W. & Gretzel U. (Eds.), (2009) - Proceedings of the International Conference in Amsterdam (NL), Springer, Wien, 199-209.
- [18] Rosati L., *Architettura dell'informazione: Trovabilità dagli oggetti quotidiani al Web*, (2007), Apogeo, Milano.
- [19] Kanellopoulos D. N. & Panagopoulos A. A., *Exploiting tourism destinations' knowledge in an RDF-based P2P network*, Journal of Network and Computer Applications, (2008), 31, 179–200.

# ANALISI DI CORRELAZIONE DEGLI IMPATTI DELLE ATTIVITÀ TURISTICHE NEL TERRITORIO DI ALGHERO<sup>1</sup>

B. Brundu<sup>1</sup>, A. Canu<sup>2</sup>, G. Pellizzaro<sup>2</sup>, G. V. Pintus<sup>2</sup>, I. Manca<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali (DiSEA). Università degli Studi di Sassari, Via Muroni, 25 - 07100 Sassari, Tel. 079 213001, Fax 079 2017312, e-mail: [brundubr@uniss.it](mailto:brundubr@uniss.it)

<sup>2</sup>Istituto di Biometeorologia Sezione di Sassari - CNR-IBIMET Traversa La Crucca, 3 - 07100 Sassari

<sup>3</sup>Università degli Studi di Sassari

**Riassunto** – Con il presente contributo si intende valutare gli impatti di natura socio economica che l’attività turistica ha determinato sul territorio del comune di Alghero nel periodo 1971 – 2011. È stata condotta l’analisi dell’evoluzione dell’edificato considerando step temporali di 10 anni, dal 1954 al 2008. Le diverse tipologie di edificato sono state classificate in funzione della distanza tra gli edifici e della loro densità in *isolated*, *scattered*, *dense* e *very dense*. L’analisi socio economica è stata condotta sulla base dei principi individuati nello *Studio di Impatto Ambientale e Sociale (ESIA: Environmental and Social Impact Assessment)*, basati su un processo sistematico d’identificazione e valutazione degli impatti potenziali sull’ambiente biofisico, socioeconomico e culturale. In particolare per quelli sociali sono stati individuati specifici indicatori, ricostruendone la serie storica e successivamente sottoponendo ciascuno alla *Principal Component Analysis (PCA)*, un trattamento matematico dei dati il cui scopo è rappresentare le variazioni presenti nelle tante variabili utilizzando un numero molto più piccolo di “componenti principali”.

**Abstract** – *This contribution is focused on the evaluation of the socio-economic impacts of tourism activity on the municipality of Alghero over the period 1971 - 2011. Analysis of building expansion was carried out over the period 1954-2008, every ten years. Characterization and classification of buildings were made by identification of four different housing type configuration: isolated, scattered, dense e very dense. The socio-economic analysis was conducted on the basis of the principles identified in the Environmental and Social Impact Assessment (ESIA), based on a systematic process of identification and assessment of potential impacts on the biophysical, socio-economic and cultural. Especially on the study of social have been identified specific indicators, reconstructing the historical series and subsequently subjecting each to Principal Component Analysis (PCA), a mathematical processing of data whose purpose is to represent the variation present in many variables using a much smaller number of "principal components".*

---

<sup>1</sup> Questo contributo si inserisce nell’ambito di un progetto di ricerca dal titolo “AMIRIS - Analisi Multitemporale dell’Impatto d’insediamenti costieri sulle Risorse Idriche Sotterranee”, Legge regionale 7 agosto 2007, n. 7: “Promozione della ricerca scientifica e dell’innovazione tecnologica in Sardegna”

\*Benché la stesura del lavoro sia comune agli autori, a B. Brundu competono i paragrafi n. 1 e 3, a A. Canu, G. Pellizzaro, G. V. Pintus il paragrafo n. 2, mentre a I. Manca il paragrafo n. 4.

## 1. Introduzione

Attraverso la pianificazione gli enti di governo del territorio indicano le possibili vie di sviluppo economico, o meglio determinano come esso debba essere infrastrutturato, indicandone i possibili usi. Nella scelta di destinare parte del territorio allo sviluppo turistico è obbligo valutare i possibili impatti. Il presente contributo intende individuare le migliori pratiche per rendere queste valutazioni pertinenti alle esigenze ambientali e socio economiche di un territorio. Le analisi sui possibili impatti ambientali determinati dalle scelte di pianificazione seguono specifiche procedure. L'Assessorato dell'Ambiente congiuntamente alla Provincia istruisce la pratica della Valutazione Ambientale Strategica (VAS) prevista per i piani territoriali, verificando che siano analizzati i possibili impatti di natura ambientale che essi possono determinare. Le analisi poste alla base di questi processi investono diverse discipline, da quelle ambientali a quelle urbanistiche, ma spesso senza che vi sia una specifica interconnessione tra loro tale da determinare una visione di insieme delle dinamiche territoriali che questi piani possono determinare. Soprattutto, non sempre vengono considerate le ricadute socio economiche dei Piani anche se un'analisi di tale tipo è richiesta come base sia agli atti di pianificazione sia nella VAS.

Fin dalla seconda metà del secolo appena trascorso, "Lo studio specifico dei rischi e degli impatti sociali emerge come disciplina nell'ambito della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA)". Vari autori concentrano la loro attenzione su tali argomenti: "...lo studio di Finsterbusch e Wolf [7] può essere considerato il primo tentativo teorico e metodologico di sistematizzazione della VIS (Valutazione di impatto sociale)"; Catton e Dunlap [3] focalizzano la dimensione sociale della crisi ambientale della fine del XX secolo; mentre Freudenburg [8] offre una panoramica completa della VIS a partire dalla metà degli anni '80 del secolo scorso. Già in questi primi studi emerge la difficoltà di relazionare lo studio di impatto ambientale con quello sociale, con evidenti difetti di "contabilità sociale" in fase di sviluppo dei progetti. "...la necessità di costruzione di una teoria e di una maggiore chiarezza metodologica [13]" ha favorito uno sviluppo normativo internazionale soprattutto nei paesi anglosassoni...". (in [5], p. 114). L'International Association for Impact Assessment ha pubblicato nel 2015 una guida per la valutazione e la gestione degli impatti sociali dei progetti. Nel presente lavoro si esplicita la necessità, nell'ambito della pianificazione, di avere un quadro preciso del territorio, per ottenerlo è necessario considerare singoli aspetti o comparti e mediante la loro unione si può procedere alla ricostruzione. Il comparto turistico è un elemento a sé e va valutato nel proprio ambito di interferenze. In tal senso si può fare esplicito riferimento "...alla metodologia "*Sustainable Territorial environmental/economic Management Approach* – STeMA<sup>2</sup> [14] [15] ed alla sua applicazione al *planning* turistico. Lo STeMA crea le basi per conoscere le possibilità (domanda di piano o di *policy* o di programma o di progetto) di sviluppo competitivo dei singoli sistemi economico-territoriali, le quali dipenderanno dalla capacità che essi dimostrano ad un certo tempo di risolvere i problemi con un'offerta appropriata perché contenuta nei limiti dello sviluppo del sistema (offerta sussidiaria sostenibile), ma anche dalla performance di partenza, dal grado di innovazione e dalla componente di rischio che essi sono disposti a sostenere rispetto alla coesione raggiunta dalla base sociale, dalle imprese e dall'efficienza della classe politico-amministrativa" ([16], p. 4). Per esaminare gli

---

<sup>2</sup> STeMa - Maria Prezioso *copyrights reserved*, n°0602007/2006 del 28/4/2006



impatti socio economici derivati dalle attività turistiche nel territorio di Alghero (Figura 1), un comune costiero ubicato nella provincia di Sassari oggetto del presente studio, si è utilizzato un metodo tra i più efficaci riconosciuti a livello internazionale, lo *Studio di Impatto Ambientale e Sociale (ESIA: Environmental and Social Impact Assessment)*.

Esso consiste in un processo sistematico d'identificazione e valutazione degli impatti potenziali sull'ambiente biofisico, socioeconomico e culturale generati dallo sviluppo di un progetto è, inoltre, uno strumento funzionale a definire le misure di controllo per mitigare o prevenire possibili impatti ambientali o sociali negativi ([6], p. 4). Sulla base delle procedure previste per l'ESIA si individuano, rispetto allo studio degli impatti socio economici, specifici indicatori e per essi si ricostruisce la serie storica per poi successivamente sottoporre ciascuno di questi alla *Principal Component Analysis*, la PCA, un trattamento matematico dei dati il cui scopo è rappresentare la variazione presente nelle tante variabili, utilizzando un numero molto più piccolo di "fattori" o "componenti principali" [7], dalla quale si originano degli indici parziali specifici fino ad ottenere degli indici socioeconomici finali. Sulla base di questi indici è possibile ottenere un quadro chiaro delle dinamiche socio economiche del territorio e porle in correlazione con i dati dell'attività turistica per individuare i possibili impatti.

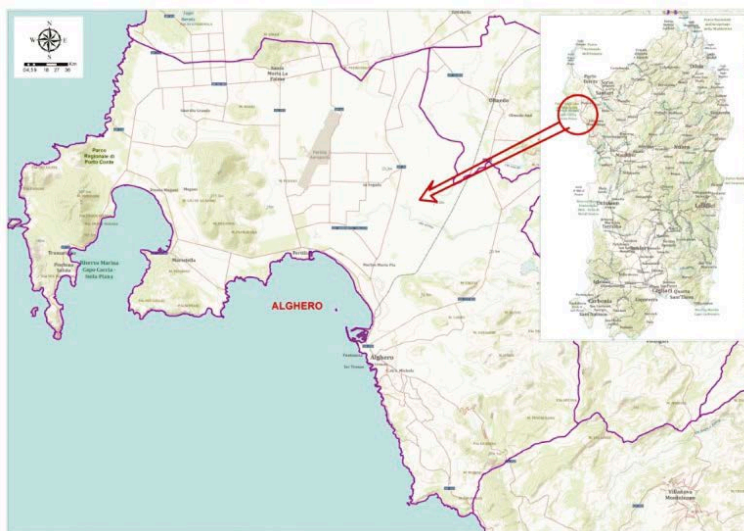


Figura 1 – Il territorio di Alghero (Fonte: elaborazione da base cartografica RAS).  
Figure 1 – Alghero Municipality (Source: from basic processing cartographic RAS).

## **2. Materiali: Analisi cartografica dell'evoluzione dell'edificato nel territorio di Alghero**

Lo studio diacronico relativo all'evoluzione spaziale/geografica dell'edificato presente nel territorio del comune di Alghero (224,43 km<sup>2</sup>) è stato condotto considerando

*step* temporali di circa 10 anni a partire dal 1954 fino al 2008. Il lavoro è stato realizzato mediante la creazione di un sistema informativo geografico (GIS) sviluppato in ambiente ArcGIS (ArcGis 9.3.1), che ha permesso l'organizzazione degli strati informativi, in formato *raster* e vettoriale, necessari per le fasi di analisi e classificazione. La classificazione dell'edificato dell'area, è stata realizzata applicando la metodologia proposta da Lampin et al. (2009; 2010) [9] [10] e utilizzando un *tool* (RUImap TOOLBOX) sviluppato e integrato in ambiente ArcGIS (ESRI Inc.) che consente la classificazione degli edifici nelle seguenti quattro tipologie, a partire dalla distanza tra gli edifici e dalla loro densità: *isolated*, *scattered*, *dense*, e *very dense*. Gli strati informativi necessari al *tool* per l'esecuzione dell'analisi sono: i limiti amministrativi, la fascia di rispetto attorno all'edificato (prevista dalla normativa francese), la planimetria degli edifici. Nello specifico, lo strato informativo relativo alle unità volumetriche è stato acquisito dal Database Multiprecisione (DBMP) disponibile nel geoportale della Regione Sardegna (RAS) [21]. La fotointerpretazione a video delle ortofoto, forniteci sempre dalla Regione Sardegna, e le successive operazioni di *editing* hanno permesso la realizzazione degli strati informativi (in formato vettoriale) delle unità volumetriche relative agli anni 1954, 1968, 1977, 1987, 2000, 2008. Il sistema di proiezione impiegato per tutti gli strati informativi, sia in formato vettoriale sia raster, è l'UTM (*Universal Transverse Mercator*) fuso 32N, con datum WGS 84 (World Geodetic System). L'analisi ha evidenziato come negli ultimi 50 anni il territorio comunale di Alghero abbia subito diversi cambiamenti in termini di estensione e tipologia dell'abitato. Questo fenomeno è stato determinato sia dallo sviluppo demografico verificatosi in tutta Italia durante gli anni '60, sia da un maggiore afflusso turistico. La richiesta di abitazioni per il periodo estivo ha indotto, infatti, i residenti a investire sull'acquisto di seconde case da affittare ai vacanzieri. A questo fatto si è affiancata la costruzione di nuove abitazioni destinate alla vendita a non residenti come seconde case da utilizzare per le vacanze estive. Si può quindi notare che la maggiore espansione della tipologia abitativa definita come *dense* e *very dense* si è verificata negli anni '60 e '70 ed è fondamentalmente attribuibile all'estensione dell'area urbana della città di Alghero.

Tabella 1 – Numero totale edifici, numero edifici per tipologia, superficie edificata (periodo 1954-2008) e dati di popolazione dei censimenti Istat (1971, 1981, 2001, 2011).

*Table 1 – Number of buildings, (total and by type) area (1954-2008), population Istat (1971, 1981, 2001, 2011).*

Anno	Tot. edifici	<i>Isolated</i>	<i>Scattered</i>	<i>Dense</i>	<i>Very dense</i>	Superficie (ha)	Popolazione
1954	1 238	552	342	25	319	50,47	
1968	2 673	879	857	117	820	96,45	32 187
1977	4 049	417	1 476	558	1 598	135,79	36 508
1987	5 943	787	2 618	417	2 121	183,03	39 026
2000	7 130	628	2 877	1 260	2 365	211,49	38 404
2008	8 372	772	3 774	1 392	2 434	235,51	40 641
<b>Totale</b>	<b>29 405</b>	<b>4 035</b>	<b>11 944</b>	<b>3 769</b>	<b>9 657</b>	<b>912,74</b>	

È interessante inoltre notare come, a differenza di altre località turistiche isolate dove è stata registrata una sempre maggiore presenza di nuovo edificato molto compatto lungo la costa, il territorio di Alghero, grazie a una serie di vincoli, è stato preservato dalla costruzione di villaggi balneari e agglomerati di seconde case a ridosso delle spiagge; questo spiega anche le scarse variazioni di questa tipologia di edificato negli ultimi 20 anni.

Negli ultimi 50 anni, a differenza di quanto osservato per l'edificato classificato come *dense* e *very dense*, l'edificato di tipo *scattered* ha fatto registrare una continua crescita. Parte di questo fenomeno ha interessato le zone circostanti l'abitato residenziale cittadino sia a causa della costruzione di seconde case in campagna a scopo ricreativo sia a causa dello spostamento di parte della popolazione cittadina verso aree rurali alla ricerca o di prezzi di acquisto più convenienti o di un migliore stile di vita. Un ampliamento delle aree edificate di tipo "sparso" si è verificato anche nelle zone più a Nord del territorio comunale probabilmente a causa di un uso più intenso dei terreni agricoli (Figura 2).

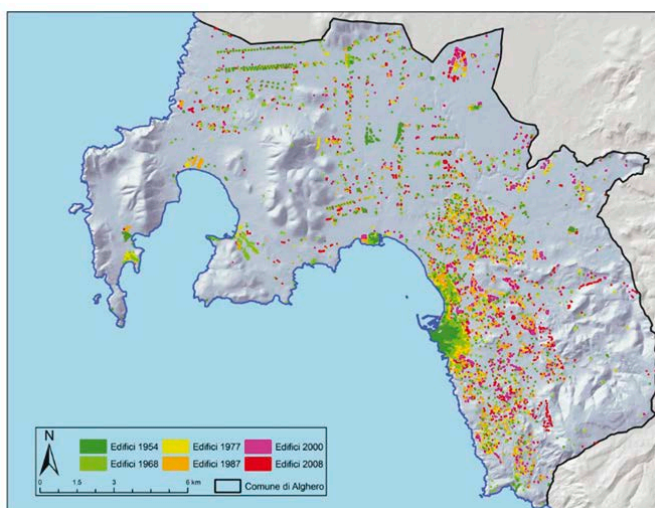


Figura 2 – Espansione dell'edificato (1954 ÷ 2008) nel comune di Alghero.  
Figure 2 – Building expansion (1954 ÷ 2008) municipality of Alghero.

### 3. Materiali: L'analisi socio economica

È ampiamente riconosciuto che lo sviluppo turistico costituisce “una fonte di nuove occasioni di lavoro ed opportunità di impresa, di aumento delle entrate fiscali, di miglioramento delle infrastrutture locali che, oltre a garantire un livello superiore di servizi per la popolazione locale, aumentano la capacità del territorio di attrazione di investimenti anche in settori diversi da quello turistico [12] (in [1], p. 1). Le variabili da considerare per analizzare le ricadute/impatti del turismo sul contesto socio economico sono molteplici e interessano temi diversi. Tuttavia, un'analisi di ampio raggio può essere limitata a 5 principali contesti: la dinamica demografica e abitativa, le strutture delle famiglie, il livello d'istruzione,

l'occupazione e la vulnerabilità sociale. L'analisi socio economica è stata condotta sui dati estrapolati dal progetto "Ottomilacensus" (Istat) [20], un nuovo sistema di diffusione dei dati censuari sintetizzati attraverso una selezione di 99 indicatori. Essi si riferiscono ai Censimenti della Popolazione e delle Abitazioni dal 1951 al 2011, "i 99 indicatori selezionati consentono di tracciare un profilo inedito del territorio, sia per l'adozione di indicatori originali, capaci di dare nuove risposte alle esigenze di conoscenza funzionali all'azione di governo locale (come l'indice di vulnerabilità sociale e materiale) sia per la rielaborazione di indici più tradizionali resi confrontabili in serie storica grazie alla ricostruzione dei dati di base" [18].

Tabella 2 – Dinamica demografica, territorio e struttura della popolazione. Fonte Ottomilacensus Istat.

*Table 2 – Demographic dynamics, territory and population structure. Source Ottomilacensus Istat.*

Anno	P1 <sup>3</sup>	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
1951	21 374	13,0	95,3	109,3	13,3	...	9,6	43,6	22,0
1961	26 688	13,9	118,9	100,4	12,6	...	12,0	44,9	26,6
1971	32 187	9,3	143,4	98,7	12,4	3,4	14,6	50,2	29,2
1981	36 508	9,6	162,7	97,2	8,2	3,7	15,8	39,5	40,2
1991	39 026	9,5	173,1	96,3	5,7	5,1	17,4	23,2	75,2
2001	38 404	9,7	170,4	92,5	4,4	7,1	24,1	18,0	134,2
2011	40 641	12,2	180,3	91,4	4,0	9,9	31,9	15,9	200,4

Tabella 3 – Strutture delle famiglie. Fonte Ottomilacensus Istat.

*Table 3 – Structures of families. Source Ottomilacensus Istat.*

Anno	F1 <sup>4</sup>	F4	F5	F6	F7	F8
1951	4,5	...	...	...	...	...
1961	4,3	...	...	...	...	...
1971	3,9	...	...	...	...	...
1981	3,4	...	...	...	...	...
1991	3,1	3,1	1,1	5,0	16,5	19,9
2001	2,6	6,3	0,9	4,4	8,0	24,1
2011	2,2	11,5	0,9	1,8	3,6	28,5

<sup>3</sup> P1: Popolazione residente. P6: Incidenza della popolazione residente nei nuclei e case sparse. P7: Densità demografica. P8: Rapporto di mascolinità. P9: Incidenza popolazione residente con meno di 6 anni. P10: Incidenza popolazione residente di 75 anni e più. P11: Indice di dipendenza anziani. P12: Indice di dipendenza giovani. P13: Indice di vecchiaia.

<sup>4</sup> F1: Ampiezza media delle famiglie. F4: Incidenza di giovani che vivono da soli. F5: Incidenza di famiglie monogenitoriali giovani. F6: Incidenza di coppie giovani senza figli. F7: Incidenza di coppie giovani con figli. F8: Incidenza di anziani soli.

I dati riportati sono riferiti al comune di Alghero e considerano i 5 principali contesti socio economici prima indicati (Tabb. 2, 3, 4, 5, 6). L'istruzione (Tab. 4), la formazione e il livello di competenze influenzano il benessere delle persone e aprono opportunità altrimenti precluse, infatti, un livello culturale avanzato favorisce in genere un tenore di vita più elevato e maggiori opportunità di occupazione [17].

Tabella 4 – Il grado d'istruzione. Fonte Ottomilacensus Istat.

Table 4 – The level of education. Source Ottomilacensus Istat.

AnnoCP	I1 <sup>5</sup>	I4	I5	I6	I7	I9	SS4
1951	143,9	18,6	...	...	...	...	3,1
1961	132,9	10,7	...	...	...	...	4,5
1971	115,2	6,1	...	...	7,0	...	8,0
1981	99,1	3,4	39,2	17,9	8,1	20,6	13,6
1991	94,5	2,2	52,5	28,6	9,3	31,2	22,6
2001	95,4	1,3	17,4	44,1	16,3	34,5	34,8
2011	94,6	0,9	17,0	55,2	26,1	34,3	42,4

Tabella 5 – Occupazione. Fonte Ottomilacensus Istat.

Table 5 – Occupation. Source Ottomilacensus Istat.

AnnoCP	L1 <sup>6</sup>	L2	L3	L5	L8	L9	L12	L15	L16	L17	L18	SS3
1951	73,8	17,9	47,4	...	...	...	45,8	48,8	25,6	15,3	10,3	15,9
1961	71,8	11,9	41,6	...	...	...	40,9	32,9	32,2	24,9	10,1	56,5
1971	72,6	20,2	46,0	86,7	...	...	43,9	15,9	34,0	34,1	16,0	54,2
1981	68,0	28,5	47,7	90,3	23,7	57,5	36,4	10,8	35,2	44,8	23,9	57,8
1991	65,0	33,6	48,9	87,2	26,4	60,7	36,0	6,8	24,1	45,9	23,3	60,1
2001	57,8	36,6	46,7	55,3	23,4	56,2	35,8	5,0	19,3	49,5	26,1	62,0
2011	57,6	41,4	49,1	46,2	16,5	44,7	41,0	5,8	14,7	53,7	25,8	64,3

<sup>5</sup> I1: Differenziali di genere per l'istruzione superiore. I4: Incidenza di analfabeti. I5: Uscita precoce dal sistema di istruzione e formazione. I6: Incidenza di adulti con titolo di studio superiore. I7: Incidenza di giovani con istruzione universitaria. I9: Incidenza di adulti con la licenza media SS4: Incidenza di laureati e diplomati sulla popolazione di 6 e più anni.

<sup>6</sup> L1: Partecipazione al mercato del lavoro maschile. L2: Partecipazione al mercato del lavoro femminile. L3: Partecipazione al mercato del lavoro. L5: Rapporto giovani attivi e non attivi. L8: Tasso di disoccupazione. L9: Tasso di disoccupazione giovanile. L15: Incidenza dell'occupazione nel settore agricolo. L16: Incidenza dell'occupazione nel settore industriale. L17: Incidenza dell'occupazione nel settore terziario extracommercio. L18: Incidenza dell'occupazione nel settore commerciale. SS3: Incidenza occupazione femminile nel settore terziario extra commercio.

Tabella 6 – Vulnerabilità sociale. Fonte Ottomilacensus Istat.

Table 6 – Social vulnerability. Source Ottomilacensus Istat.

AnnoCP	V4 <sup>7</sup>	V5	V6	V7	V8	V9
1971	0,7	18,4	...	15,8	26,2	...
1981	0,0	9,9	...	7,6	16,9	...
1991	0,0	4,5	5,2	3,4	10,3	1,6
2001	0,1	1,4	2,6	1,3	11,6	1,9
2011	0,5	0,6	2,7	0,8	11,3	2,5

#### 4. Risultati: Analisi delle componenti principali e correlazioni

I risultati riportati di seguito per ciascuno dei gruppi di dati indicano la prima PC (*Principal Component*) che spiega il massimo ammontare di varianza dei dati di partenza, mentre la seconda spiega la massima varianza rimanente nei dati non correlati con la prima. Dai dati è possibile: valutarne le correlazioni tra le variabili e la loro rilevanza; sintetizzarne la descrizione; ridurne la dimensionalità. Di seguito riportiamo il risultato per ciascuno dei 5 temi principali ottenuto dal PCA indicando il Biplot dove sono visibili sugli assi della PC1 e PC2 le variabili e le osservazioni. Le analisi sono state condotte con l'ausilio del software XLSTAT Versione 2016 della Addinsoft (Figg. 3, 4, 5, 6, 7).

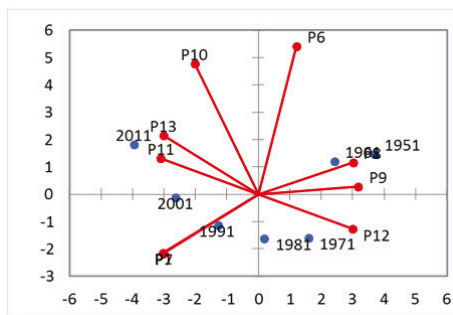


Figura 3 – Dinamica demografica  
Biplot (assi PC1 e PC2: 94,72 %).

Figure 3 – Demographic dynamics.

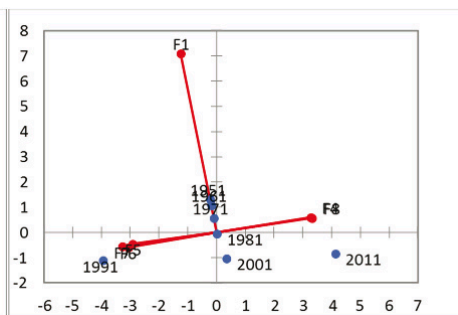


Figura 4 – Strutture delle famiglie  
Biplot (assi PC1 e PC2: 93,142 %).

Figure 4 – Household structures.

<sup>7</sup> V4: Incidenza di alloggi impropri. V5: Incidenza delle famiglie numerose. V6: Incidenza delle famiglie con potenziale disagio economico. V7: Incidenza popolazione in condizione di affollamento. V8: Incidenza di giovani fuori dal mercato del lavoro e dalla formazione. V9: Incidenza delle famiglie in potenziale disagio di assistenza.

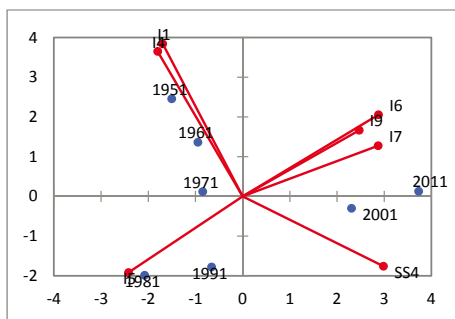


Figura 5 – Grado d'istruzione  
Biplot (assi PC1 e PC2: 87,79 %).  
*Figure 5 – Level of education.*

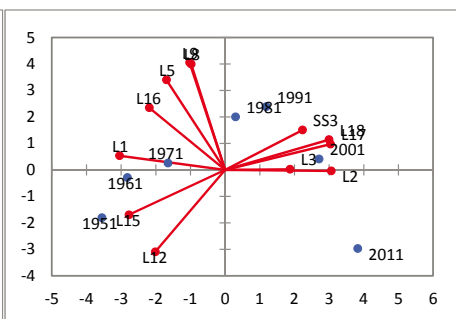


Figura 6 – Occupazione  
Biplot (assi PC1 e PC2: 90,79 %).  
*Figure 6 – Occupation.*

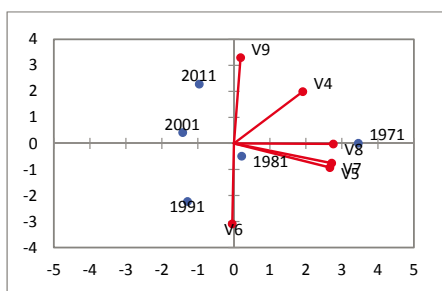


Figura 7 – Vulnerabilità sociale  
Biplot (assi PC1 e PC2: 90,571 %).  
*Figure 7 – Social vulnerability.*

Grazie al PCA si è condensato nelle prime due PC la maggior parte delle varianze e covarianze presenti nell'insieme iniziale delle variabili, ottenendo la migliore sintesi possibile per ciascuno dei 5 gruppi iniziali dove le nuove variabili, le PC1 e in misura minore le PC2, sono ordinate rispetto alla percentuale di variabilità presente nei dati originali [4]. Benché Alghero abbia una tradizione turistica molto antica rispetto ad altre realtà della Sardegna [2], l'analisi dei dati riferibili al turismo consente di avere un quadro piuttosto articolato solamente dal Censimento Istat del 1971. L'assenza di precise e omogenee serie storiche su dati turistici specifici, quali posti letto, arrivi, etc., ha pertanto richiesto una costruzione degli indici basata su elementi indiretti quali le abitazioni occupate e non, gli edifici e le loro superfici e l'incidenza dell'occupazione nel settore commerciale e del terziario extra commerciale. Per la correlazione immediata tra i diversi indicatori sono state analizzate le PC1 di ciascuno dei 5 gruppi di variabili considerate. Infine, per una lettura d'insieme della tabella delle PC1 è stato condotto un test di correlazione, sempre mediante l'utilizzo del software Xlstat.

Tabella 7 – Riassuntiva delle PC1.

*Table 7 – Summary of PC1.*

Osservazione	Demo	Famiglie	Istruzione	Occupazione	Vulnerabilità	<b>Turismo</b>
1971	1,601	-0,102	-0,846	-1,647	3,455	<b>-3,87</b>
1981	0,187	0,006	-2,079	0,3	0,218	<b>-1,267</b>
1991	-1,284	-3,952	-0,658	1,187	-1,287	<b>0,578</b>
2001	-2,641	0,336	2,307	2,711	-1,423	<b>1,688</b>
2011	-3,965	4,133	3,728	3,826	-0,963	<b>2,871</b>

Tabella 8 – Matrice di correlazione (Pearson).

*Table 8 - Correlation matrix (Pearson).*

Variabili	Demo	Famiglie	Istruzione	Occupazione	Vulnerabilità	Turismo
Demo	<b>1</b>	-0,469	-0,878	<b>-0,994</b>	0,823	<b>-0,985</b>
Famiglie	-0,469	<b>1</b>	0,672	0,479	0,012	0,348
Istruzione	-0,878	0,672	<b>1</b>	0,844	-0,476	0,785
Occupazione	<b>-0,994</b>	0,479	0,844	<b>1</b>	-0,849	<b>0,989</b>
Vulnerabilità	0,823	0,012	-0,476	-0,849	<b>1</b>	<b>-0,907</b>
Turismo	<b>-0,985</b>	0,348	0,785	<b>0,989</b>	<b>-0,907</b>	<b>1</b>

*I valori in grassetto sono diversi da 0 al livello di significatività alfa=0,05.*

## 5. Conclusioni

Dall'analisi delle PC1 attraverso il test di correlazione appare chiaramente che vi sono valori di correlazione prossimi a 1 (alta correlazione) tra turismo, demografia, occupazione e vulnerabilità, mentre valori più bassi vengono registrati per le altre componenti. Tali evidenze portano a concludere che da una prima analisi, obbligatoriamente contenuta per il poco spazio editoriale, lo sviluppo turistico del territorio ha verosimilmente inciso in modo significativo sulla demografia del territorio, sull'occupazione e sulla vulnerabilità sociale, risentendone tuttavia contemporaneamente, in quanto le variabili ottenute sono tra loro collegate in modo biunivoco. Si può concludere, con una forte evidenza numerica, che lo sviluppo del turismo ha inciso sulla dinamica demografica in modo netto, in particolare, essendo la PC1 rappresentativa in uguale misura di tutte le variabili demografiche tranne quelle riferite alla P6 (Incidenza della popolazione residente nei nuclei e case sparse) e alla P10 (Incidenza popolazione residente di 75 anni e più), si può sostenere che l'impatto è determinato in misura pressoché identica su tutte le altre variabili demografiche riportate. Altresì, è possibile riscontare la stessa evidenza per l'occupazione, in cui la PC1 rappresenta in misura maggiore le variabili L1 (Partecipazione al mercato del lavoro maschile), L2 (Partecipazione al mercato del lavoro femminile), L15 (Incidenza dell'occupazione nel settore agricolo), L17 e L18, queste ultime due utilizzate



anche come indici per lo sviluppo turistico. L'occupazione, oltre che al turismo, è anche fortemente correlata alla dinamica demografica, pertanto pare plausibile che un aumento dell'occupazione generale possa aver prodotto un incremento demografico, determinando un ampliamento volumetrico degli edifici. Per ciò che riguarda l'impatto sulla vulnerabilità sociale, essendo la PC1 rappresentativa della V5 (Incidenza delle famiglie numerose), V7 (Incidenza popolazione in condizione di affollamento) e V8 (Incidenza di giovani fuori dal mercato del lavoro e dalla formazione), si può affermare che oltre alle problematiche che lo sviluppo demografico può determinare, evidenti nel livello di correlazione tra loro comunque elevato (0,823), il turismo ha comportato la crescita di famiglie numerose e di un affollamento delle abitazioni (probabilmente dovuto a un mercato immobiliare dove il valore delle abitazioni è legato anche alla loro possibile fruizione turistica).

## Bibliografia

- [1] Bimonte S., Niglia G., Punzo L.F., *Teoria dei giochi e sostenibilità dello sviluppo turistico: il ruolo dell'interazione turista-residente*, s.d.
- [2] Brundu B., *Turismo e città minori in Sardegna. Alghero e Olbia tra innovazione e percezione*, (2013), Angeli, Milano,.
- [3] Catton W., Dunlap R., *Environmental Sociology: A New Paradigm*, Am. Sociol., (1978) 13.
- [4] Di Franco D.G., *Esplorare, descrivere e sintetizzare i dati. Guida pratica all'analisi dei dati nella ricerca sociale*, (2005), Angeli, Milano.
- [5] Domínguez-Gómez J.A., *Four conceptual issues to consider in integrating social and environmental factors in risk and impact assessments*, Environmental Impact Assessment Review , (2016) 56, 113–119.
- [6] Environmental Resources Management, *ESIA Italia – Capitolo 5 Approccio e Metodologia dell'ESIA*, in progetto Trans Adriatic Pipeline – TAP, 2012.
- [7] Finsterbusch K., Wolf C., *Methodology of social impact assessment*, (1977), Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- [8] Freudenburg W.R., *Social Impact Assessment*. Annu. Rev. Sociol., (1986) 12, 451-478.
- [9] Jolliffe I.T., *Principal Component Analysis*, (2002), Springer, New York.
- [10] Lampin-Maillet C., Jappiot M., Long M., Morge D., Ferrier J.-P., *Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention*. Computers Environment and Urban Systems, (2009) 33, 224-232.
- [11] Lampin-Maillet C., Jappiot M., Long M., Bouillon C., Morge D., Ferrier J.-P., *Mapping wildland-urban interface at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France*. Journal of Environmental Management, (2010) 91, 732-741.
- [12] Lankford S. V., Howard D. R., *Developing a Tourism Attitude Impact Scale*, Annals of Tourism Research, (1994) 24, 121-139.
- [13] Lockie, S., *SIA in review: Setting the agenda for impact assessment in the 21st century*, Impact Assess. and Proj. Apprais., (2001) 19 (4), 277–287.
- [14] Prezioso M., *Pianificare in sostenibilità. Natura e finalità di una nuova politica per il governo del territorio*, (2003), Adnkronos Libri, Roma.

- [15] Prezioso M., *STeM Approach for a Sustainable Territorial Development of the Lisbon Strategy*, in Ers46 European Congress – ESPON Special Session, 2006.
- [16] Prezioso M., *Progettare lo sviluppo turistico: percorso di planning economico-territoriale in sostenibilità*, in P. Paniccia, P. Silvestrelli, M. Valeri (a cura di), *Economia e management delle attività turistiche e culturali: destinazione, impresa, esperienza: contributi di ricerca*, Giappichelli, Torino, (2010), 3-33.
- [17] Sianesi B., Van Reenen J., *The return to education macroeconomics*, *Journal of Economic Surveys*, Blackwell publishing Ltd., Oxford UK, (2003) 17 (2), 157-200.
- [18] <http://ottomilacensus.istat.it/>
- [19] <http://webgis.regione.sardegna.it/geoserver/raster/ows?service=WMS&request=GetCapabilities&>

## ALCUNE CONSIDERAZIONI GEOGRAFICHE SULLE AREE COSTIERE DI ROSOLINA MARE E ALBARELLA

Emanuele Poli<sup>1</sup>, Anna Rosa Candura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze della Formazione, via S. Croce, 7, Bressanone

<sup>2</sup> Dipartimento studi Umanistici, sez. Scienze storiche e geografiche “Carlo M. Cipolla”,

Piazza del Lino, 2 – Palazzo San Tommaso – 27100 Pavia

**Riassunto** – L'autore compara due insediamenti turistici situati sul lato veneziano del Delta del Po, facendo precise osservazioni sulle scelte fatte in ambiente in cui l'organizzazione spaziale è molto originale e le relazioni fra uomo e natura molto delicate. Gli insediamenti presi in considerazione - Rosolina e Albarella - sono molto differenti. Il primo è cresciuto in modo spontaneo e non ordinato. Il secondo, che risponde ad un piano preciso, ha una superficie quasi pari al primo. Né il primo esempio né il secondo devono essere imitati. Rosolina per gli effetti negativi che ha sull'ambiente, Albarella perché tende ad avere un tipo di turismo che può essere considerato esclusivo e isolato.

*Abstract* – The author compares two touristic settlements of the venetian side of Delta Po, reaching precise observations on the choices made in an environment in which the space organisation is very original and the relation between man and nature very delicate. The settlements we are considering – Rosolina and Albarella – are very different. The first one rose spontaneously and untidily. The second one, which answers to a precise plan, has on a surface nearly equal to the first one. Neither the first example nor the second are to be imitated: Rosolina for the negative effects it has on the environment, Albarella because tends to have a type of tourism we can considerer exclusive and isolating.

### Introduzione

Gli stimoli e le finalità di un'indagine su due piccole aree quali quelle di Rosolina Mare e Albarella, entrambe comprese nella stessa realtà deltizia (ed aventi la medesima origine, Fig. 1), ma ora nettamente differenziate in ragione della “componente umana”, sono molteplici e tali da superare le contingenti diverse situazioni che localmente si sono concretizzate.

Attraverso l'analisi di quanto negli ultimi decenni è stato attuato a Rosolina e Albarella, considerate “un esempio” grazie al quale poter pervenire a considerazioni più generali, si può giungere a considerazioni sul concetto di “vocazione” di un territorio e sull'opportunità o meno di determinate scelte in aree del tutto particolari, quale appunto è il Delta del Po. Non tanto quindi l'esame fine a se stesso delle scelte quantitative, qualitative e tipologiche che hanno portato ad evoluzioni ben diverse di due realtà territoriali un tempo simili per origini, situazioni morfologiche, litologiche e climatiche, quanto piuttosto la possibilità, grazie ad un'analisi di situazioni concrete, di “ragionare” su come si debba operare per fa sì che aree significative e particolari in ragione della loro origine e dei loro

caratteri tipologici possano rimanere tali anche se utilizzate per il soddisfacimento dei bisogni economici e sociali dell'uomo.

Dal 1950 ad oggi, infatti, vari sono stati i momenti operativi e culturali attraverso i quali la società italiana, e non solo essa, è passata. Nel primo dopoguerra lo scopo principale fu quello di produrre e guadagnare ad ogni costo; tale lungo periodo, che possiamo definire dell'"efficientismo", coinvolse anche i geografi che orientarono i loro studi all'economia e alla localizzazione industriale.

Più tardi, a seguito dei vari "movimenti" verificatisi negli ultimi anni del 1970, la società prese via via coscienza delle problematiche sociali e per almeno un decennio ci si orientò ad un sociale a volte così esasperato da sfociare nell'assistenzialismo più sterile e demagogico. E di ciò risentirono anche i lavori scientifici delle diverse discipline tanto che, anche in campo geografico, proliferano studi inerenti il sociale e il percettivo.

Da qualche anno, poi, la società sta vivendo il "momento ambientalistico-naturalistico" nel quale l'uomo di oggi, ritenuto erroneamente un elemento estraneo alla natura, sembra avere il solo compito di ricomporre l'ambiente naturale (fisico, è forse meglio dire) sconvolto da lui stesso. E dai suoi predecessori.

Seguendo le mode del momento c'è il rischio che anche i geografi si gettino a capofitto sul settoriale e sul contingente, con studi ad esempio di impatto ambientale, dimenticando ancora una volta che compito della loro disciplina è quello di studiare gli insiemi territoriali formati dai diversi ambienti (fisico, umano, economico, sociale, ecc.), quelle realtà cioè (un tempo dette paesaggi geografici) ove le varie componenti devono coesistere e svilupparsi senza che l'una prevarichi le altre.

Nel caso specifico, esaminando e valutando cosa di buono e di errato è stato fatto a Rosolina e ad Albarella rispetto alle potenzialità naturali, la geografia potrà fornire utili indicazioni per territori a questi analoghi nei quali si voglia operare nella ricerca di un equilibrio e nel rispetto degli ambienti naturale, umano, economico e sociale, tra loro interdipendenti.

Il presente breve studio, non ha quindi unicamente lo scopo di esaminare lo sviluppo e la trasformazione di due centri turistici ubicati in aree "marginali" site in un ambiente costiero e naturale del tutto particolari, bensì anche quello di riconfermare alcuni concetti noti e acquisiti nelle discipline geografiche.

È di qualche decennio fa la problematica uomo-natura/natura-uomo intesa come un rapporto reciproco capace di imporre scelte e tipologie economiche e insediative; se tale problematica è ancora attuale, tenendo conto di come lo sviluppo della tecnologia abbia enormemente aumentato le possibilità di intervento, essa oggi si pone però anche come necessità di verificare quanto le azioni dell'uomo siano state attuate a detrimento della natura e, a lungo termine, dell'uomo stesso.

Numerosi sono gli esempi di ciò, soprattutto in territori complessi estremamente dinamici quale è quello del Delta Padano, ove particolari scelte economiche e politico-sociali hanno portato interventi sovente non consoni né all'ambiente naturale né all'economia generale. Si pensi all'apertura e al mantenimento dei canali navigabili, alle arginature di protezione delle acque dei fiumi e del mare, al recupero di terre per l'agricoltura e alla conseguente diminuzione della superficie delle valli da pesca (già esse ambienti fortemente modificati nei secoli dalla continua azione dell'uomo), per non parlare poi delle più recenti modificazioni attuate per e con l'attività turistica.

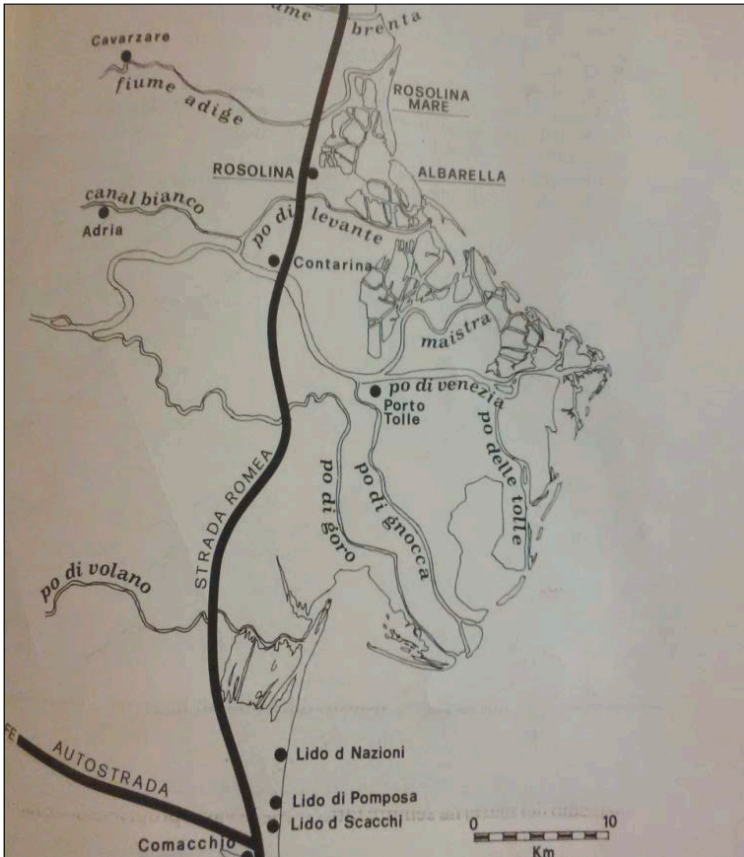


Figura 1 – Rosolina Mare e Albarella nel contesto geografico del Delta.

## 1. Il Delta del Po

Prima di soffermarsi su quest'ultimo aspetto, seppur limitatamente all'area di studio (Rosolina Mare e Albarella, site in provincia di Rovigo), appare tuttavia opportuno spendere qualche parola sull'evoluzione e sulle caratteristiche del Delta del Po (Fig.1), inteso come l'insieme delle terre e delle acque che si estendono tra il Mare Adriatico, i fiumi Adige e Reno e la linea che idealmente congiunge ad ovest Cavarzere ad Argenta. In questo territorio, che nell'arco dei secoli ha mutato forme e dimensioni, appare facilmente intuibile una situazione di continua evoluzione generatasi da fenomeni naturali tra loro interagenti (fiume, con le sue acque e i suoi apporti solidi; mare, con le sue correnti, onde e maree; venti di nord-est e sud-est; bradisismi, dovuti alla posizione di marginalità alla geosinclinale adriatica nonché all'estrazione di acqua e metano dal sottosuolo), sia dall'opera dell'uomo non sempre, purtroppo, illuminata.

Ad eccezione di poche “aree umide” che l’uomo ha conservato, la parte più interna del territorio deltizio è ormai completamente asciutta e mal si distingue dalla rimanente pianura; qui una fitta rete di canali e fossi, testimonianti l’intensa bonifica antica e recente, delimitano campi ben squadrati ad una agricoltura d’avanguardia che alimenta industrie di trasformazione.

La zona costiera (nella quale maggiore è l’alternanza spaziale delle entità naturali e delle realizzazioni dell’uomo) nella parte centro-meridionale è caratterizzata dagli insediamenti turistici dei Lidi Ferraresi (dal Lido di Spina al Lido di Volano), dal Bosco della Mesola (2000 ha) e dall’Abbazia di Pomposa (testimonianza della presenza, sin dal IX° secolo, dei Benedettini quali bonificatori). Più a nord, e sino alla foce dell’Adige, superato il Po di Levante, le numerose valli da pesca con le peschiere e i lavoratori definiscono ancora il paesaggio, anch’esso però aggredito dalla fitta rete viaria e dagli insediamenti turistici di Rosolina Mare e di Albarella.

Nel suo complesso il Delta può tuttora apparire un sistema in stabile equilibrio, un ambiente naturale nel quale l’uomo ha portato la sua massiccia azione solo in alcuni punti. Si deve invece tenere ben presente che di incontaminato dall’azione umana ormai non vi è più nulla!

Solo un secolo fa l’80 % del territorio era un’immensa distesa di acqua e le poche terre emerse venivano lavorate con tecniche primitive da agricoltori che vivevano in malsane case di paglia, isolate e soggette ai capricci del fiume che, con le sue alluvioni, sovente si riprendeva vasti lembi di terra già coltivati e ne formava altri ancora più instabili e salmastri.

Se quindi oggi il Delta si presenta in ogni sua parte dotato di rete viaria, di campi stabilmente coltivati e di case in mattoni, ciò è frutto del lavoro di molte generazioni, durissimo e spesso apparentemente infruttuoso.

La ricchezza e la sicurezza di quest’area, che si estende per oltre 4/5 ad una quota inferiore a quella media del mare, sono affidate ad un esteso sistema di arginature fluviali e marittime, ad una capillare rete di scoli facenti capo a potenti idrovore. Si deduce da ciò che quella deltizia è un’area geografica di accentuata instabilità dovuta tuttora agli apporti solidi del fiume, agli eventi traumatici delle grandi alluvioni e mareggiate, agli assestamenti dei suoli. In questa delicata zona di transizione tra mare e terra (che certamente non può essere ritenuta un sistema privo di sollecitazioni esterne, come dimostrano se non altro il sempre crescente inquinamento delle acque e la diminuzione degli apporti solidi da cui dipende il ripascimento dei bassi fondali), sia nel tempo sia arealmente si sono poi scontrati gli interessi dell’agricoltura, dell’allevamento, della pesca e della caccia, dell’industria e del turismo, attività sovente tra loro contrastanti e reciprocamente repulsive.

Il Delta, quindi, non è stato dall’uomo modificato e curato per favorirne la sua naturale evoluzione, ma è stato considerato un’area da bonificare per poter essere destinato all’espansione delle attività economiche già praticate nell’entroterra o nelle altre aree costiere. Esso pertanto ha certamente subito violenza sia per l’attuazione delle varie scelte economiche sia, soprattutto, per l’esser stato “pensato” come un’area di conquista.

La maggior attenzione attualmente dedicata alle problematiche territoriali induce a ritenere che un’analisi sulle diversità di due realtà turistiche create in plaghe con identiche caratteristiche naturali possa fornire indicazioni utili per armonizzare le scelte future. Certo è che resta aperto il problema della destinazione d’uso dell’area deltizia che, se intesa come “Parco Nazionale”, non solo dovrebbe vedere armonizzate le aree turistiche esistenti, ma

necessiterebbe che fossero impedito nuove realizzazioni e attuati interventi atti a promuovere il disinquinamento, la forestazione e il ripristino di condizioni ambientali più conformi alle vocazioni e dei luoghi.

## **2. Le aree costiere a confronto: Rosolina Mare e Albarella**

Soprattutto nell'area veneta, ed in particolare nell'attuale provincia di Rovigo in cui si rinvengono Rosolina Mare e Albarella, per lunghi secoli gli insediamenti e le attività connesse all'impiego del tempo libero hanno trovato difficoltà ad inserirsi e diffondersi.

L'ostilità delle condizioni ambientali, derivate dagli eccessi meteorologici e climatici (venti, nebbie, umidità, temperatura, ecc.), nonché dall'instabilità e natura dei suoli (per buona parte giacente al di sotto del livello medio del mare) ha sempre fatto sì che le vaste proprietà delle famiglie patrizie fossero da queste scarsamente utilizzate come residenza. (Per tali motivi la zona non accolse le "ville" che, invece, dal '500 al '700 si diffusero nelle altre parti della campagna veneta). Nell'area deltizia al massimo si costruivano case padronali molto semplici e prive di ambizioni architettoniche, scarsamente utilizzate dai proprietari anche se ben dotate di rustici utili alle pratiche agricolo-allevatrici.

La grande diffusione di vaste distese d'acqua alternate a più ridotte aree di terreni asciutti favoriva la presenza di un'abbondante avifauna, stanziale e di passo, che giustificava una intensa attività venatoria. Soprattutto dal '700 all'800 vennero pertanto diffondendosi i "casoni", costruzioni semplici e rustiche (anche se in qualche modo imitavano la villa veneta, come dimostra il Casone Tiepolo ad Albarella) raggiunte nei fine settimana dai proprietari e dai loro ospiti e utilizzate come base di partenza e di arrivo delle battute di caccia.

Queste, se non si vuole ricordare quella inerente la pesca-allevamento praticata in realtà più da residenti del luogo che da "esterni", sono le uniche attività che per lunghi periodi hanno stimolato nel Delta un movimento di persone e forme di insediamento in qualche modo definibili turistiche.

Solo verso il 1950 cominciarono a sorgere veri insediamenti turistici; per iniziativa di operatori economici privati sorsero il Lido degli Estensi e quello di Pomposa a cui ben presto si affiancarono i lidi degli Scacchi, delle Nazioni, di Spina e di Volano, favoriti nella loro rapida e caotica espansione sia dalle sollecitazioni derivate dallo sviluppo del turismo di massa, sia dalla mancanza di possibilità di controllo e di coordinamento tecnico-urbanistico dell'amministrazione pubblica.

Agli ormai ben noti e ricordati lidi, che complessivamente hanno una ricettività di oltre 350 000 unità, in massima parte in condomini e villette, ben presto si sono affiancati, nella zona veneta del Delta, gli insediamenti di Rosolina Mare e Albarella.

Per il primo di questi centri, che è stato realizzato in una barra emersa di notevoli dimensioni – un vero e proprio lido – posta tra l'Adriatico e le valli Boccavecchia e Passarella, ben poco forse c'è da dire sulla "impostazione concettuale" e sulla "filosofia" del turismo in esso praticato. Rosa Pineta e Rosolina Mare, che ne è la continuazione verso Porto Caleri ove ancora esistono attività tradizionali di pesca e di coltivazione delle valli, si sono sviluppate quindi senza un progetto turistico consono all'ambiente locale, ma solo imitando quanto già era avvenuto nei preesistenti lidi, da cui si differenziano forse solo per

una maggiore caoticità e povertà edilizia nonché per una minor dotazione di servizi e infrastrutture, tanto da richiamare un turista non eccessivamente abbiente ed esigente.

È di facile ricostruzione l'evoluzione degli insediamenti. Sino al 1931 il litorale, seppur collegato all'interno da due strade, appariva privo di attività turistiche e nel complesso quasi disabitato. Negli anni '60 era già esistente il nucleo di Rosa Pineta e, a sud di questo, l'impianto viario a lato del quale si sono in seguito collocati gli insediamenti di Rosolina Mare. L'intero lido, antica proprietà della famiglia Vianelli di Chioggia, ha quindi iniziato la sua "avventura turistica" agli inizi degli anni '70.

Quarant'anni dopo, la struttura insediativa si estende prevalentemente nella parte centro-settentrionale del lido occupando, da nord a sud, una fascia lunga circa 5 km, sviluppatasi prevalentemente ad est della rete viaria principale, che si snoda lungo le dune caratterizzanti la morfologia della zona più interna. Da tale asse si dipartono, verso la spiaggia, numerose strade secondarie che delimitano i lotti nei quali sono state create numerosissime villette mono e bifamiliari, di semplice fattura e tra loro differenziate unicamente dalla data di costruzione o dalla fantasia delle forme.

Oltre che dall'impianto urbanistico il geografo può trarre indicazioni sulla tipologia del turismo della zona e, conseguenzialmente, sull'entità dell'impatto da questa subito, prendendo in considerazione le strutture ricettive.

A Rosolina esistono diverse unità alberghiere che fanno dedurre come la struttura ricettiva sia nel complesso di modesta levatura, come del resto è dimostrato anche dalla presenza di alcuni campeggi. A questa struttura si affianca inoltre quella costituita dagli alloggi privati.

La rapidità con la quale il fenomeno turistico di Rosolina Mare si è sviluppato risulta evidente dalle presenze, che, ammontanti a poco meno di 40 000 nella stagione 1962, risultano più di 1 000 000 nel 2014. Nel decennio 2004-2014 si è registrato pertanto il maggior parossismo sia nel movimento turistico (arrivi e presenze) sia nella realizzazione e vendita delle costruzioni che, acquistate dai privati come "seconda casa", sono oggi da essi utilizzate solo per brevi periodi, preferendosi cederle in affitto nei mesi centrali della stagione estiva e ottenere così un sicuro reddito.

L'indicatore indiretto della situazione dell'area turistica di Rosa Pineta e Rosolina Mare è costituito dalla struttura di servizio che fa capo, oltre che alle attrezzature di spiaggia, ai cinema, alle trattorie e pizzerie, alle piscine, ai campi da tennis e all'attracco turistico del porto; ma ben più significativa appare la presenza di numerose agenzie d'affari per la locazione e la vendita di appartamenti e villini. Si deduce anche da ciò come Rosolina Mare, che accoglie nelle case private un turismo prevalentemente familiare proveniente dall'area rodigina e negli alberghi e campeggi un turismo giovane di nazionalità soprattutto straniera qui attratto dalla primitività dei luoghi, risulti essere un'area intensamente ma non razionalmente utilizzata.

La vicina Albarella, che dal lido di Rosolina Mare in origine si differenziava nella struttura morfologica unicamente per il fatto di non essere direttamente collegata alla terraferma, appare oggi una realtà completamente diversa. In quest'isola si è realizzato un "progetto" turistico del tutto particolare e, forse, non completamente consono alla posizione e alla realtà ambientale della zona. In essa, infatti, si è pensato di creare, non tanto in termini areali quanto in termini sociali e gestionali, una vera e proprio "isola", in grado di accogliere una determinata categoria di turisti.



L'attuale realtà di Albarella si è realizzata pertanto sulla base di un piano che ha previsto non solo il mantenimento ad anzi il rifacimento dell'ambiente naturale, ma soprattutto un "ambiente turistico" (strutture di servizio ricettive, nonché turisti stessi) del tutto idealizzato.

L'antica isola, formatasi nel XVII secolo e via via utilizzata come sede di attività vallive, come area agricola o, nei primi decenni del '900, per accogliere allevamenti bradi e semibradi, è passata attraverso vari proprietari finché nei primi anni '60 la società Texon ha iniziato le trasformazioni, portando innanzitutto l'acqua e l'elettricità, nonché costruendo le infrastrutture viarie e di servizio, dopo aver modificato la forma esterna e la morfologia dell'isola colmando gli stagni e i tratti paludosi marginali con terreni ricavati dalle dune. Realizzata la desiderata (ma falsa) "naturalità ad uso residenziale", la nuova Società, l'Albarella – una iniziativa extrabancaria del Credito Svizzero – si è assunta il compito di gestire e migliorare quanto creato, vendendo ai privati abitazioni già costruite o lotti edificabili. I singoli proprietari acquistando la casa divengono anche proprietari (per la loro quota-parte) delle parti comuni e, quindi, partecipano proporzionalmente alle spese di gestione di miglioramento qualitativo delle infrastrutture. In breve, si può dire che l'isola, nella quale è proibito l'accesso ai non residenti, è organizzata come un vero e proprio condominio. Tenendo conto non solo delle spese di acquisto delle singole unità immobiliari, ma anche di quelle generali di gestione del "supercondominio" (manutenzioni ordinarie e straordinarie delle strade, delle aree verdi ad uso comune, degli impianti di distribuzione dell'acqua e dell'elettricità, delle fognature, della chiesa, ecc. oltre alle altre opere di interesse comune quali lo specchio nautico, la valle da pesca, le protezioni a mare, il campo da golf, il centro sportivo, le piscine, ecc.) già si comprende come Albarella sia stata realizzata per un turismo d'élite, quantomeno economica.

A partire dal 1989 la gestione del "supercondominio" risulta affidata interamente ai singoli proprietari che opereranno attraverso un "Consiglio di comunione" eletto dall'assemblea di tutti i membri, il quale non solo gestirà la parte economico-finanziaria, ma provvederà a far rispettare il regolamento accettato dagli acquirenti contestualmente ai patti di comunione.

Da quanto brevemente accennato appare evidente che il turismo di Albarella si differenzia da quelle delle restanti località adriatiche ed in particolare da Rosolina Mare non solo sotto l'aspetto dei costi, che portano ovviamente ad un determinato tipo di selezione, ma soprattutto per la "filosofia" che l'ha ispirato e che esso esprime.

Chi sceglie di passare le proprie vacanze ad Albarella, sia come proprietario sia come affittuario od ospite di una struttura alberghiera, opta per una forma di isolamento dorato del tutto particolare, durante il quale sceglie di vivere a contatto con persone che "la pensano come lui". Ci si trova cioè in una situazione di turismo "auto ghettizzandosi", che, anche per questa sua caratteristica, ha contribuito al formarsi di un'organizzazione territoriale del tutto particolare e diversa da quella dei restanti lidi.

Resta inoltre da rilevare come le numerose strutture turistiche realizzate per allietare le vacanze degli ospiti, per organizzare il loro tempo libero (ristoranti, bar, cinema, locali da ballo, centri commerciali; il centro di equitazione; il centro sportivo, minigolf, campi di calcio, di pallavolo, di pallacanestro, di bocce e bowling; il campo per il tiro all'arco; la pista per pattini a rotelle; le piscine; la sauna; il percorso footing e le piste ciclabili) siano in massima parte rivolte ad attività che nulla hanno a che fare con il mare. Albarella, che pur dispone di spiaggia, scuola a vela, di canoa e di surf e di un porto, in ragione della maggior

parte delle sue infrastrutture sembra voler dirigere la vita degli ospiti ad attività interne tanto che ci si chiede se un'analoga realizzazione, attuata ad esempio nell'Appennino o anche nell'interno della Pianura Padana, non avrebbe avuto migliori risultati, se non altro per i minori costi e le minori difficoltà derivanti dall'ambiente naturale e dall'accessibilità.

### **3. Riflessioni conclusive**

Da quanto rilevato appare evidente che, per ciò che riguarda la struttura ricettiva e gestionale, Albarella e Rosolina Mare presentano notevoli differenze qualitative e tipologiche riflettentisi in un'organizzazione territoriale ed urbanistica certamente più razionale ad Albarella, che, tuttavia, si presenta scarsamente spontanea e forse troppo ordinata.

Ancora maggiori risultano le differenze tra Albarella e Rosolina Mare esaminando le presenze dei turisti che nella prima, nel 2014, sono state 12 000 (contro i più di 2 000 000 della seconda).

Si nota così come Rosolina Mare, che ha una dimensione pressoché simile a quella di Albarella, accolga un numero di turisti cinque volte maggiore, abbia strutture abitative meno razionalmente distribuite sul territorio e un numero di attrezzature del tutto insufficienti.

Riguardo alla provenienza dei turisti di Albarella, in genere costituiti da gruppi famigliari, si può rilevare che i non numerosi residenti-proprietari sono per lo più veneti e lombardi; mentre i residenti-affittuari sono in prevalenza stranieri. Si comprende così come nell'isola di Albarella, si stia concretizzando un "progetto di turismo" che certamente ha evitato il decadimento dell'ambiente naturale e il caos urbanistico verificatosi a Rosolina Mare; ma che altrettanto certamente non appare come la soluzione ideale per risolvere i problemi delle vacanze dell'italiano medio.

#### **Riflessioni conclusive**

Il confronto tra i due centri consente non solo di dimostrare, ancora una volta, come le diverse organizzazioni e scelte dell'uomo possano portare a tipi di turismo e di strutture urbane tra loro nettamente dissimili pur in ambienti vocazionali pressoché identici, bensì anche di valutare i difetti di ciascuna delle tipologie esaminate.

Il turismo adriatico oggi dovrebbe, a mio avviso, essere organizzato con forme e tipologie intermedie a quelle considerate e, possibilmente, in aree meno "preziose", riservando al Delta destinazioni d'uso che non ne alterino il fascino e il sempre precario equilibrio.

### **Bibliografia**

- [1] Aa.vv. - Il parco naturale del Delta del Po. Territorio Veneto. Analisi e programmazione del territorio, Assoc. Italia Nostra – Consigli Reg. del Veneto e dell'Emilia-Romagna, 1975.
- [2] Albertini R. - Il turismo balneare sulle spiagge veneto-friulane, in "Atti XVIII Congr. Geogr. Ital., Trieste, 1961", pp. 393-402.
- [3] "Altamarea" - Periodico di turismo e cultura dell'isola di Albarella, annate 1982-1988.
- [4] Barbujani R. - Nascita e sviluppo del delta padano, Padova, la garangola, 1974.

- [5] Bombonato G., Vanni W. - Le lotte bracciantili in polesine dal 1945 al 1959, in "Studi polesani", Rovigo, 1978, n. 4, pp. 37-43.
- [6] Bregoli V. - Il litorale emiliano-veneto e le sue variazioni, in "Boll. Econ.", Ravenna, 1963, pp. 8-14.
- [7] Comune di Rosolina - Ufficio beni ambientali, indicazioni per redazioni di progetti in isola di Albarella, Rosolina, s.d.
- [8] Comune di Rosolina - Regolamento edilizio, Rosolina, s.d.
- [9] Consiglio nazionale delle ricerche - L'umanizzazione del mare. Riflessioni geografiche sugli spazi funzionali costieri, Roma, 1986 ("Atti convegno nazionale, Genova, 1985").
- [10] Dazzi R. Tomassino M. - Un modello matematico per il delta del Po, in "Rass. Econ. Polesine", Rovigo, 1974, n. 5-6, pp. 16-26.
- [11] Ferro O., Scarpa G. - L'agricoltura delle regioni venete, Padova, Cedam, 1974.
- [12] Gorlato L. - Turismo sulla costa veneta, in "l'universo", Firenze, 1966, pp. 551-572. Istituto di ricerca sulle acque, Indagine sulla qualità delle acque del fiume Po, Milano, CNR, 1977.
- [13] Migliorini E. - Veneto, Torino, Utet, 1972.
- [14] Muscarà C. - Il Veneto oggi, in "Boll. Soc. Geogr. Ital.", Roma, 1975, pp. 1-18.
- [15] Pietropoli G. - Il comprensorio n. 52: Adria, della Regione Veneto, e la sua problematica, in "Rass. Econ. Polesine", Rovigo, 1975, n. 6, pp. 21-35.
- [16] Regione Veneto - Giunta regionale, piano territoriale regionale di coordinamento del Veneto, Venezia, 1979 (quaderno n. 4).
- [17] Rotary Club Adria - Atti Della II conferenza internazionale dei Delta (14-16 maggio 1982 Adria), Fiesso d'artico, grafiche la press, 1983.
- [18] Sartori G. - Agriturismo e polesine, in "Rass. Econ. Polesine", Rovigo, 1975, n. 4, pp. 3-13.
- [19] Tromboni A. - L'ultimo intervento di bonifica nelle valli di Comacchio, in "Riv. Di Polit. Agr.", Bologna, 1977, n. 1, pp. 19-28.
- [20] Zambon M. - Analisi della subsidenza del delta del Po, Bologna, consorzio di bonifica di II grado per il canale emiliano-romagnolo, 1981.
- [21] Zunica M. - Le spiagge del veneto, Roma, CNR, 1971.
- [22] Zunica M. - Human Influence on the Evolution of the Italian Coastal Areas, in Italian Contributions to 23rd International Geographical Congress, 1976, Roma, CNR, 1976, pp. 87-93.

# THE RELATIONSHIP BETWEEN BEACH GEOMORPHOLOGY AND SUSTAINABLE TOURISM IN SANDY BEACHES: A CASE STUDY OF ROSOLINA MARE LITTORAL (VENETO REGION)

Ilaria Rodella<sup>1\*</sup>, Corinne Corbau<sup>1</sup>, Umberto Simeoni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Ferrara, Department of Physics and Earth Sciences, via Saragat 1, Ferrara 44122, Italy.

\*Corresponding author: E-mail address: rdllri@unife.it

**Abstract** – Beach carrying capacity assessment can be used as useful tools for planning sustainable tourism destinations. Assuming that the establishment of a maximum number of people can help tourist management, this study used two carrying capacity methods to estimate the carrying capacity of Rosolina Mare (Veneto region). To this purpose, the study considered the geomorphological characteristics of the beaches, the users' perception and the environmental and management factors of the littoral. Our results suggest that the physical carrying capacity can be defined using geomorphological analyses, while the effective carrying capacity can be evaluated using the users' perception analysis.

**Riassunto** – Gli studi per determinare la capacità di carico delle spiagge possono essere utilizzati come strumento per la pianificazione di un turismo sostenibile nelle destinazioni turistiche. Assumendo che stabilire il numero massimo di persone che possono frequentare una spiaggia può aiutare la gestione turistica, questo studio utilizza due metodi per stimare la capacità di carico del litorale di Rosolina Mare (regione Veneto). Per questo scopo, lo studio considera le caratteristiche geomorfologiche delle spiagge, la percezione turistica ed i fattori ambientali e di gestione del litorale. I risultati suggeriscono che la capacità di carico fisica può essere definita utilizzando un'analisi geomorfologica delle spiagge, mentre la capacità di carico effettiva può essere valutata utilizzando anche un'analisi della percezione turistica.

## Introduction

The rapid growth of coastal tourism observed during the last 40 years is frequently described as one of the major reason for coastal development, causing many current problems such as pollution, degradation of the coastal environment, impacts on marine ecosystems, etc., as reported by [1] and [2]. In Italy, tourism plays a major role on the coastal economy and as a fact of matter, beach management is crucial for maintaining quality and for attracting tourists. Moreover, today the coastal tourism management can be improved through a careful understanding of social and physical carrying capacity of the beaches in relation to their geomorphology. Carrying capacity analysis, in fact, is used to assess the tourism's impacts on the physical dimension and on the quality of the environment. This analysis depends on the availability of the data on local resources and is typically influenced by factors such as seasonality, the turnover on the beach, the quality of services as well as user satisfaction [3]. Furthermore, specific geomorphologic factors, like erosion, may affect the beach carrying capacity [4, 5, 6].

In this context, present study aims to i) define the relationship between man and environment along Rosolina Mare (Adriatic coast, Italy) by applying an adapted carrying capacity model and to ii) propose an integrated tools for the touristic destinations' management.

## Methods and materials

The method consists in three steps:

- i. analysis of aerial images (Google Earth 2013) and topographic surveys (from 2000 to 2015) to assess the geomorphological beach and nearshore characteristics and to define the land cover;
- ii. different beach users interviews, using a questionnaire used by [7,4] to define the user's perceptions in 2012 and 2015;
- iii. application of the methods of Cifuentes [8] and Williams & Micallef [9] to calculate the beach carrying capacity.

The shoreline evolution is analyzed using the ArcGis 10 tool 'Digital Shoreline Analysis System' (DSAS), v. 4.3 [10], that allows the calculation of the shoreline's change rate between 2000 – 2007 - 2012 and 2015. The available beach surface for recreational activities was measured from the upper limit of the beach to the shoreline in 2013. Moreover, according to [11], beaches were divided into four zones in the cross-shore direction: the transit or active, the resting, the safe, and the service zones (Fig. 1-c).

The approach of Cifuentes [8], based on the physical carrying capacity (PCC) and applying a series of correction factors, was applied to obtain the effective beach carrying capacity. The PCC corresponds to the maximum number of users that can physically occupy a specific area over a particular period (Eq. 1).

$$PCC = (T / a) * S * t \quad (1)$$

Where T is the reference unit equal to 1 tourist, as is the area occupied by 1 tourist, S is the available surface for public use and t is the time remaining on the beach. The available surface for the PCC calculation was measured based only on equipped beaches (bagno) and free beaches.

The Real Carrying Capacity (RCC, Eq. 2) is the maximum number of tourists derived from the PCC according to corrective factors, which are defined as a function of the intrinsic characteristics of the beaches as:

$$RCC = PCC * ErFc * PrFc \quad (2)$$

where, ErFc = Erosion Factor, PrFc = Precipitation Factor.

The ErFc, (Eq. 3) is determined using the equation:

$$ErFc = 1 - (\text{length of eroded littoral} / \text{length of total littoral}) \quad (3)$$

The ECC, which represents the maximum sustainable number of visitors by considering the RCC and the management capacity, is determined by using Eq. 4:

$$ECC = RCC * (OMC / 100) \quad (4)$$

where: ECC is the effective carrying capacity, RCC is the real carrying capacity and OMC is the percentage of optimal management capacity. This last parameter is determined using the percentages of good and adequate parameters of “quality and cleanliness of the beach”, “safety”, “recreational activities” and “services” assessed from the beach users’ perception and evaluation (Eq.5).

$$OMC = [(quality\ and\ cleanliness\ of\ the\ beach\ \%) * (safety\ \%) * (recreational\ activities\ \%) * (services\ \%) ] / 4 \quad (5)$$

The methodology proposed by Williams & Micallef [9] is applied to the situation in 2013, considering the following dimensional parameters for each “bagno”:

1. width and length of the beach;
2. free transit area of the beach;
3. access area, the entry/exit point of the beach, where the supporting services are located;
4. the resting zone according to [11];
5. the umbrella area by Williams & Micallef [9], which considers an area of 4x4 meters for a beach umbrella and two sun-loungers) for 2 persons.

It must be noted that According to the Municipalities Bathing Ordinances the free transit area is 5 meters [12]. The access zone that allows the visitors to walk to the shore must be included every 50 meters of length of the beach [8]. Considering the beach dimensions (without the transit zone and the access zone), the difference between the real number of umbrellas observed in aerial photo and the theoretical number of umbrellas (occupying 16 m<sup>2</sup>) is equivalent to the number of umbrellas in excess, or lacking for each beach establishment. The number of real and theoretical umbrellas was then multiplied by 2 persons to obtain the real and theoretical number of users, afterward called as users’ reference number. The available surface per user was measured by dividing the net surface of the beach by the number of users expected (considering 2 persons per umbrella) in 2013.

## Results

This study area, 7.5 km long in a N-NE – S-SW direction, can be divided into three parts (Fig.1): 1) a northern stretch, 2.25 km-long, where the beach is severely eroded (beach width of about 20 m); 2) a central stretch, 2.3 km long, with a wide beach (from 120 to 180 m) and occupied by numerous beach establishments; and 3) a southern stretch, 2.9 km-long, with free beaches situated in a natural zone (beach width of about 70 m). The available beach surface also varied from north to the south and can be summarized as follows:

- at the northern stretch the surface area is about 25,860 m<sup>2</sup>;
- at the central stretch the surface is about 363,620 m<sup>2</sup>;
- at the southern stretch the beach surface is about 166,980 m<sup>2</sup>.

Moreover, the touristic activities and impacts vary from north to south: the northern and southern stretches present a low level of tourism while a high tourism level characterizes the central stretch.

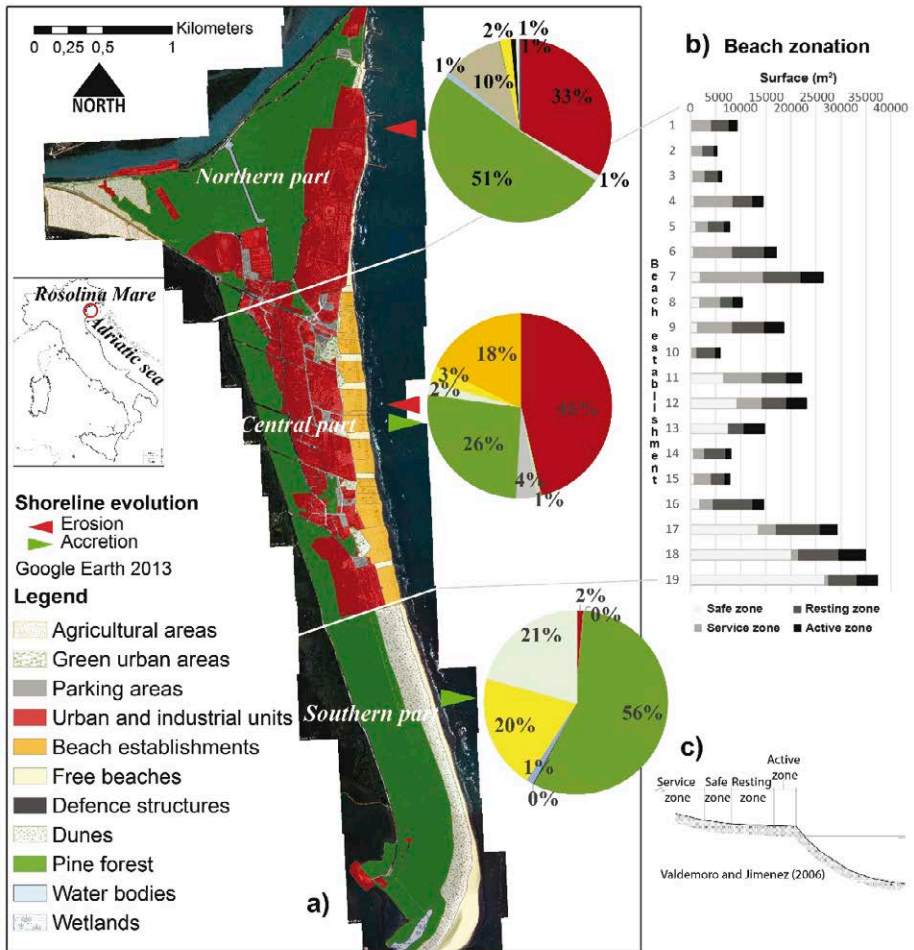


Figure 1– a) Location map and land cover of the year 2013 (base map: Google earth 2013); b) beach zonation of the central part of the littoral; c) beach zonation scheme from [10].

Furthermore, the land cover (Fig. 1-a) can be described as follow:

- the northern part is mainly covered by two classes “urban fabric and industrial unit” (about 728 000 m<sup>2</sup>), and “artificial pine forest” (about 1 114 190 m<sup>2</sup>);
- the central part presents three classes “urban fabric and industrial unit” (about 806 300 m<sup>2</sup>), “artificial pine forest” (about 456 900 m<sup>2</sup>) and “beach establishments” that cover 308 200 m<sup>2</sup>;
- the southern part is covered by two main classes: “dunes” (21 %, about 342 160 m<sup>2</sup>) and “artificial pine forest” (930 950 m<sup>2</sup>).

From 2000 to 2007 (Tab.1), the shoreline of the northern areas is characterized by a negative trend (about -1 m/yr) while a high accretion rate of 2.37 m/yr is observed on the central urbanized area and in the southern area (about 1.7 m/yr). From North to South a shoreline accretion ranging from 1.08 m/yr to 3.7 m/yr occurred from 2007 to 2012 (Tab.1). From 2012 to 2015, the shoreline advanced at a rate of 1.15 m/yr in the northern part, of 2.01 m/yr in the central part and of more than 11 m/yr in the southern part (Tab.1).

Table 1 – Shoreline accretion and erosion rates during the period 2000-2007, 2007-2012 and 2012-2015.

Accretion - Erosion rate (m/yr)	2000-2007	2007-2012	2012-2015
Northern part	-1.04	1.08	1.15
Central part	2.37	1.92	2.01
Southern part	1.71	3.68	11.34

Beach zonation in the central part of the littoral (Fig.1-b) highlights the level of beach use. The service zones cover from 12 m<sup>2</sup> to 12 600 m<sup>2</sup> (average 25 % of total surface of beach establishments) and show high values in the beach establishments from number 1 to 12 (Fig. 1). In the same stretch, the safe zones show the lowest values (from 2 m<sup>2</sup> to 9 200 m<sup>2</sup>) while from the beach establishments 13 to 19 the safe zones range from 598 m<sup>2</sup> to 26 700 m<sup>2</sup>. Considering the all central part, the safe zones cover 30.4 % of the surface (excluding free beaches). The resting zones vary from 2 330 m<sup>2</sup> to 8 815 m<sup>2</sup> for about 29.5 % of the total surface, and generally increase with the available surface from North to South. Finally, transit zones show the same distribution of resting zones and vary from 490 m<sup>2</sup> to 5 310 m<sup>2</sup> for about 15 % of total surface.

### Users' perception

User's perception on the tourist activities and beach preferences were defined through 203 questionnaires collected in the beach establishments (75 %) and free beaches (25 %) in the central part of the littoral (Fig. 1-a). The 76 % of the users are tourists while 24 % of the users are residents at Rosolina Municipality. Gender balance is 59 % female and 41 % male. The interviewers are predominantly between 40 and 65 years old (41 %) and tourism is principally of family type with children (64 %). At Rosolina Mare, beach users generally rent a house for two/three weeks (59 %) or have a holiday home (24 %). Tourists usually stay at the beach from



2 to 6 h per day (54 %) and consider tourism a positive activity. Users have an annual tax bracket less than 20 000 € (36 %) or between 20 000 € and 31 000 € (27 %). Users spend every day on the beach more than 20 € (45%), from 10 € to 20 € (32%), from 5 € to 10 € (12 %), from 0 € to 5 € (6 %). Only 4 % of users do not spend money during the day on the beach.

Beach and sea cleanliness (about 28 %), proximity (about 23 %) and relax (19 %) are the principal reasons for choosing the locality. Litter and man-made debris are identified as the foremost disapproval factors. Although the beach width is judged adequate for more than 91 % of users, overcrowding is observed during the weekends (about 58 %).

Beach users generally prefer not equipped free beach (56 %) even if 44 % prefer equipped beach with a small expense for the services. Users indicate an adequate space per person 4 m<sup>2</sup> (for 64 %), 8 m<sup>2</sup> (for 33 %) or more (10 m<sup>2</sup> for 2.5 % of the users or more than 10 m<sup>2</sup> for 0.5 %).

The recreational activities are poor for 38 % of users, sufficient for 34 % and good only for 28 % of users. Water and beach quality (respectively sufficient for 57 % and good for 45 %), safety (good for 49 %) and landscape (beautiful for 50 %) represent the main discriminating selection factors. Moreover, the services provide are good according to 67 % of users.

The problem of coastal erosion is more or less known by 88 % of users; it is considered important by 88 % of beach users. At Rosolina Mare, hard coastal protections, such as groins, breakwaters or mixed interventions, are not well known. The best coastal protection intervention is the submerged barriers (42%). Nourishment interventions in contrast, are only slightly known (20 % of the users) and according to the beach users, these interventions have some negative characteristics, such as the diminution of the sand quality, excessive cost and their limited resolution capacity for the beach.

### Carrying capacity assessment

The ErFc, calculated along the shoreline between 2012 and 2013, ranges from 0.228 to 0.962 (Tab. 2). The results show that the northern part of Rosolina Mare littoral presents the lowest ErFc and therefore is highly eroded, while the southern part of the littoral has the highest ErFc since stability or accretion has been observed.

Table 2 – Erosion factor (ErFc).

Site	Eroded coastal stretch (m)	Total coastal stretch (m)	ERFc
Northern part	1 738	2 250	0.228
Central part	601	2 300	0.739
Southern part	110	2 900	0.962

In 2013, the PCC using the Cifuentes [8] method is estimated to be 22 198 users/day in the northern part, 51 123 users/day in the central part and 125 237 in the southern part of the littoral (Tab. 3), considering 6 h of tourists' stay on the beach, as revealed during the interviews. Considering the correction factor (Tab. 2) and a probability of precipitation factor of 3 % (equivalent to 0.97 during the summer of 2013), the RCC is estimated to be from 4 909 to 116 863. Considering the OMC index indicated in Table 3, the ECC (Eq. (4)) of the central stretch of coast is then estimated to be equivalent to 24 645 users/day.

Table 3 – PCC, RCC and ECC for Cifuentes [8] method and PCC for Williams and Micallef [9] method.

2013		Cifuentes [8]				Williams and Micallef [9]
Site	Net resting zones (m <sup>2</sup> )	PCC (user/day) 8 m <sup>2</sup> /user; t: 6 h	RCC (user/day)	OMC (%)	ECC (user/day)	PCC (user/day) 8 m <sup>2</sup> /user
Northern part	29 597	22 198	4 909	n.d.	n.d.	3 700
Central part	68 160	51 123	36 645	(78 + 80+21+90)/4= 67,25	24,645	8 520
Southern part	166 982	125 237	116 863	n.d.	n.d.	20 837

The PCC of resting zones using the Williams and Micallef [8] method indicates that the PCC level of 2013 varies from 3 700 users/day in the northern part to 20 837 users/day in the southern part. In the central part, the PCC of each beach establishment varies considerably according to the physical characteristics of the beach, as shown in Fig. 2, and ranges from 104 users/day to about 970 users/day. Furthermore, considering the net available surfaces of beach establishments (including safe zones, resting zones and active zones) the PCC of central part increases to 21 385 users/day.

The users' number determined considering the number of umbrellas observed on satellite photo, assuming two persons/umbrella, ranges from 142 users/day to 840 users/day for a total of 8 270 users/day, excluding the tourists of the free areas. The maximum user excess occurred in the first part of the central stretch (between 1<sup>st</sup> to 9<sup>th</sup> beach establishment) while in the southern part overcrowding phenomenon is not observed.

The available surface per user (m<sup>2</sup>/user) in the year 2013 vary from 4.75 to 20.23 with an average value of 9 (m<sup>2</sup>/user).

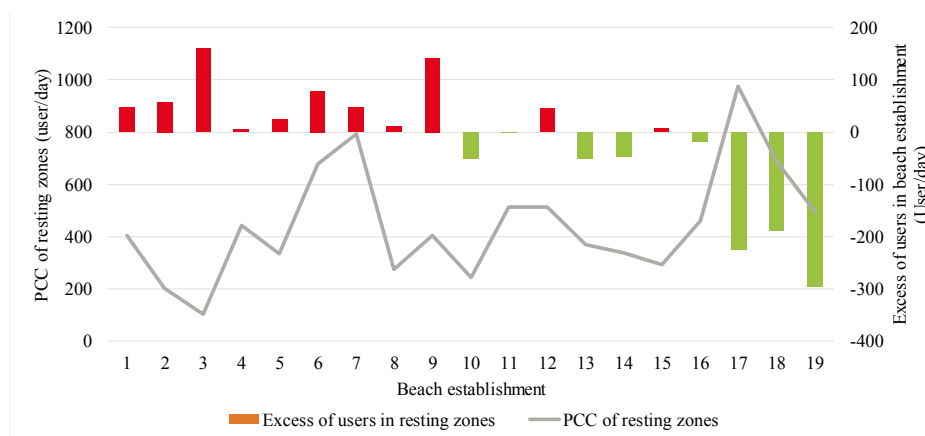


Figure 2 – PCC of resting zones of the year 2013 and excess of users in beach establishment.

## Discussion

Rosolina Mare exhibits a great variety of shoreline evolutionary trend. The worst situation is observed in the northern stretch of coast, where intense beach erosion occurred between 2000 and 2015 despite several nourishment interventions (about 836 000 m<sup>3</sup> of material, [13]). Beach nourishments, however, did not arrest the continuous erosion in the northern part of Rosolina Mare littoral. Moreover, ErFc shows the lowest value in the northern part of Rosolina Mare corresponding to the highest percentage of eroded stretch. As a consequence, in the northern part of coast, the land use analysis indicates the absence of resorts and a prevalence of defence structures. Moreover, in the central stretch the ErFc indicates that about 25 % of the emerged beach is affected by erosion and a loss of about 10 000 m<sup>3</sup> of sediments in the submerged beach as reported by [13]. In addition, land use analysis demonstrates that the main urban activities are present in this stretch and therefore coastal interventions will be needed in the next future. For this purpose, [13] and the Veneto region indicate as potential solution the dredge of about 70 000 m<sup>3</sup>/year of sediment in the submerged beach of the southern stretch to fill the northern eroded beaches.

The users' perception analysis highlights that the notion of erosion seems to be fairly-known, confirming the results of [14, 4] in the Emilia-Romagna region. Satisfaction of beach dimensions and available user surface is observed in the central part of the littoral, especially in beach establishment with high values of surface occupied by safe, active and resting zones. The lowest scores of users' perception are found in northern beach establishments, probably due to the lack of space. In fact, the overexploitation of the sandy area (rentals, sportive areas, services, etc.) and the erosion problems result in a reduction in sand surface that does not favour the peaceful coexistence of multiple uses and increases the feeling of overcrowding. This phenomenon is reported for beaches of Costa Brava (Spain) by [15] and in Catalonia (Spain) by [11]. However, in this stretch the available surface per person do not reaches critical values and the average surface per person (9 m<sup>2</sup>/user at Rosolina) is always comfortable respect to literature values (the minimum comfortable value of 5 m<sup>2</sup>/user as reported by [16,17] and others; from 3 to m<sup>2</sup>/user for [7]).

The comparison of the results obtained by applying the Cifuentes [8] (with pedice<sub>(C)</sub>) and the Williams and Micallef [9] (with pedice<sub>(WM)</sub>) methodologies show that PCC<sub>(C)</sub> is higher than RCC<sub>(C)</sub>, ECC<sub>(C)</sub> and PCC<sub>(WM)</sub>. This is an expected result because the Cifuentes [8] method, contrary to the Williams and Micallef [9] method, multiplies the number of potential tourists by the beach permanence number (6 h). The PCC<sub>(C)</sub> will therefore always be at least 6 times higher than the PCC<sub>(WM)</sub>. Corrective factors used to obtain the RCC<sub>(C)</sub> (Tab. 3) reduce the PCC<sub>(C)</sub>. While the PreFc does not affect the results (identical for all beaches and close to 1), Erfc modifies the carrying capacity according to the beach geomorphological characteristics. For instance, the carrying capacity was "greatly" reduced along eroded stretches such as the northern part of littoral.

Considering the holiday duration, generally more than 15 days, and the considerable percentage of tourist having a holiday home, the daily ECC may be compared to the monthly arrivals number. In 2013 (from June to September) the number of tourist arrivals at Rosolina Mare was 133 621<sup>1</sup> and the average number of tourist arrivals per month was 33 405. Therefore, the ECC is very similar to the monthly tourist arrival.

---

<sup>1</sup> [http://statistica.regione.veneto.it/banche\\_dati\\_economia\\_turismo.jsp](http://statistica.regione.veneto.it/banche_dati_economia_turismo.jsp)

## Conclusion

Defining the carrying capacity of a beach is undoubtedly a complex issue. This simple case study aims at identifying some of the aspects that alter/modify/influence this evaluation, such as beach geomorphology, topography, land use. Our results highlight different tourism conditions strictly related to the geomorphological characteristics of the beaches, such as the beach width, the coastline erosion trend and the available beach surface. Such analyses are important because they can help to identify and manage potential problems that could undermine tourism activities or management project. Indeed, they may be used as a decision management tools that can more effectively identify the maintenance actions. Users' perception analysis also plays an important role in the definition of tourism plan and carrying capacity assessment. In fact, the carrying capacity of a beach cannot be expressed as a fixed and rigid value but also as a conjunction of physical and social aspects related to the beach. The Cifuentes methodology allows us to explain the relation between the beach and human system especially in urban beaches, where the human impacts on the environment and beach zonation are very high. Conversely, the Williams and Micallef method may be used in remote beaches where the physical carrying capacity can be defined through geomorphological analyses.

## Acknowledgments

We would like to express our appreciation to Dr. Stefano Paganin and Rosolina Municipality.

## References

- [1] Amelung, B., & Viner, D. - *Mediterranean Tourism: Exploring the Future with the Tourism Climatic Index*. Journal of Sustainable Tourism, (2006)14(4), 349–366. <http://doi.org/10.2167/jost549.0>
- [2] Hall, C. M. - *Trends in ocean and coastal tourism: The end of the last frontier?* Ocean and Coastal Management. (2001) [http://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00071-0](http://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00071-0)
- [3] De Sousa, R., Pereira, L., Da Costa, R., & Jiménez, J. - *Tourism carrying capacity on estuarine beaches in the Brazilian Amazon region*. Journal of Coastal Research, (2014) (70), 545–550. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/43291010>
- [4] Rodella, I., Corbau, C., Simeoni, U., & Utizi, K.- *Assessment of the relationship between geomorphological evolution, carrying capacity and users' perception: case studies in Emilia-Romagna (Italy)*. Tourism Management, (2016) 59, 7–22. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- [5] Zacarias, D. A., Williams, A. T., & Newton, A.- *Recreation carrying capacity estimations to support beach management at Praia de Faro, Portugal*. Applied Geography, (2011) 31, 1075–1081. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog>
- [6] Sousa, R. C. de, Pereira, L. C. C., Costa, R. M. da, & Jiménez, J. A. - *Management of estuarine beaches on the Amazon coast through the application of recreational carrying capacity indices*. Tourism Management, (2017) 59, 216–225. <http://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.07.006>

- [7] Marin, V., Palmisani, F., Ivaldi, R., Dursi, R., & Fabiano, M. - *Users' perception analysis for sustainable beach management in Italy*. *Ocean and Coastal Management*, (2009) 52, 268–277. <http://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.02.001>
- [8] Cifuentes, M. (1992). *Determinacion de capacidad de carga turística em areas protegidas*. Costa Rica: Biblioteca Orton IICA/CATIE.
- [9] Williams, A., & Micallef, A. - *Beach Management principles and practice*. (Earthscan, Ed.). (2009) London.
- [10] Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. - *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report* (2009).
- [11] Valdemoro, H. I., & Jiménez, J. a. - *The Influence of Shoreline Dynamics on the Use and Exploitation of Mediterranean Tourist Beaches*. *Coastal Management*, (2006). 34(4), 405–423. <http://doi.org/10.1080/08920750600860324>
- [12] Città di Rosolina - *Disciplina delle attività balneari*. (2015). Retrieved from [http://cdn1.regione.veneto.it/alfstreaming-servlet/streamer/resourceId/985428c8-f50c-45ca-99c5-22e37cbadc8c/ORDINANZA\\_7\\_2015.pdf](http://cdn1.regione.veneto.it/alfstreaming-servlet/streamer/resourceId/985428c8-f50c-45ca-99c5-22e37cbadc8c/ORDINANZA_7_2015.pdf)
- [13] Ruol, P., Martinelli, L., & Favaretto, C. - *Gestione integrata della zona costiera. Progetto per lo studio ed il monitoraggio della linea di costa per la definizione degli interventi di difesa dei litorali dall'erosione nella Regione Veneto*, (2016).
- [14] Koutrakis, E., Sapounidis, A., Marzetti, S., Marin, V., Roussel, S., Martino, S., ... Malvarez, C. G. - *ICZM and coastal defence perception by beach users: Lessons from the Mediterranean coastal area*. *Ocean and Coastal Management*, (2011), 54(11), 821–830. <http://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.09.004>
- [15] Roca, E., & Villares, M. - *Public perceptions for evaluating beach quality in urban and semi-natural environments*. *Ocean and Coastal Management*, (2008), 51(4), 314–329. <http://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.09.001>
- [16] Botero, C., & Hurtado, Y. - *Tourist Beach Sorts as a classification tool for Integrated Beach Management in Latin America*. *Coastline Reports*, (2009), 13 (2009), 133–142.
- [17] Piqueras, V. Y. - *Las playas en la gestion sostenible del litoral*. *Cuadernos de Turismo*. (1999). Retrieved from <http://revistas.um.es/turismo/article/view/22881.2011.01.020>

## URBAN PRESSURE AND PLANNING MANAGEMENT FOR ITALIAN COASTAL AREAS

Bernardino Romano<sup>1</sup>, Alessandro Marucci<sup>1</sup>, Francesco Zullo<sup>1</sup>,  
Lorena Fiorini<sup>1</sup>, Serena Ciabò<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of L'Aquila – DICEAA, Via Gronchi 18 – 67100 L'Aquila,  
Tel. 0862434113, Fax. 0862434143, e-mail: [bernardino.romano@univaq.it](mailto:bernardino.romano@univaq.it)

**Abstract** – Italian peninsular coastal areas including over 500 000 ha of protected areas, and interest all coastal regions and urban development registered over the past half century has caused important consequences on ecosystems. This geographical area is highly attractive for tourism and for permanent residence, thanks to the good conditions of mobility and transport. Many proposals for productive interventions still have the land as preferential localization and, in many cases, the presence of natural values, is neglected. A goal of this work is to highlight the conditions of presence of high pressures and high transformative environmental values. It will be particularly used comparing indicators to highlight conflicts between the phenomena of urbanization and protection, obtaining a classification of models for the settlement and residual values.

***Riassunto** – La piastra costiera italiana è un'area geografica sede di notevoli contraddizioni: negli ultimi 50 anni le attrezzature e le infrastrutture hanno quasi interamente sostituito gli ambienti originari, lasciando relativamente integro circa il 30 % del perimetro peninsulare, ma nonostante ciò è ancor oggi diffusamente riscontrabile una ricchezza di valori ambientali ed ecologici che giustificano più di 100 parchi e riserve, e oltre 200 siti Natura 2000 per una dotazione complessiva che supera i 500 000 ettari. Si tratta di una area altamente attrattiva per il turismo, l'industria e la residenza permanente grazie alle favorevoli condizioni morfologiche e dei trasporti. È ancora oggi soggetta a forti pressioni trasformative che minacciano le risorse ambientali residuali. Utilizzando un set di indicatori di pressione e di pregio il presente lavoro ha classificato le condizioni ambientali attuali e i margini di recupero e di conservazione.*

### Introduction

The research described in the article involved the coastline of the Italian peninsula, excluding the two large islands of Sicily and Sardinia. The purpose was to highlight the elements involved in the phenomenon of urban conversion of land, the presence of natural lands, and institutional policies for environmental protection.

Indeed, the geographic area studied is the site of striking contradictions: over the past 50 years, man-made development has led to the near total replacement of the original coastal environments. Currently, less than 10 % of the peninsular perimeter is relatively intact and free of construction. It is estimated that the transformation of the coastline through building and urbanization has occurred at a rate of 10 km per year since the end of

World War II [19][29][26]. Despite this, today the peninsular coastline is still rich with environmental and ecological value, with more than 100 parks and reserves and more than 200 Nature 2000 sites, covering more than 500 000 hectares.

Multiple studies attest to the importance of coastal environments, even if besieged by intensely constructed areas, infrastructure, and continual threats of further degradation [1][4][23][3][6][12][18]. Indications of these phenomena, then, are decidedly numerous, considering the other Mediterranean coasts as well [13][21][11][7][28][22][5][8].

The Italian continental Mediterranean coast extends for 4 200 km and is made up of three distinct geographic sectors: Adriatic 1 470 km (35 %), Tyrrhenian 1 939 km (46 %), Ionic 788 km (19 %). These sectors are very geomorphologically diverse, with development that has also heavily influenced by the economic differences between the relevant regions. In particular, the Adriatic and Tyrrhenian sectors include all national latitudinal development from north to south. This coastline includes northern regions that have been heavily industrialized for some time, such as Liguria, Tuscany, Veneto, and Emilia Romagna, and southern regions that are chronically slower economies, such as Campania and Calabria. The Ionic sector, on the other hand, is completely contained within the south, and includes only Puglia, Basilicata, and Calabria.

The research carried out has highlighted the urban/environmental contradictions using five municipality-based statistical indicators. The methodology has illustrated in point 2 below, providing indications on the data and techniques applied as well. Point 3 shows the results and identifies the models for territorial organization. Also presented are some proposals for management policies for various cases corresponding to the resulting models, to try to curb the processes of irreversible alteration of Italian coastal ecosystems.

## Study area

The study area was identified as a 1 km strip of coastal perimeter, divided by municipality, obtaining 430 statistical sections. From a sampling of the entire coastal development, it could be seen that the 1 km strip intercepts most of the development phenomena most directly influenced by the presence of the coast (tourism and trade) and the adjacent transportation infrastructure (streets, railways, and highways), with a reduced flow of other economic dynamics more closely associated with inland areas.

Due to the geomorphological characteristics of the peninsula near the coasts, the nation's major transportation infrastructures (highways, streets, and railways) and many of the largest cities (Rome, Naples, Genoa, Bari, Venice) are concentrated there. In the strip under study, the density of urbanization has doubled from the 1950s to 2000, rising from 10 % to 21 % (from just under 30 000 to the current 61 500). Most of the facilities for beach tourism and vacation homes are concentrated within the study area, and are a very consistent part of the country building heritage. Therefore, it is a very important geographical district, both demographically and economically, and has always been subject to strong development pressure. This pressure reached its height between the 1960s and the 1980s, but even today continues with significant energy.

However, the research data was processed for only 285 out of the 430 total sections, as the Basilicata and Calabria regions are not yet equipped with post-2000 digital land use

cartography as the other Italian regions are. Therefore, the sectors analyzed involved only 11 regions, with the following coastal lengths: Adriatic - all (1470 km), Tyrrhenian - Liguria/Tuscany/Lazio/ Campania (1460 km out of 1760 km), and Ionic - none, as the coast is located completely within Basilicata and Calabria. The total area studied therefore covers approximately 2930 km<sup>2</sup>, or 74 % of the entire developed coastline. For this reason, even given the absence of the Ionic and southern portion of the Tyrrhenian coastlines, the results can be considered statistically significant.

## Data and methods

As previously noted, the study was conducted using digital land use maps from the Italian regions, available with varying updates from 2000 to 2008, except for Basilicata and Calabria. The CORINE Land Cover datasets were not used, as they are known to have little dimensional reliability for Italy with respect to the measurements of urbanized areas. Other countries with more compact urbanization can effectively make use of this EU-managed remote sensing using nominal scales of 1:100 000 [27]. But this is not possible for Italy due to the extremely small sizes of some urban centers, which are not detectable by a satellite reading with a minimum mapping unit of 25 hectares and a minimum width of 100 meter polygons. Out of the 20 regions tested, the accuracy of satellite detection was 30 % less on average than detailed scale photographic detection, at some points more than 50 % when developed centers are very small, at the level of the individual residential building set in an agricultural context. Five indicators were identified (Figure 1) to measure territorial density, where the denominator of the expression is always the surface of the relevant municipal section ( $S_m$ ). The first of these ( $I_{URB}$ ) is urban density and it is connected to development pressure. There are two indices for the types of environmental protection ( $I_{PA}$  = density of protected areas and  $I_{SCIS}$  = density of Nature 2000 sites - Sites of EU interest). The final two indices refer to the ecological quality of topsoils ( $I_{FOR}$  = density of forestation and  $I_{EVL}$  = density of other lands of ecological value).

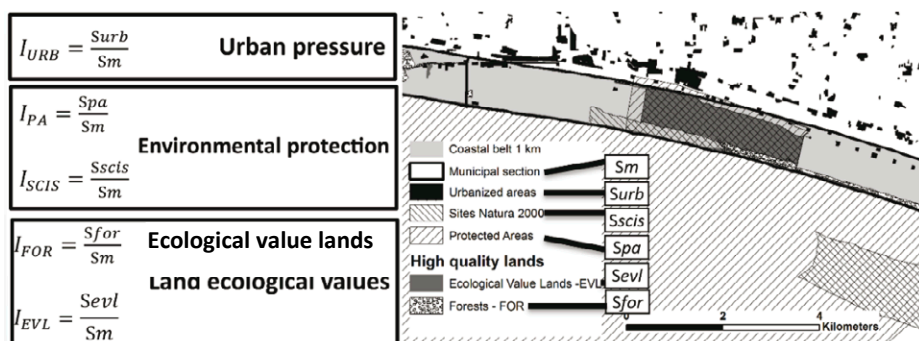


Figure 1 – Detail of the study area and formulation of indicators used.

Development pressure could have also used other indicators, such as demographic load, but the forms in which municipal data is available in Italy do not make it possible to



extract the resident population in randomly chosen geographic sections (such as the coastal strip or urbanized areas).

Some clarifications are warranted for the  $I_{FOR}$  and  $I_{EVL}$  indices and the definitions of forest lands and lands of ecological value. The land use categories of the various regional Land Use Maps (LUM), though with a certain variability, can be tracked to the Corine Land Cover (CLC) land coverage classes.

Table 1 – Conformity between the CLC and regional LUM categories on the allocation of FOR and EVL classes.

CLC II/III	FOR LUM	REGIONS												
		Friuli	Veneto	Emilia Romagna	Marche	Abruzzo	Molise	Puglia	Basilicata	Calabria	Campania	Lazio	Tuscany	Liguria
	Forests				x									
	Broad-leaved forest	x	x					x			x	x	x	
	Broad-leaved forest with continuous canopy							x						
	Broad-leaved forest with discontinuous canopy							x						
	Deciduous forest					x								
	Xerophilous forest		x											x
	Thermophile mixed woods		x											x
	Mesophile mixed woods		x											x
311	Beechwood			x										
	Hornbeam oak and chestnut			x										
	Willows and poplars			x										
	Plains woods with oaks and ash trees			x										
	Wood with chestnut			x										x
	Chestnut			x										
	Riparian vegetation					x								
	Hygrophilous woodlands													
	Recent reforestation			x										
	Riparian forests										x			
312	Coniferous forest	x	x	x		x		x			x	x	x	x
	Coniferous forest with continuous canopy							x						
	Coniferous forest with discontinuous canopy							x						
313	Mixed forest	x	x	x		x		x			x	x	x	x
	Unclassifiable area mostly wooded				x									
	Bushy woods							x						
	<b>EVL LUM</b>													
321	Natural grasslands	x				x		x			x	x		x
	Uncultivated land		x											
	Moors and heathland	x				x							x	x
322	Shrubby riparian vegetation											x		
	Moors and shrub			x							x	x		
	Shrub		x											
323	Meadows and high-altitude moors			x										
324	Sclerophyllous vegetation								x			x		x
	Transitional woodland-shrub	x											x	x
	Grasslands with tree and shrubs							x						
331	Beaches, dunes, sands		x	x		x		x			x	x	x	x
	Sparse vegetation on the beach							x						
332	Vegetation of the coastal dunes		x											
333	Bare rocks			x					x			x		x
	Rocks and debris accumulations				x									
	Sparse vegetated areas													x
	Gullies			x										
	Inland wetlands			x										
	River wetlands		x											
41	Inland marshes								x			x		x
	Fresh water marshes with reeds (river wetlands)		x											
	Fresh water marshes with reeds (coastal wetlands)		x											
	Riparian vegetation							x						
	Peat bogs			x										
	Maritime wetlands										x			
42	Salt marshes		x	x					x			x		x
	Willow and brackish water		x											
	Intertidal flats								x				x	
	Lagoon marshes		x											
	Riverbeds and streams with abundant vegetation			x										x
511	Riverbeds and streams with limited vegetation			x										x
	Rivers											x		
	Coastal lagoons	x							x					
521	Lakes and lagoons					x								
	Lagoons, lakes and coastal ponds								x			x		
	fish farming		x											
522	Estuaries							x	x	x			x	x

The overall entries have been reorganized over the years, where possible, according to CLC directives, implementing levels IV and V in the best cases, and maintaining level III in other cases. Some regions have instead adopted their own classification. In the context of the Image & Corine Land Cover 2000 (I&CLC2000) project in Italy [15], it was decided to implement a level IV thematic search of the CLC2000 database for a more detailed mapping of the land use/coverage classes considered to be of greatest interest for the inventory and management of forest and semi-natural resources [2].

The model used in this study required the inclusion of various land use categories into one of the two classes: FOR (Forest Areas) and EVL (Ecological Value Lands). For this purpose, the LUM categories referring (explicitly or not) to the CLC level III indicated in Table 1 were selected from the regional legends.

Categories 3 and 4 represent predominantly natural or semi-natural lands, where human manipulation has been very limited, or in any case does not alter the high environmental quality. FOR includes all the forest categories, while EVL includes all the various natural categories of the first (Table 1).

## Results

The diagrams in Figure 2 show, along the two Adriatic and Tyrrhenian coastlines, the pattern of average values for the indicators used, expressed using trend lines. The municipal statistics sections are in both cases geographically ordered from north to south. As explained previously, the Adriatic coast is complete, while the Tyrrhenian lacks data for the Basilicata and Calabria regions.

In both cases, we see a notable oscillation of values, but the aspect that appears to be common to the two geographical areas is the substantial dominance of urbanization, which can clearly be seen nearly everywhere. However, in assessing the relative weights of the indicators, there are important differences along the two coastlines (Figure 3).

Along the Adriatic there emerges a notable limitation of the forest component (with  $I_{FOR}$  always less than 10 % on average) and a decided impoverishment of all environmental characteristics of the territory in the geographical sector that runs from the center-north Emilia-Romagna through all of Marche and ends in central Abruzzo. In this part of the coast, there is extremely high geographical selectivity of land, with average densities of up to 60 % for construction and infrastructure, which have largely replaced any other topsoil of ecological value (with a density of not more than 10 %). The remaining 30 % of land is made of up agricultural areas. Where the coast presents morphological and environmental characteristics other than sandy expanses (swamps and lagoons, headlands, rocky slopes), the values of the other indicators overtake those of the urbanized indicators ( $I_{URB} \leq 30\%$ ) and we see attention given to protection, expressed by the presence of Nature 2000 protected areas and sites which also center on values of 30 %. This is the phenomenon produced, with rather different levels, in the north Adriatic area (Friuli V.G., Veneto, and north Emilia Romagna regions) and to the south of Abruzzo up to Puglia, accentuated at the height of the Gargano headlands. It is precisely in this last sector that the action of the protection policies stabilizes, with  $I_{AP}$  and  $I_{SCIS}$  values between 20 % and 30 %; we also see a significant remainder of lands of ecological value around 20 %, which for the  $I_{EVL}$  represents, in any case, the maximum length along the coastline. It should be

noted that the  $I_{PA}$  values are always rather close to the  $I_{SCIS}$  and  $I_{EVL}$  values, testifying to a close adherence between perimeters protected by parks and perimeters of the territories occupied by habitat and natural resources.

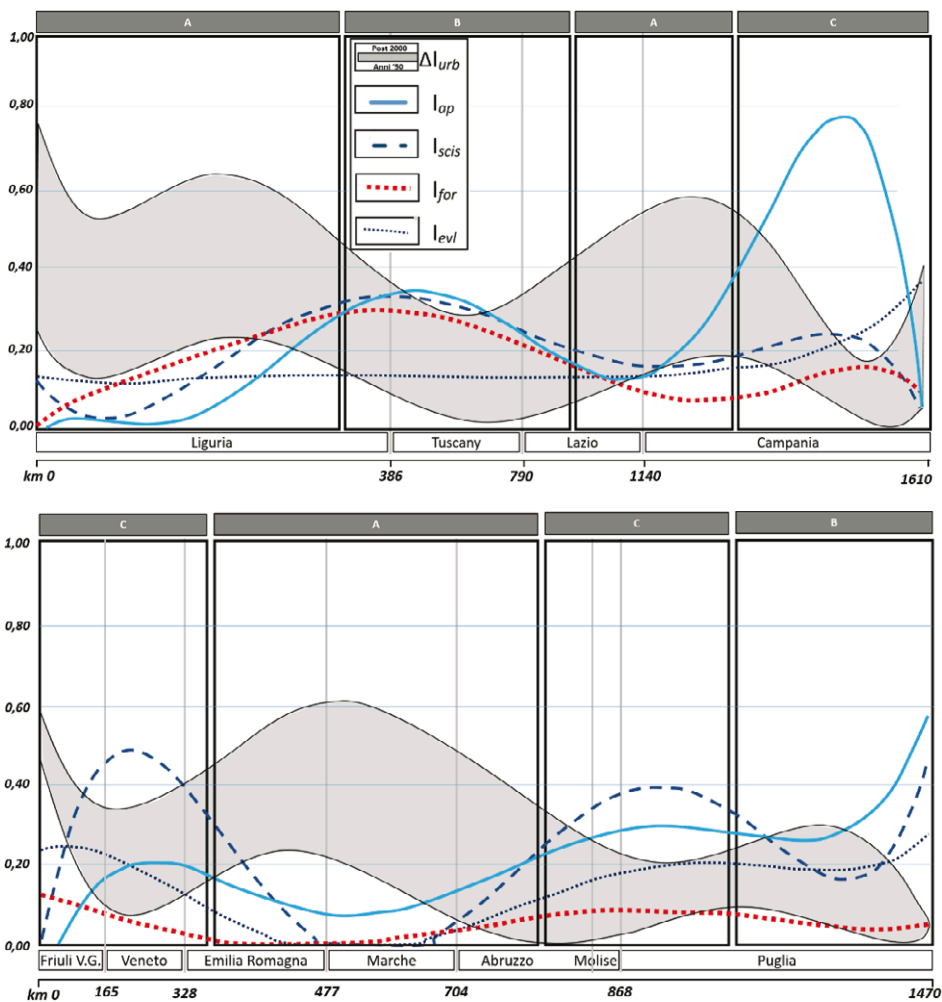


Figure 2 – Values of indicators along the Tyrrhenian (above) and Adriatic coastlines (below).

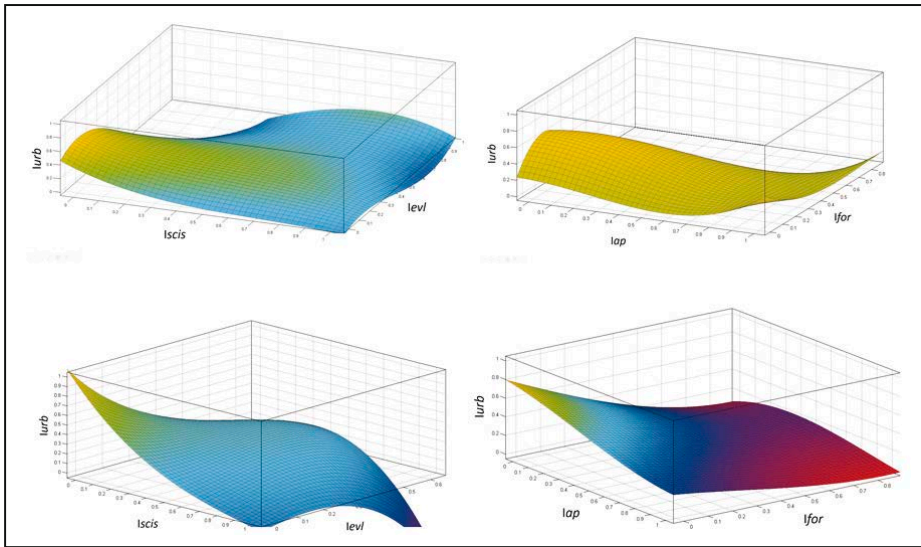


Figure 3 – Correlations  $I_{URB} - I_{SCIS} - I_{EVL}$  and  $I_{URB} - I_{PA} - I_{FOR}$  along the Adriatic (above) and Tyrrhenian (below) line.

The maximum  $I_{EVL}$  value is always lower than 20 % on average, a characteristic that is also found along the Tyrrhenian coast, although in this case the total situation is clearly better for the forest areas ( $I_{FOR}$  always varying between 10 % and 30 %). The very densely urbanized Tyrrhenian coastal sectors, however, are extremely extensive, with average  $I_{URB}$  values oscillating between 50 % and 60 %. This happens along nearly all the Ligurian coast and between center-south Lazio and center-north Campania. All of Tuscany and the areas where it borders with Liguria and Lazio present a very special condition: all the indicators, with the exception of  $I_{EVL}$ , center on the same value of 30 %. This indicates a section of the territory where the urbanized parts are distributed in a rather significant environmental mosaic (low geographical selectivity of land), always with a high correspondence between the dimensions of the protected areas and the areas of ecological-habitat value.

This last correspondence is decidedly skewed, however, on the center-south Campania coast, where the presence of two large national parks (Pollino and Cilento-Vallo di Diano) brings the  $I_{PA}$  values over 70 %. However, these protected areas clearly include many territories of largely cultural/scenic rather than ecological/natural importance, given that the  $I_{FOR}$ ,  $I_{SCIS}$  and  $I_{EVL}$  values are only around 20 %. This is a well-known phenomenon for these two protected areas, whose dimensions approach and exceed 200 000 hectares, and whose perimeters enclose many landscapes of monumental, historical, and cultural/rural value.

Figure 4 expresses the considerations just presented at the scale of the individual regions. The diagrams of geographical selectivity reveal the dominance of some characteristics or the strong co-mingling of others: the Puglia coast is a special case, where the artificial parts of the territory are strongly mixed with the residual natural parts in a mostly non-selective geographical manner. Conversely, geographical selectivity is notable

in the three cases of Emilia Romagna, Abruzzo, and Marche, where the urban concentration excludes any other form of residual nature. Intermediate models of selectivity are found in Campania and Liguria, where the dominance of the urbanized areas does not exclude all the natural features.

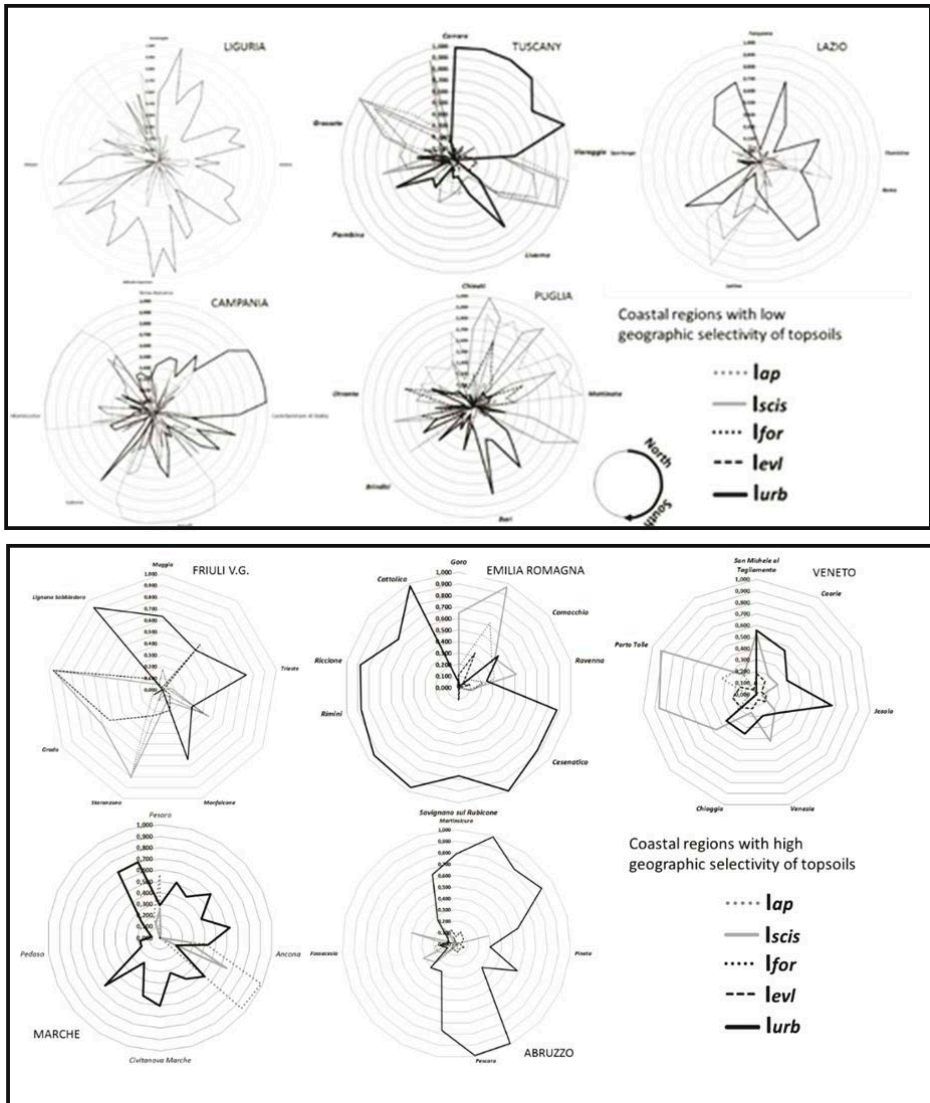


Figure 4 – Diagrams of geographic selectivity of topsoils for the coastal regions (municipalities sorted from north to south).

## Discussion

The considerations that emerged from analysis of the diagrams in Figures 2 and 3 with the values of the proposed indicators led to a type classification of the coastal sectors, indicated as follows, and providing some policy management guidelines (Table 2).

On the Tyrrhenian coastal strip analyzed, 16 coastal segments longer than 5 km were identified (Figure 5), with elevated  $I_{FOR}$  and  $I_{EVL}$  ( $> 80\%$ ) indices, free of urbanization ( $I_{URB} < 1\%$ ) for a total of 144 km (less than 10% of coast analyzed). The longest tracts are located in Tuscany (15 km between Viareggio and Pisa, 20 km between Grosseto and Orbetello), in Lazio (15 km between Latina and Sabaudia), and in Campania (12 km between Camerota and S. Giovanni a Piro). Of the 144 km total, nearly 20% (28 km) lacks conservation protection (protected areas and Natur2 2000 sites), and instead exerts pressure on the remaining segments (Figure 6).

Table 2 – Type classification of the coastal sectors and some management policies.


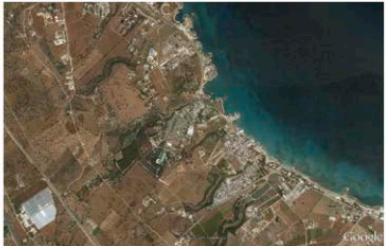
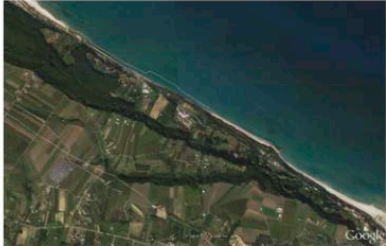
	<p><b>Type A</b> – Urban-dominant coastal strip (<math>I_{URB} &gt; 40-50\%</math>) and presence of environmental components and restrictions of less than 20% on average. Very limited incidence of protected areas and Natura 2000 sites (<math>I_{AP}</math> and <math>I_{SCIS}</math> of 0 to less than 10%-15%). Environments highly compromised by construction coverage and infrastructure development, with very little natural area remaining.</p> <p><i>Management policies:</i> Potential for ecological restoration is very difficult technically, politically, and socioeconomically.</p>
	<p><b>Type B</b> – Coastal sectors with attenuated development density (<math>I_{URB}</math> also less than 20%-30%), equally present with some environmental restrictions such as protected areas and Natura 2000 sites (<math>I_{AP}</math> and <math>I_{SCIS}</math> between 20% and 40%), with consistent remainders of land with ecological value (<math>I_{EVL} &gt; 20\%</math>). Environment still diverse, with widespread urban development, but with still-significant natural spaces.</p> <p><i>Management policies:</i> Potential for ecological restoration medium-high, particularly through application of reticular repair models of interstitial protected areas, or those of naturalistic interest.</p>
	<p><b>Type C</b> – Predominantly environmental coastal sectors, with urban density (<math>I_{URB}</math>) less than 20% and incidence of conservation restrictions (<math>I_{AP}</math> and <math>I_{SCIS}</math>) varying between 20% and 50-60% and <math>I_{EVL} &gt; 20\%</math>. Scarcely-compromised environments, generally for reasons connected to geomorphological conditions that are incompatible with construction. High potential for acquisition of nodal functions of the coastal ecological network and between the coast and interior.</p> <p><i>Management policies:</i> Areas to be subjected to strict development control policies to limit future compromises.</p>





Table 3 – Type of environmental protection on peninsular coastal segments longer than 5 km, free of urbanization and with higher density of ecological value.

	Municipalities	Length (km)	Type of environmental protection		Regions
			Nature 2000	Protected areas	
Adriatic coast	Marano Lagunare	17	☐		Friuli V.G.
	S. Michele Tagliamento-Caorle	7	☐		
	Porto Viro-Goro	50	☐		Veneto
	Ravenna	6	☐		Emilia Romagna
	Gabicce-Pesaro	11	☐		
	Sirolo	8	☐		Marche
	Torino di Sangro	5	☐		Abruzzo
	Chieuti-Serra Capriola	13	☐		
	Lago di Lesina	14	☐		
	Vieste-Mattinata	12	☐		
	Zapponeta-Margherita di S.	11	☐		
	Barletta	6	☐	☐	Puglia
	Carovigno-Brindisi	6	☐	☐	
	Brindisi-S. Pietro V.	7	☐	☐	
	Vernote	8	☐		
	Otranto-S. Cesarea T.	10	☐		
	<b>191</b>		<b>191 km (100%)</b>	<b>19 km (10%)</b>	
Thyrrhenian coast	Camogli-S. Margherita L.	8		☐	Liguria
	Levante-Momeglia	5			
	Riomaggiore-Portovenere	8		☐	
	Viareggio-Pisa	15	☐	☐	Tuscany
	Bibbona-Castagneto Carducci	5			
	S. Vincenzo-Piombino	7			
	Grosseto-Orbetello	20		☐	
	M. Argentario-Orbetello	7			Lazio
	Capalbio-Montalto di Castro	7			
	Roma-Pomezia	7		☐	
	Nettuno-Latina	8	☐		
	Latina-Sabaudia	15		☐	
	Sorrento-Vico Equense	8	☐		Campania
	Agropoli	6		☐	
Castellabate	5		☐		
Camerota-S. Giovanni a P.	12		☐		
	<b>143</b>		<b>31 km (22%)</b>	<b>96 km (67%)</b>	

## Conclusions

The results obtained clearly show the effect that fifty years of relatively uncontrolled development have had on the landscape mosaic and coastal ecosystem, as well as the current condition of “besiegement” of natural spaces and semi-natural remainders, and areas protected for various reasons. It is true that at least 350 km of the coastline analyzed (approximately 12 % of nearly 3 000 total) are still relatively unaltered, falling under the type C description, and can constitute the base of a possible restoration under a territorial environmental retrofit policy [16] and adequate coastal management [25][9].

On the other hand, construction dynamics have strongly driven the business market of the Italian coast. This phenomenon, along with the best connections with the rest of the country, for many years has made the coast into a strong attractor of people and services. Due to a scarcity of data, it is very difficult to correlate the dynamics of the



increase of urbanized surfaces with economic components, but some investigations have shown a positive correlation between per capita earnings in the coastal municipalities and the intensity of urbanization phenomena.

The environmental sustainability price paid for these advantages has been undoubtedly high, as are the costs that the community has paid and is still paying to combat many serious phenomena that degrade the same environmental resources that motivated the tourism and consequent real estate interests.

Any plans for retrofit by the government of the territory must now take into account another emergent aspect: the status of the coasts in the Italian regions is very diverse, particularly with regard to past and developing phenomena, administrative sensitivities, and management policy actions. From this perspective as well, some directions for environmental policy can be set out, addressing the most critical situations in light of the information derived from the indicators used [20].

As has already been stated in describing the three types A, B, and C, the margins of action for territorial policies (and municipal planning in particular) are very broad in B and in C, but rather restricted in A. In this last situation, the preparation of urban projects aimed at recovering each microsector that is still free, to attempt the difficult work of repairing and connecting, will become increasingly important – and will, however, be predictably blocked by the looming density of the urban fabric and related disturbances, as well as economic interests that are, on average, rather strong.

The most effective actions can therefore be taken in zones B and C. In these zones in particular, the rather determined choices of protection should dominate over all the others. On this subject, we note that today 20 % of the Tyrrhenian coastal segments still free from urban density lacks the conservation protection provided by protected areas.

A central, as well as regional, government intervention will likely be necessary, through incentivized tax policies in municipalities for the conservation of remaining coastal passages, using instruments that are already in the experimentation phase in some European countries [10]. However, it would also be appropriate systematically to carry out environmental restoration projects using, for example, decommissioned areas. Indeed, in these cases, especially when dealing with abandoned manufacturing sites, which are rather numerous, it could proceed with projects to restore original environments between the sea and the interior. This type of action, oriented toward restoration under difficult daily conditions, appears to be the only way to improve technological/environmental conditions and hydrogeological risk to the coasts, which are by now saturated with construction.

## **Acknowledgment**

The methodology presented has been implemented in the research project and monitoring supported by Umbria Region, that we want to thank for the resources given. The indicators used have been developed within the SUNLIFE project (LIFE 13/NAT/IT/000371 - Strategy for the Natura 2000 Network of the Umbria Region).

## References

- [1] Acosta A., Blasi C., Stanisci A. - *Sandy coastal landscape of Latium region (Central Italy)*. *Phytocoenologia* (2003), 33 (4), 715-726.
- [2] Bologna S., Chirici G., Corona P., Marchetti M., Pugliese A., Munafò M. - *Sviluppo e implementazione del IV livello Corine Land Cover per i territori boscati e ambienti semi-naturali in Italia*. Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA "Geomatica: Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie", Roma, 14 - 17 dicembre 2004, Vol. 1: 467-472.
- [3] Buffa G., Fantinato E., Pizzo L. - *Effects of Disturbance on Sandy Coastal Ecosystems of N-Adriatic Coasts (Italy)*. *Biodiversity Enrichment in a Diverse World*, Gbolagade Akeem Lameed (2012). DOI: 10.5772/48473
- [4] Carboni M., Carranza M.L., Acosta A. - *Assessing conservation status on coastal dunes: A multiscale approach*. *Landscape and Urban Planning* (2009), 91(1), 17-25.
- [5] Cigdem H., Hepcan S., Hepcan C., Kilicaslan C., Bulent Ozkan M., Kocan N. - *Analyzing Landscape Change and Urban Sprawl in a Mediterranean Coastal Landscape: A Case Study from Izmir, Turkey*. *Journal of Coastal Research* (2013), 29(2), 301-310
- [6] Ercole S., Del Vecchio S., Prisco I., Santoro R., Jucker T., Carboni M., Moscatelli F., Acosta A. - *Analisi della distribuzione degli habitat costieri italiani di interesse comunitario all'interno dei SIC*. Atti 106° Congresso Nazionale della Società Botanica Italiana, Genova, 21- 23 settembre 2011, 155-156.
- [7] Esbah H., Kara B., Deniz B., Kesgin B. - *Changing Land Cover Characteristics of a Developing Coastal Town: A Case Study of Didim, Turkey* Hayriye. *Journal of Coastal Research* (2010), 26(2),274-282
- [8] Finkl C.W., Goffredo, S., Dubinsky, Z. (eds.) - *The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges*. *Journal of Coastal Research* (2015), 31(3),772-773
- [9] Forino G., Ciccarelli S., Bonamici S., Perini L., Salvati L. - *Developmental Policies, Long-Term Land-Use Changes and the Way Towards Soil Degradation: Evidence from Southern Italy*. *Scottish Geographical Journal* (2015), 131(2),123-140
- [10] Henger R., Bizer K. - 2010. *Tradable planning permits for land-use control in Germany*. *Land Use Policy* (2010), 27, 843-852.
- [11] Hill J., Mégier J., Mehl W. - *Land degradation, soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems*. *Remote Sensing Reviews* (1995), 12(1-2), 107-130.
- [12] ISPRA - *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. Rapporto ISPRA (2015), 215/2015, p.101.
- [13] Le Houérou H.N. - *Global change: vegetation, ecosystems, and land use in the Southern Mediterranean Basin by the mid Twenty-First Century*. *Israel Journal of Botany* (1990), 39(4-6),481-508.
- [14] Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. - *What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy*. *Landscape and Urban Planning* (2013), 119,54-63.
- [15] Maricchiolo C., Sambucini V., Pugliese A., Blasi C., Marchetti M., Chirici G., Corona P. - *La realizzazione in Italia del progetto europeo I&CLC2000:*

- metodologie operative e risultati*. Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA "GEOMATICA: Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie", Roma, 14 - 17 dicembre 2004.
- [16] Onori L. (Ed.) - Il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle Aree protette, ISPRA (2009), Rapporto 100/2009, p. 359
- [17] Pintó S.J., Martí C., Fraguell R.M. - *Assessing Current Conditions of Coastal Dune Systems of Mediterranean Developed*, Journal of Coastal Research (2014), 30(4), 832-842.
- [18] Romano B., *Planning and environmental continuity*. Urbanistica (1999), 112, 156-160.
- [19] Romano B., Zullo F. - The urban transformation of Italy's Adriatic Coast Strip: fifty years of unsustainability. Land Use Policy (2014), 38,26-36.
- [20] Romano B., Zullo F. - Half a century of urbanisation in Southern European lowlands a study on the Po Valley (Northern Italy). Journal of Urban Research and Practice (2015), 9(2), 109-130.
- [21] Saliba L.J. - *Coastal land use and environmental problems in the Mediterranean*. Land Use Policy (1990), 7(3),217-230.
- [22] Salvati L., Munafò M., Gargiulo Morelli V., Sabbi A. - *Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region*. Landscape and Urban Planning (2012), 105(1-2),43-52.
- [23] Sargolini, M. - *Adriatic urban sprawl and environmental continuity*; in: Lardon S., Marraccini E., Bonari E. ,(Eds) Agricultural management in peri-urban areas, Felici Editore srl, Pisa (2010), 86-93.
- [24] Simeone S., De Falco G., Quattrocchi G., Cucco A. - Morphological changes of a Mediterranean beach over one year (San Giovanni Sinis, western Mediterranean), Journal of Coastal Research (2014), 70,217-222.
- [25] Suárez de Vivero J. L., Rodríguez Mateos J. C. - *Coastal Crisis: The Failure of Coastal Management in the Spanish Mediterranean Region*. Coastal Management (2005), 33(2),197-214.
- [26] Tagliapietra D., Magni P., Basset A., Viaroli P. - Ecosistemi costieri di transizione: trasformazioni recenti, pressioni antropiche dirette e possibili impatti del cambiamento climatico. Biologia Ambientale (2014), 28(2),101-111.
- [27] Thomson G., Manchester S.J., Swetnam R.D., Smith G.M., Wadsworth R.A., Petit S., Gerard F. F. - *The use of digital aerial photography and CORINE-derived methodology for monitoring recent and historic changes in land cover near UK Natura 2000 sites for the BIOPRESS project*. International Journal of Remote Sensing (2007), 28(23),5397-5426
- [28] Vimal R., Geniaux G., Pluvinet P., Napoleone C., Lepart J. - Detecting threatened biodiversity by urbanization at regional and local scales using an urban sprawl simulation approach: Application on the French Mediterranean region. Landscape and Urban Planning (2012), 104(3-4),343-355.
- [29] Zullo, F., Paolinelli, G., Fiordigigli, V., Fiorini, L., Romano, B. - 2015. *Urban Development in Tuscany. Land Uptake and Landscapes Changes*. TeMA. Journal of Land Use, Mobility and Environment (2015), 8(2),183-201.

## MEDPAN PROJECT “TERRITORIAL ANALYSIS FOR THE INTEGRATED MANAGEMENT OF THE POSILLIPO COASTLINE” (GULF OF NAPLES)

Maurizio Simeone, Paola Masucci, Alessio Usai, Daniela Giordano, Caterina De Vivo, Oscar Saccone, Daniele Grech, Alberto Pagliarani, Giusy De Luca, Martina Genovese, Massimiliano Moraca, Filippo Tatino, Aurora Truccolo  
Centro Studi Interdisciplinari Gaiola onlus, Via Petrarca, 49 - 80122 Napoli,  
Tel. 0812403235, Fax. 0812403235, e-mail: m.simeone@gaiola.org

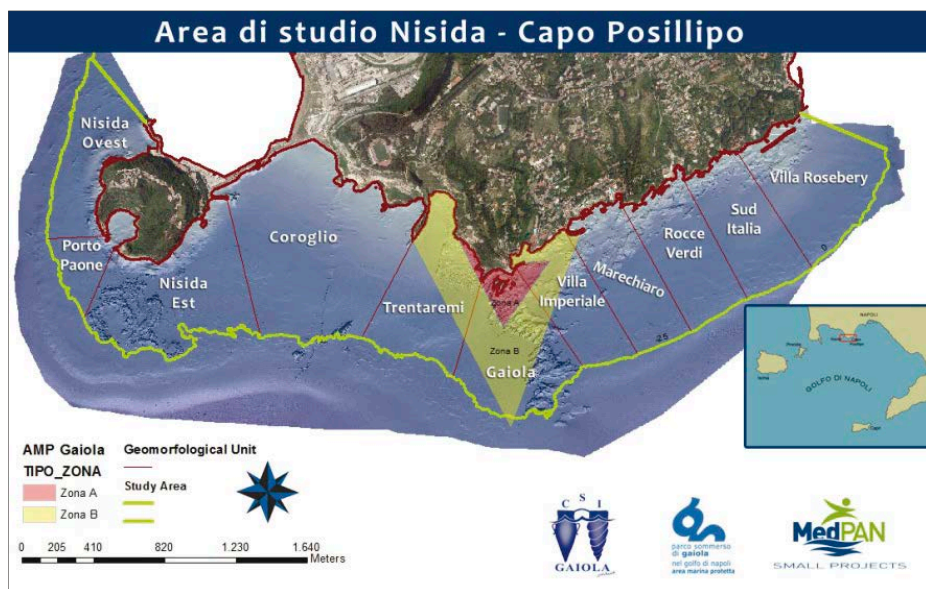
**Riassunto** – A quattordici anni dall’istituzione dell’AMP Parco Sommerso di Gaiola, il *gap* tra l’area sottoposta a tutela e le aree costiere immediatamente limitrofe è diventato sempre più stridente, sia in termini di strategia di conservazione che di conoscenze scientifiche. L’obiettivo del Progetto è incrementare le conoscenze in campo geomorfologico, botanico, faunistico e socio economico sull’intero sistema ecologico costiero in cui è inserita l’AMP di Gaiola, al fine di colmare il deficit di informazioni scientifiche esistenti e fornire un quadro organico di riferimento nel medio e lungo periodo per verificare l’efficacia delle azioni di tutela intraprese, le eventuali criticità presenti, e pianificare efficienti piani di gestione in accordo con i principi dell’*Integrated Coastal Zone Management*.

**Abstract** – *This project is developed in the MPA Gaiola Underwater Park and its surrounding areas, located in the densely populated Naples urban area. This small MPA is located in coastal context for whom there are not scientific data available. In order to better manage the resources of the MPA is therefore necessary to increase the level of knowledge of the areas immediately surrounding the MPA itself. This project is aimed to acquire environmental and socio-economic data in order to analyze in an integrated way all the aspect of the territory with the production of an integrated geodatabase that could be used by manager authority as a tool for developing an Integrated Coastal management Plan.*

### Introduzione

L’Area Marina Protetta (AMP) Parco Sommerso di Gaiola, istituita nel 2002, con una superficie di appena 42 ha e circa 2,3 km di costa, ubicata lungo la costa di Posillipo, nel Golfo di Napoli (Fig.1), rappresenta oggi un’importantissima risorsa della Città di Napoli essendo riuscita a tutelare e riqualificare una delle aree di maggior pregio della costa cittadina che, da oltre trent’anni, versava in stato di abbandono [3]. Nonostante il contesto prettamente metropolitano in cui è inserita, la costa di Posillipo in generale, e l’area della Gaiola in particolare, conserva ancora oggi ampi tratti di naturalità cui si associano rilevanze di carattere bio-ecologico e storico-archeologico [6], [8]. L’obiettivo del presente Progetto di ricerca, sviluppato dal CSI Gaiola onlus e cofinanziato da MedPAN (*Mediterranean Protected Areas Network*), è quello di acquisire dati utili sull’intero settore costiero in cui è inserita l’AMP di Gaiola, a quattordici anni dalla sua istituzione, che possano fornire un

quadro organico di riferimento nel medio e lungo periodo per verificare l'efficacia delle azioni di tutela intraprese, le eventuali criticità presenti, e pianificare efficienti piani di gestione in accordo con i principi dell'*Integrated Coastal Zone Management* [2].



Figural – Area di studio.

Figure 1 – Study area.

A partire dal 2005 sono stati realizzati diversi studi all'interno dell'AMP per incrementarne le conoscenze sia in ambito biologico che geoarcheologico, ma questo ha creato un'enorme disparità di conoscenze tra il settore costiero incluso nell'AMP e quello esterno, immediatamente limitrofo, dove i dati disponibili risultavano essere decisamente scarsi e molto datati. È facile intuire come sia difficile sviluppare efficaci piani di tutela e gestione delle risorse del Parco, considerando l'AMP Gaiola come un sistema sconnesso dal sistema ecologico immediatamente attiguo soprattutto se si considerano le esigue dimensioni dell'AMP, il contesto urbano in cui è inserita e l'attuale mancanza di una zona C di riserva parziale che possa fungere da zona di transizione rispetto alle aree non sottoposte a regime di tutela.

## Materiali e metodi

L'area di studio presa in esame nel presente lavoro è il settore costiero della Città di Napoli che va da Capo Posillipo all'Isola di Nisida, per una lunghezza di circa 9 km, fino alla batimetrica dei -25 m (Fig. 1). L'analisi territoriale è stata suddivisa in quattro differenti linee di ricerca (*Activities*): 1) geomorfologia costiera, 2) aspetti florofaunistici della costa emersa; 3) ambiente marino; 4) aspetti socio-economici.

- 1) Geomorfologia costiera: sono stati eseguiti rilievi single beam e multibeam dalla linea di costa fino alla batimetrica dei -35 m, finalizzati alla costruzione della cartografia base di riferimento ed un DTM 3D terra-mare; La cartografia tridimensionale della costa emersa è stata ricavata da immagini LIDAR fornite dal Sistema Informativo Territoriale della Regione Campania rielaborate in ambiente ArcGIS 10.2. La mappa batimorfologica è stata realizzata partendo da rilievi Multibeam esistenti di proprietà dell'AMP di Gaiola, integrati da rilievi eseguiti ex novo mediante single beam, da 0 a -10 m, e multi beam, da -10 a -35 m, realizzati sul settore costiero ad est ed ovest dell'AMP. I dati morfobatimetrici derivanti dalle due campagne rilevamento sono stati elaborati assieme ai dati esistenti mediante l'utilizzo di software GIS quali SURFER, e ARCGIS secondo il sistema di coordinate UTM WGS84. In base alla caratterizzazione geomorfologica della costa emersa l'Area di studio è stata suddivisa in 11 unità geomorfologiche omogenee (UGO) di riferimento per le diverse *Activity* del progetto.
- 2) Aspetti floro-faunistici: le analisi sulle fitocenosi costiere, viste le caratteristiche geomorfologiche della fascia costiera, sono state eseguite principalmente via mare con l'ausilio di imbarcazione e kayak. Sono stati evidenziati e mappati i tipi vegetazionali presenti e le associazioni fitosociologiche a grande scala, individuando la presenza e le limitazioni di areale di alcune specie caratteristiche. È stata inoltre condotta un'analisi della distribuzione della specie stenoendemica *Limonium cum anum* e la flora di alcuni siti di particolare rilevanza (Isole della Gaiola e Parco Archeologico Pausilypon). Per quanto riguarda gli aspetti faunistici della costa emersa le indagini si sono concentrate sullo studio della comunità ornitica presente. L'intera *Activity* è stata suddivisa in cinque *sub-activities* di azione: monitoraggio nidificazione Gabbiano reale, determinazione della struttura della comunità nidificante costiera, monitoraggio svernamento del Cormorano, determinazione della struttura della comunità svernante costiera, monitoraggio rapaci. La raccolta dei dati in campo è avvenuta sia attraverso censimenti da punti fissi a terra lungo la costa sia mediante lo svolgimento di transetti via mare.
- 3) Ambiente marino: dall'analisi della mappa batimorfologica prodotta nell'*Activity* 1 è stato elaborato il piano di campionamento finalizzato all'analisi e mappatura delle biocenosi bentoniche caratterizzanti. La campagna di rilievi subacquei in immersione (ARA), è stata eseguita nei mesi di Ottobre-Dicembre 2015, mediante transetti visual census largo-costa, a partire dalla batimetrica dei -25 m, integrati da percorsi visual census su elementi geomorfologici di particolare interesse. Sono stati eseguiti in totale 17 transetti (di cui 5 in AMP) e 3 percorsi. Per ogni transetto è stato effettuato rilievo video e compilato log di campo prestampato riportante le seguenti principali indicazioni: tipologia di substrato; biocenosi caratterizzanti; facies/associazione algale dominante; specie cospicue; specie protette; elementi di degrado di origine antropica. La georeferenziazione dei dati sul campo è stata effettuata mediante software QGIS interfacciato a modulo ecoscandaglio/gps Garmin e sistema di comunicazione wireless barca - subacquei. Per l'elaborazione e correlazione dei dati mediante Geodatabase è stato utilizzato sia QGIS che ArcGIS.
- 4) Aspetti socio-economici: l'acquisizione dei dati socio-economici è stata mirata alle attività umane che maggiormente interessano la fascia costiera. In particolare sono stati raccolti dati quali-quantitativi sulla balneazione, diportismo e piccola pesca costiera per valutare l'uso della costa e la pressione antropica che ne deriva.  
Pesca: sono state effettuate indagini in maniera indiretta tramite questionari a cooperative di pesca, Capitaneria di Porto e pescatori, e campionamento diretto mediante conta a

campione delle imbarcazioni dedite alle diverse attività di pesca nel tratto di costa interessato. L'attività di campionamento diretto è stata svolta da giugno 2015 a maggio 2016 con una media di tre campionamenti settimanali differenziati tra alba e tramonto.

Balneazione: dopo una prima fase di censimento dei diversi punti di accesso al mare ubicati lungo la costa, da Giugno a Settembre 2015 si è portata avanti l'attività di campionamento mediante conta diretta dei bagnanti e questionari a campione. Si sono effettuate conte istantanee e conte di flusso suddivise in giorni infrasettimanali e week-end. Le conte istantanee sono state eseguite alle ore 10.00 - 12.00 - 14.00 e 17.00, mentre le conte di flusso sono state eseguite dalle 9.30 alle 16.00.

Diportismo: l'attività diportistica è stata monitorata mediante conta diretta nei principali siti di ancoraggio censiti lungo la costa. Sono stati effettuati rilievi a campione differenziati in week-end e infrasettimanali nella fascia oraria in cui è previsto il maggior afflusso di diportisti (ore 12.00 - 14.00). Il censimento è stato differenziato tra natanti ed imbarcazioni.

I risultati delle diverse indagini territoriali sono stati elaborati mediante fogli di calcolo Excel e correlati e cartografati mediante la realizzazione di un Geodatabase GIS (Fig. 5).

## **Risultati e discussione**

### *Activity 1 - Geomorfologia costiera*

Le analisi geomorfologiche, propedeutiche alla realizzazione dei piani di monitoraggio delle altre Activity, hanno restituito per la prima volta una dettagliata cartografia digitale terra-mare (DTM) di riferimento (Fig. 1 - 4) dell'area di studio la cui lettura è resa ancora più immediata ed intuitiva dalla prospezione in 3D. In particolare le strisciate multibeam hanno messo in evidenza il grande complesso roccioso presente sui fondali antistanti l'isola di Nisida, fin'ora mai rilevato con sistemi ad alta risoluzione, e numerosi altri piccoli affioramenti rocciosi ancora non mappati. L'estremo dettaglio della cartografia batimorfologica realizzata è riuscito a mettere in evidenza anche le tracce dagli affioramenti di matite morte (MM) di *Posidonia oceanica*, successivamente identificate mediante ispezione subacquea in ARA. In generale i risultati prodotti dalle indagini geomorfologiche si sono dimostrati di estrema utilità per tutte le Activities successive ed in special modo per ciò che riguarda la mappatura delle comunità bentoniche dell'Area.

### *Activity 2 - Aspetti floro-faunistici*

Dai dati botanici raccolti è stata realizzata una carta della vegetazione utilizzando i codici CORINE biotopes (Fig. 5). L'intera area di studio è ben distinguibile, per le sue caratteristiche geomorfologiche e quindi di utilizzo del territorio, in due aree, di cui l'AMP Parco Sommerso di Gaiola ne rappresenta lo spartiacque. Infatti, mentre ad Est la costa digrada con minore pendenza verso il mare, ad ovest la storia vulcano-tettonica dell'area ha creato alte falesie tufacee. Emerge di conseguenza una variabilità vegetazionale e avifaunistica: se da un lato si nota una più marcata antropizzazione con la presenza di grandi giardini ornamentali (*Corine Code* 85.31) ed aree residenziali (*Corine Code* 86.12), dall'altra l'assenza di edifici e la naturale inaccessibilità della costa, lasciano spazio ad una maggiore naturalità con vegetazione spontanea tipica delle coste mediterranee (*Corine Code* 32.217-32.211-45.31A-18.22) e la relativa maggiore presenza di avifauna svernante e nidificante. Le aree meno antropizzate sono caratterizzate da tipica scogliera insediata in

balze scoscese con picchi e dirupi rocciosi con specie erbacee e arbustive casmofite e comofite, caratterizzate da un grado variabile di alofilia. Trovano dimora in tale area, specie spontaneizzate come *Carpobrotus acinaciformis* e *Drosanthemum* sp., oltre a specie endemiche quali *Helichrysum litoreum*, *Senecio bicolor* e *Limonium cumanum*. Quest'ultima specie, rilevata in 24 stazioni ridotte e frammentate è di estremo interesse, in quanto la sua presenza costituisce un habitat tutelato dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE.

Per quanto attiene ai monitoraggi ornitici, la nidificazione del Gabbiano reale, confrontando i dati bibliografici esistenti [4] è stata attestata in crescita, con un successo riproduttivo reale di circa 2,5 pulli/nido. La comunità nidificante è stata censita con 30 specie, delle quali 18 appartenenti all'Ordine dei Passeriformes e 12 appartenenti ad altri taxa. Le specie più rappresentate sono lo Scricciolo, il Merlo, l'Occhiocotto, la Capinera, la Cinciallegra e la Passera d'Italia, che nidificano in tutta l'area in esame. I rilievi effettuati sulla comunità svernante hanno portato all'individuazione di 43 specie di uccelli che frequentano l'area durante lo svernamento. La presenza del mare e delle falesie sono attrattive per i contingenti svernanti di uccelli legati agli ambienti marino-costieri. Cormorano (la cui presenza è stata registrata in diminuzione rispetto al passato [8]), Gabbiano comune, Beccapesci e Martin pescatore utilizzano l'area come dormitorio e come territorio di caccia, mentre la Sula ed il Beccapesci frequentano gli specchi di mare antistanti la costa esclusivamente per attività trofiche. La presenza di rapaci nell'area di studio è stata documentata con 7 specie, tutte presenti sia in periodo di nidificazione che in periodo di svernamento: quattro di rapaci diurni e due di rapaci notturni. La Check-list risultante è composta da 87 specie di cui 37 appartenenti alla categoria dei Non-Passeriformes e 50 a quello dei Passeriformes.

### Activity 3 - Ambiente marino

I dati acquisiti sono stati elaborati su piattaforma GIS per la realizzazione di una mappa bionomica (Fig.5). Dall'analisi della distribuzione delle comunità bentoniche (Fig.2) si può notare come all'interno dell'AMP siano rappresentate in maniera omogenea tutte le biocenosi rilevate sull'intero settore costiero, data l'elevata complessità geomorfologica dei fondali dell'area incrementata dalla presenza di strutture archeologiche sommerse [9].

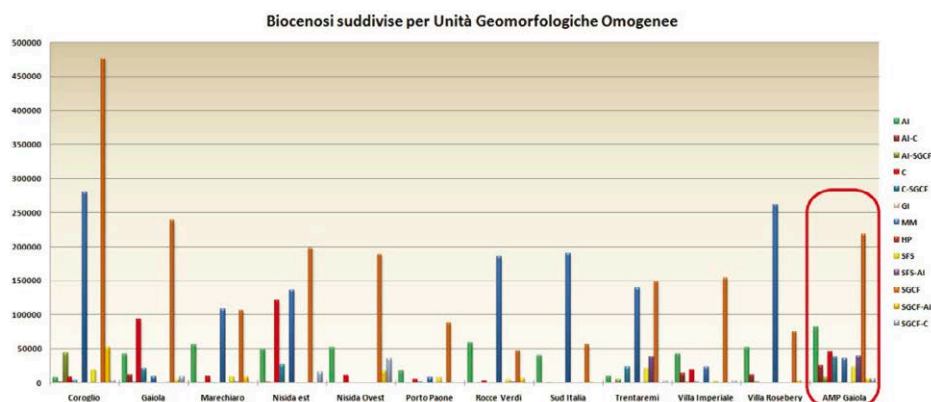


Figura 2 – Biocenosi suddivise per UGO.

Figure 2 – Biocoenosis in every HGU.



Di grande interesse è il Banco della Cavallara, solo in parte all'interno dell'AMP, dove è stata rilevata la presenza di una biocenosi coralligena ben strutturata, con facies a *Eunicella cavolinii*, *Eunicella singularis* e *Parazoanthus axinellae*. Diversa la situazione rilevata sulle porzioni del banco situate fuori dall'AMP dove le pareti sub verticali sono prive di organismi a portamento erettile a causa dell'azione meccanica provocata da reti e cordate di nasse, rilevate anche in stato di abbandono su ampi tratti di fondale. Stessa situazione si riscontra anche sulla secca della Badessa (UGO Coroglio), mentre inaspettatamente un coralligeno ben strutturato con fitte coperture a *E. cavolinii* anche sul piano orizzontale, è stato rilevato sul banco roccioso che si estende a sud-ovest di Nisida, nonostante tale area non sia soggetta a regime di tutela. Il calcolo delle superfici eseguito in ArcGIS sulla reale conformazione tridimensionale del fondale, ha permesso di ricavare dati più significativi sulla distribuzione e dominanza delle diverse biocenosi censite, soprattutto sui substrati rocciosi ad elevata pendenza che normalmente vengono sottostimati da una cartografia bidimensionale classica. Sul Banco della Cavallara, ad esempio, il calcolo della superficie effettiva di copertura del coralligeno, realizzato mediante calcolo tridimensionale, mostra un aumento di superficie fino al 65 % rispetto al calcolo bidimensionale realizzato negli studi precedenti [1]. Dal confronto tra la biocenosi coralligena dei due grandi banchi presenti, Nisida e Cavallara (Tab. 1), si nota come, nonostante il coralligeno di Nisida sia più esteso in proiezione 2D, la superficie reale (3D) è maggiore nella Cavallara (2D-3D +15,62 %), in quanto la comunità coralligena della Cavallara si sviluppa maggiormente su pareti sub-verticali che caratterizzano il banco.

Da segnalare, infine, la presenza di matte morta ( $\approx 140$  ha) sui fondi mobili da -25 m a circa -8 m lungo tutto il litorale, a testimonianza dell'antica prateria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile 1813, rilevata da Parenzan nello stesso tratto di costa ( $\approx 210$  ha) nel 1956 [6]. Anche della prateria presente a Nisida all'interno di Porto Paone, mappata da Gamulin-Brida nel 1965 [5], non rimangono che rade tracce di pochi metri quadrati.

Tabella 1 – Confronto coralligeno 2D-3D Cavallara-Nisida.

Table 1 – Comparison 2D-3D between Cavallara and Nisida coralligenous.

Coralligeno	2D (m <sup>2</sup> )	3D (m <sup>2</sup> )
Banco della Cavallara	82666	95574
Banco Nisida	84839	94619

#### Activity 4 - Aspetti socio-economici

Balneazione: I dati emersi dall'attività di balneazione costiera si sono rilevati molto interessanti. La conformazione costiera e la presenza di pochi accessi pubblici al mare fanno sì che lungo la costa in esame si crei una distribuzione assolutamente non omogenea di bagnanti con picchi di concentrazioni molto elevate in corrispondenza dei punti di accesso pubblici come Coroglio, Marechiaro (Casa Spiriti, Scogliera) e Gaiola. Ai pochi accessi pubblici si affiancano accessi privati di pertinenza esclusiva di ville costiere, Lidi privati (Villa Imperiale, Marechiaro, Le Rose, Gabbiano, Rocce Verdi) e accessi ibridi raggiungibili solo via mare attraverso un servizio di transfer in barca che parte da Marechiaro (Scoglione, Sud Italia) per un totale di 11 siti di balneazione censiti (Fig. 5). Il grafico in Figura 3 mostra la distribuzione complessiva del numero medio di bagnanti in tutti i siti presi in esame, nelle quattro fasce orarie di campionamento (h 10 – h 12 – h14 – h 17).

### Numero medio bagnanti (h10 > h17)

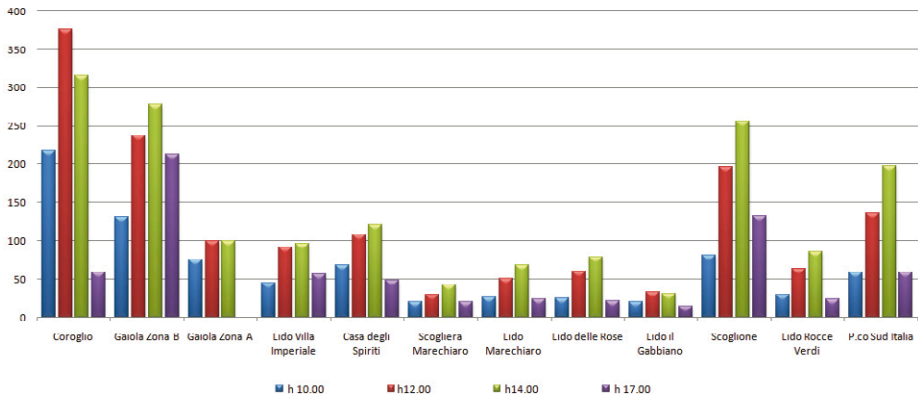


Figura 3 – Numero medio bagnanti.

*Figure 3 – Mean number of bathers.*

In particolare si nota che l'AMP di Gaiola ha al suo interno uno dei siti di accesso pubblico a maggiore affluenza e confina con il borgo di Marechiaro, dove si concentra gran parte dell'attività balneare tra accessi pubblici, lidi privati (4 su 5) e imbarco per i siti raggiungibili da mare. A questo va aggiunto che il sito pubblico di Gaiola è esattamente confinante con l'Area di Riserva Integrale del Parco e questo è uno dei maggiori fattori di criticità nella direzione di una reale fruizione sostenibile dell'AMP.

Dipartimento: l'analisi dell'attività diportistica lungo costa ha portato all'individuazione di 6 siti di ancoraggio storicamente prediletti dai diportisti dove si è concentrata l'attività di monitoraggio di tale attività (Fig 5). Di questi, tre sono stati di proposito scelti all'interno dell'AMP dove l'ancoraggio è vietato. I risultati di questa tipologia di analisi sono, nel complesso, confortanti in quanto mostrano una totale inversione di tendenze rispetto al passato. I tre siti di "controllo" ubicati all'interno del Parco mostrano percentuali trascurabili rispetto al resto della costa. Oggi il sito di Cala badessa nell'UGO Coroglio, appena fuori l'AMP, fa registrare il 64 % degli ancoraggi, mentre la Baia di Trentaremi, fino a qualche anno fa area di ancoraggio prediletta dalla maggioranza dei diportisti, ed oggi rientrante nella Zona B del Parco, fa registrare appena il 2 %.

Pesca: dai dati raccolti emerge che le tipologie di pesca utilizzate all'interno dell'area di studio sono 7; bombole (ARA), apnea, palangari, circuizione, reti, lenze e nasse. Tra queste tipologie spicca la pesca con lenza praticata per lo più da barche non immatricolate di dimensioni inferiori ai 5m che arrivano fino all'82 % del campione censito. Scorporando dal campione la tipologia "lenza", dal grafico in Figura 4 si nota che, tra le tipologie di pesca maggiormente praticate dalla piccola pesca costiera, spiccano le nasse e reti da posta che, sommate, raggiungono quasi il 70 % del campione, mentre gli areali di pesca più battuti rispecchiano la conformazione dei fondali con un'alta concentrazione nelle UGO Gaiola, Nisida, Rosebery e Marechiaro per la presenza di importanti banchi rocciosi come la Cavallara (UGO Gaiola), il banco di Nisida e Pietra salata (UGO Rosebery) (Fig. 5).

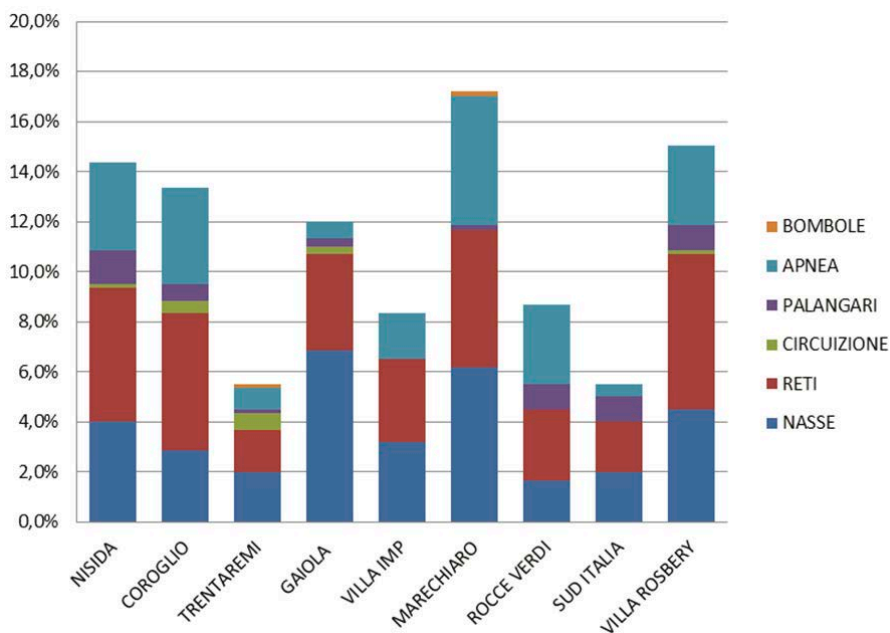


Figura 4 – Tipologie di pesca/UGO.  
 Figure 4 –Type of fishing/HGU.

Su Gaiola l'attività di pesca professionale si concentra oramai sulla porzione di banco che è stata lasciata fuori dai confini dell'AMP, confermando il dato di impatto meccanico da attrezzi da pesca emerso dall'analisi delle biocenosi bentoniche dell'Activity 3.

## Conclusioni

Tale progetto ha messo in evidenza come sia indispensabile per un'efficace gestione e conservazione delle risorse di un'AMP, acquisire dati sull'intero sistema ecologico costiero in cui è inserita l'AMP. Necessità tanto più indispensabile se si considera la ridotta estensione dell'AMP oggetto dello studio e il contesto territoriale in cui è inserita. Il presente lavoro colma un gap di informazioni scientifiche storico su un settore costiero di notevole rilevanza per la Città di Napoli, confermando la presenza di notevoli elementi di pregio nel campo naturalistico, seppur affiancati da pregnanti conflitti d'uso del territorio ed allarmanti criticità. L'implementazione di un Geodatabase GIS, ha consentito di ottenere una visione integrata dell'area di indagine, resa più intuitiva e realistica dalla rappresentazione 3D, rilevandosi quale strumento di estrema utilità sia per le strategie future di gestione dell'Area Marina Protetta Parco Sommerso di Gaiola sia per le future attività di studio e monitoraggio dell'intero settore costiero della Città di Napoli.

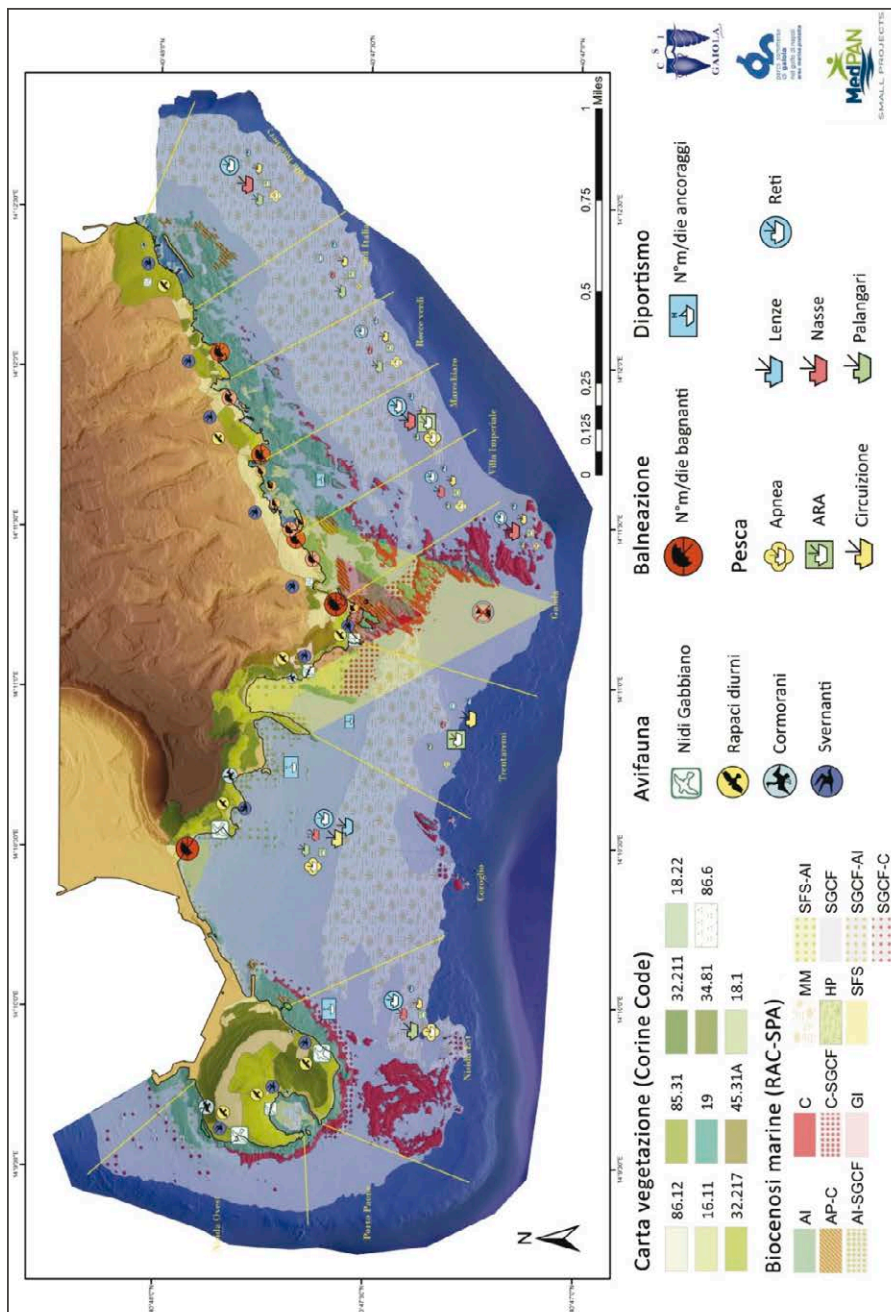


Figura 5 – Visione d'insieme del Geodatabase GIS.  
 Figure 5 – Geodatabase GIS view.

## Ringraziamenti

Si ringrazia la Soprintendenza Archeologia della Campania, MedPAN e l'equipaggio della motonave Astrea dell'ISPRA.

## Bibliografia

- [1] Centro Studi Interdisciplinari Gaiola onlus (a cura di) - *Relazione tecnica sul progetto di monitoraggio biologico-ambientale delle comunità bentoniche dell'AMP Parco Sommerso di Gaiola* (2010).
- [2] Clark J. - *Coastal Zone Management Handbook*, (1995). New York, Lewis Publishers.
- [3] Esposito De Vita G., Ragozino S., Simeone M., 2015 - *Community engagement for cultural landscapes: a case study of heritage preservation and tourism development*. BDC (2015) 15, 131-150.
- [4] Fraissinet M., De Rosa D. - *Il Gabbiano reale mediterraneo Larus michahellis nidificante a Napoli*. Alula (2006) 13 (1-2), 163-170.
- [5] Gamulin-Brida H. - *Contribution aux recherches sur la bionomie benthique de la baie de Porto Paone (Naples, Italie)*. Pubbl. Staz. Zool. Napoli (1965) 34, 476-500.
- [6] Parenzan P. - *Biocenologia dei fondi marini a Zosteracee*. Boll. di zool. (1956) 23 (2), 621-637.
- [7] Simeone M., Russo G.F. - *Il Parco Sommerso della Gaiola*. In: Carrada G.C., Coiro P., Russo G.F. (eds), *Le aree marine protette*. I Quaderni di uomo e natura 2 (2005) Electa Napoli, 85-94.
- [8] Simeone M., Masucci P. - *Studio sullo svernamento del Cormorano, Phalacrocorax carbo (Linnaeus, 1758), sulla costa di Posillipo (Golfo di Napoli)*. Rivista Italiana di Ornitologia, (2006) 76 (2), 139-150.
- [9] Simeone M., Masucci P. - *Analisi geoarcheologiche nell'Area Marina Protetta Parco Sommerso di Gaiola (Golfo di Napoli)*. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences (2009) 22 (1), 25-32.

# MONITORAGGIO AMBIENTALE RELATIVO ALLO STAZIONAMENTO DI NAVI DA CROCIERA E INTERAZIONI NEL COMPLESSO SISTEMA DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE CHE INSISTONO NELL'AREA MARINA PROTETTA (AMP) PORTOFINO E NEL GOLFO DEL TIGULLIO (MAR LIGURE)

Sara Venturini<sup>1</sup>, Chiara Paoli<sup>2</sup>, Francesco Massa<sup>2</sup>, Paolo Vassallo<sup>2</sup>,  
Giorgio Fanciulli<sup>1</sup>, Paolo Povero<sup>2</sup>, Rosella Bertolotto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Area Marina Protetta Portofino, Viale Rainusso 1, 16038 Santa Margherita Ligure (Genova), Italy.  
Tel. +39 0185 289646, Fax. +39 0185 293000 e-mail: [s.venturini@portofinoamp.it](mailto:s.venturini@portofinoamp.it)

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV),  
Università degli Studi di Genova

<sup>3</sup> Agenzia Regionale Protezione Ambiente Ligure (ARPAL)

**Riassunto** – Dopo l'incidente della Costa Concordia (2012), è stato emesso il Decreto Ministeriale (D.M.) 07/03/2012, cosiddetto “salvacoste”. Per il Golfo del Tigullio nel caso specifico di Portofino, la Guardia Costiera locale ha emesso l'ordinanza n. 56/2012, modificata dal decreto n. 223/2012, spostando la zona di ancoraggio per le navi da crociera di Portofino da 0.3 miglia a 0.7 miglia da costa prescrivendo all'Area Marina Protetta (AMP) Portofino di coordinare un programma di monitoraggio ambientale. Considerando l'interesse dei comuni nel settore del turismo delle navi da crociera come potenziale risorsa economica, questo studio può rappresentare un primo passo per arrivare allo sviluppo di un modello turistico locale che possa permettere una maggior comprensione delle possibili problematiche ambientali derivanti dal turismo crocieristico, favorendo la collaborazione fra enti e una futura fruizione e gestione sostenibile di un territorio ad alto valore ambientale come nel caso del Golfo del Tigullio e dell'AMP Portofino.

**Abstract** – Following the accident of Costa Concordia (2012), the Ministerial Decree (D.M.) 07/03/2012 was issued. For the Gulf of Tigullio in the case of Portofino, the local Coast Guard issued the ordinance n. 56/2012, amended by Ordinance N. 223/2012, which moved the Portofino anchor zone for the cruise ships from 0.3 miles to 0.7 miles from coast and asked to Portofino Marine Protected Area (MPA) to coordinate an environmental monitoring program. Because of the municipalities' interest in cruise ships tourism as potential economic resource, this study represents a first step towards the development of a local tourism model aiming at a deeper understanding of the potential environmental issues brought by cruise ship tourism, promoting both the collaboration between institutions and a future sustainable exploitation and management of an high environmental value area as the Gulf of Tigullio and Portofino MPA.

## **Introduzione**

In conseguenza dell'incidente della Costa Concordia del 13 gennaio 2012, venne varato il D.M. 02/03/2012, pubblicato in G.U. n. 56 del 07/03/2012, a firma dei Ministri dello Sviluppo Economico e delle Infrastrutture e dei Trasporti e quello dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare [3]. Il decreto, nominato "salva-coste", vieta la navigazione, l'ancoraggio e la sosta delle navi adibite al trasporto di merci e passeggeri superiori alle 500 tonnellate di stazza lorda ad una distanza inferiore a due miglia marine dal perimetro esterno delle aree protette nazionali, marine e costiere. A seguito dell'emanazione del decreto, temendo un calo nelle presenze turistiche con conseguenti danni economici per il territorio, i sindaci dei comuni di Portofino, Santa Margherita Ligure e Rapallo inviarono, in data 18/04/2012, una lettera ai ministri firmatari del D.M., in cui si sottolineava la rilevanza per il territorio del turismo crocieristico. Successivamente, l'Ufficio Circondariale Marittimo di Santa Margherita Ligure emanò l'ordinanza n. 56/2012 [9], in seguito sostituita dall'Ordinanza n. 223/2012 [10], con la quale la Capitaneria di Porto provvede ad indicare i punti di attracco delle navi in zone definite. In deroga al D.M., la citata ordinanza n. 56/2012 stabiliva la distanza fra la zona di fonda per le navi davanti a Portofino e il perimetro esterno dell'Area Marina Protetta di Portofino a 0.7 miglia nautiche, aumentandola comunque rispetto alla distanza di 0.3 miglia precedentemente esistente. Al fine di tenere sotto controllo tale area, l'ordinanza affida inoltre all'Area Marina Protetta (AMP) Portofino il compito di coordinare ed eseguire monitoraggi ambientali in tutta la zona d'interesse. Per adempiere a tale obbligo, l'AMP Portofino ha attivato una collaborazione con ARPAL (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure) ed Università degli Studi di Genova (DISTAV) attivando un piano di monitoraggio ambientale per gli anni 2012, 2013 e 2014. Il presente studio descrive il lavoro svolto nei tre anni di indagine e ne analizza i risultati.

## **Materiali e metodi**

### **Area di studio**

In Figura 1 è riportata la zona interessata ed oggetto di questo studio con indicate le stazioni di monitoraggio. Nell'ordinanza n. 56/2012 [9] viene istituita una zona di fonda di circa 0.5 miglia quadrate (quadrilatero in Figura 1). L'area è posta a distanza immediatamente superiore a 0.7 miglia nautiche dal perimetro esterno dell'AMP Portofino. Le navi che intendono sbarcare i propri passeggeri nel porto di Portofino devono dare fondo all'ancora all'interno di detta zona. A distanza superiore alle 0.8 miglia nautiche dal perimetro esterno dell'AMP Portofino, è individuato un altro punto di fonda (indicato con la lettera E in Figura 1). Le navi che intendono sbarcare i propri passeggeri nei porti di Santa Margherita Ligure e di Rapallo devono dare fondo all'ancora nel punto suddetto, collocato in posizione molto prossima ai porticcioli dei due paesi al contrario di quanto avviene per Portofino.

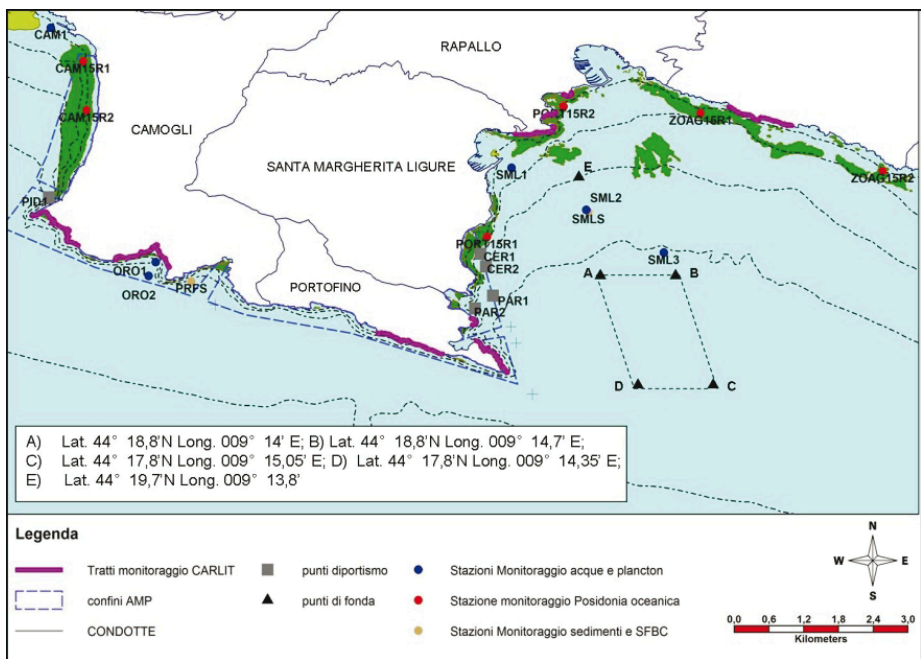


Figura 1 – Area d’indagine.

## Piano di campionamento

Poiché la zona del Golfo del Tigullio è già monitorata da ARPAL ai sensi del D.Lgs 152/2006 [4], di recepimento della Direttiva Acque 2000/60/CE [7] che mira al raggiungimento del buono stato ambientale di tutti i corpi idrici, acque marine comprese, è stato elaborato un piano di monitoraggio che integrasse quello già in corso, comprendente parametri oceanografici e caratteristiche trofiche delle colonna d’acqua, inquinanti (parametri chimici e microbiologici), stato ecologico e valutazione degli impatti antropici. In particolare ARPAL ha integrato il monitoraggio di tipo chimico e biologico, già svolto routinariamente con analisi e campagne aggiuntive dedicate. Nelle stazioni campionate per il D.Lgs 152/06 è stato effettuato il profilo completo di analisi sulle acque, con aggiunta di parametri significativi per valutare eventuali impatti connessi allo stazionamento di navi da crociera (nutrienti, IPA, TBT, solventi, parametri biologici, tensioattivi, grassi e oli, HC; Tabella 1). Inoltre, sono state aggiunte nuove stazioni di campionamento appositamente selezionate in prossimità di zone di frequentazione nautica. Tutte le misure CTD in situ (“profili sonda”) sono state eseguite con la sonda multiparametrica OCEAN SEVEN 316 plus.

Inoltre, nel 2012 è stata effettuata una campagna di monitoraggio dei popolamenti delle scogliere superficiali (indice CARLIT), nonché un’indagine su *Posidonia oceanica* con il calcolo dell’indice PREI, che valuta la classe di qualità delle praterie sulla base di alcune caratteristiche strutturali del posidonieto e di alcuni parametri morfometrici e di biomassa della pianta.



DISTAV e AMP Portofino hanno eseguito monitoraggi relativi alle attività di fruizione insistenti sull'area; in particolare è stata effettuata un'analisi parallela sulla nautica da diporto, al fine di tenere sotto controllo tutti i possibili impatti che contribuiscono a generare lo stato di qualità dell'ambiente marino della zona in esame.

Nel 2014 ARPAL ha elaborato inoltre uno studio di simulazione modellistica su ipotetici scenari di inquinamento ambientale dovuti a potenziale incendio e/o sversamento, simulando scenari in funzione delle correnti e del tipo di inquinante. Sono state anche svolte delle interviste rivolte ai crocieristi nell'ambito del progetto nazionale "Contabilità ambientale nelle Aree Marine Protette italiane" promosso da Federparchi e finanziato dal Ministero dell'Ambiente. DISTAV ha inoltre curato lo sviluppo ed implementazione della sezione relativa al progetto "Navi da Crociera" nel sistema informativo Marine Coastal Information System dell'AMP Portofino (<http://portofino.macisteweb.com/>), per una più facile consultazione dei risultati ottenuti, mediante cartografia GIS accessibile da Web e tabelle alfanumeriche (cartografico e alfanumerico).

Tabella 1 – Elenco dei parametri monitorati.

GRUPPO PARAMETRI	PARAMETRO	TECNICA ANALITICA	LDQ	GRUPPO PARAMETRI	PARAMETRO	TECNICA ANALITICA	LDQ
NUTRIENTI	Azoto ammoniacale	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4040A1	0.71 µg/l	IFA	Enterococchi intestinali	UNI EN ISO 7894-2:2003	1 UFC/100 ml (LDR)
	Azoto nitrico	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4040A2	0.71 µg/l		E. coli	ISO 9208-2:2012	10 NMPN/100 ml (LDR)
	Azoto nitroso	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4050	0.71 µg/l		Antrace		0.001 µg/l
	Azoto totale	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4050 + Met 4040A2	2.86 µg/l		fluorantene		0.001 µg/l
	Fosforo totale	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4060 + Met 4110A1	0.97 µg/l		naftalene		0.001 µg/l
	Oxofosfato	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4110A1	0.32 µg/l		benzo(a)pirene		0.001 µg/l
TENSIOATTIVI	Silicati	APAT IRSA CNR 29/03 Met 4130	0.33 µg/l		benzo(b)fluorantene		0.001 µg/l
	Tensioattivi anionici (D.G.A.S)	APAT IRSA CNR 29/03 Met 5170	0.5 mg/l		benzo(k)fluorantene	APAT CNR IRSA 5080 Mar 29/2003	0.001 µg/l
GRASSI ED OLI		APAT IRSA CNR 29/03 Met 5160B1 + Met 5160B2	0.25 mg/10.14 mg/l		benzo(g,h)perilene		0.001 µg/l
IDROCARBURI frazione estraibile		ISO 9377-2:2000	70 µg/l		indeno(1,2,3-cd)pirene		0.001 µg/l
IDROCARBURI TOTALI		ASTM D7065-04	0.14 mg/l	acenafilene		0.001 µg/l	
SOLVENTI AROMATICI-CLOROBENZENI	1,2-Dicloroetano	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	acenafilene		0.1 µg/l	
	Dicloroetano	EPA 5030C + EPA 5260C	0.02 µg/l	benzo(a)antracene		0.001 µg/l	
	Esaclorocicloesano	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	crisene		0.001 µg/l	
	Tetracloroetilene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	dibenz(a,h)antracene		0.001 µg/l	
	Tricloroetilene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	fluorantene		0.001 µg/l	
	Triclorobenzene, 1,3,5	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	fluorene		0.001 µg/l	
	Triclorobenzene, 1,3,4	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	pirene		0.001 µg/l	
	Triclorobenzene, 1,2,4	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	monoubutilstagno		0.010 µg/l	
	Clorobenzene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	dibutilstagno	Metodo interno C050 (HELC-ICPMS)	0.005 µg/l	
	1,2-diclorobenzene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	monostagno		0.002 µg/l	
	1,3-diclorobenzene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	trifetilstagno		0.005 µg/l	
	1,4-diclorobenzene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	Cadmio		0.05 µg/l	
	1,1,1-tricloroetano	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	piombo		0.05 µg/l	
	Tricloroetano	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	nicel		1 µg/l	
	Tetracloro di carbonio	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	arsenico	UNI EN ISO 11720-4-2:2005	1 µg/l	
	Benzene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	cromo totale		1 µg/l	
	Toluene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	ferro		10 µg/l	
	Oxio-xilene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.008 µg/l	vanadio		1 µg/l	
	Meta-xilene + Para-xilene	EPA 5030C + EPA 5260C	0.016 µg/l	mercurio	APAT IRSA CNR 29/03 Met 3200A2	0.01 µg/l	

## Risultati

**Parametri oceanografici e caratteristiche trofiche** - In Figura 2 sono riportati i profili di temperatura della colonna d'acqua (nella stazione SML3) di luglio, mese nel quale sono state rilevate le maggiori differenze. Si può infatti osservare come il profilo 2013 mostri temperature superiori di circa 3 °C rispetto agli altri due anni.

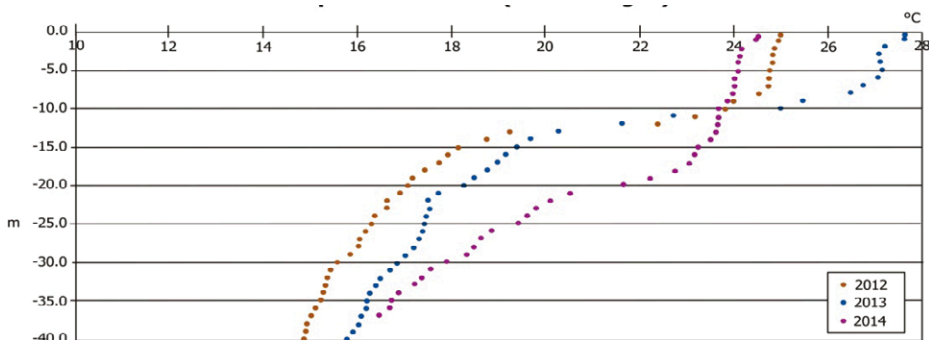


Figura 2 – Profili di temperatura del mese di luglio dal 2012 al 2014.

I nutrienti risultano, per tutti gli anni, al di sotto dei limiti di quantificazione e la concentrazione di clorofilla (chl-a, misurata con il fluorimetro della sonda multiparametrica) varia da 0.1  $\mu\text{g/l}$ , ad un massimo di 0.22  $\mu\text{g/l}$  registrato nella stazione di Cervara (CER1) nella campagna di luglio 2014. L'indice TRIX (indice per la valutazione dello stato trofico delle acque marine costiere previsto dal D.Lgs 152/06 [4]) risulta ovunque, analogamente per tutti gli anni, in stato "elevato".

**Inquinanti (parametri chimici e microbiologici)** - Dal confronto dei tre anni, si osserva come tensioattivi, grassi ed oli e composti organostannici non siano stati trovati in nessun campione d'acqua (dati completi visibili su Report Finali Navi da Crociera [14]). L'inquinamento microbiologico non appare significativo. Per quanto riguarda i solventi, la maggior parte degli inquinanti ricercati è risultata al di sotto del limite di quantificazione. Sono stati rilevati benzene, toluene e xileni, che nel 2012 e 2013, sono in concentrazioni prossime allo standard di qualità ambientale. In particolare nel 2013 i solventi risultano i più alti su tutto l'arco costiero ligure (benzene valore massimo 0.2  $\mu\text{g/l}$ , xileni 0.32  $\mu\text{g/l}$  e 0.85  $\mu\text{g/l}$  rispettivamente per orto-xilene e sommatoria meta e para-xilene toluene 0.84  $\mu\text{g/l}$ ). Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono stati rilevati, ma con valori al di sotto degli standard di qualità ambientali. Per quanto riguarda i metalli, Cd, Pb, Fe e Ni risultano sempre inferiori al limite di quantificazione; Cromo e Arsenico risultano al di sotto dello standard di qualità ambientale, mentre il mercurio è stato riscontrato nella sola campagna di luglio 2014, con un valore medio uguale allo standard; si tratta comunque di valori riscontrati in uguale concentrazione anche in numerose altre stazioni liguri.

**Stato ecologico** - Dal punto di vista dello stato ecologico, tramite l'indice CARLIT, sono stati valutati i popolamenti algali delle scogliere superficiali, particolarmente sensibili a forme di inquinamento cronico insistente sullo strato superficiale della colonna d'acqua per presenza di tensioattivi e idrocarburi. Tali popolamenti risultano nel complesso in uno stato definito "buono". A completamento dello stato ecologico si è ritenuto opportuno riportare anche le considerazioni effettuate sulle prateria di *Posidonia*

*oceanica*, importantissimo habitat del Mediterraneo e prezioso indicatore ecologico. Lo stato delle praterie studiate è classificato come “sufficiente”.

**Valutazione degli impatti antropici** - il totale delle navi che hanno fatto scalo tra il 2011 e il 2014 nel Golfo del Tigullio è schematizzato in Tabella 3.

L'anno 2011 è stato preso in considerazione a titolo di confronto, in quanto anno precedente all'entrata in vigore dell'ordinanza n. 56/2012 [9]. Come si può osservare dal 2011 al 2014 è stato registrato un drastico calo di accosti per Portofino. A Santa Margherita Ligure si riscontra un andamento variabile con un calo nel 2014, mentre Rapallo è l'unico comune ad aver aumentato ogni anno le navi in sosta. Entrambi questi due Comuni non registravano presenze di navi da crociera prima del D.M. del 02/03/2012 [3].

Tabella 2 – Scali navi dal 2011 al 2014.

Comune/anno	2011	2012	2013	2014
Portofino	104	78	71	58
Santa Margherita Ligure	0	21	63	32
Rapallo	0	0	6	13
Totale	104	99	134	103

Per ciò che concerne la nautica da diporto, all'interno dell'AMP Portofino negli ultimi tre anni, si osserva un decremento della presenza di barche: da circa 11 000 unità stazionanti negli anni 2012 e 2013, a 9 500 unità da diporto nel 2014.

I risultati delle simulazioni modellistiche hanno delineato la casistica delle traiettorie possibili e i tempi di arrivo sui litorali del materiale galleggiante a seguito di un ipotetico incidente; mentre nell'ambito del progetto sulla contabilità ambientale sono state realizzate 952 interviste (19 % residenti, 16 % commercianti, 65 % crocieristi) che hanno permesso di ottenere informazioni in merito alle preferenze ed al comportamento dei crocieristi all'interno dei comuni nonché sulla percezione della loro presenza sul territorio da parte degli abitanti e degli operatori locali. I risultati delle interviste sono stati rielaborati al fine di effettuare considerazioni per future strategie di gestione locale, sia per quanto concerne l'impatto sociale che ambientale dell'attività di crociera.

## Discussione

Lo sviluppo di un turismo di qualità, per essere tale, deve essere basato sul criterio della sostenibilità, ciò significa che deve essere ecologicamente sostenibile nel lungo periodo, economicamente conveniente, eticamente e socialmente equo nei riguardi delle comunità locali [1]. La sostenibilità ha un valore di immediato interesse economico, infatti, nelle località turistiche che devono la loro popolarità all'integrità delle bellezze naturali, se questa si degrada oltre una certa soglia, i flussi turistici sono destinati al declino, secondo un concetto già espresso nel 1987 dal *Rapporto Bruntland* [13]. Alla promozione del

turismo, basata unicamente sull'offerta turistica e sulla concorrenza dei prezzi, si contrappone una politica basata soprattutto sulla qualità, intesa come qualità ambientale e culturale [1]. Da qui nasce l'esigenza di attuare forme di monitoraggio integrate, come quella qui descritta, che possano fornire indicazioni su come equilibrare turismo e qualità dell'ambiente, garantendo il diritto di godere anche in futuro di questo patrimonio naturale e paesaggistico unico.

Le condizioni fisico-chimiche del comparto acquatico descritte dalle campagne di monitoraggio non evidenziano forti criticità. Non emergono neanche criticità collegabili ad un impatto da refluo urbano (nutrienti, tensioattivi, parametri microbiologici sono tutti non rilevabili, o prossimi al limite di rilevabilità).

Nell'analisi generale dello stato ecologico dell'area, lo studio della prateria di *Posidonia oceanica* (appartenente al SIC IT1332674: Fondali Monte di Portofino), costituisce elemento importante di valutazione. Il suo stato di qualità "sufficiente" suggerisce la necessità di adottare misure idonee di miglioramento qualitativo e induce ad approfondire le cause che hanno condotto la prateria all'attuale stato ecologico. L'arretramento dei posidonieti può essere imputato in parte a impatti avvenuti in passato come lo sversamento di materiali terrosi realizzati negli anni '70 e '90 in prossimità di Punta Pedale (baia della Cervara, Santa Margherita Ligure) [8] ma anche a pressioni attuali, tra le quali sicuramente l'ancoraggio da parte della nautica da diporto riveste un ruolo fondamentale.

Per quanto concerne l'afflusso di turisti provenienti da navi da crociera è interessante osservare come all'interno del Golfo del Tigullio il numero totale delle navi non sia variato fra le 104 navi del 2011 e le 103 del 2014, ma ne sia stata semplicemente modificata la distribuzione fra gli scali corrispondenti ai comuni di sbarco. Ciò in accordo con quanto dichiarato dall'Osservatorio Turistico della Liguria [12], che classifica la Liguria come terza regione italiana per movimento passeggeri nei suoi porti (15,7% del totale nel 2012) e definisce il settore crocieristico in forte crescita, nonostante una lieve flessione del 2012 dovuta probabilmente al cattivo ritorno d'immagine dopo la vicenda della Costa Concordia. Nel caso specifico del Golfo del Tigullio, la diversa distribuzione delle navi, che ha visto la diminuzione di scali nel comune di Portofino, è probabilmente da attribuire alla maggior esposizione alle condizioni meteo-marine della zona di fonda davanti al suddetto comune. Le condizioni meteo-mare sfavorevoli possono infatti influire sul numero di sbarco dei passeggeri, provocando una consistente diminuzione o addirittura portando le compagnie a cancellare lo scalo. Ad esempio nel 2014 sono state registrate cancellazioni pari ad un 20 % degli scali totali del comune di Portofino imputabili proprio alle difficoltà legate alle condizioni meteo (dati Ufficio Circondariale Marittimo di Santa Margherita Ligure).

Per ciò che concerne l'analisi incrociata con la nautica da diporto, il 2014 ha registrato un calo di presenze proprio a causa di cattive condizioni meteo marine nei mesi estivi, i mesi che abitualmente registrano il picco di massima affluenza della nautica da diporto [2]. Tale condizione viene confermata dai nostri profili di temperatura (Figura 2) con temperature superficiali inferiori nel 2014. L'analisi integrata di diversi parametri consente quindi di comprendere non solo le dinamiche della pressione che si vuole analizzare ma anche di risalire alle cause che ne influenzano il trend.

Per il 2014, in accordo con Capitaneria di Porto, Ufficio circondariale marittimo di S. Margherita Ligure, al monitoraggio tradizionale è stata affiancata una simulazione

modellistica su ipotetici scenari di inquinamento ambientale, finalizzata a valutare il possibile impatto di un potenziale sversamento dalle navi presenti. I risultati delle simulazioni possono costituire un utile strumento per l'organizzazione della risposta alle emergenze in mare nell'area presa in considerazione; d'altro canto, le interviste realizzate fra i fruitori della costa possono rappresentare un importante strumento d'indagine al fine di comprendere al meglio le caratteristiche degli utenti e le percezioni locali al fine di attuare forme di gestione ottimali. L'indagine tramite interviste è oggetto di uno studio più approfondito all'interno del progetto "Contabilità ambientale nelle Aree Marine Protette italiane", risultati dettagliati sono attualmente oggetto di pubblicazione.

Preso atto della situazione specifica dell'AMP Portofino, mediante l'ordinanza n.138/2015 [11], è stato stabilito che il comune di Portofino, in collaborazione con Marina di Portofino, debba provvedere all'installazione e messa in funzionamento di due Boe Meda con relativa strumentazione tecnico-scientifica che consentano di proseguire il monitoraggio dell'area nel tempo: a seguito di ciò è stato possibile avvicinare, alla distanza di 0,3 miglia dall'AMP Portofino, la zona di fonda delle navi da crociera davanti a Portofino, cosa avvenuta nell'estate 2016, rendendo esecutiva l'ordinanza citata.

## Conclusioni

Il presente caso-studio rappresenta un classico caso di conflitto fra diverse esigenze di fruizione delle risorse naturali, nel gestire le quali è necessario tener presenti sia gli aspetti socioeconomici sia i necessari livelli di tutela ambientale, particolarmente rilevanti in un'area di pregio come quella di Portofino.

Dal momento dell'entrata in vigore del D.M. 02/03/2012 [3], inteso a salvaguardare le Aree Marine Protette, si è registrato il timore, da parte dei Comuni interessati, di un crollo del turismo crocieristico, con pesanti ripercussioni di tipo economico. Le successive Ordinanze della Capitaneria di Porto di Santa Margherita Ligure in deroga al Decreto salva-coste, che hanno cercato di andare incontro alle esigenze delle amministrazioni comunali salvaguardando al contempo il pregio ambientale dell'area, hanno però generato rimostranze e commenti negativi da parte di associazioni ambientaliste fino alla presentazione di una interpellanza parlamentare, con momenti di elevata attenzione mediatica sia a livello locale che nazionale.

In un'ottica di conciliazione delle diverse esigenze e dei diversi punti di vista, ed in accordo con l'approccio raccomandato dal D.Lgs 190/2010 di recepimento della Dir. 2008/56/CE Strategia Marina [5], che raccomanda di tenere in adeguata considerazione gli aspetti socioeconomici nella definizione dei traguardi ambientali, questo studio vuole fornire un esempio virtuoso di collaborazione fra Enti per una migliore fruizione del territorio, e un contributo per lo sviluppo di un modello turistico locale che valuti e comprenda le possibili problematiche ambientali.

Se è vero che, dal punto di vista chimico, non si sono riscontrati superamenti dei livelli normativi vigenti al momento delle analisi per alcun inquinante fra quelli presi in considerazione, è anche vero che per alcuni IPA e, soprattutto per alcuni solventi, i valori riscontrati nel Golfo del Tigullio sono i più alti di tutta la regione. Inoltre, le recenti modifiche alla normativa ambientale, (D.Lgs 172/2015 [6] che ha modificato il D.Lgs 152/06 [4]) hanno portato ad abbassare i valori soglia di vari inquinanti con la conseguenza

che gli stessi valori rilevati oggi porterebbero ad un peggioramento della classificazione dello stato chimico. Le alterazioni rispetto ad uno stato ottimale dell'ambiente marino costiero del Tigullio sono ascrivibili a diverse cause: oltre al traffico crocieristico e quello diportistico analizzati in questo studio, sull'area insistono intensi trasporti marittimi, scarichi provenienti da terra e, in questa prima analisi, non è stato possibile poter discriminare l'eventuale impatto ambientale dello stazionamento delle navi da crociera e dalle altre fonti di pressione. Uno studio più completo dovrebbe affiancare al monitoraggio delle acque e delle biocenosi un sistema di controllo integrato in sinergia fra i diversi enti (Capitaneria di Porto in primis), con strumenti quali l'acquisizione documentale sulle navi stazionanti, controlli a bordo, telerilevamento e monitoraggio dell'inquinamento atmosferico.

Una prima prosecuzione delle attività di monitoraggio è riscontrabile nel sistema informatico *Marine Coastal Information System* dell'AMP Portofino (<http://portofino.macisteweb.com/>), dove è possibile consultare le attività svolte dal 2012 al 2014 e visualizzare in tempo reale l'attuale strumentazione situata sulle mede posizionate a seguito dell'ordinanza n.138/2015 [11].

Questo studio vuole essere il punto di partenza per la valutazione delle principali variabili ambientali al fine di permettere una pianificazione equilibrata delle attività future del territorio. Le crociere, spesso associate all'idea di vacanza di lusso, legata al *comfort* e alla concezione di spreco, costituiscono oggi una delle forme di turismo di massa. Una buona politica gestionale ha il compito di coniugare al meglio questo tipo di turismo, nuovo per le nostre delicate coste e località costiere e in piena espansione, con le proprie eccellenze ambientali locali senza precludere la fruizione ed il mantenimento per le generazioni future.

## Bibliografia

- [1] Camarsa G. - *Turismo sostenibile: l'impatto ambientale provocato dalle navi da crociera e dai turisti. Azioni e metodologie*. Rapporto sullo sviluppo sostenibile. Fondazione Eni Enrico Mattei, (2003), 1- 56.
- [2] Cappanera V., Venturini S., Campodonico P. - *Progetto di studio per la valutazione dell'impatto antropico legato alle attività svolte nell'Area Marina Protetta (AMP) Portofino. Valutazione dell'impatto dopo l'adozione delle nuove regole di fruizione*. Rapporto (2010), 1- 213.
- [3] Decreto Ministeriale 02/03/2012. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Disposizioni generali per limitare o vietare il transito delle navi mercantili per la protezione di aree sensibili nel mare territoriale* (GU n. 56 del 7-3-2012).
- [4] Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152. "Testo aggiornato del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, recante: *"Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole"*, a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 246 del 20 ottobre 2000 - Supplemento Ordinario n. 172.

- [5] Decreto Legislativo 13 ottobre 2010, n.190 "Attuazione della direttiva 2008/56/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino". Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 270 del 18 novembre 2010.
- [6] Decreto legislativo 13 ottobre 2015, n. 172. "Attuazione della direttiva 2013/39/UE, che modifica le direttive 2000/60/CE per quanto riguarda le sostanze prioritarie nel settore della politica delle acque". Pubblicato sulla G.U. n. 250 del 27 ottobre 2015.
- [7] Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 "che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque". Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 22 dicembre 2000.
- [8] Diviaco G., Coppo S. – *Atlante degli habitat marini della Liguria, descrizione e cartografia delle praterie di Posidonia oceanica e dei principali popolamenti marini costieri*. Regione Liguria. Edizioni Grafiche Amadeo, 2006.
- [9] Ordinanza n. 56/2012. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Ufficio Circondariale Marittimo Santa Margherita Ligure. *Regolamento per le operazioni di atterraggio, ancoraggio e sosta delle navi da crociera nella zona e nel punto di fonda individuati nella rada del Golfo Marconi per le operazioni di trasbordo dei passeggeri che accedono ai porti di Santa Margherita Ligure, Rapallo e Portofino*.
- [10] Ordinanza n. 223/2012. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Ufficio Circondariale Marittimo Santa Margherita Ligure. *Abrogazione dell'articolo 1.2 dell'Ordinanza n° 56/2012, emanata in data 30 Aprile 2012*.
- [11] Ordinanza n. 138/2015. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Ufficio Circondariale Marittimo Santa Margherita Ligure. "Modifiche ed integrazioni al Regolamento allegato all'Ordinanza n.56/2012".
- [12] Osservatorio Turistico Della Liguria - *Il turismo crocieristico in Liguria*. A cura di ISNART, Istituto Nazionale Ricerche Turistiche, Relazione Agosto (2013), 1- 27.
- [13] Rapporto della Commissione Mondiale su *Ambiente e Sviluppo* (Rapporto Bruntland), Our Common Future, Oxford (1987).
- [14] Relazioni tecniche Area Marina Protetta Portofino: *Report Finali Navi da Crociera* (2012, 2013, 2014). [http://portofino.macisteweb.com/copy\\_of\\_ricerca-scientifica/copy\\_of\\_navi-da-crociera/relazioni-finali](http://portofino.macisteweb.com/copy_of_ricerca-scientifica/copy_of_navi-da-crociera/relazioni-finali).

## **SESSION**

# **MEASURES FOR ENVIRONMENT AND ENERGY PRODUCTION IN THE COASTAL ZONES**

**Chairmen: Marcantonio Catelani<sup>1</sup> – Carlo Carcasci<sup>2</sup>**  
**(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione**  
**(2) Dipartimento di Ingegneria Industriale**  
**Università degli Studi di Firenze**





## MISURE PER L'AMBIENTE E PRODUZIONE ENERGETICA IN ZONE COSTIERE

La misurazione delle grandezze fisico-ambientali finalizzata a capire e monitorare l'evoluzione dell'ambiente rappresenta un ambito di ricerca interdisciplinare, particolarmente interessante dal punto di vista scientifico e sperimentale, oltretutto attuale e complesso. In questo contesto la definizione del misurando - la grandezza oggetto della misurazione - la teoria della misura ed il processo di misurazione con la relativa strumentazione, i molteplici fattori e variabili che interagiscono spesso congiuntamente e cumulativamente sul misurando, rendono complesso l'intero processo del "Misurare per l'ambiente", soprattutto nel caso in cui si vogliono trattare grandezze fisico-ambientali costiere terrestri e subacquee.

Per tale motivo la Sessione "*Misure per l'ambiente*" prende in considerazione, anche se in maniera non esclusiva, gli strumenti e le metodologie di misura e monitoraggio, gli studi meteo-climatici e oceanografici costieri, i sistemi informativi geografici, le reti telematiche e le banche dati.

Strettamente connessa con le misure per l'ambiente è la *Produzione energetica*, soprattutto se riferita a zone costiere. In questo contesto rientrano i diversi ambiti di ricerca che riguardano problematiche e soluzioni legate alla conversione dell'energia, con particolare riferimento all'ambiente costiero. Lo scenario è ampio ed estremamente variegato: dai grandi impianti eolici con tecnologia offshore, ai rigassificatori galleggianti o costieri, i sistemi di conversione di energia del moto ondoso e delle correnti marine. Di interesse sono anche i sistemi di conversione di energia da biomasse (microalghe, ...), gli stagni solari, i sistemi integrati di conversione di energia e dissalazione (in particolare se con integrazione di fonti rinnovabili). Rientrano in questo ambito i sistemi di accumulo dell'energia in ambiente costiero (energia potenziale, di pressione, chimica, ...), l'integrazione di fonti rinnovabili (solare/eolico/moto ondoso/biomasse) nel contesto costiero e delle opere di difesa portuale e di protezione dei litorali.

La molteplicità dei temi sopra riportati è stato il motivo per cui gli organizzatori del Simposio hanno ritenuto opportuno dedicare una sessione specifica alle **Misure per l'Ambiente e Produzione energetica in zone costiere**, sessione che ha visto nel suo complesso ampia partecipazione, con lavori presentati da qualificate Unità di ricerca variamente distribuite a livello geografico a dimostrazione di un interesse condiviso e diffuso sui temi proposti.

Il lavoro di A. Caligiore, L. Amitrano, S. D'Andrea, S. Iacullo, M. Marcelli, G. Pacci, P. Puri, F. Sarti, V. Piermattei, C. Stefani, A. Madonia, S. Colella, J. P. Porter, G. Spaccavento, riguarda il *Monitoraggio aereo delle praterie di posidonia oceanica e valutazione degli algoritmi bio-ottici regionali per la stima della clorofilla "a" in un'area marina protetta caratterizzata dalla limitata attività antropica: il caso dell'isola di Pianosa*. La direttiva quadro sulla strategia marina (MSFD, 2008/56/CE) auspica l'impiego di strumenti innovativi per garantire la gestione sostenibile degli ecosistemi marini e delle aree marine protette. In particolare molte zone costiere del Mediterraneo sono interessate dalla presenza di praterie di *Posidonia oceanica* (P.O.), habitat prioritari della Direttiva Habitat (allegato I, 92/43/CE), le quali, svolgendo un ruolo ecologico fondamentale, sono

considerate un buon indicatore biologico della qualità delle acque al pari della clorofilla “a” presente nella colonna d’acqua, parametro chiave nell’individuazione di alcuni processi antropici come l’eutrofizzazione. Il presente lavoro ha riguardato la mappatura delle praterie di P.O. presenti nelle acque circostanti l’Isola di Pianosa (Parco Nazionale dell’Arcipelago toscano) mediante telerilevamento passivo da aereo, un metodo sinottico, di dettaglio e meno invasivo rispetto alle tradizionali tecniche di campionamento. È stata, inoltre, effettuata, la valutazione degli algoritmi bio-ottici regionali (MedOC4) per la stima della clorofilla “a” attraverso il confronto con i dati in situ raccolti durante la campagna aerea.

Il lavoro di M. De Vincenzi, G. Fasano, A. Materassi tratta il *Monitoraggio dei parametri fisici delle grotte costiere della Sardegna: l’esempio della Grotta Verde e del Bue Marino*. Lo studio del clima degli ambienti naturali ipogei riveste notevole importanza per motivi biologici e naturali e assume maggior rilievo per le grotte che sono, o stiano per diventare, turistiche. È evidente che per consentire la presenza dei visitatori, con le opere di accoglienza e di sicurezza necessarie, si variano le condizioni fisico-chimiche dell’atmosfera e delle acque della grotta, inducendo alterazioni sia sulla sua morfologia sia sui sistemi biologici, in essa presenti. Nel caso delle grotte risulta, in generale, molto delicato l’equilibrio fra la salvaguardia dei beni ambientali e fruizione. A tal fine le autorità preposte alla gestione dei beni ambientali dovrebbero tenere presente che la frequentazione antropica deve rispettare la resilienza della grotta considerata. In questo lavoro sono state considerate due grotte costiere della Sardegna: Grotta Verde (costa nord-occidentale) e Grotta del Bue Marino (costa centro-orientale). Lo studio, condotto dal CNR-IBIMET in collaborazione con il DIPNET-Università di Sassari, vuole promuovere la valutazione della biodiversità cavernicola, la conservazione biologica e morfologica delle grotte e la valorizzazione economica sostenibile di queste risorse naturali che possono svolgere un ruolo centrale nell’incentivare il turismo in aree carsiche. Le valutazioni derivanti da questi studi consentono di stabilire la resilienza dell’ambiente carsico analizzato e di adeguare a questo il carico turistico. In questo contesto, compito dell’IBIMET è la definizione qualitativa dei parametri fisico-atmosferici all’interno delle Grotte, in presenza e in assenza di frequentazione antropica. Nel caso della Grotta Verde il confronto è svolto fra i valori dei parametri ambientali misurati durante la stagione turistica e la stagione invernale. Nel caso della Grotta del Bue Marino, non essendo possibile l’accesso nel periodo invernale, il confronto è fatto fra valori dei parametri rilevati contemporaneamente all’interno della Grotta e fuori da essa, durante la stagione turistica.

Ancora di M. De Vincenzi e G. Fasano è il lavoro su *Metodi grafico-analitici per la stima dei parametri che intervengono nei processi carsici*. Per monitorare l’attività carsica degli ambienti ipogei naturali è necessario misurare alcune grandezze fisiche dell’atmosfera (pressione totale, pressione parziale dell’anidride carbonica, temperatura, ecc.) e dell’acqua (temperatura, pH, concentrazione di CO<sub>2</sub> e di carbonato di calcio, ecc.), in essi presenti, che non sempre sono facilmente misurabili direttamente, ma sono strettamente legate fra loro da leggi fisiche di non facile modellizzazione. In questo studio, svolto nell’ambito di un progetto sulle grotte costiere della Sardegna, sono proposti dei metodi grafico-analitici per stimare i parametri chimico-fisici che intervengono nei processi di formazione e di dissoluzione del carbonato di calcio nelle cavità carsiche. I metodi, realizzati utilizzando valori e grafici sperimentali presenti in letteratura, permettono di

descrivere mediante equazioni matematiche i legami fra pH, temperatura, concentrazione di carbonato di calcio in soluzione acquosa, e di concentrazione di CO<sub>2</sub> libera in equilibrio con la pressione parziale della CO<sub>2</sub> in aria. Viene proposto infine un metodo grafico dal quale si possa agevolmente analizzare se nelle condizioni date, dell'atmosfera e della soluzione acquosa, si ha deposizione o dissoluzione della roccia calcarea.

Il lavoro presentato da R. Dell'Erba ha per titolo *High power leds as range finder in an underwater Robotics swarms for environmental monitoring*. L'autore propone un sistema complesso che, utilizzando uno sciame di robot subacquei, è in grado di effettuare misure su parametri ambientali. In particolare, il sistema si basa sullo scambio di segnali luminosi tra i dispositivi coinvolti – lo sciame di robot - e di un modem di comunicazione, tale da consentire la reciproca localizzazione. Il lavoro mette in evidenza le prestazioni, in termini di velocità e robustezza, dello sciame subacqueo rispetto ad un singolo dispositivo. Il sistema proposto consente di effettuare misure locali dei coefficienti di assorbimento e presenta prestazioni di misura particolarmente interessanti.

Il lavoro presentato da V. Pennisi, L.M. Stancanelli, R.E. Musumeci, E. Foti riguarda invece la sotto-sessione Produzione energetica ed ha per titolo *Eco-Friendly Design of a Small Scale Pressure Retarded Osmosis Power Plant Close to the Simeto River Mouth*. Gli autori prendono in considerazione la pressione osmotica come elemento di base di tecnologie promettenti nell'ambito delle fonti di energia rinnovabile. La pressione osmotica è, in questo caso, ottenuta dalla differenza di salinità tra l'acqua dolce di fiume e l'acqua salata del mare. Il lavoro analizza la fattibilità di un impianto *Pressure Retarded Osmosis* (PRO) di piccola scala collocato lungo la costa della Sicilia orientale (Italia), vicino la foce del fiume Simeto. La stima del potenziale di produzione di energia dell'impianto PRO è stata fatta valutando sia la disponibilità di risorse idriche che il gradiente di salinità locale. Sono stati poi scelti i materiali adottati per la struttura, al fine di garantire un basso impatto ambientale e tenendo in considerazione i principi della "Green Economy", e progettati gli spazi interni, pensando alla funzione educativa che l'impianto potrebbe assumere. La dinamica della propagazione dei deflussi in uscita dall'impianto nella regione *nearshore* è stata studiata attraverso la modellazione numerica, tenendo conto della interazione tra onde e correnti osservata in prossimità della foce del fiume.

A conclusione si può affermare che la eterogeneità dei tempi trattati in questa sessione è la chiara dimostrazione dell'ampio spettro di ricerca e dell'interesse su *Misure per l'Ambiente e Produzione energetica in zone costiere*.

Marcantonio Catelani  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione  
Università degli Studi di Firenze

Carlo Carcasci  
Dipartimento di Ingegneria industriale  
Università degli Studi di Firenze



# MONITORAGGIO AEREO DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA E VALUTAZIONE DEGLI ALGORITMI BIO-OTTICI REGIONALI PER LA STIMA DELLA CLOROFILLA A IN UN'AREA MARINA PROTETTA CARATTERIZZATA DALLA LIMITATA ATTIVITÀ ANTROPICA: IL CASO DELL'ISOLA DI PIANOSA

A. Caligiore<sup>1</sup>, L. Amitrano<sup>2</sup>, S. D'Andrea<sup>2</sup>, S. Iacullo<sup>2</sup>, M. Marcelli<sup>3</sup>, G. Pacci<sup>2</sup>, P. Puri<sup>1</sup>, F. Sarti<sup>4</sup>, V. Piermattei<sup>3</sup>, C. Stefani<sup>3</sup>, A. Madonia<sup>3</sup>, S. Colella<sup>5</sup>, J P Porter<sup>5</sup>, G. Spaccavento<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Reparto Ambientale Marino del Corpo delle Capitanerie di Porto – Roma;

<sup>2</sup> 3° Nucleo Aereo Guardia Costiera, Via Tiburtina Valeria, 380 – 65129 Pescara,  
Tel 085.4311255 mail: giacomo.pacci@mit.gov.it;

<sup>3</sup> Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina – Civitavecchia;

<sup>4</sup> A.N. – Dipartimento Capitanerie di Porto – Livorno;

<sup>5</sup> CNR - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Roma.

**Riassunto** – La direttiva quadro sulla strategia marina (MSFD, 2008/56/CE) auspica l'impiego di strumenti innovativi per garantire la gestione sostenibile degli ecosistemi marini e delle aree marine protette. In particolare molte zone costiere del Mediterraneo sono interessate dalla presenza di praterie di *Posidonia oceanica* (P.O.), habitat prioritari della Direttiva Habitat (allegato I, 92/43/CE), le quali, svolgendo un ruolo ecologico fondamentale, sono considerate un buon indicatore biologico della qualità delle acque al pari della clorofilla “a” presente nella colonna d'acqua, parametro chiave nell'individuazione di alcuni processi antropici come l'eutrofizzazione. Il presente lavoro ha riguardato la mappatura delle praterie di P.O. presenti nelle acque circostanti l'Isola di Pianosa (Parco Nazionale dell'Arcipelago toscano) mediante telerilevamento passivo da aereo, un metodo sinottico, di dettaglio e meno invasivo rispetto alle tradizionali tecniche di campionamento. È stata, inoltre, effettuata, la valutazione degli algoritmi bio-ottici regionali (MedOC4) per la stima della clorofilla “a” attraverso il confronto con i dati in situ raccolti durante la campagna aerea.

**Abstract** – *The Marine Strategy Framework Directive (MSFD) highlights the necessity of new tools to ensure both the sustainable protection and conservation of marine ecosystems and the management of protected areas. In particular most of the Mediterranean coastal areas are interested by the presence of Posidonia Oceanica (P.O.) meadows (Habitat Directive, annex I, 92/43/CE), which plays an essential ecological role accomplishing important habitats like the chlorophyll a in the water column Taking into account all these topics, the present study was carried out in Pianosa Island in the Tuscan Archipelago National Park for the presence of wide P. O. meadows. The study focuses on charting and monitoring P.O. meadows by a synoptic and extensive method, which is less invasive than the traditional sampling techniques, and on the evaluation of regional bio-optical algorithms (MedOC4) for chlorophyll a estimates, through the comparison with data collected during the survey.*

## Introduzione

La tutela dell'ambiente marino e costiero nazionale costituisce un obiettivo strategico per il raggiungimento del quale il Corpo delle Capitanerie di porto - Guardia Costiera - contribuisce fattivamente grazie alla propria componente operativa - dotata di specifiche competenze - oltre che ad una presenza territoriale capillare e qualificata. Data l'importanza di tale attività è emersa, nel corso del tempo, la necessità di costituire un Reparto specializzato (il R.A.M. - Reparto Ambientale Marino) che ha sede presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ed è posto alle dipendenze del Ministro dell'Ambiente onde conseguire un più rapido ed efficace supporto alle attività di tutela e di difesa dell'ambiente marino e costiero.

Nell'ambito della normativa comunitaria tesa alla salvaguardia dell'ambiente marino assume particolare rilievo la direttiva 2008/56/CE (*Marine Strategy Framework Directive*, MSFD) che istituisce un quadro politico comunitario per il conseguimento o mantenimento di un "buono stato ecologico" (*Good Environmental Status*, GES) delle acque marine europee, promuovendo l'utilizzo di approcci innovativi per l'analisi dei descrittori GES. L'utilizzo di dati remoti acquisiti da piattaforme aeree e satellitari costituisce uno strumento utile in grado di fornire dati sinottici per lo studio dell'integrità dei fondali marini (Descrittore 6) e dell'eutrofizzazione (Descrittore 5) (Cristina et al., 2015, Bonamano et al. 2016).

Tra gli ecosistemi bentonici mediterranei le praterie di *Posidonia Oceanica* (P.O.) costituiscono un habitat di grande valore ecologico, indicato dalla Direttiva Habitat (Allegato I, 92/43/CEE) come "prioritario". La P.O. è l'unica fanerogama in grado di colonizzare in maniera continua la fascia costiera compresa tra la superficie ed una profondità massima che dipende dalla trasparenza dell'acqua. In Italia tale profondità varia dai 21-28 m della Liguria (Bianchi et. al., 1995), ai 20-30 m del Lazio (Bonamano et al., 2016) e ai 38 m di Ischia (Giraud et al., 1979). Essa rappresenta l'endemismo più caratteristico e la specie più significativa, per l'importanza ecologica che riveste nei delicati e fragili equilibri della fascia costiera mediterranea. Per tutte queste caratteristiche la P.O. rappresenta un ecosistema fondamentale, che vista la sua sensibilità alle variazioni delle condizioni ambientali viene considerata un buon indicatore biologico della qualità delle acque. Attraverso lo studio delle praterie è, infatti, possibile ottenere un quadro sinottico della situazione ecologica dell'area costiera in esame purché tale rappresentazione passi attraverso il vaglio del monitoraggio e del confronto con i dati spazio-temporali (Pergent et al., 1995). L'ultima mappatura delle praterie delle coste e isole toscane risale agli anni '90 (Cinelli et al., 1995; Bedini et al., 2000; Piazzi et al., 2000b), in cui furono utilizzati metodi tradizionali di campionamento e analisi.

Grazie allo sviluppo di nuove tecnologie remote oggi è possibile caratterizzare vaste aree in maniera sinottica e con elevate risoluzioni spaziali, sia per quanto attiene i fondali marini che le proprietà bio-ottiche dell'acqua di mare. In questo studio vengono riportati i primi risultati ottenuti dalla mappatura dell'area dell'Isola di Pianosa attraverso sistemi di telerilevamento passivo da piattaforma aerea.

I risultati sono stati confrontati sia con acquisizioni satellitari che con le misure in situ effettuate in concomitanza del sorvolo aereo.

## Materiali e metodi

Nell'ambito delle attività di monitoraggio ambientale effettuate con i mezzi del Corpo delle Capitanerie di porto Guardia Costiera, è stata pianificata ed eseguita nelle acque circostanti l'isola di Pianosa dell'Arcipelago Toscano una missione di telerilevamento mediante sistema iperspettrale ITRES CASI 1500 imbarcato su un velivolo P166DL3 SEM - finalizzata alla:

- a) mappatura della Posidonia Oceanica;
- b) stima della concentrazione della clorofilla "a" in colonna d'acqua.

Il primo obiettivo è stato raggiunto mediante l'algoritmo di Lyzenga [13], impiegabile anche in assenza del dato di profondità, che restituisce un "indice di fondale omogeneo" in funzione della riflettanza emergente dalla superficie marina in due bande spettrali e del rapporto tra i coefficienti di attenuazione diffusa a quelle lunghezze d'onda.

L'indice è quindi funzione del tipo di fondale e risulta essere indipendente dallo spessore della colonna d'acqua sovrastante, quindi dalla profondità "z". Tale modalità che può essere potenziata qualora si disponga dei dati batimetrici, consente di fare risaltare le caratteristiche spettrali del fondale marino in tutte le bande

Inoltre, la corretta quantizzazione del coefficiente di attenuazione diffusa " $K_{d(\lambda)}$ " permette, in prima analisi, di stimare la trasparenza spettrale del corpo idrico interessato dalla misurazioni oltre che consentire, in seguito, la correzione degli effetti della colonna d'acqua sulla radiazione incidente.

La relazione che consente di calcolare l'indice di fondale omogeneo deriva da una semplificazione dell'equazione di trasferimento radiativo in acqua che, espressa in termini di *Remote Sensing Reflectance*, è data dalla seguente espressione:

$$\text{indice}_{(ij)} = \ln Rrs_i - (k_i k^{-1j}) \ln Rrs_j \quad (1)$$

dove:

indice<sub>(ij)</sub> è l'indice di fondale omogeneo nelle bande i e j;

Rrs<sub>(i)</sub> e Rrs<sub>(j)</sub> sono le Rrs nelle bande i e j;

K<sub>i</sub> e K<sub>j</sub> sono i coeff. di attenuazione diffusa nelle bande i e j.

Assumendo che il coefficiente di attenuazione diffusa  $K_{d(\lambda)}$  dipenda solo dalle caratteristiche ottiche della colonna d'acqua e che non ci sia variazione spaziale della torbidità è possibile calcolare il valore del rapporto dei coefficienti di attenuazione diffusa per tutta la scena attraverso la seguente espressione:

$$K_d(\lambda_i) K_{d^{-1}}(\lambda_j) = a + \sqrt{a^2 + 1} \quad (2)$$

che minimizza lo scarto quadratico medio perpendicolare alla retta di regressione del cluster di pixel [ $X_i = \ln(Rrs_{(i)})$  e  $X_j = \ln(Rrs_{(j)})$ ], contenuto in una ROI (*Region Of Interest*) selezionata e riferita a fondale omogeneo per tipologia di materiale,



dove:

$$a = 0,5 (\sigma^i - \sigma^j) \sigma^{-1_{ij}} ;$$

$\sigma_i$  e  $\sigma_j$  sono le varianze;

$\sigma_{ij}$  è la covarianza della R.O.I. selezionata nell'immagine [ $X_i = \ln(Rrs_{(i)})$  e  $X_j = \ln(Rrs_{(j)})$ ].

Sono state effettuate acquisizioni diversificate da terra, da mare ed in volo:

- **da terra** sono state raccolte in situ, mediante uno spettroradiometro portatile Fieldspec 4 (risoluzione spettrale: 350 ÷ 2500 nm), alcune firme spettrali relative a target spettralmente omogenei che sarebbero state impiegate per la verifica della bontà della correzione atmosferica operata sulle immagini telerilevate.
  - **in mare** mediante unità navali del Corpo (Motovedetta CP 286) dalle quali sono state impiegate le seguenti strumentazioni:
    - Satlantic Profiler Hyperpro II, in grado di effettuare misure lungo il profilo della colonna d'acqua delle seguenti grandezze fisiche:
      - irradianza diretta verso il basso in 136 bande tra i 350 e 800 nm (con risoluzione spettrale pari a 10 nm) in aria e in acqua;
      - radianza diretta verso l'alto in 136 bande tra i 350 e 800 nm (con risoluzione spettrale pari a 10 nm) in acqua. (FOV 11.5°)
      - coefficiente di scattering in due lunghezze d'onda (470 e 700 nm) e un angolo di diffusione pari a 117°
    - Sonda multiparametrica Idronaut Ocean Seven 316 dotata di fluorimetro Seapoint per la misura delle variabili chimiche, fisiche e biologiche della colonna d'acqua.
- Nelle stazioni riportate in Tab. 4 sono stati prelevati, (Niskin 10 L), campioni di acqua di mare ad una quota sub superficiale per lo svolgimento delle seguenti analisi:
- Concentrazione spettrofotometrica e mediante tecnica cromatografica HPLC della clorofilla a (Lazzara et al., 2010, Vidussi et al., 1996, Barlow et al., 1997);
  - Concentrazione dei Solidi Sospesi Totali (Strickland & Parsons, 1972);
  - analisi spettrale dell'assorbimento CDOM (Mitchell et al., 1993, 2003; NASA/TM - 2003);
  - analisi spettrale dell'assorbimento in vivo del particolato su filtro (Massi et al., 2010; Tassan & Ferrari, 1995, 2002)
- **in volo** impiego del sistema iperspettrale ITRES CASI 1500 secondo i seguenti parametri di volo:

Tabella 1 – Tabella parametri di volo vettore aereo.

Parametri di volo	Quota di volo:	5000 piedi
	Velocità:	120 nodi
	Rotta:	270° – 090°
Parametri ITRES Casi 1500	Pixel size:	80 cm
	Scan rate/n° bande	12 ms/72 bande

Sulla scorta di quanto sopra l'attività di elaborazione dei dati raccolti con il sistema iperspettrale ha seguito i seguenti *steps*:

- Correzione atmosferica delle immagini con il Codice 6S [17];
- Georeferenziazione delle tratte;
- *Mosaiking* delle singole tratte al fine di ottenere una singola immagine dell'intera isola;
- Creazione delle Regioni di Interesse (ROI) relative alla varie tipologie di fondale da classificare sull'immagine mosaicata;
- Segmentazione dell'immagine mosaicata al fine di scindere il dominio acquatico da quello emerso;
- Nell'immagine acquista sul mare trasformazione della riflettanza superficiale in Rrs (*Remote Sensing Reflectance*);
- Correzioni del *Sun* e *Sky glint*;
- Applicazione dell'algoritmo di Lyzenga ed estrazione degli indici di fondale omogeneo;
- Classificazione del fondale mediante il classificatore di "massima verosimiglianza".
- Verifica *in situ* (su 17 punti) con batiscopio guardafondo (cfr Tab. 2).

## Risultati

Di seguito vengono riportati i primi risultati ottenuti dal processamento dei dati acquisiti dall'iperspettrale ITRES CASI 1500.

Per quanto attiene la classificazione dei substrati, è stato possibile costruire una mappa che riporta le diverse tipologie di substrato, in particolare è stato possibile distinguere tra sabbia, roccia e presenza di *Posidonia Oceanica*.

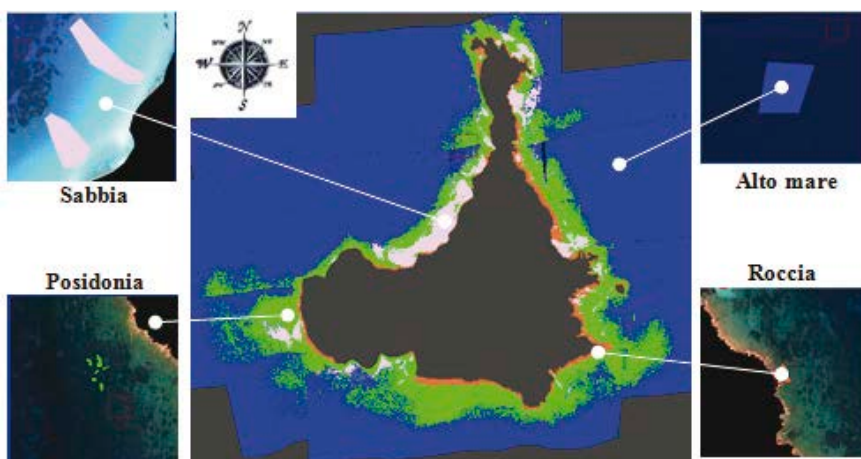


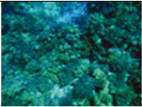


Figura 1 – Immagine classificata.

La classificazione del fondale è stata validata mediante l'osservazione diretta, con l'ausilio di un batiscopio guardafondo munito di fotocamera e gps, su 17 punti distribuiti nelle acque circostanti l'isola di Pianosa. Nella tabella che segue, a titolo esemplificativo se ne riportano 3 dei 17 totali.

Tabella 2 – Verifica in situ con batiscopio guardafondo.

Posizione	Tipo fondale	batiscopio
42° 35' 50" N 010° 05' 48" E	sabbia	
42° 35' 50" N 010° 05' 40" E	Sabbia + posidonia	
42° 35' 52" N 010° 05' 32" E	Roccia	

Per quanto concerne la determinazione della concentrazione della clorofilla (a) [ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] è stato impiegato l'algoritmo empirico "MedOC4", adattato al sensore Casi 1500 per il Mar Mediterraneo [10]:

$$\text{Chl}_a = 10^{\left( 0.4424 - 3.686 \cdot R_{4E} + 1.076 \cdot R_{4E}^2 + 1.684 \cdot R_{4E}^3 - 1.437 \cdot R_{4E}^4 \right)} \quad (3)$$

dove  $R_{4E}$  rappresenta il massimo dei rapporti di banda tra:

- $\log_{10}(\text{Rrs}_{(443)} \cdot \text{Rrs}_{(560)}^{-1})$ ,
- $\log_{10}(\text{Rrs}_{(490)} \cdot \text{Rrs}_{(560)}^{-1})$
- $\log_{10}(\text{Rrs}_{(510)} \cdot \text{Rrs}_{(560)}^{-1})$ .

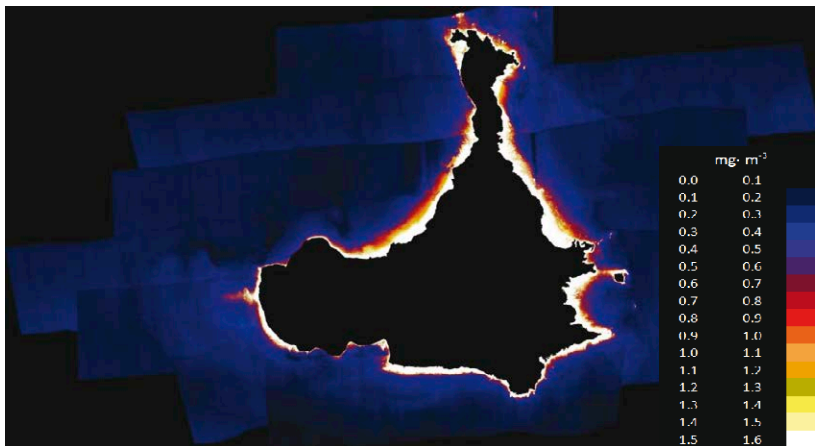


Figura 2 – Immagine classificata chl (a) in  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Tabella 3 – Confronto tra i valori di chl\_a da Modis e quelli da Casi 1500.

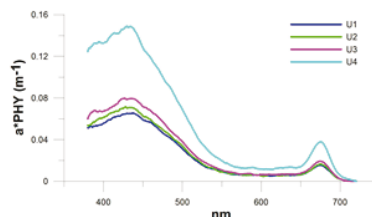
n.ro	data	posizione		sensore	algoritmo	chl_a [mg·m <sup>-3</sup> ]	data	posizione		sensore	algoritmo	chl_a [mg·m <sup>-3</sup> ]
		Lat_N Long_E						Lat_N Long_E				
1	04.08.2015	42° 36' 49"	010° 05' 52"	MODIS	OC3M	0,246	05.08.2015	42° 36' 49.05"	010° 05' 51.97"	CASI	Med_OC4	0,212
		AQUA	1500									
2	04.08.2015	42° 34' 46"	010° 07' 08"	MODIS	OC3M	0,176	05.08.2015	42° 34' 46.00"	010° 07' 7.98"	CASI	Med_OC4	0,155
		AQUA	1500									
3	04.08.2015	42° 35' 57"	010° 07' 36"	MODIS	OC3M	0,147	05.08.2015	42° 35' 57.01"	010° 07' 35.99"	CASI	Med_OC4	0,141
		AQUA	1500									
4	04.08.2015	42° 36' 26"	010° 02' 57"	MODIS	OC3M	0,126	05.08.2015	42° 36' 26.00"	010° 02' 56.98"	CASI	Med_OC4	0,094
		AQUA	1500									
5	04.08.2015	42° 34' 31"	010° 01' 9.5"	MODIS	OC3M	0,148	05.08.2015	42° 34' 31.30"	010° 01' 9.49"	CASI	Med_OC4	0,143
		AQUA	1500									
6	04.08.2015	42° 33' 56"	010° 04' 39"	MODIS	OC3M	0,217	05.08.2015	42° 33' 55.98"	010° 04' 39.03"	CASI	Med_OC4	0,2
		AQUA	1500									

I risultati ottenuti dai campionamenti mostrano concentrazioni di clorofilla minori di 0.1 mg·m<sup>-3</sup> in tutte le stazioni monitorate e l'assenza di un evidente andamento costa-largo.

Dall'analisi degli spettri di assorbimento si può osservare nella tabella 4 che la stazione costiera U4 presenta i valori più elevati di assorbimento del fitoplancton.

Tabella 4 – Rilevazioni in situ nelle 4 stazioni.

Stazione	Chl a mg/m <sup>3</sup>	aCDOM <sub>440</sub> m <sup>-1</sup>	aNAP <sub>440</sub> m <sup>-1</sup>	a* PHY <sub>440</sub> m <sup>-1</sup>
U1	0.060	0.0807	0.0033	0.0648
U2	0.054	0.0733	0.0031	0.0696
U3	0.048	0.0446	0.0026	0.0787
U4	0.059	0.0911	0.0065	0.1442



## Discussione

Dai risultati ottenuti dai campionamenti si osserva che:

- per quanto attiene la *Posidonia Oceanica*, la classificazione ottenuta dai dati CASI presenta una buona correlazione con i dati in situ;
- Per quanto riguarda invece le concentrazioni di clorofilla “a” sono stati ottenuti dati molto simili tra il sensore Modis (algoritmo OC3M) e il Casi 1500 (Algoritmo regionale MedOC4) in aree di mare distanti dalla costa sebbene entrambi i valori sovrastimano del 50 % i valori misurati *in situ*.

Inoltre i dati rilevati da remoto si quadruplicano nelle vicinanze della costa rispetto a quelli misurati *in situ* così come già riscontrato in pregresse rilevazioni [15].

Nel complesso i valori di clorofilla *a* misurati rivelano una caratteristica oligotrofia dovuta sia al periodo estivo che alle peculiarità del sito specifico, non interessato da particolari apporti, direttamente o indirettamente, riconducibili ad attività antropica.

## Conclusioni

L'attività oggetto della presente trattazione conferma, ancora una volta, che l'integrazione di dati multiplatforma permette di ottenere rappresentazioni dell'area, del fenomeno o della grandezza oggetto di studio con elevate risoluzioni e sinotticità.

Nello specifico l'impiego dell'aereo rispetto al satellite consente di ottenere maggiori risoluzioni geometriche grazie alla possibilità di effettuare sorvoli a quote più basse.

Inoltre il vettore aereo consente di effettuare le acquisizioni con direttrici tali da ridurre, ed in alcuni casi evitare, i noiosi effetti di abbagliamento solare oltre a garantire tempi di rivisitazione molto più ridotti rispetto alle piattaforme satellitari, requisito questo, di importanza cruciale nello studio delle dinamiche ambientali costiere.

Rimane il limite della validazione dei dati ottenuti dall'applicazione di algoritmi a scala di bacino e non locali, che risultano sovrastimati rispetto ai dati raccolti in situ, soprattutto per quanto attiene la concentrazione della clorofilla a in prossimità della costa.

Questo comporta la necessità di sviluppare ulteriori algoritmi, a scala locale, in grado di fornire informazioni più dettagliate relative a specifiche aree costiere considerate ad "alto valore ambientale". Questo lavoro ne costituisce l'*incipit*.

## Bibliografia

- [1] Barlow et. al. - *Improved resolution of mono- and divinyl chlorophylls a and b and zeaxanthin and lutein in phytoplankton extracts using reverse-phase C-8 HPLC*. - (1997) - Mar. Eco. Pro. Ser., 161: 303-307.
- [2] Bedini et al. - *Mappatura del limite superiore di alcune praterie di Posidonia oceanica lungo la costa Toscana* - (2000). Biol. Mar. Mediterr., 7 (1): 499-508.
- [3] Bonamano et al. - *The Civitavecchia Coastal Environment Monitoring System (C-CEMS): a new tool to analyze the conflicts between coastal pressures and sensitivity areas* - (2016) - doi:10.5194/os-12-87-2016, 88.
- [4] Boudouresque et al. - *Prèservation et conservation des herbiers a Posidonia Oceanica* - 2006, Ramoge Publ., Monaco, 200.
- [5] Bianchi, C.N., Peirano, A. - *Atlante delle fanerogame marine della Liguria: Posidonia oceanica e Cymodocea nodosa*. 1995, ENEA Centro Ricerche Ambiente Marino, La Spezia.
- [6] Bresciani et. al. - *Il contributo del telerilevamento all'interno del progetto EULAKES*. 2011 in Atti ASITA, 492-495.
- [7] Cinelli, et al. - *Mappatura delle praterie a Posidonia oceanica (L.) Delile intorno alle isole minori dell'Arcipelago Toscano*. - (1995), Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., 102: 93-110.
- [8] Cristina, et. al. - *Using remote sensing as a support to the implementation of the European Marine Strategy Framework Directive in SW Portugal* - Cont. Shelf Res.- (2015), 108, 169-177.
- [9] Diviacco et al. - *Le Fanerogame marine del Lazio. Descrizione e cartografia delle praterie di Posidonia oceanica e dei prati di Cymodocea nodosa*. - 2001, Quaderno ICRAM n. 113.
- [10] Giraud et al. - *Observations sur l'herbier de Posidonia oceanica (L.) Delile autour de l'île d'Ischia (Italie)*- 1979, Giorn. Bot. Ital., 113: 261-274.

- [11] Jerlov N.G., - *Marine Optics* - (1976), Elsevier Oceanography Series 14, 231.
- [12] Lazzara et. al. - *Pigmenti clorofilliani per la stima della biomassa fototrofa* - 2010, Manuali e Linee guida ISPRA 56/2010. Metodologie di studio del plancton marino. ISBN 978-88-448-0427-5. pp.365-377.
- [13] Lyzenga D.R., - *Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data* - 1981, Int. Journal of Remote Sensing, vol. 2, 1:71-82.
- [14] Massi L., Lazzara L. - *Misure spettrali di assorbimento e fluorescenza in vivo del fitoplancton*. - 2010, in Manuali e Linee guida ISPRA 56/2010. Metodologie di studio del plancton marino. ISBN 978-88-448-0427-5. pp.389-404.
- [15] Mitchell et. al. - *Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples* - 2003, NASA/TM-2003-211621/Rev4-Vol.IV.
- [16] Mobley C.D., “*Light and Photosynthesis in aquatic ecosystems*” -1994, Cambridge University Press, 509.
- [17] Palmitessa E., - *Telerilevamento multi-temporale da satellite per la mappatura dei macrodescrittori di qualità delle acque lacustri*”, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, I Facoltà d’Ingegneria - Corso di Laurea in Ingegneria Ambientale, (A.A 2000-2001).
- [18] Pergent et. al, - *Utilisation de l’herbier a` Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Etat des connaissances* - 1995, Mesogee - Vol. 54, 3-29.
- [19] Piazzini et al. - *Mappatura delle praterie a fanerogame marine della Toscana*.- (2000 b) Biol. Mar. Mediterr., 7 (1): 594-596.
- [20] Salviato S., Barbaro J., Braga F., Alberotanza L., - *Analisi spettrale delle fanerogame marine in laguna di Venezia- 2008*, Rivista Italiana di Telerilevamento, 33/34:91-107
- [21] Santini C. et al - *Calibrazioni regionali dell’algoritmo OC3M Modis (Aqua) per la stima della clorofilla* - 2005, in atti ASITA 395-400.
- [22] Strickland J.D.H.,Parsons, T.R. - *A practical handbook of seawater analysis*. - 1972, Fish. Res. Board Can. Bull. 167, 2nd ed.
- [23] Tassan, S., Ferrari, G. M. - *Sensitivity analysis of the “Transmittance Reflectance” method for measuring light absorption by aquatic particles retained on filters* - 2002, J. Plankton Res., 24: 757-774
- [24] Tassan S., Ferrari G.M. - *An alternative approach to absorption measurements of aquatic particles retained on filters*. - 1995, Limnol. Oceanogr., 40: 1358-1368.
- [25] Vermote E.F., Tanrè D., Deizè J.L., Herman M., Morcrette J.J., “*Second Simulation of the Satellite Signal in Solar Spectrum, 6S: An Overview*” - 1997, Trans. On Geo. and Remote Sensing, 35:675-686.
- [26] Vidussi F., Claustre H., Bustillos-Guzman J., Cailliau C., Marty J.-C. - *Determination of chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein*. 1996, J. Plankton Res., 18: 2377-2382.
- [27] Volpe G., R. Santoleri, V. Vellucci, M. Ribera d’Alcalá, S. Marullo, F. D’Ortenzio, - *The colour of the Mediterranean Sea: Global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates* - 2007, Remote Sensing of Environment 107, 625-638.

## METODI GRAFICO-ANALITICI PER LA STIMA DEI PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEI PROCESSI CARSIICI

Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano,  
CNR – Istituto di Biometeorologia, Sedi di Firenze e Sassari,  
Tel. 055 5226552, e-mail: m.devincenzi@ibimet.cnr.it

**Riassunto** – Per monitorare l'attività carsica degli ambienti ipogei naturali è necessario misurare alcune grandezze fisiche dell'atmosfera (pressione totale, pressione parziale dell'anidride carbonica, temperatura, ecc.) e dell'acqua (temperatura, pH, concentrazione di CO<sub>2</sub> e di carbonato di calcio, ecc.), in essi presenti, che non sempre sono facilmente misurabili direttamente, ma sono strettamente legate fra loro da leggi fisiche di non facile modellizzazione.

In questo studio, svolto nell'ambito di un progetto sulle grotte costiere della Sardegna, sono proposti dei metodi grafico-analitici per stimare i parametri chimico-fisici che intervengono nei processi di formazione e di dissoluzione del carbonato di calcio nelle cavità carsiche.

I metodi, realizzati utilizzando valori e grafici sperimentali presenti in letteratura, permettono di descrivere mediante equazioni matematiche i legami fra pH, temperatura, concentrazione di carbonato di calcio in soluzione acquosa, e di concentrazione di CO<sub>2</sub> libera in equilibrio con la pressione parziale della CO<sub>2</sub> in aria. Viene proposto infine un metodo grafico dal quale si possa agevolmente analizzare se nelle condizioni date, dell'atmosfera e della soluzione acquosa, si ha deposizione o dissoluzione della roccia calcarea.

***Abstract** – Monitoring of the karstic activity of natural hypogeal environments requires the measurements of some physical quantities of the atmosphere (total pressure, partial pressure of carbon dioxide, temperature, etc.) and of the water (temperature, pH, CO<sub>2</sub> and carbonate calcium concentrations, etc.), present in them. The direct measurement of these quantities is often difficult, but moreover they are closely linked to each other by physical laws, not easy to modelize.*

*In this study, carried out as part of a project on Sardinian coastal caves, it proposes graphical analytical methods to estimate the chemical and physical parameters involved in the processes of formation and dissolution of calcium carbonate in karstic cavities.*

*The methods, carried using experimental values and graphics in the literature, allow to describe, by means of mathematical equations, the links between pH, temperature, concentration of calcium carbonate in aqueous solution, and concentration of free CO<sub>2</sub> in equilibrium with the partial pressure of CO<sub>2</sub> in the air. Finally, it proposes a graphical method by which it can easily analyze whether in given conditions, about atmosphere and aqueous solution, there is deposition or dissolution of limestone rock.*

## Introduzione

Carso, in sloveno *Kras*, è una regione delle Alpi Orientali che si estende dall'estremo dell'Italia nord-orientale alla Slovenia Occidentale e all'Istria settentrionale (Croazia nord-occidentale).

Il carsismo è un fenomeno fisico-chimico che prende il nome dalle rocce del Carso e che descrive la disgregazione delle rocce solubili, per effetto della pioggia. Le rocce calcaree con fessurazioni e porosità sono quelle che più facilmente subiscono i fenomeni di morfologia carsica. Molto più soggette al carsismo sono le formazioni gessose e saline in quanto la solubilità di queste rocce è molto maggiore di quelle calcaree.

Nei terreni calcarei il processo di dissoluzione è dovuto all'anidride carbonica,  $\text{CO}_2$ , che dall'atmosfera e dal terreno, ricco di sostanza organica, tramite l'acqua piovana, genera acido carbonico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , che trasforma il carbonato di calcio,  $\text{CaCO}_3$ , delle rocce in carbonato acido, o bicarbonato,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Il carbonato, praticamente insolubile in acqua pura, è trasformato in bicarbonato, molto solubile, che pertanto viene asportato dall'acqua, che penetrando nelle fessure della roccia le allarga e le approfondisce dando luogo alla morfologia carsica sotterranea (caratterizzata da pozzi, grotte, foibe, abissi) che talvolta è percorsa da fiumi, totalmente o parzialmente sotterranei. La reazione chimica indicata, anche per piccole variazioni di temperatura, può procedere in senso inverso deponendo, quindi, carbonato di calcio e liberando nell'atmosfera anidride carbonica sottratta all'acqua.

Il monitoraggio dell'attività carsica delle cavità sotterranee richiede la misura di alcune grandezze fisiche dell'atmosfera e dell'acqua in esse presenti, grandezze non sempre facilmente misurabili direttamente, ma strettamente correlate fra loro da leggi fisiche di non facile modellizzazione. Fra queste grandezze ricordiamo quelle attinenti alla soluzione calcarea, come: temperatura, pH, concentrazione di anidride carbonica e di carbonato di calcio, ecc., e quelle riguardanti l'atmosfera: pressione totale, pressione parziale dell'anidride carbonica, temperatura, ecc.

Nell'ambito del progetto *Conservazione e valorizzazione delle grotte sarde: biodiversità e ruolo socio-economico-culturale* (finanziato dalla Legge Regione Sardegna n.7 del 7 agosto 2007, annualità 2012, [12]), del Dipartimento Scienze della Natura e del Territorio dell'Università di Sassari, abbiamo prodotto questo lavoro dove vengono proposti dei metodi grafico-analitici per stimare i parametri chimico-fisici che intervengono nei processi di formazione e di dissoluzione del carbonato di calcio nelle cavità carsiche.

## 1 La $\text{CO}_2$ nelle cavità carsiche

### 1.1 Solubilità della $\text{CO}_2$ in acqua

L'acqua scioglie i materiali molto solubili, tipo il gesso e il salgemma, allo stesso modo sia quando è pura sia quando contiene anidride carbonica. La corrosione del calcare, se l'acqua è pura, è estremamente debole ad esempio a  $16^\circ\text{C}$  un litro di acqua dissolve solamente 16 mg di  $\text{CaCO}_3$ . Considerando acqua esposta all'atmosfera, la quale contiene circa lo 0,04 % di  $\text{CO}_2$ , per la solubilità della  $\text{CO}_2$  in acqua, che va a formare acido carbonico, la solubilità del carbonato di calcio sale a circa 85 mg per litro d'acqua.

Per la legge di Henry: la massa di gas che può sciogliersi (solubilità, S) in un liquido, a temperatura costante, è proporzionale, secondo un coefficiente  $\beta$ , alla pressione parziale del gas.



Il coefficiente di scambio  $\beta$  dipende allora dalla natura del gas e del liquido, e dalla temperatura.

$$S = PP \cdot \beta \quad (1)$$

dove  $S$  = solubilità del gas nel liquido [g/kg]  
 $PP$  = pressione parziale del gas [Pa]  
 $\beta$  = coefficiente di Bunsen relativo al gas e al liquido considerati [g/(kg Pa)]

Pertanto l'assorbimento o la perdita di  $CO_2$  da parte dell'acqua (per effetto delle variazioni della pressione parziale del gas, nell'aria, o per variazioni di temperatura dell'acqua) dominano totalmente l'equilibrio della  $CO_2$  fra aria e acqua e, come vedremo, la dissoluzione o la formazione del  $CaCO_3$ .

In tabella 1 sono riportati i coefficienti di Bunsen relativi a  $CO_2$  in acqua, mentre nel grafico 1 è tracciato l'andamento di  $\beta$  in funzione della temperatura, considerando il gas alla pressione di 101 325 Pa.

Si fa notare che il coefficiente di scambio della  $CO_2$  fra aria e acqua è più grande a basse temperature, pertanto d'inverno l'acqua nelle cavità carsiche conterrà più  $CO_2$  che in estate. Si osservi inoltre che  $\beta$ , per come è definito (equazione 1), rappresenta la solubilità della  $CO_2$  in acqua quando la pressione parziale del gas è pari a 101 325 Pa.

Tabella 1 – Coefficienti di Bunsen espressi in grammi di  $CO_2$  per kilogrammo di acqua alla temperatura  $T$  e alla pressione parziale<sup>1</sup> di 101 325 Pa.

*Table 1 – Bunsen coefficients expressed in gram-equivalent of  $CO_2$  for kilogram of water at temperature  $T$  and partial pressure of 101 325 Pa.*

Temperatura [°C]	$\beta$ [g/(kg 101 325 Pa)]	Temperatura [°C]	$\beta$ [g/(kg 101 325 Pa)]
0	3,364	20	1,724
5	2,797	25	1,491
10	2,345	30	1,306
15	2,001	35	1,163
17	1,881	40	1,041

## 1.2 Metodo grafico-analitico per il calcolo di $\beta$ in funzione di $T$

I dati della tabella 1 consentono di tracciare la curva di *best-fitting* che esprime il valore del coefficiente di Bunsen per la  $CO_2$  in funzione della temperatura (figura 1 ed equazione 2). Con l'equazione trovata è possibile calcolare il valore di  $\beta$  per qualsiasi temperatura compresa nel *range*  $0 \div 40$  °C:

<sup>1</sup> I valori di  $\beta$  sono tratti da [11; pag. 212] dove si considera  $CO_2$  alla pressione di 1 atm, pertanto l'autore esprime  $\beta$  in massa di soluto (grammi) per unità di volume di solvente (litro), a una atmosfera [g/(l atm)]. Per il Sistema Internazionale la pressione deve essere espressa in pascal: 1 atm = 101 325 Pa da qui la grafia con cui in tabella abbiamo espresso le dimensioni di  $\beta$  dove, trattandosi di soluzioni acquose, abbiamo preferito esprimerle, secondo l'SI, in massa di soluto per unità di massa di solvente. Ciò è consentito dal fatto che a un litro d'acqua, per una sufficientemente ampia gamma di temperature nell'intervallo di nostro interesse, si può attribuire la massa di 1 kg.

$$\beta = f e^{-gT} + u \quad (2)$$

dove, per la CO<sub>2</sub> in acqua:

$$f = 2,7737$$

$$g = 0,4488$$

$$u = 0,5851$$

T in [°C]

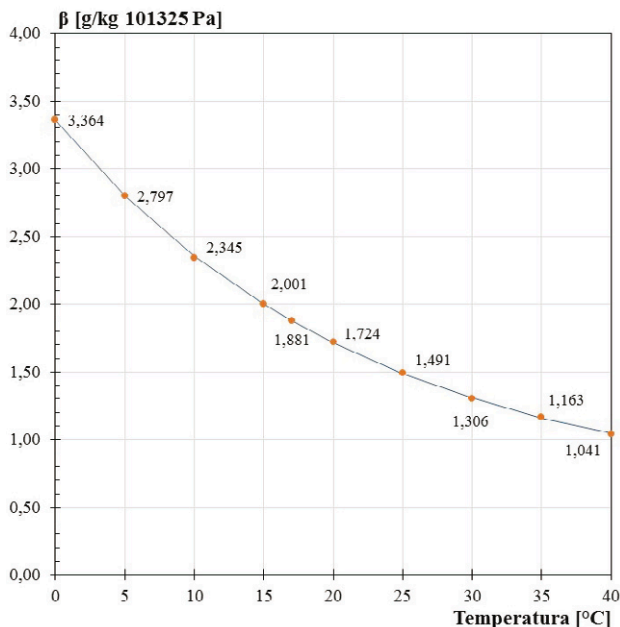


Figura 1 – Andamento del coefficiente di Bunsen per la CO<sub>2</sub> in acqua in funzione della temperatura, considerando il gas alla pressione di 101 325 Pa.

*Figure 1 – Trend of Bunsen coefficient for CO<sub>2</sub> in water, as a function of temperature, with gas at pressure of 101325 Pa.*

Un altro metodo è proposto qui di seguito. Da esso si ottiene il valore di  $\beta$ , a una certa temperatura T, quando siano noti i valori  $\beta_1$  e  $\beta_2$  rispettivamente alle temperature  $T_1 < T < T_2$ ; per la CO<sub>2</sub>, laddove il range  $T_1 \div T_2$  sia sufficientemente minore a  $0 \div 40$  °C, il valore di  $\beta$  ottenuto con questo metodo può risultare più accurato di quello ottenuto con la (2). In questo caso la variazione del coefficiente di Bunsen rispetto alla temperatura è descritta dall'equazione:

$$\ln \beta = -A + B/T \quad (3)$$

dove: T in kelvin

A e B sono i coefficienti da ricavare conoscendo i valori  $\beta_1$  e  $\beta_2$  di solubilità del gas considerato nella soluzione alle temperature  $T_1$  e  $T_2$ .

### 1.3 Concentrazione della CO<sub>2</sub> in acqua in funzione di T e pH

Alla base di questo studio c'è un lavoro di Félix Trombe del 1952 [11], tuttora citato nei lavori di “fisica sotterranea” [1] e utilizzato nella pratica speleologica [2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10]. Nel suo lavoro Trombe inserisce due grafici di curve sperimentali qui sotto riportati come figura A e figura B (nell'ordine: figura 58 e figura 57 nel testo citato); in essi si riportano i legami fra pH, temperatura, concentrazione di carbonato di calcio<sup>2</sup> in soluzione

<sup>2</sup> Si osservi come all'epoca in cui operava Trombe le formule chimiche venivano scritte esattamente

acquosa e di concentrazione di  $\text{CO}_2$  libera<sup>3</sup> in equilibrio con la pressione parziale della  $\text{CO}_2$  in aria. In altre parole dal grafico e dalla legge di Henry si può risalire alla pressione parziale che deve avere la  $\text{CO}_2$  in aria per sostenere una data concentrazione di  $\text{CaCO}_3$  in soluzione.

La figura A, per i valori di temperatura e di pH della soluzione acquosa indicati nel grafico, consente di determinare graficamente la solubilità in acqua, S espressa in mg/l, del carbonato di calcio.

La figura B per una coppia di valori: (T, pH), (T, S), (pH, S), consente di valutare la quantità di anidride carbonica libera, nella soluzione acquosa, ancora espressa in mg/l.

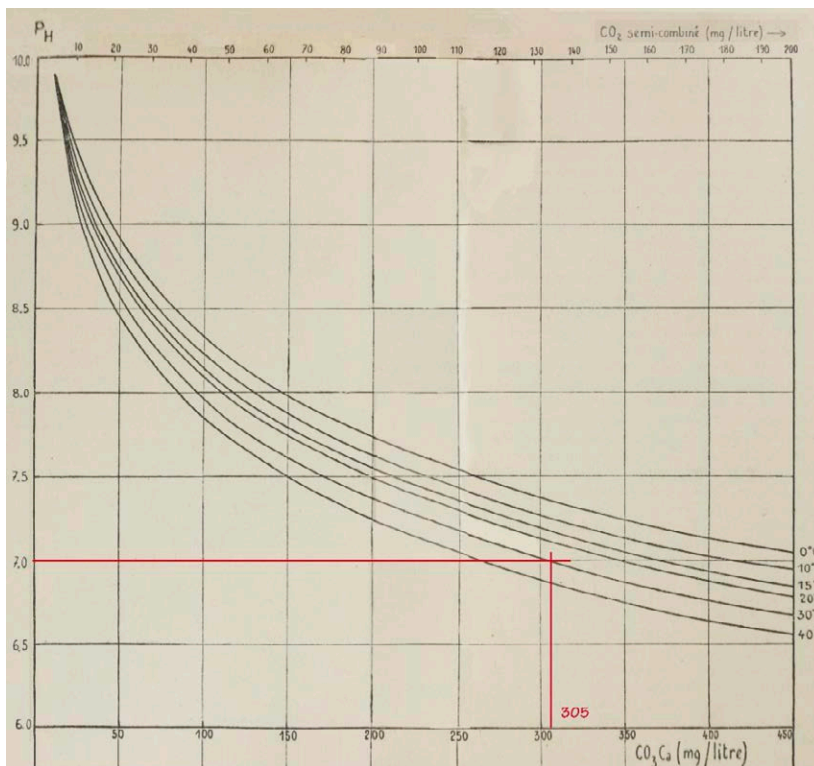


Figura A – Courbes représentant, pour différentes températures, les variations de pH en fonction du titre en carbonate de calcium des solutions (at le point d'équilibre).

Da [1], le linee rosse non sono dell'autore, ma si riferiscono ad un nostro esempio, vedi testo.

From [1], the red lines are not drawn by the author, but they refer to our example, see text.

come enunciate: il carbonato di calcio è infatti riportato sulle ascisse come  $\text{CO}_3$  (carbonato) Ca (di calcio) e non  $\text{CaCO}_3$  che, a rigore di termini, andrebbe enunciato *calcio-carbonato*.

<sup>3</sup> La  $\text{CO}_2$  in soluzione acquosa di  $\text{CaCO}_3$  può trovarsi in quattro forme, definite da Trombe come: aggressiva, libera, semi-combinata, legata nei carbonati [11, pag. 211]. Nel nostro caso è di interesse quella libera, poiché è quella che, per la legge di Henry, si pone in equilibrio dinamico con quella presente in atmosfera.

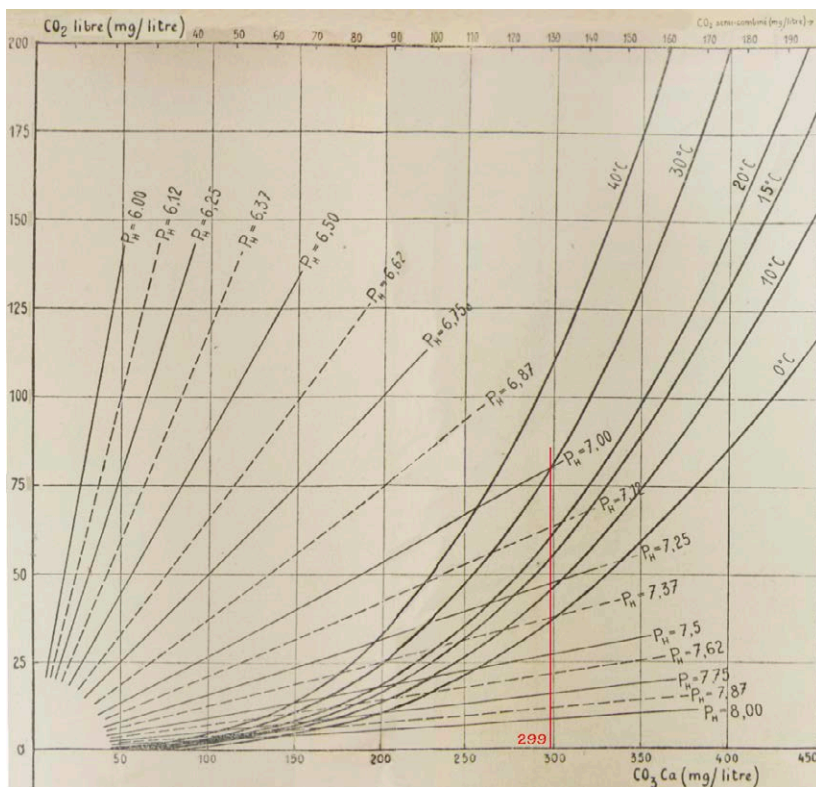


Figura B – Courbes représentant, pour différentes températures la solubilité du carbonate de calcium en fonction du titre de gaz carbonique libre contenu dans la solution.

Da [1], le linee rosse non sono dell'autore, ma si riferiscono ad un nostro esempio, vedi testo.  
 From [1], the red lines are not drawn by the author, but they refer to our example, see text.

Purtroppo l'uso *sic et simpliciter* dei suddetti grafici è limitato ai valori delle curve sperimentali riportate dall'autore: nessuna introduzione di altri valori di T o di pH è possibile, se non *per via sperimentale*. Inoltre, pur con la grande accuratezza con cui l'autore ha tracciato i grafici, c'è una discrepanza fra i valori di una stessa grandezza ottenibile dalle due figure. Ovviamente la discrepanza è da attribuire ai limiti della elaborazione grafica dei dati, possibile negli anni '50, essenzialmente manuale, e non all'ottimo lavoro sperimentale di Trombe (e degli autori da lui citati nell'ampia bibliografia) che, oggi, può essere utilizzato per stabilire, tramite software, le espressioni matematiche di queste famiglie di curve, al fine di poter introdurre, *per via analitica*, altri valori di T e di pH e, al tempo stesso, di ridurre la discrepanza fra i due grafici.

## 2 Elaborazione dei dati sperimentali di Trombe

Dopo aver scannerizzato le figure A e B, si sono ricavate, tramite il pacchetto *Curve Fitting Toolbox* del software Matlab® di Matworks [8] le equazioni delle curve interpolanti

i valori numerici ricavati dai grafici A e B. Così facendo si son potuti tracciare nuovi grafici, corrispondenti a quelli di Trombe, indicati come figure 2 e 3. Si fa notare che in dette figure per rendere questi grafici, e i successivi, più leggibili abbiamo, rispetto alle figure A e B, limitato il *range* del pH fra 7,00 e 7,50 poiché, come mostrano le curve sperimentali, figure A e B, valori esterni a questo *range* prevedono temperature e concentrazioni di carbonato di calcio raramente riscontrabili. Ovviamente i grafici sono stati ottenuti utilizzando tutti i dati sperimentali di Trombe. Si fa ancora notare che le concentrazioni, trattandosi di soluzioni acquose, le abbiamo espresse in [mg/kg], stante il fatto che un litro d'acqua ha la massa<sup>4</sup> di 1 kg.

Le curve sperimentali delle figure A e B possono essere confrontate con quelle di *best-fitting* delle figure 2 e 3, per mostrare la discrepanza di cui si è parlato sopra.

Ad esempio, considerando nel grafico A la curva per T = 30 °C e la retta per pH = 7,0 esse individuano un punto al quale, per via grafica (linea rossa da noi riportata), possiamo attribuire il valore di 305 mg/l di carbonato di calcio. Con gli stessi valori dei parametri T e pH il grafico B fornisce, sempre per via grafica, una concentrazione di carbonato di calcio pari a 299 mg/l, quindi, in questo caso, fra i due grafici c'è una discrepanza di 6 mg/l.

Considerando le stesse condizioni di temperatura e di pH sui grafici 2 e 3 e procedendo alla valutazione della concentrazione di CaCO<sub>3</sub> per via analitica, avendo adesso le equazioni che rappresentano le curve, otteniamo per la figura 2 un valore di 304,6 mg/kg e per la figura 3 di 302,7 mg/kg. La discrepanza fra i due valori è di 1,9 mg/kg, in altri termini passando dalle figure A e B alle figure 2 e 3 abbiamo, nel caso in esempio, una riduzione dell'errore di circa il 68 %.

Vediamo ora nel dettaglio il tipo di equazioni ottenute dai dati sperimentali di Trombe. In riferimento alla figura 2 si è ottenuto che:

– le isoterme sono curve logaritmiche<sup>5</sup> del tipo:

$$\text{pH} = m \ln[\text{CaCO}_3] + n \quad (4)$$

dove i coefficienti m e n sono dipendenti dall'isoterma considerata, il primo è sempre negativo, il secondo è sempre positivo (tabella 2).

Tabella 2 – Coefficienti m e n per l'equazione (4).

Table 2 – Coefficients m and n for equation (4).

T [°C]	m	n
0	- 0,8759	12,3770
10	- 0,8881	12,3416
15	- 0,8956	12,3025
20	- 0,8995	12,2643
30	- 0,9042	12,1712
40	- 0,9086	12,0692

<sup>4</sup> Si ricordi la considerazione fatta nella nota 1 per la quale a un litro di acqua si attribuisce la massa di un kilogrammo.

<sup>5</sup> Ovviamente il logaritmo è riferito al valore della concentrazione e non al suo aspetto dimensionale. Come la prassi prevede, la concentrazione di una soluzione è indicata racchiudendo in parentesi quadra la formula del soluto; siamo certi che ciò non ingenera confondimenti col fatto che anche le dimensioni di una grandezza sono indicate in parentesi quadra.

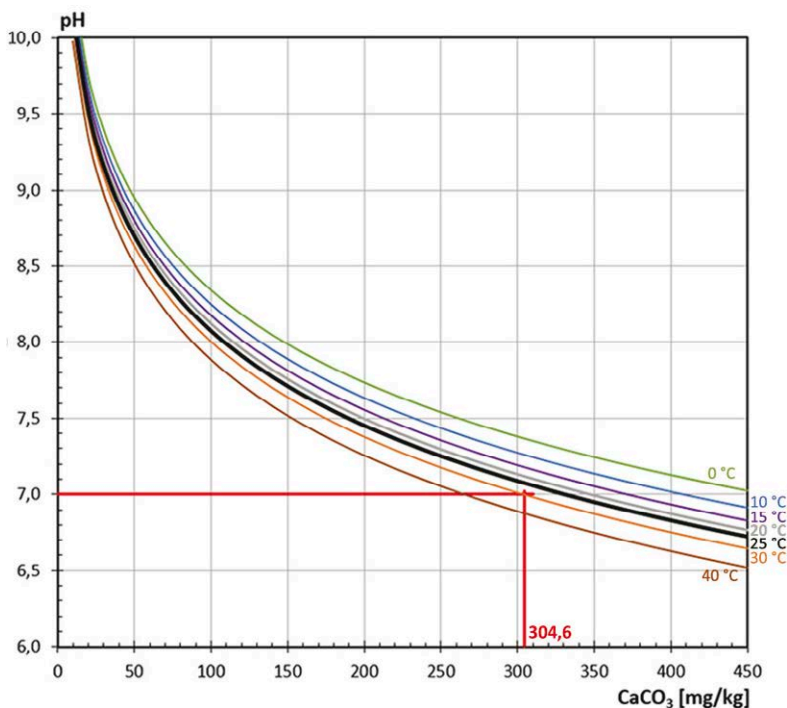


Figura 2 – Andamento del pH di una soluzione acquosa di carbonato di calcio in funzione della temperatura. Per la costruzione in rosso vedi figura A e testo.

L'isoterma a 25 °C (tracciata in nero), non prevista da Trombe, è stata ottenuta per via grafico-analitica con i modelli messi a punto con questo lavoro (paragrafo 2.1).

*Figure 2 – pH trend in aqueous solution of calcium carbonate as a function of temperature. For red construction, see figure A and text. The isotherm at 25 °C (drawn in black), not provided by Trombe, it was obtained using graphical-analytical models developed in this work (Section 2.1).*

Per quanto riguarda la figura 3 si è ottenuto che:

- Le curve a pH costante sono rette passanti per l'origine, caratterizzate quindi dal solo coefficiente angolare:

$$\text{tg } \alpha = \frac{[\text{CO}_2 \text{ libera}]}{[\text{CaCO}_3]} \quad (5)$$

Questo ha consentito di determinare il legame analitico, fra pendenza della retta e pH, che è espresso dalla curva esponenziale (6), rappresentata in figura 4:

$$\text{tg } \alpha = a \cdot e^{b \text{ pH}} \quad (6)$$

dove i coefficienti a e b sono dipendenti dalla soluzione salina considerata; nel nostro caso  $a = 1013043,4$  e  $b = -2,155$ .

Per ogni pH, questo grafico ci consente di avere il corrispondente valore della pendenza della retta che rappresenta il pH nel grafico 3.

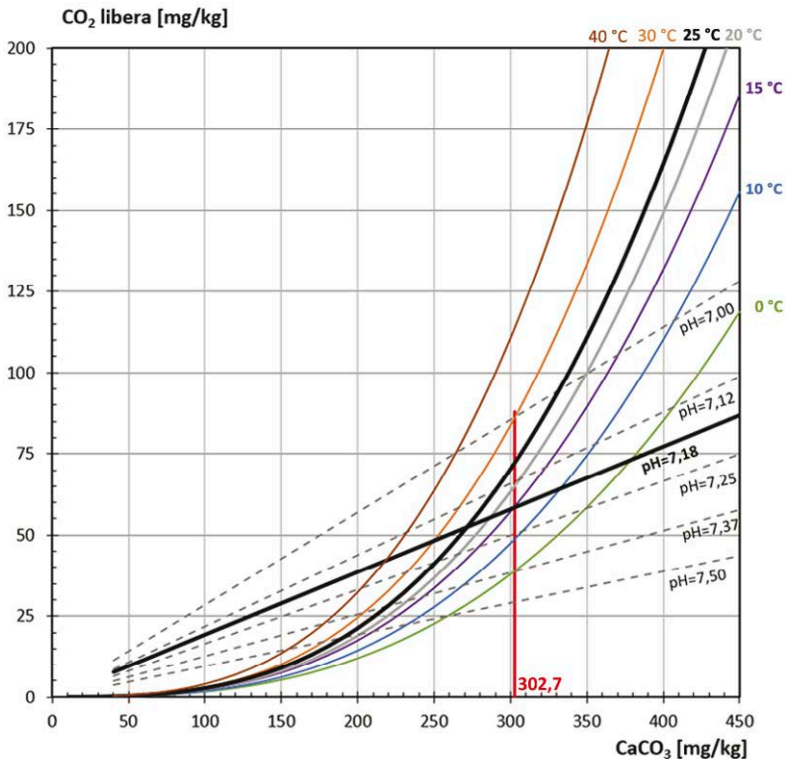


Figura 3 – [CO<sub>2</sub> libera] nella soluzione acquosa di carbonato di calcio in funzione della temperatura e del pH. Per la costruzione in rosso vedi figura B e testo. L'isoterma a 25 °C e la retta a pH 7,18 (tracciate in nero), non previste da Trombe, sono state ottenute per via grafico-analitica con i modelli messi a punto con questo lavoro (paragrafo 2.1).

*Figure 3 – [free CO<sub>2</sub>] in an aqueous solution of calcium carbonate as a function of temperature and pH. For red construction, see figure B and text. The isotherm at 25 °C and straight line at pH 7,18 (drawn in black), not provided by Trombe, were obtained using the graphical-analytical models developed in this work (see Section 2.1).*

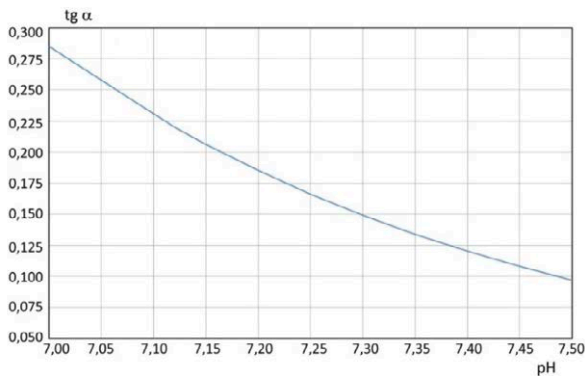


Figura 4 – Coefficiente angolare di rette a pH costante rappresentabili nella figura 3.

*Figure 4 – Slope of straight lines at pH constant that can be represented in figure 3.*

– Le curve isoterme sono rappresentate da una famiglia di funzioni potenza espresse dall'equazione:

$$[\text{CO}_2 \text{ libera}] = r [\text{CaCO}_3]^s \quad (7)$$

dove i coefficienti  $r$  e  $s$  sono positivi e dipendenti dall'isoterma considerata (tabella 3).

Tabella 3 – Coefficienti  $r$  e  $s$  per l'equazione (7).

Table 3 – Coefficients  $r$  and  $s$  for equation (7).

T [°C]	r	S
0	$4,0694 \cdot 10^{-6}$	2,8136
10	$2,6879 \cdot 10^{-6}$	2,9257
15	$3,7489 \cdot 10^{-6}$	2,9001
20	$2,6229 \cdot 10^{-6}$	2,9799
30	$2,8527 \cdot 10^{-6}$	3,0151
40	$3,3466 \cdot 10^{-6}$	3,0359

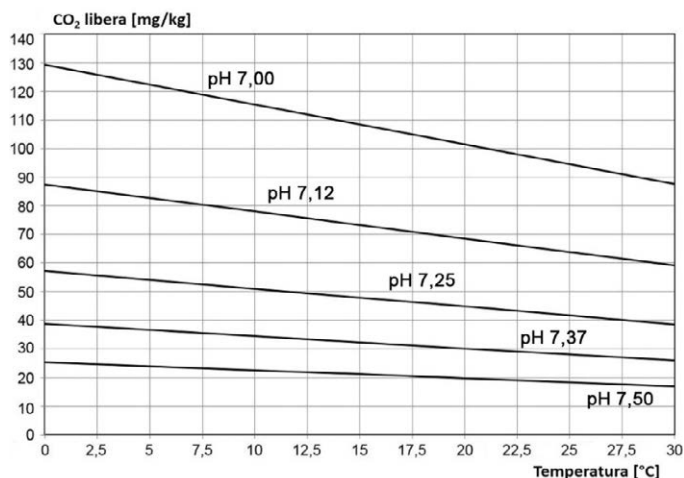


Figura 5 – [CO<sub>2</sub> libera] in una soluzione di carbonato di calcio in funzione della temperatura a diversi pH. Figure 5 – [free CO<sub>2</sub>] in a solution of calcium carbonate as a function of temperature, for various pH values.

In figura 3, le intercette fra le isoterme e le rette a pH costante consentono di valutare sia la concentrazione di CO<sub>2</sub> libera nella soluzione sia la concentrazione di CaCO<sub>3</sub>. Così facendo si può tracciare sia il grafico (figura 5) in cui vengono rappresentate le rette che esprimono la [CO<sub>2</sub> libera] in funzione della temperatura, per i diversi valori di pH, sia il grafico (figura 6) che esprime [CaCO<sub>3</sub>] in funzione della temperatura, per diversi valori di pH.

Le diverse rette della figura 5 sono espresse da una relazione del tipo:

$$[\text{CO}_2 \text{ libera}] = h \cdot T + k \quad (8)$$

dove i coefficienti  $h$  e  $k$  sono determinati dal parametro pH (vedi tabella 4).



Tabella 4 – Coefficienti: h e k per l'equazione (8), e v e z per l'equazione (9).

Table 4 – Coefficients h and k for equation (8), and v and z for equation (9).

pH	h	k	v	z
7,00	- 1,389	129,361	- 4,980	455,981
7,12	- 0,946	87,457	- 4,316	397,935
7,25	- 0,624	57,231	- 3,696	343,360
7,37	- 0,425	38,693	- 3,203	299,650
7,50	- 0,280	25,321	- 2,742	258,554

Le diverse rette della figura 6 sono espresse da una relazione del tipo:

$$[\text{CaCO}_3] = v \cdot T + z \quad (9)$$

dove i coefficienti v e z sono determinati dal parametro pH (vedi tabella 4).

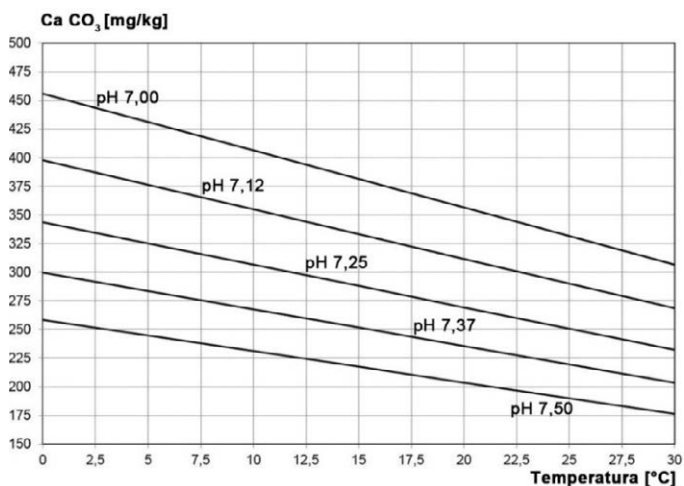


Figura 6 – [CaCO<sub>3</sub>] in una soluzione acquosa in funzione di T a diversi pH.  
 Figure 6 – [CaCO<sub>3</sub>] in an aqueous solution as a function of T, for various pH values.

### 2.1 Procedura per l'inserimento di nuovi valori di T e di pH

L'equazione (6) e la sua rappresentazione grafica (figura 4) consentono di trovare il coefficiente angolare della retta rappresentante un qualsiasi valore di pH e quindi di inserirla nella figura 3 fra quelle tracciate sperimentalmente da Trombe. Questo aspetto consente di inserire altre curve a pH costante nei grafici 5 e 6 e quindi aumentare le coppie di dati (concentrazione, pH) necessarie per tracciare nuove isoterme nella figura 3.

Le equazioni (8) e (9) con le loro rappresentazioni grafiche (figure 5 e 6) consentono, per ogni T e per i diversi pH, di determinare i valori di [CO<sub>2</sub> libera] e [CaCO<sub>3</sub>]. Questi valori riportati nella figura 3 permettono di tracciare la nuova isoterma T, fra quelle sperimentali di Trombe, e il cui andamento sarà ancora espresso da una equazione del tipo (7) con i coefficienti determinati da T e da pH.

Ancora l'equazione (9) e la figura 6 ci forniscono i valori di [CaCO<sub>3</sub>] e pH per ogni valore di T consentendo così di introdurre questa nuova isoterma governata dall'equazione (4), nel grafico di figura 2, linea nera.

Tabella 5 – Concentrazioni di CO<sub>2</sub> libera e di CaCO<sub>3</sub> a 25 °C per diversi valori di pH.

Table 5 – Concentration of free CO<sub>2</sub> and CaCO<sub>3</sub> at 25 °C for several pH values.

pH	[CO <sub>2</sub> libera] = h·T + k			[CaCO <sub>3</sub> ] = v·T + z		
	h	k	CO <sub>2</sub> libera [mg/kg]	v	z	CaCO <sub>3</sub> [mg/kg]
7,00	- 1,389	129,361	94,6	- 4,980	455,981	331,5
7,12	- 0,946	87,457	63,8	- 4,316	397,935	290,0
7,25	- 0,624	57,231	41,6	- 3,696	343,360	251,0
7,37	- 0,425	38,693	28,1	- 3,203	299,650	219,6
7,50	- 0,280	25,321	18,3	- 2,742	258,554	190,0

Ad esempio volendo inserire nel grafico di figura 3 la retta a pH = 7,18 l'equazione (6) ci fornisce il suo coefficiente angolare:

$$\text{tg } \alpha = a e^{b \text{ pH}} = 1013043,4 \cdot e^{-2,155 \cdot 7,18} = 0,1933$$

Volendo inserire nel grafico di figura 3 l'isoterma per T = 25 °C l'equazione (8) ci consente di determinare i valori [CO<sub>2</sub> libera] per i diversi valori sperimentali di pH. Per gli stessi valori di pH l'equazione (9) permette di determinare [CaCO<sub>3</sub>]. Nella tabella 5 sono riportati i valori ottenuti.

Le coppie di valori delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> libera e di CaCO<sub>3</sub> consentono di tracciare la curva di *best-fitting*, secondo l'equazione (7), che rappresenta la temperatura T = 25 °C, tracciata in nero nella figura 3. Ancora in nero si riporta in figura 3 la curva a pH costante pari a 7,18; il punto di intersezione fra queste due nuove curve ha coordinate ([CaCO<sub>3</sub>]; [CO<sub>2</sub>]) = (271,40; 52,46).

Le coppie di valori ([CaCO<sub>3</sub>]; pH) fornite dalla tabella 5 per l'isoterma T = 25 °C, inserite nella figura 2, ci consentono di tracciare la curva di *best-fitting*, secondo l'equazione (4), di questa nuova temperatura (linea nera). In questa figura, l'intersezione fra la retta a pH = 7,18 e l'isoterma T = 25 °C ci fornisce una [CaCO<sub>3</sub>] pari a 271,29 mg/kg.

La discrepanza fra i valori di [CaCO<sub>3</sub>] per pH = 7,18 e T = 25 °C ottenuti dai grafici 2 e 3 è di 0,11 mg/kg.

In sintesi la reazione dell'acqua, dell'anidride carbonica e del calcare è pilotata dalla concentrazione dell'anidride carbonica in aria e dalla temperatura secondo la legge di Henry; mentre il valore del pH della soluzione è il risultato delle reazioni, e dei conseguenti equilibri che si stabiliscono in acqua.

### 3. Concentrazione della CO<sub>2</sub> in atmosfera in relazione alla concentrazione della CO<sub>2</sub> libera in acqua

L'attività carsica, deposizione e dissoluzione del calcare (carsismo), avviene tramite l'equazione di equilibrio chimico qui sotto riportata:



essa, in estrema sintesi, ci dice che l'anidride carbonica in acqua forma acido carbonico



il quale dissolve il calcare (solido) rendendolo solubile in acqua sotto forma carbonato acido di calcio. Ora a seconda delle condizioni ambientali (pressione parziale della CO<sub>2</sub> in aria,

temperatura dell'acqua, ecc.) questo equilibrio chimico si può spostare verso sinistra formando calcare solido, o verso destra sciogliendo altro carbonato sotto forma di carbonato acido.

Si possono avere, quindi, tre situazioni:

- 1) Se una soluzione acquosa di carbonato di calcio è a una certa temperatura in un ambiente in cui la pressione parziale di CO<sub>2</sub> in aria è in equilibrio, secondo la legge di Henry, con la concentrazione di CO<sub>2</sub> libera in acqua, l'atmosfera e la soluzione non subiscono alterazioni.
- 2) Se la soluzione di carbonato di calcio viene posta in una atmosfera in cui la pressione parziale di CO<sub>2</sub> in aria è inferiore a quella che, per la legge di Henry, può sostenere la concentrazione di CO<sub>2</sub> libera nella soluzione, una parte della CO<sub>2</sub> passa dall'acqua all'aria fino al raggiungimento dell'equilibrio previsto da Henry. La conseguenza di ciò è che riducendosi la quantità di acido carbonico si induce la ricombinazione di parte del carbonato acido di calcio in carbonato solido, ovvero l'equilibrio chimico della (10) si sposta a sinistra (formazione di roccia carbonatica).
- 3) Se la pressione parziale di CO<sub>2</sub> in aria è superiore a quella prevista da Henry, in relazione alla concentrazione della CO<sub>2</sub> in acqua, altra CO<sub>2</sub> passa dall'aria all'acqua formando altro acido carbonico che dissolve altro carbonato di calcio aumentando così la concentrazione del carbonato acido, ovvero l'equilibrio chimico della (10) si sposta a destra (dissoluzione della roccia carbonatica).

Riprendendo l'esempio del paragrafo precedente:

$$pH = 7,18 \quad T = 25 \text{ }^\circ\text{C} \quad [\text{CO}_2 \text{ libera}] = 52,46 \text{ mg/kg} \quad [\text{CaCO}_3] = 271,40 \text{ mg/kg}$$

la legge di Henry (equazione 1) ci dice che questa quantità di CO<sub>2</sub> in acqua è sostenuta da una pressione parziale di CO<sub>2</sub> in aria pari a:

$$PP = \frac{S}{\beta} = \frac{52,46 \text{ [mg/kg]}}{1491 \text{ [mg/(kg 101325 Pa)]}} = 3565 \text{ Pa}$$

ovvero il 3,5 % della pressione atmosferica.

In riferimento alle tre situazioni sopra indicate abbiamo:

- 1) Se l'ambiente in cui viene posta la soluzione ha una atmosfera con il 3,5 % di CO<sub>2</sub>, né l'atmosfera né la soluzione subiscono alterazioni.

- 2) Se nell'ambiente la pressione parziale della CO<sub>2</sub> è inferiore al 3,5 %, ad esempio il 2 %, la solubilità in acqua della CO<sub>2</sub> per la legge di Henry si riduce fino a:

$$[\text{CO}_2 \text{ libera}] = PP \beta = 2 \% 101 \text{ 325 Pa} \quad 1491 \text{ [mg/(kg 101 325 Pa)]} = 29,82 \text{ mg/kg}$$

$$[\text{CaCO}_3] = 224 \text{ mg/kg}$$

da cui

$$\frac{52,46 - 29,82}{52,46} 100 = 43,2 \%$$

Quindi la CO<sub>2</sub> in acqua si riduce del 43,2 % liberando CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, aumentandone la pressione parziale e spostando l'equilibrio chimico verso sinistra con produzione di roccia calcarea.

- 3) Se nell'ambiente la pressione parziale della CO<sub>2</sub> è superiore al 3,5 %, ad esempio il 5 %, la solubilità in acqua della CO<sub>2</sub> per la legge di Henry aumenta fino a:

$$[\text{CO}_2 \text{ libera}] = 5 \% 101 \text{ 325 Pa} \quad 1491 \text{ [mg/(kg 101 325 Pa)]} = 74,55 \text{ mg/kg}$$

$$[\text{CaCO}_3] = 302 \text{ mg/kg}$$

da cui  $\frac{52,46 - 74,55}{52,46} 100 = - 42,1 \%$

Quindi la CO<sub>2</sub> in acqua si arricchisce del 42,1 % e il segno meno sta a indicare che ciò avviene a scapito della pressione parziale della CO<sub>2</sub> atmosferica, contemporaneamente a ciò l'equilibrio chimico si sposta verso destra con ulteriore dissoluzione della roccia calcarea.

Le considerazioni fatte fin qui ci consentono di proporre un grafico dal quale si possa agevolmente analizzare se nelle condizioni date, dell'atmosfera e della soluzione acquosa, si ha deposizione o dissoluzione della roccia calcarea.

La figura 3, per ogni coppia di valori ([CaCO<sub>3</sub>], T), fornisce la [CO<sub>2</sub> libera] in una soluzione acquosa di CaCO<sub>3</sub>, alla pressione atmosferica di 101 325 Pa. Ma per la legge di Henry, la [CO<sub>2</sub> libera] in acqua è funzione della pressione parziale della CO<sub>2</sub> in aria, che nelle diverse grotte può averi tassi dallo 0,07 ÷ 0,08 % al 5 ÷ 10 % della pressione atmosferica. Allora, in riferimento alle tre situazioni precedenti, è chiaro che:

1) A una data temperatura, la [CaCO<sub>3</sub>] in acqua non subisce alterazioni se il valore della [CO<sub>2</sub> libera] dedotto dalla figura 3, o dall'equazione 7, è uguale al valore di [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> calcolato con la legge di Henry<sup>6</sup> per la pressione parziale della CO<sub>2</sub> in aria. In questo caso riportando in un diagramma cartesiano [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> e [CO<sub>2</sub> libera] i loro valori si "incontrano" su una retta a 45°. In riferimento al punto primo dell'esempio precedente, in figura 7 il valore di [CO<sub>2</sub> libera] = 52,46 mg/kg e il valore di [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> = 52,46 mg/kg individuano il punto P. In queste condizioni la [CaCO<sub>3</sub>] nella soluzione non viene alterata e vale 271,40 mg/kg.

2) Se il valore di [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> è inferiore al valore di [CO<sub>2</sub> libera] si ha deposizione di CaCO<sub>3</sub>. In riferimento al punto secondo dell'esempio precedente si parte con una soluzione che ha [CO<sub>2</sub> libera] = 52,46 mg/kg che va a trovarsi in un ambiente che prevede una [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> = 29,82 mg/kg, quindi in figura 7 si ha il punto B che darà inizio alla deposizione del CaCO<sub>3</sub> fino a quando la [CO<sub>2</sub> libera] non avrà raggiunto il punto di equilibrio P<sub>B</sub> in cui il suo valore va ad eguagliare quello di [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub>; a questo punto la [CaCO<sub>3</sub>] nella soluzione diminuisce passando dai 271,40 mg/kg di partenza ai 224 mg/kg.

3) Se il valore previsto dalla legge di Henry è superiore al valore ottenuto dalla coppia ([CaCO<sub>3</sub>], T) si ha dissoluzione di CaCO<sub>3</sub>. In riferimento al punto terzo dell'esempio precedente si parte con una soluzione che ha [CO<sub>2</sub> libera] = 52,46 mg/kg che va a trovarsi in un ambiente che prevede una [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> = 74,55 mg/kg, quindi in figura 7 si ha il punto A che darà inizio alla dissoluzione del CaCO<sub>3</sub> fino a quando la [CO<sub>2</sub> libera] non avrà raggiunto il punto di equilibrio P<sub>A</sub> in cui il suo valore va ad eguagliare quello di [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub>; a questo punto la [CaCO<sub>3</sub>] nella soluzione aumenta passando dai 271,40 mg/kg di partenza ai 302 mg/kg.

In sintesi nel caso in cui:

1) [CO<sub>2</sub> libera] = [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> (linea di separazione fra l'aria verde e quella celeste, fig. 7) si ha l'equilibrio fra la CO<sub>2</sub> in aria e quella in acqua e quindi non si hanno alterazioni né della soluzione né dell'atmosfera;

2) [CO<sub>2</sub> libera] > [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> (area verde, fig. 7) si ha deposizione di una parte del CaCO<sub>3</sub> in soluzione, ovvero si ha formazione di roccia calcarea e liberazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera;

3) [CO<sub>2</sub> libera] < [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> (area celeste, fig. 7) si ha dissoluzione di una parte del CaCO<sub>3</sub> della roccia, ovvero si ha corrosione della roccia calcarea per effetto dell'assorbimento, da parte della soluzione, di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera.

<sup>6</sup> Per distinguere la [CO<sub>2</sub> libera] in acqua ottenuta dal diagramma 3 da quella calcolata con la legge di Henry indichiamo quest'ultima con il pedice H, ovvero [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub>.

Questi fenomeni, di deposizione e dissoluzione del calcare, avvengono in tutti gli ambienti carsici, ovvero sia nei corsi d'acqua ipogei e nei pozzi, sia sulle superfici e le pareti umide delle grotte. I tempi di raggiungimento dell'equilibrio dipendono dal tasso di CO<sub>2</sub> in aria, dalla temperatura, dall'umidità relativa, dai moti di rimescolamento dell'aria e dell'acqua, ecc., andando così da poche ore a molti giorni.

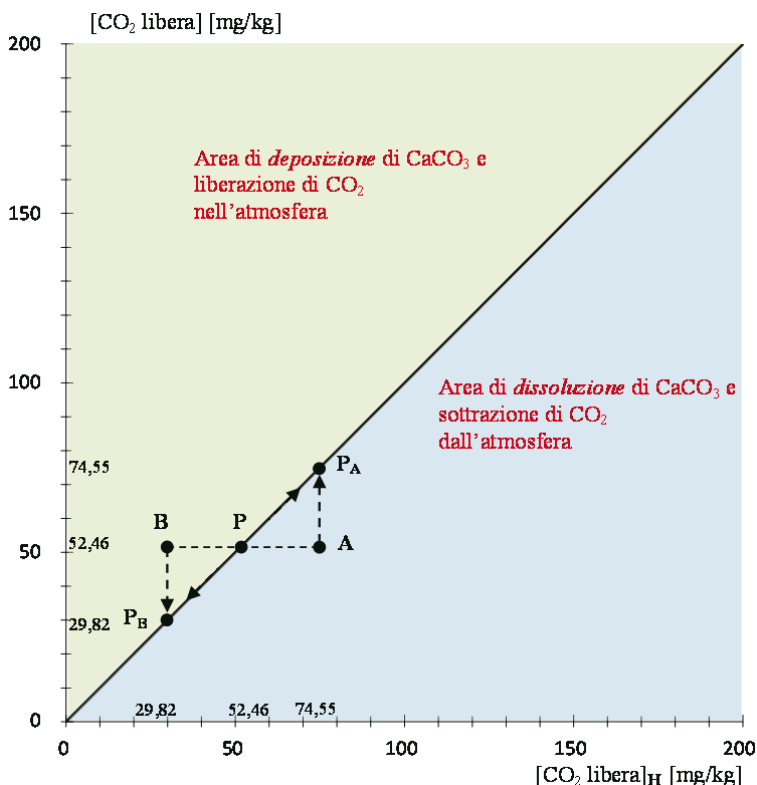


Figura 7 – Confronto fra i valori, dedotti da fig. 3, di [CO<sub>2</sub> libera] e quelli calcolati con la legge di Henry [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub> per l'analisi dell'attività carsica. I punti sulla retta di separazione fra le due aree sono quelli per i quali è [CO<sub>2</sub> libera] = [CO<sub>2</sub> libera]<sub>H</sub>, ovvero la CO<sub>2</sub> libera in acqua è in equilibrio con la CO<sub>2</sub> in atmosfera (vedi testo).

*Figure 7 – Comparison between [free CO<sub>2</sub>], extrapolated from fig. 3, and those calculated, [free CO<sub>2</sub>]<sub>H</sub>, using Henry's law, for analysis of karst activity. The points on the separation line between the two areas are those for which is [free CO<sub>2</sub>] = [free CO<sub>2</sub>]<sub>H</sub>, that is the free CO<sub>2</sub> in water is in equilibrium with the CO<sub>2</sub> in the atmosphere (see text).*

## 4 Conclusioni

Nell'ambito del progetto *Conservazione e valorizzazione delle grotte sarde: biodiversità e ruolo socio-economico-culturale* (finanziato dalla Legge Regione Sardegna n.7

del 7 agosto 2007, annualità 2012 [12]), del Dipartimento Scienze della Natura e del Territorio dell'Università di Sassari, abbiamo prodotto questo lavoro dove vengono proposti dei metodi grafico-analitici per stimare i parametri chimico-fisici che intervengono nei processi di formazione e di dissoluzione del carbonato di calcio nelle cavità carsiche.

Alcuni parametri che riguardano il carsismo sono di facile misura, altri poiché necessitano di complesse analisi chimico-fisiche risultano di non facile esecuzione *in situ*.

Dalle misure dirette (strumentali) di alcune grandezze fisiche (ad esempio pH e temperatura dell'acqua, tasso di CO<sub>2</sub> in aria, ecc.) tramite i modelli elaborati se ne possono ricavare altre (misure indirette) che influenzano il carsismo ma che non sono facilmente misurabili direttamente (concentrazione di CO<sub>2</sub> libera in acqua, concentrazione di CaCO<sub>3</sub> ecc.).

Sempre con i modelli proposti si possono stabilire le condizioni per le quali, a regime, siamo in presenza di deposizione di carbonati, e quindi aumento delle strutture carsiche con liberazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, oppure siamo in presenza di dissoluzione dei carbonati, e quindi regressione delle strutture rocciose con sottrazione di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera.

Questi fenomeni, di deposizione e dissoluzione del calcare, avvengono in tutti gli ambienti carsici, ovvero sia nei corsi d'acqua ipogei e nei pozzi, sia sulle superfici e sulle pareti umide delle grotte. I tempi di raggiungimento dell'equilibrio dipendono dal tasso di CO<sub>2</sub> in aria, dalla temperatura, dall'umidità relativa, dai moti di rimescolamento dell'aria e dell'acqua, ecc., andando così da poche ore a molti giorni.

## Bibliografia

- [1] G. Badino (1995) - *Fisica del clima sotterraneo* Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia 7, Serie II, Bologna.
- [2] C. Balbiano D'Aramengo (2000) - *Il clima delle grotte* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [3] G. Cappa (2000) - *Speleologia in cavità artificiali* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [4] M. Chiesi, G. Ferrini, G. Badino (2000) - *L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [5] A. De Marzo, G. Savino (2000) - *Tecnica Speleologica* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [6] P. Forti (2000) - *I depositi chimici delle grotte* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [7] V. Malcapi, L. Piccini (2000) - *Geologia per speleologi* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [8] MathWorks (2015) - *Matlab® Curve Fitting Toolbox™ – User's Guide*, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), Natick, Massachusetts, USA
- [9] L. Piccini (2000) - *Geomorfologia e speleogenesi carsica* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [10] C. Silvestro (2000) - *Il rilievo delle grotte* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [11] F. Trombe (1952) - *Traité de spéléologie*, Payot, Paris
- [12] <https://www.regione.sardegna.it/j/v/1725?s=1&v=9&c=389&c1=1345&id=30556&b>

## MONITORAGGIO DEI PARAMETRI FISICI DELLE GROTTA COSTIERE DELLA SARDEGNA: L'ESEMPIO DELLA GROTTA VERDE E DEL BUE MARINO

Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano, Alessandro Materassi  
CNR – Istituto di Biometeorologia, Sedi di Firenze e Sassari,  
Tel. 055 5226552, e-mail: m.devincenzi@ibimet.cnr.it

**Riassunto** – Lo studio del clima degli ambienti naturali ipogei riveste notevole importanza per motivi biologici e naturali e assume maggior rilievo per le grotte che sono, o stiano per divenire, turistiche. È evidente che per consentire la presenza dei visitatori, con le opere di accoglienza e di sicurezza necessarie, si variano le condizioni fisico-chimiche dell'atmosfera e delle acque della grotta, inducendo alterazioni sia sulla sua morfologia sia sui sistemi biologici, in essa presenti. Nel caso delle grotte risulta, in generale, molto delicato l'equilibrio fra la salvaguardia dei beni ambientali e fruizione. A tal fine le autorità preposte alla gestione dei beni ambientali dovrebbero tenere presente che la frequentazione antropica deve rispettare la resilienza della grotta considerata. In questo lavoro sono state considerate due grotte costiere della Sardegna: Grotta Verde (costa nord-occidentale) e Grotta del Bue Marino (costa centro-orientale). Lo studio, condotto dal CNR-IBIMET in collaborazione con il DIPNET-Università di Sassari, vuole promuovere la valutazione della biodiversità cavernicola, la conservazione biologica e morfologica delle grotte e la valorizzazione economica sostenibile di queste risorse naturali che possono svolgere un ruolo centrale nell'incentivare il turismo in aree carsiche. Le valutazioni derivanti da questi studi consentono di stabilire la resilienza dell'ambiente carsico analizzato e di adeguare a questo il carico turistico. In questo contesto, compito dell'IBIMET è la definizione quali-quantitativa dei parametri fisico-atmosferici all'interno delle Grotte, in presenza e in assenza di frequentazione antropica. Nel caso della Grotta Verde il confronto è svolto fra i valori dei parametri ambientali misurati durante la stagione turistica e la stagione invernale. Nel caso della Grotta del Bue Marino, non essendo possibile l'accesso nel periodo invernale, il confronto è fatto fra valori dei parametri rilevati contemporaneamente all'interno della Grotta e fuori da essa, durante la stagione turistica.

**Abstract** – *Climate study of hypogeal natural environments has great importance for biological and geological reasons; the study acquires more significance for caves that are, or are becoming, touristic destinations. It is clear that to allow the presence of the visitors in the caves, some works are needed for reception facilities and security. These works, however, modify the physical and chemical conditions of the atmosphere and of the waters of cave, inducing alterations both on its morphology and on biological systems present in it. In the case of caves, it generally appears delicate balance between the protection of environmental goods and tourism activities. For this aim, the authorities responsible for management of environmental goods should regard that anthropic attendance must respect the resilience of the cave considered. In this work we have taken into account two Sardinian coastal caves: Grotta Verde (North-West coast), and Grotta del Bue Marino (Central-East coast). The study, conducted by the CNR-IBIMET in collaboration with DIPNET - University of Sassari, wants to promote evaluation of the cave biodiversity, biological and morphological conservation of caves and*

*sustainable economic valorization of these natural resources, which can play a central role to promote tourism in karst areas. The evaluations of these studies allow to establish the resilience of analyzed karst environment and to adapt to this the tourist load. In this context, IBIMET task is the qualitative and quantitative definition of physical-atmospheric parameters inside the caves, in the presence and in the absence of anthropogenic attendance. In the case of Grotta Verde, the comparison is carried out between the values of the environmental parameters recorded during the tourist season and the winter season. For Grotta del Bue Marino since it is not possible the access during winter, the comparison is made between simultaneously recorded values of the parameters, within the cave and out of it, during the tourist season.*

## **Premessa**

L'importanza dello studio del clima degli ambienti naturali ipogei è legata ad aspetti sia biologici sia geologici, e diventa ancora più importante per quelle grotte, in particolare quelle attive<sup>1</sup>, che sono, o è previsto che diventino, mete turistiche. In ogni caso è opportuno che chi è preposto a questa scelta abbia ben chiaro che consentendo la presenza dei visitatori, con tutte le opere di accoglienza e di sicurezza necessarie, si modificano le condizioni fisico-chimiche dell'atmosfera e delle acque della grotta, inducendo alterazioni sia sulla sua morfologia sia sui sistemi biologici in essa presenti.

A questo fine è importante ricordare il concetto di *Capacità Ricettiva*<sup>2</sup> [5, 7] definita come: *il massimo numero di visitatori accettabili, in una determinata unità di tempo e in condizioni stabilite, che non provochi la modificazione permanente di un parametro [fisico-chimico] rilevante*. In altre parole la frequentazione antropica deve rispettare la resilienza dell'ambiente considerato<sup>3</sup>. A questo concetto va associato anche quello di *Livello Energetico* di una grotta [14] che consente di prevedere, sia pure in modo approssimato, il peso relativo dell'influenza dell'uomo sull'ambiente ipogeo. Si distinguono tre livelli energetici:

- *Grotte ad alta energia*; sono periodicamente interessate da eventi imponenti quali alluvioni. In esse non vi sono problemi relativi al numero di visitatori poiché i periodici, ingenti, apporti energetici naturali sono in grado di annullare le modificazioni prodotte dall'attività turistica.
- *Grotte a media energia*; hanno apporti energetici solo da parte di: piccoli corsi d'acqua, vento, animali. Sono grotte ricche di concrezioni che possono essere disturbate dai flussi turistici quando l'apporto energetico di questi ultimi è confrontabile con quello naturale della grotta stessa. Per quanto detto il numero dei visitatori deve essere rigorosamente stabilito in relazione alle caratteristiche della grotta.
- *Grotte a bassa energia*; in esse il flusso energetico è praticamente ridotto al solo stillicidio e la presenza umana può dare apporti energetici superiori a quelli naturali ed è pertanto in grado di perturbare irreversibilmente l'equilibrio generale dei parametri ambientali. In queste grotte l'attività turistica deve essere esclusa.

Delle innumerevoli grotte costiere della Sardegna al momento ne abbiamo prese in considerazione due: Grotta Verde (Alghero-SS, costa nord-occidentale), definibile a bassa energia, e Grotta del Bue Marino (Dorgali-NU costa centro-orientale), definibile a media energia.

Lo studio, condotto in collaborazione con il Dipartimento Scienze della Natura e del Territorio dell'Università di Sassari (svolto nell'ambito del progetto *Conservazione e valorizzazione delle grotte sarde: biodiversità e ruolo socio-economico-culturale* finanziato dalla Legge Regione Sardegna n.7 del 7 agosto 2007, annualità 2012 [29]), vuole promuovere



la valutazione della biodiversità cavernicola, la conservazione biologica e morfologica delle grotte e la valorizzazione economica sostenibile di queste risorse naturali, le quali possono svolgere un ruolo centrale nell'incentivazione del turismo in aree carsiche. Le valutazioni derivanti da questi studi permettono di stabilire la resilienza dell'ambiente carsico analizzato e di adeguare a questo il carico turistico.

In questo contesto, compito dell'IBIMET è la definizione quali-quantitativa dei parametri fisico-atmosferici all'interno delle Grotte, in presenza e in assenza di frequentazione antropica. Nel caso della Grotta Verde il progetto prevede il confronto fra i valori dei parametri ambientali, rilevati durante tutto l'anno, in presenza e in assenza di visitatori. Nel caso della Grotta del Bue Marino, non essendo possibile l'accesso al di fuori della stagione turistica, il confronto è previsto fra i valori dei parametri rilevati, durante questo periodo, contemporaneamente all'interno della Grotta e al di fuori di essa, con e senza visitatori.

## 1. Il clima delle Grotte

Il primo parametro che caratterizza il clima sotterraneo è la temperatura [4]. In generale, se si escludono le prime decine di metri dall'ingresso che risentono del clima esterno, essa è praticamente costante tutto l'anno ed è molto vicina al valore medio della temperatura del territorio ove la cavità si apre. Ciò avviene perché nelle grotte attive si hanno circolazioni di acqua e aria che, portando all'interno "le condizioni esterne", ne condizionano la temperatura.

Per la loro quasi isotermità le grotte risultano, rispetto all'esterno, calde d'inverno e fredde d'estate. Nel caso delle grotte oggetto di studio il valore medio annuale è: per il Bue Marino di 18,4 °C e può oscillare fra 16,1 °C e 20 °C; per la Grotta Verde<sup>4</sup> 14,4 °C e può oscillare fra 6,2 °C e 17,3 °C.

Un secondo elemento che caratterizza il clima di una grotta è l'umidità atmosferica che rispetto all'aria esterna ha valore medio sia molto più alto sia molto più costante nel tempo. Nel caso del Bue Marino il valore medio annuale, notte-giorno estate-inverno, è 98,9 % e può oscillare fra il 92,8 % e il 100 %; per la Grotta Verde il valore medio annuale è 86,4 % e può oscillare fra il 52,8 % e il 99,5 % (vedi nota 4). Considerando i valori medi annui della temperatura e dell'umidità all'interno delle grotte analizzate e le loro gamme di variazione si vede subito che l'umidità relativa è più costante della temperatura.

Di interesse sono anche gli spostamenti delle masse d'aria all'interno dei sistemi carsici. In genere questi sono piuttosto lenti ma la loro presenza è significativa se la cavità ha più ingressi o collegamenti con altre cavità. Le cause degli spostamenti d'aria, come per la meteorologia generale, sono i gradienti termici e barici, nel caso delle grotte fra il loro interno e l'esterno. Per le grotte qui considerate i moti d'aria sono assai modesti, ovvero dell'ordine dei decimi di metro al secondo.

Il parametro che più degli altri differenzia l'atmosfera della cavità ipogea rispetto all'atmosfera esterna è il tasso di CO<sub>2</sub>: quello in grotta è molto variabile mentre quello in atmosfera libera è praticamente costante. In grotta la pressione parziale della CO<sub>2</sub> può raggiungere, facilmente, valori dall'1 % al 3 % della pressione atmosferica interna, contro lo 0,035 ÷ 0,040 % nell'atmosfera esterna<sup>5</sup> [28]. Questi livelli di CO<sub>2</sub>, legati all'attività biologica nel suolo e al trasporto operato dall'acqua, variano nell'arco delle stagioni ma anche, sia pure su scala ridotta, nell'arco della giornata in relazione alle variazioni di pressione e di temperatura. Per ragioni di sicurezza, poiché il tasso di CO<sub>2</sub> condiziona il

tempo in cui una persona può restare in grotta senza avvertire malesseri, pur in assenza di normative cogenti<sup>6</sup> [23] è parere internazionalmente condiviso, dagli studiosi degli ambienti ipogei naturali, che solo le grotte in cui il tasso di CO<sub>2</sub> è inferiore al 5 % siano da considerarsi utilizzabili a scopi turistici<sup>7</sup>; questo limite dà un adeguato margine di sicurezza poiché è accertato che sono sicuramente pericolosi tassi di CO<sub>2</sub> superiori al 5 % [1, 2, 20, 26].

Si osservi che i livelli più alti di CO<sub>2</sub> si hanno negli strati più bassi di alcune grotte o vulcaniche o in cui vi siano fluidi idrotermali (ad esempio, in Italia, la Grotta del Cane a Pozzuoli-NA, le cavità nei pressi delle Terme di Rapolano-SI, ecc.).

Alcuni autori [8, 15, 16], limitandosi a considerare la sola CO<sub>2</sub>, affermano che nelle grotte con un tasso di CO<sub>2</sub> di base superiore a qualche migliaio di parti per milione (ppm), l'apporto di CO<sub>2</sub> da parte dei gruppi turistici non può alterare significativamente, e per lunghi periodi, il valore di base della CO<sub>2</sub> stessa. Ovviamente, per quanto detto nell'introduzione, ciò non è sufficiente per stabilire l'idoneità di una grotta a scopi turistici.

Nelle grotte oggetto di questo studio i tassi di CO<sub>2</sub> sono risultati compresi fra 350 ppm e 550 ppm per la Grotta Verde e fra 550 ppm e 2700 ppm per la Grotta del Bue Marino.

## 2. Grotta Verde

### 2.1 Descrizione geomorfologica

Il nome deriva dai muschi e dai licheni di color verde che incrostano le colonne calcaree, alte circa 20 m, situate di fronte all'ingresso che precipita all'interno della falesia quasi come un imponente inghiottitoio (figura 1). L'ingresso della Grotta (larghezza 50 m, altezza 15 m) è una ellisse allungata e inclinata (circa 45°) verso il basso in direzione nord. Detto ingresso è situato sul lato est di Capo Caccia a circa 90 m sul livello del mare.

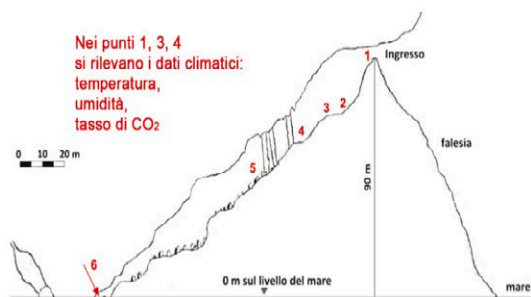


Figura 1 A – Grotta Verde, sezione longitudinale: l'ingresso immette in una ampia cavità aerea (1) che, con un ripido cunicolo (2), porta a livello del mare. Lungo il cunicolo si incontrano un pianoro con "l'Altare di Sant'Elmo" (3) e delle colonne calcaree (4). Il percorso scende rapidamente su una frana (5) al laghetto dei Graffiti (6), nel quale ci si può immergere per raggiungere la parte sommersa della Grotta (7). Da [13].

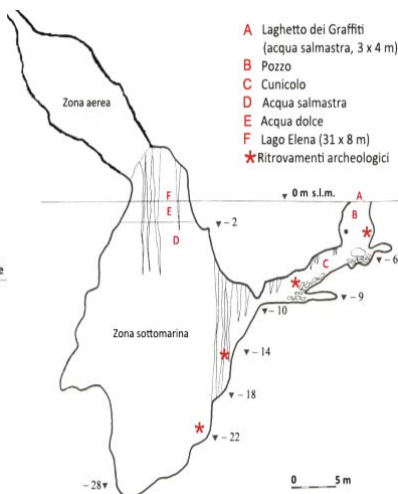


Figura 1 B – Ingrandimento del particolare della parte sommersa della grotta punti (6) e (7). Da [24].

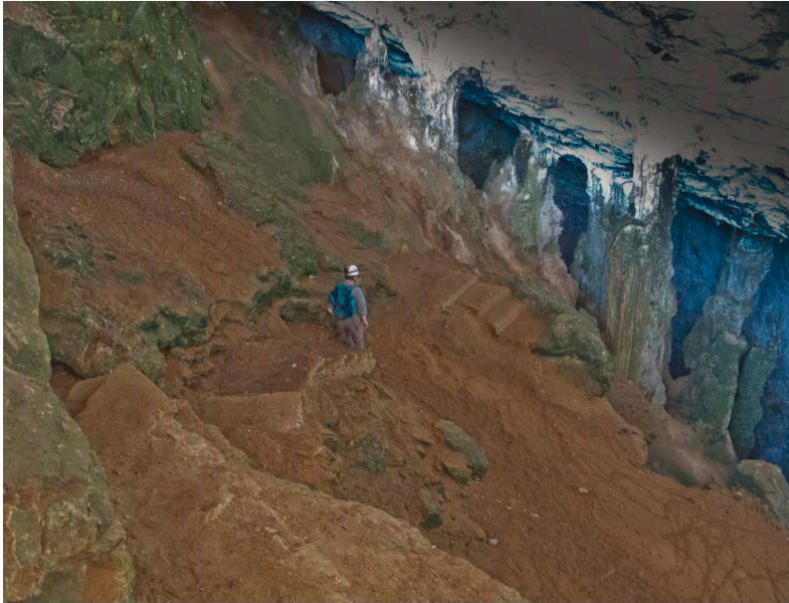


Figura 2 – Colonne calcaree incrostate di muschi e licheni verdi, la foto è ripresa a circa metà discesa fra i punti (1) e (2) della figura 1A. Foto G. Fasano.

La Grotta si articola in: una cavità aerea, un cunicolo, una sala sottomarina e numerose sale successive. La cavità aerea sprofonda verso ovest fino a raggiungere un laghetto, cristallino, salmastro, contornato da massi con graffiti, Laghetto dei Graffiti (3 m per 4 m, a 0 m sul livello del mare). Il fondo del laghetto, dopo un primo tratto in piano, scende verticalmente fino alla profondità di 9 m. Qui si trova un basso passaggio che dà accesso all'anticamera di un ampio salone di 40 m di lunghezza, 20 m di larghezza, 39 m di altezza, di cui 26 m subacquei e 13 m aerei; in conseguenza di ciò, tra i due ambienti che si determinano, si ha un lago (31 m per 8 m) nel quale i primi due metri sono di acqua dolce-salmastra. Dal lago si emerge in un ambiente aereo, 26 m per 8 m con un soffitto a 13 m, dalle cui pareti, inclinate, pendono numerose stalattiti. Le sale successive, alcune delle quali sommerse, sono intercomunicanti, ma ancora non del tutto esplorate [13, 24].

## 2.2. La strumentazione

In tre siti della Grotta vengono misurate e registrate, in aria a 1,5 m dal suolo: temperatura, umidità relativa e tasso di CO<sub>2</sub>. Il primo punto di misura (punto 1 in figura 1 A) è poco sotto l'ingresso a circa 75 m sul livello del mare, il secondo (punto 2 in figura 1 A) è su un pianoro che si raggiunge scendendo, all'interno della Grotta, di circa 15 m, il terzo (punto 4 in figura 1 A) si raggiunge scendendo di altri 20 metri.

I tre sistemi di misura, identici, sono stati progettati e assemblati dagli autori sia nell'hardware sia nel software. Per quest'ultimo si è trattato di una integrazione e di un adattamento, all'applicazione specifica, del programma di base fornito dal produttore del modulo di acquisizione [102].

### 2.2.1 Il modulo sensori

In ogni punto di misura i sensori delle tre grandezze da monitorare sono integrati in un unico modulo (figura 3) con alimentazione, in bassa tensione, esterna<sup>8</sup>. Il modulo misura in continuo le tre grandezze senza memorizzare i dati, a questa funzione provvede il modulo di acquisizione che, con cadenza programmabile, acquisisce i dati e li memorizza<sup>9</sup> (tabella 1, per maggiori dettagli vedi [101] e [102]).

### 2.2.2 Il modulo acquisizione e memorizzazione dei dati

Il *datalogger* è dotato di quattro ingressi analogici, di tensione, tre sono usati per la registrazione dei parametri precedentemente indicati; il quarto è utilizzato per la registrazione della tensione degli accumulatori (figura 3). In tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche metrologiche e di impiego del *datalogger*, per ulteriori informazioni vedi [102].

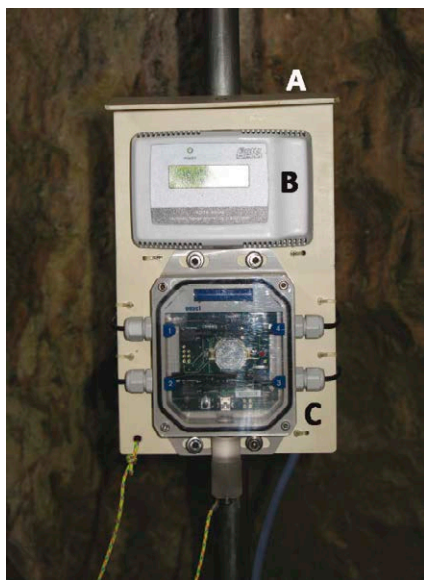


Figura 3 – A lato, il sistema di monitoraggio: A) schermo di protezione, B) modulo Sensori: temperatura, umidità relativa e tasso di CO<sub>2</sub>, C) modulo acquisizione e memorizzazione dati. Sotto, il sistema di alimentazione e di supporto: D) palo di supporto e base, di acciaio inox, E) connettore polarizzato per il collegamento all'accumulatore, F) batteria di accumulatori, G) basamento di cemento di 500 x 500 x 50 mm. Foto G. Fasano



## 2.3 Risultati

I dati rilevati consentono di descrivere gli andamenti temporali delle grandezze misurate: temperatura, umidità relativa, umidità assoluta (calcolata dalle due grandezze precedenti), tasso di CO<sub>2</sub>, da maggio 2010 a luglio 2012; periodo in cui si è analizzata questa grotta in assenza di visitatori.

Dai valori misurati o calcolati, ogni 15 minuti, si sono ottenute le medie orarie e da queste si sono ricavati:

- andamenti temporali mensili di ciascuna grandezza sopra indicata;
- differenze fra i valori medi misurati di temperatura nel punto 4 e nel punto 2, nel punto 4 e nel punto 1, nel punto 2 e nel punto 1;
- differenze fra i valori medi misurati di umidità relativa in 4 e in 2, in 4 e in 1, in 2 e in 1;

- differenze fra i valori medi misurati di tasso di C O<sub>2</sub> in 4 e in 2, in 4 e in 1, in 2 e in 1;
- differenze fra i valori medi calcolati di umidità assoluta in 4 e in 2, in 4 e in 1, in 2 e in 1.

Per tutte le grandezze sono stati calcolati anche i valori medi giornalieri, per i tre siti di misura, che sono stati messi a confronto per tutto il periodo di rilevamento.

La particolare morfologia della Grotta con il forte dislivello fra l'imboccatura e il sito di misura più basso (circa 50 m), condiziona fortemente la termodinamica dell'aria al suo interno. Il ricambio, a parte l'azione del vento, è affidato ai gradienti di temperatura, umidità, CO<sub>2</sub> che si instaurano fra i punti di misura in conseguenza delle condizioni meteorologiche esterne. Altra considerazione generale possiamo farla in riferimento alle oscillazioni degli andamenti temporali: queste si ripetono, sia pure attenuate in ampiezza, nei tre siti andando da 1 a 2 a 4, passando da un sito all'altro con un ritardo mitigato dalla presenza del vento. Ciò significa che, anche in assenza di vento, per effetto dei gradienti prima citati, dentro la Grotta c'è un debole movimento d'aria, di norma da 1 verso 4, almeno alla quota di misura (1,5 m dal suolo).

### *2.3.1 Temperatura dell'aria*

Dai dati rilevati risulta evidente che nel periodo maggio-ottobre la temperatura del punto 4 è più stabile (indice di scarso rimescolamento dell'aria), e di norma più bassa, di quella nei punti 1 e 3. Nel periodo tardo-autunnale la temperatura in 4 comincia ad avere, sia pure per brevi periodi, valori superiori alle altre e ad assumere un andamento più oscillante. L'effetto si enfatizza nei mesi seguenti fino a febbraio dove le temperature nei tre siti sono molto simili ma quella in (4) è comunque più alta. In primavera con l'allungamento delle giornate e con il riscaldamento dell'aria esterna, la temperatura in 4 ricomincia a oscillare meno e ad assumere valori crescenti ma sempre minori dei valori in 1 e in 3. Questa dinamica suggerisce che solamente nei mesi invernali ci può essere, grazie al gradiente di temperatura che rende l'aria in fondo alla Grotta meno densa di quella esterna, un buon ricambio d'aria; ciò è confermata dal fatto che la temperatura in 4 ricalca l'andamento oscillatorio di quella in 1 e in 3<sup>10</sup>.

Nei mesi estivi, essendo l'aria in 4 più fredda (quindi più densa) il ricambio d'aria è fortemente ridotto. A questo si aggiunga che anche il vapor d'acqua, in questo periodo, è in quantità minore in 4 rispetto agli altri siti. Ciò aumenta ulteriormente la densità dell'aria<sup>11</sup> in 4 e con questa si inibisce maggiormente l'afflusso d'aria dall'esterno verso l'interno.

### *2.3.2 Umidità dell'aria*

Per valutare la dinamica del vapor d'acqua, all'interno della Grotta, appare più significativa l'umidità assoluta, UA, rispetto all'umidità relativa, UR; è per tale motivo che questo parametro, non misurato direttamente, è stato ricavato, per ogni sito, dalla misura della temperatura e dell'umidità relativa.

I dati rilevati mostrano che l'UR nel sito 4 è di norma superiore a quella negli altri siti, questo potrebbe indurre a pensare, erroneamente, a un trasferimento di vapore dal fondo verso l'ingresso della Grotta, con conseguente ricambio d'aria. Di fatto la maggiore UR è dovuta alla minore temperatura nel sito 4 rispetto agli altri siti. Si può notare inoltre che l'UA nel sito 4 ha oscillazioni meno marcate che negli altri siti (come anche l'UR) ma risulta talvolta maggiore e talvolta minore dell'UA di 1 e di 3. Questo significa che quando l'UA in 4 risulta minore il gradiente di vapore è tale da lasciare supporre un trasferimento di questo dall'ingresso verso l'interno della Grotta, con conseguente modesto ricambio d'aria. Questa situazione si manifesta quando UR e UA sono in 1 contemporaneamente molto alte, molto

verosimilmente ciò accade quando fuori dalla Grotta piove o c'è nebbia.

Un contributo all'umidità atmosferica della Grotta può pervenire anche dal Laghetto dei Graffiti, punto 6 in figura 1A. Le misure delle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua del Laghetto hanno mostrato, fra la profondità di 4,3 m e la superficie una variazione di salinità di circa 0,76 %. Questa minore salinità dell'acqua superficiale, dovuta a percolazioni di acque meteoriche, indica un modesto, se non nullo, rimescolamento dell'acqua, e una maggiore evaporabilità di questa. L'evaporazione dell'acqua dal lago è condizionata dall'UR dell'aria sovrastante (a parità di temperatura, aumenta quando UR diminuisce), ciò produce una sorta di stabilizzazione di questa e quindi, in assenza di apporti di aria dall'esterno, l'umidità nel sito 4, il più prossimo al lago, tende a essere costante nel tempo. Ciò è particolarmente evidente nel periodo estivo.

### 2.3.3 Anidride carbonica

Gli andamenti temporali del tasso di CO<sub>2</sub> mostrano tutti che la massima quantità si ha in 1, in 4 è media e, infine, in 3 la quantità è minima. Questo risultato suggerisce che la CO<sub>2</sub>, in assenza di persone nella grotta, proviene dall'esterno<sup>12</sup>: entra da 1, dove mostra un valore simile a quello esterno, scende lungo il pendio lambendo 3 e, raggiunto il tratto pianeggiante dove è il sito 4, rallenta la corsa, in parte si disperde nei cunicoli e in parte prosegue lungo il pendio che porta al Laghetto dei Graffiti e oltre. Lo stesso Laghetto contribuisce al parziale smaltimento della CO<sub>2</sub> arrivata da 4. Queste affermazioni sono corroborate dall'analisi dei momenti in cui i picchi di CO<sub>2</sub> si manifestano nei tre siti. Abbiamo praticamente sempre prima il picco in 1, poi in 3 e quindi in 4; pertanto la CO<sub>2</sub> scorre da 1 verso 4 dove la "corsa" rallenta e il tasso di CO<sub>2</sub> aumenta rispetto al sito 3 che, trovandosi sul pendio, non consente accumuli di CO<sub>2</sub>. Ovviamente il ritardo con cui si manifestano i picchi in 3 e in 4 rispetto ad 1 è legato alla distanza di 3 e di 4 da 1 ed è condizionato dalla presenza e dall'intensità del vento.

## 3. Grotta del Bue Marino

### 3.1 Descrizione geomorfologica

La grotta è così chiamata per il muggito che emettevano le foche monaca (*Monachus monachus*) che fino a qualche decennio fa la abitavano. Essa si trova nel golfo di Orosei a circa 4 km a sud di Cala Gonone (Dorgali) ed è raggiungibile in barca oppure via terra, percorrendo prima un tratto di strada asfaltata e poi un sentiero di circa 2 km nella macchia bassa sulla falesia.

La grotta, che si sviluppa complessivamente per circa 20 km, è formata da tre rami [12]:

- Il ramo nord (circa 9 km), visitabile solo per un breve tratto, è caratterizzato da ampie gallerie fossili sulle cui pareti sono visibili i segni di un livello marino più alto dell'attuale. La parte attiva di questo ramo è costituita da gallerie, in gran parte allagate, che si sviluppano per circa 7 km.
- Il ramo di mezzo (circa 4,5 km) è costituito da condotti carsici sommersi che lo rendono assolutamente inidoneo alla fruizione turistica.
- Il ramo sud (circa 7 km), visitabile per i primi 900 m, è formato da un'ampia galleria, ricca di concrezioni, a sezione ogivale (diametro 10-15 m) dove penetra l'acqua del mare che si mescola con quella di un fiume sotterraneo che in alcune zone affiora, anche per lunghi tratti, creando una serie di laghetti. Nel periodo invernale le acque del fiume possono salire

all'interno della galleria di 3 ÷ 4 m. Quando il fiume è in magra, il mare penetra nella grotta per circa 850 m, fino a uno sbarramento calcitico che determina un gradino di circa 1 m, con cascata che segna il confine tra le acque dolci e quelle salate. Il percorso turistico si conclude alla Spiaggia delle Foche, luogo nel quale la foca monaca si riproduceva. Il ramo continua ancora per diversi chilometri all'interno dell'altopiano carsico del Supramonte.

### 3.2. La strumentazione

Le misure dei parametri fisici ambientali sono effettuate sia all'interno della Grotta, a circa 500 metri dall'ingresso, sia sulla falesia sovrastante, alla quota di circa 60 m. In entrambi i casi gli strumenti sono montati su un treppiede di acciaio inox e i parametri vengono rilevati a 2 m dal suolo.

I due sistemi di misura sono stati progettati e assemblati dagli autori sia nell'hardware sia nel software; per quest'ultimo aspetto si è trattato di una integrazione e di un adeguamento, all'applicazione specifica, del software di base fornito dal produttore del *datalogger* [103]. Nella loro funzionalità i sistemi sono identici e differiscono solo per alcuni dispositivi presenti in grotta e non in falesia e viceversa.

#### 3.2.1 La stazione di misura in grotta

Qui vengono misurati: numero dei visitatori, umidità relativa, tasso di CO<sub>2</sub>, intensità dei moti delle masse d'aria, pressione barometrica. Quest'ultima, misurata anche sulla falesia, è necessaria per la correzione dei valori di CO<sub>2</sub>, che vengono rilevati in un caso al livello del mare, nell'altro alla quota di circa 60 m.

Un gruppo elettrogeno a gasolio (ubicato all'esterno della grotta) produce una tensione alternata a 220 V necessaria per l'illuminazione della Grotta; da questa si ottiene la bassa tensione con cui vengono alimentati i sensori e il sistema di acquisizione. L'alimentatore gestisce anche la batteria di accumulatori al piombo (di tipo sigillato, da 12 V e 65 Ah) che alimenta tutto il sistema di misura nei periodi in cui il gruppo elettrogeno è spento; il valore della tensione di batteria è monitorato tramite il *datalogger*.

Il sensore di CO<sub>2</sub> viene lasciato acceso in continuo dalle ore 08:00 alle 19:00, le acquisizioni vengono attuate ogni minuto ed è memorizzata la loro media ogni 10 minuti. Nelle altre ore, per ridurre i consumi elettrici, il sensore viene acceso solo 15 minuti prima dello scadere dell'ora, i primi 5 minuti servono per il riscaldamento dello strumento poi si acquisiscono i dati ogni minuto e si memorizza la media degli ultimi 10 minuti, quindi il sensore viene nuovamente spento. Tutti gli altri sensori dei parametri climatici vengono attivati ogni minuto per 8,5 secondi alla fine dei quali si acquisiscono i dati, ogni 10 minuti viene memorizzato il valor medio. In figura 4 la stazione di misura; il contapersone, figura 5, è indipendente dal resto della strumentazione poiché ubicato a circa 200 m da questi e pertanto ha un proprio sistema di registrazione e di alimentazione (batterie al Litio da 3,6 V - 8,5 Ah, durata circa un anno). Il conteggio, bidirezionale, è effettuato nel punto più stretto del camminamento e avviene ad ogni interruzione di due raggi di radiazione infrarossa, distanziati di 50 mm l'uno dall'altro, che attraversano il camminamento stesso.

Le principali caratteristiche del contapersone sono riportate in tabella 2 quelle dei sensori e del *datalogger* sono in tabella 3.



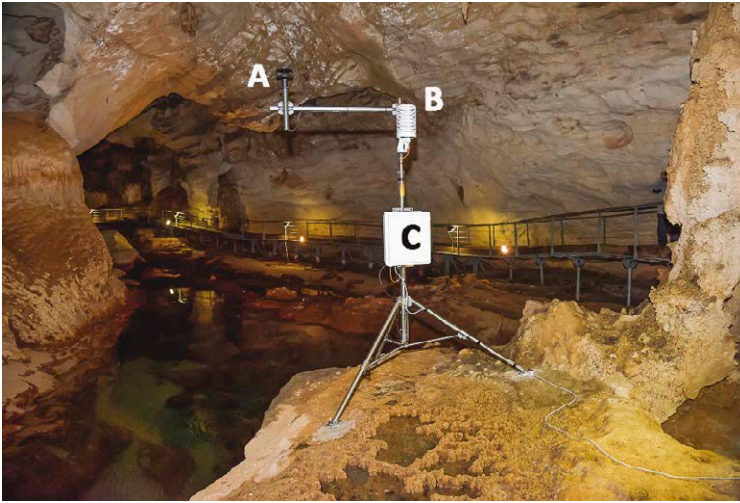


Figura 4 – In primo piano il corso di acqua salmastra su cui si affaccia la stazione di misura e sullo sfondo una parte del camminamento sospeso con l'impianto di illuminazione. (foto G. Fasano). A) Anemometro, B) termoigrometro e misuratore di CO<sub>2</sub>, C) *datalogger*.



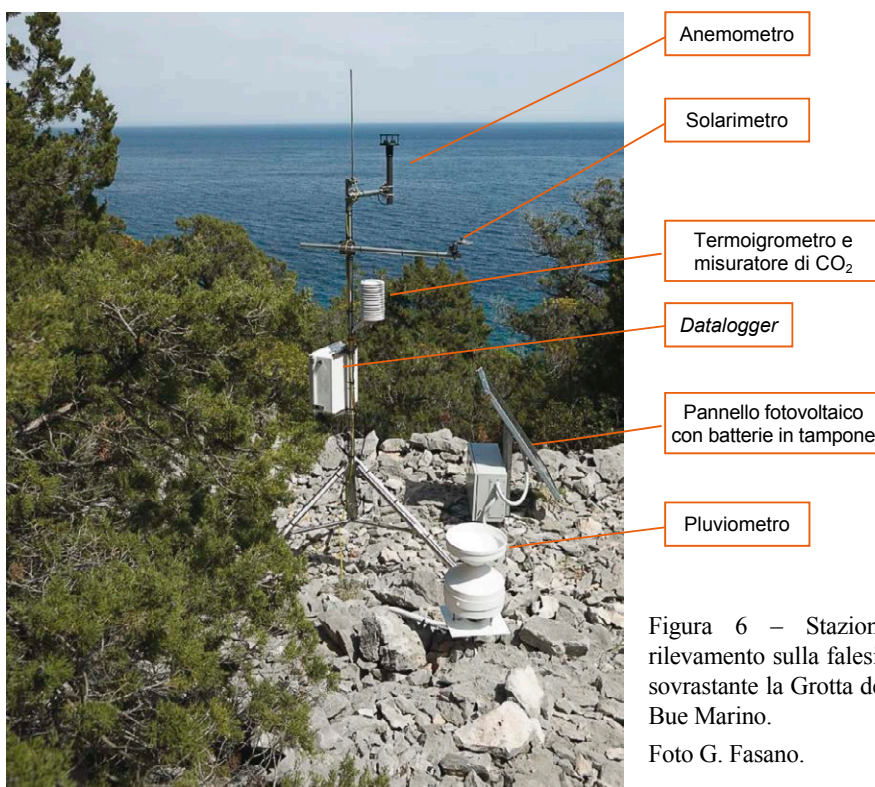
Figura 5 – Trasmettitore ed Emittitore (AB) del contapersone a barriera infrarossa ai lati del punto più stretto del camminamento (foto G. Fasano).

### 3.2.2 La stazione di misura sulla falesia

Sulla falesia si misurano: umidità relativa, temperatura, tasso di CO<sub>2</sub>, velocità del vento, pressione barometrica, radiazione solare globale, intensità della pioggia (figura 6).



La gestione dei sensori e dei dati sulla falesia è uguale a quella all'interno della grotta ad eccezione del sensore di CO<sub>2</sub> che viene gestito come quello in grotta durante le ore notturne. L'alimentazione della stazione di misura è ottenuta con un pannello fotovoltaico da 95 watt (di picco) con batteria in tampone (di tipo sigillato, da 12 V e 120 Ah). Anche in questo caso il *datalogger* registra il valore della tensione di batteria. Le principali caratteristiche metrologiche e di impiego degli apparati utilizzati sono riportate nella tabella 3.



### 3.3 Risultati

I dati rilevati consentono di descrivere gli andamenti temporali delle grandezze misurate: temperatura, umidità relativa, umidità assoluta (calcolata dalle due grandezze precedenti), tasso di CO<sub>2</sub>, intensità dei moti delle masse d'aria e del vento, pressione barometrica, e, solo in falesia, radiazione solare globale e intensità della pioggia, da aprile 2015 a ottobre 2015, periodo in cui la Grotta è stata analizzata in presenza e in assenza dei visitatori. In ottobre per il rischio del totale allagamento della Grotta, la strumentazione è stata smontata mentre è rimasta in funzione la stazione sulla falesia. In aprile 2016 è stata ripristinata la stazione in Grotta con alcune integrazioni strumentali indicate di seguito; i dati rilevati da questa data saranno oggetto di un successivo lavoro.

Dai valori misurati direttamente o indirettamente si sono calcolati:

- andamenti temporali giornalieri e mensili di tutti i parametri monitorati;
- andamenti delle differenze fra i valori di CO<sub>2</sub> misurati all'interno della Grotta e sulla falesia;
- andamento giornaliero delle presenze;
- ecc.

In questo primo periodo di sperimentazione, lo studio si è soffermato in particolare sulle dinamiche delle oscillazioni giorno-notte del tasso di CO<sub>2</sub> all'interno della Grotta. Si è osservato che nel tardo pomeriggio si ha un aumento del tasso di CO<sub>2</sub> col raggiungimento dei valori massimi durante la notte, mentre durante il giorno i valori di CO<sub>2</sub> decrescono. Con l'ingresso dei turisti si registra, ovviamente, un rapido incremento del tasso di CO<sub>2</sub>, che altrettanto rapidamente decade con l'uscita di questi. In ogni caso l'incremento non è mai tale da arrivare ai massimi notturni. L'aumento della CO<sub>2</sub> in grotta, dell'ordine di grandezza di circa 210 ppm (valore medio) non può essere legato unicamente all'aumento notturno del tasso di CO<sub>2</sub> all'esterno che non supera mai 60 ppm (valore medio nel periodo circa 30 ppm).

Per questo comportamento, della cui entità non abbiamo trovato riscontri in letteratura dove non si analizzano intervalli di tempo così brevi per lunghi periodi, abbiamo elaborato tre ipotesi che qui ci limitiamo a indicare e che analizzeremo con la prossima campagna di misure (aprile-ottobre 2016) durante la quale saranno misurati in Grotta sia pH e temperatura dell'acqua sia temperatura della parete; mentre sulla Falesia sarà aggiunta la misura della temperatura superficiale del suolo.

Come *prima ipotesi* possiamo considerare l'incremento notturno della CO<sub>2</sub> sulla falesia, per effetto della bassa vegetazione, e il trasferimento di questa CO<sub>2</sub> all'acqua di rugiada notturna presente al suolo. A questo fine è stato previsto il monitoraggio della temperatura del suolo della falesia. In bibliografia [22, 25] è ampiamente documentato che anche con valori standard di CO<sub>2</sub> in atmosfera (400 ppm) nell'*humus* fra le radici delle piante è presente un tasso di CO<sub>2</sub> da 10 000 ppm a 20 000 ppm; questi valori in presenza di una rapida percolazione (6-8 ore) della rugiada, potrebbero spiegare l'entità dell'incremento notturno della CO<sub>2</sub> in grotta.

Una *seconda ipotesi* può essere suggerita dalle variazioni di temperatura fra il giorno e la notte, invero assai modeste, che si possono avere nella zona monitorata, relativamente vicina all'ingresso. I dati rilevati mostrano infatti una discreta correlazione fra l'andamento giorno-notte della temperatura e quello della CO<sub>2</sub> in grotta, ma anche di questo con l'andamento dell'umidità relativa, in particolare quando, di notte, il vapore diventa saturo (UR=100 %). In relazione a quanto sopra si può ipotizzare sia che la temperatura dell'aria agisca direttamente sul tasso di CO<sub>2</sub> sia che vi agisca indirettamente tramite l'umidità relativa. Se la notte la temperatura della grotta si abbassa, fino a portare alla saturazione il vapore atmosferico, si avrà prima la formazione di nebbia e poi la deposizione di acqua sulle pareti. Ciò costituisce di fatto una riduzione della quantità di vapore acqueo nell'atmosfera e conseguentemente, a parità di pressione totale, un incremento percentuale della pressione parziale degli altri gas e quindi anche della CO<sub>2</sub>. I forti incrementi rilevati non sembrano però sostenere completamente questa ipotesi.

Una *terza ipotesi* potrebbe essere legata agli altissimi tassi di CO<sub>2</sub> in aria, previsti a regime dalla legge di Henry, in relazione alla CO<sub>2</sub> libera in acqua, in funzione di pH e di T [10]. Qualora si potesse verificare che il pH e la T dell'acqua subiscono variazioni giorno-notte tali da produrre incrementi sensibili della CO<sub>2</sub> libera in acqua, potremmo legare a questi l'aumento notturno della CO<sub>2</sub> in grotta. Chiarimenti su questa ultime due ipotesi si potranno avere monitorando sia la temperatura delle pareti sia pH e temperatura dell'acqua della Grotta.

È però molto verosimile che alle variazioni giorno-notte del tasso di CO<sub>2</sub> in grotta partecipino, sia pure con pesi diversi, i tre fenomeni sopra indicati, con complicanze sperimentali e analitiche non trascurabili.

#### 4 Conclusioni

Il difficile equilibrio fra salvaguardia dei beni ambientali e fruizione turistica è ben evidenziato nel caso degli ambienti naturali ipogei.

Le due grotte oggetto di questo studio sono esemplificative di quanto sia delicato questo equilibrio: nella Grotta Verde sono in corso opere per renderla accessibile ai visitatori; la Grotta del Bue Marino è una delle mete turistiche più frequentate della Sardegna (circa 60 000 visitatori l'anno, con afflussi concentrati in luglio e agosto). In entrambi i casi le opere per la loro fruizione turistica hanno modificato e ridotto la naturalità delle grotte e delle zone ad esse circostanti.

In riferimento alla Grotta Verde, nel periodo delle misure maggio 2010 – luglio 2012, i lavori di adeguamento hanno comportato il disboscamento della macchia mediterranea per la realizzazione del percorso di accesso, l'allargamento del parcheggio, la messa in sicurezza della falesia, ecc. Mentre all'interno sono stati realizzati, sia pure in parte, camminamenti sulla roccia e, in alcuni punti di questa, sono state eseguite operazioni di consolidamento delle frane. Sempre nel periodo della campagna di misure era in fase di progettazione l'impianto di illuminazione all'esterno e all'interno della Grotta, dentro la quale erano in corso anche alcuni scavi archeologici<sup>13</sup>.

I lavori di adattamento della Grotta Verde alle necessità turistiche, iniziati nel periodo delle misure, sono proseguiti fino alla metà del 2013, poi sono stati interrotti. Il Comune di Alghero sembra intenzionato a riprendere i lavori e a concluderli entro il 2016; in tal caso potremo continuare la sperimentazione ed eseguire le misure anche in presenza di turisti.

I lavori, dentro e fuori della Grotta Verde, hanno interferito, fin dal primo momento, con l'esistenza di una colonia di pipistrelli (*Rhinolophus mehelyi* [18, 19]), specie a forte rischio di estinzione, che da subito ha abbandonato la Grotta.

In riferimento alla Grotta del Bue Marino è ben noto che, fra gli anni '50 e '80 del Novecento, sono stati realizzati svariati lavori, all'interno e all'esterno della Grotta, per l'accoglienza dei turisti: pontile di attracco per le barche, camminamenti su roccia e sospesi, impianto di illuminazione alimentato da un gruppo elettrogeno, scala in acciaio e legno per collegare la falesia con l'ingresso della Grotta, servizi igienici, ecc.

In conseguenza di ciò, nel primo periodo di studio a cui questa nota si riferisce (aprile – ottobre 2015), si sono potute eseguire le misure sia in presenza sia in assenza dei gruppi turistici. Ovviamente questa antropizzazione, unitamente alla attività di pesca, ha prodotto la scomparsa della Foca Monaca (*Monachus monachus*) che, abbandonata la Sardegna, si è rifugiata nell'arcipelago delle Isole Egadi e in Grecia [17].

Certamente un limite alla comprensione dei fenomeni fisici che si svolgono in una grotta di così vaste dimensioni, come è appunto quella del Bue Marino, è dato dal fatto che è stata utilizzata una sola stazione di misura e ciò non ha consentito la necessaria analisi spaziale e sinottica dei parametri ambientali. Si spera che i risultati già ottenuti inducano la Regione Sardegna a dare, per questi studi, una maggiore disponibilità finanziaria.

## Tabelle

Tabella 1 – Grotta Verde: caratteristiche del sensore multiparametrico e del *datalogger*, per dettagli vedi bibliografia indicata per ciascun dispositivo.

Sensore multiparametrico: Caratteristiche generali [102]	
Uscite analogiche	0 ÷ 2,5 Vcc (RL > 10 kΩ)
Alimentazione	12 Vcc
Potenza assorbita	Max 100 mW
Tempo di stabilizzazione all'accensione	15 minuti (per garantire l'accuratezza dichiarata)
Temperatura di funzionamento	0 ÷ 50 °C
Umidità relativa di funzionamento	0 ÷ 95 % senza condensazione
Umidità Relativa UR: sensore capacitivo	
Campo di misura	5 ÷ 98 %
Accuratezza	± 2 % (10 ÷ 90 % UR) a 20 °C, ± 2,5 % nel restante campo
Risoluzione	0,1 % UR
Dipendenza dalla temperatura	2 % su tutto il campo di temperatura
Stabilità di lungo termine	1 %/anno
Temperatura T: termistore NTC	
Campo di misura	-30 ÷ 85 °C
Accuratezza	± 0,2 °C ± 0,15 % della misura tra 0 e 70 °C
Risoluzione	0,1 °C
Stabilità a lungo termine	0,1 °C/anno
Tasso di CO <sub>2</sub> : sensore NDIR a doppia lunghezza d'onda	
Campo di misura	0 ÷ 2500 ppm
Accuratezza	±(50 ppm +3 % della misura) a 20 °C e 1013 hPa
Risoluzione	1 ppm
Dipendenza dalla temperatura	0,1 % del fondo scala / °C
Stabilità di lungo termine	5 % della misura / 5 anni
Datalogger: Caratteristiche generali [101]	
Tensione dei segnali in ingresso	0 ÷ 2,5 Vcc
Accuratezza	± 2 mV ± 2,5 % della lettura
Risoluzione	0,6 mV
Accuratezza orologio	± 1 minuto/mese a 25 °C
Temperatura di funzionamento	-20 ÷ +70 °C
Intervallo di acquisizione	Programmabile fra 1 s e 18 h
Umidità relativa di funzionamento	0 ÷ 95 % senza condensazione
Memoria	64 KiB (43 000 misure)
Alimentazione interna	Batteria al litio 3 V CR-2032
Durata della batteria al litio	1 anno

Tabella 2 – Caratteristiche del contapersone, presente solo in grotta per dettagli [104].

Tipo sensore	proiettore - ricevitore infrarossi
Sbarramento	fotoelettrico bidirezionale
Memoria	65536 record (>7 mesi)
Memory Card	tipo SD card da 2GB
Alimentazione	2 batterie al Litio da 3,6 V 8,5 Ah

Tabella 3 – Grotta del Bue marino: caratteristiche degli apparati in grotta e sulla falesia, per dettagli vedi bibliografia indicata per ciascun dispositivo.

<i>Datalogger</i> [103]	
Canali analogici	8 differenziali
Risoluzione	digitale 13 bit, analogica 0,22 $\mu$ V
Comunicazione locale	PC attraverso porta RS232 e CS I/O
Memoria interna	4 Mb espandibile a 16 Gb con periferiche esterne
Memoria rimovibile	CompactFlash (capienza massima 16 Gb)
Contenitore stagno in poliestere	grado di protezione ambientale IP66-11er
Umidità Relativa UR: sensore capacitivo [105]	
Campo di misura	0 ÷ 100 % (senza condensazione)
Accuratezza	$\pm$ 0,8 % a 23 °C,
Risoluzione	0,1 % UR
Stabilità di lungo termine	< 1 % UR per anno
Temperatura T: termoresistenza Pt100 [105]	
Campo di misura	-40 ÷ 60 °C
Accuratezza	$\pm$ 0,3 °C
Risoluzione	0,1 °C
Stabilità a lungo termine	< 0,1 °C per anno
Tasso di CO <sub>2</sub> : sensore NDIR <i>single-beam</i> a doppia lunghezza d'onda [106]	
Campo di misura	0 ÷ 2000 ppm ( <i>su falesia</i> ); 0 ÷ 3000 ppm ( <i>in grotta</i> )
Pressione di funzionamento	-700 ÷ 1300 hPa
Accuratezza	$\pm$ 1,5 % del range + 2% della lettura
Risoluzione	1 ppm
Dipendenza dalla temperatura	-0,3 % della misura / °C
Dipendenza dalla pressione	+ 0,15 % della misura/hPa
Tempo di riscaldamento	15 minuti
Stabilità di lungo termine	< $\pm$ 5 % del fondo scala / 2 anni
Vento – Moti d'aria: anemometro ad ultrasuoni [107]	
Campo di misura	direzione 0 ÷ 360°; intensità 0 ÷ 60 m/s
Accuratezza	direzione 3°; intensità 2 %
Risoluzione	direzione 1°; intensità 0,01 m/s
Pressione barometrica: sensore capacitivo [108]	
Campo di misura	800 ÷ 1100 hPa
Temperatura di funzionamento	-40 ÷ 60 °C
Accuratezza	$\pm$ 0,3 hPa a 20 °C
Risoluzione	0,1 hPa
Stabilità a lungo termine	$\pm$ 0,1 hPa/anno
Radiazione solare ( <i>solo sulla falesia</i> ): piranometro al silicio [109]	
Gamma di lunghezza d'onda	400 ÷ 1100 nm
Accuratezza	errore assoluto massimo $\pm$ 5 %
Correzione del coseno	fino a incidenze di 80°
Linearità	massima deviazione dell'1 % fino a 3000 W/m <sup>2</sup>
Stabilità	< $\pm$ 2 % per anno
Dipendenza dalla temperatura	< $\pm$ 0,15 % per °C
Intensità della pioggia ( <i>solo sulla falesia</i> ): vaschetta oscillante [110]	
Diametro della bocca	254 mm
Risoluzione	0,2 mm di precipitazione

## Bibliografia

- [1] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1971) - *Carbon Dioxide in Documentation of the threshold limit values for substances in workroom air*. 3rd ed. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, p. 39.
- [2] American Industrial Hygiene Association AIHA (1964) - *Carbon dioxide*. In: *Hygienic guide series*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 25:519-521
- [3] Atti Parlamentari, Camera dei Deputati XVI Legislatura Proposta di Legge: *Disposizioni in materia di tutela e valorizzazione delle grotte turistiche italiane* (3 agosto 2010) n. 3688 <http://www.camera.it/dati/lavori/stampati/pdf/16PDL0042390.pdf>
- [4] C. Balbiano D'Aramengo (2000) - *Il clima delle grotte* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [5] M. Chiesi, G. Ferrini, G. Badino (2000) - *L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta* Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni, Genova
- [6] G. Chiodini, D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, A. Costa, C. Minopoli, G. Vilardo (2010) - *Non-volcanic CO<sub>2</sub> Earth degassing: Case of Mefite d'Ansanto (southern Apennines)*, Italy Geophysical Research Letters, vol. 37, L11303
- [7] A. A. Cigna (1987) - *La capacità ricettiva delle grotte turistiche quale parametro per la salvaguardia dell'ambiente sotterraneo. Il caso delle Grotte di Castellana*. Atti XIV congresso nazionale speleologia, pp. 999-1012
- [8] A. A. Cigna (2002) - *Modern trend in cave monitoring*, Acta carsologica, 31/1 pp 35-54
- [9] Comunicazione Stampa Soprintendenza ai Beni Archeologici di Sassari e Nuoro <http://lanuovasardegna.gelocal.it/regione/2011/09/15/news/grotta-verde-sotto-l-altare-scoperti-resti-umani-risalenti-a-mille-anni-fa-1.3535469>
- [10] M. De Vincenzi, G. Fasano (2016) - *Metodi grafico-analitici per la stima dei parametri che intervengono nei processi carsici*, Atti del VI Simposio Internazionale Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo, Livorno pp. 334-349
- [11] EPA (2002) - *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special to Environmental Karst Hydrology* EPA/600/R-02/003, Washington DC. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30002IOF.txt>
- [12] L. Fancello (2009) - *La grotta del Bue Marino* in Sardegna speleologica n.24, pp. 59-73 <http://www.federazioneSpeleologicaSarda.it/files/testi/download.php?doc=48>
- [13] F. Guillot (1997) - *La Grotta di Sant'Elmo o Grotta Verde* in Alghero, in "Revista de L'Alguer" vol. 8, pp. 81-92.
- [14] T. Heaton (1986) - *Caves: a tremendous range of energy environments on Earth*. National Speleological Society News, August, 301-4.
- [15] M. Hoyos, V. Soler, J. C. Cañaveras, S. Sánchez-Moral, E. Sanz-Rubio (1998) - *Microclimatic characterization of a karstic cave: human impact on microenvironmental parameters of a prehistoric rock art cave (Candamo Cave, northern Spain)*, Environmental Geology 33 (4) March 1998, pp. 231-242
- [16] C. Liñán, I. Vadillo, F. Carrasco (2008) - *Carbon dioxide concentration in air within the Nerja Cave (Malaga, Andalusia, Spain)*, International Journal of Speleology 37 (2) July 2008, pp. 99-106
- [17] G. Mo (2011) - *Mediterranean Monk Seal (Monachus monachus) Sightings in Italy (1998-2010) and Implications for Conservation*, Aquatic Mammals 2011, 37(3), pp. 236-240, DOI 10.1578/AM.37.3.2011.236

- [18] M. Mucedda, Murittu G., Oppes A., Pidinchedda E. (1995) *Osservazioni sui Chiroterri troglofili della Sardegna*, Bollettino della Società sarda di scienze naturali, Vol. 30 (1994/95), pp. 97-129
- [19] M. Mucedda, E. Pidinchedda, M.L. Bertelli (2009) - *Status del Rinolofo di Mehely (Rhinolophus mehelyi) (Chiroptera, Rhinolophidae) in Italia*, in *Chiroterri italiani stato delle conoscenze e problemi di conservazione* Atti del Secondo Convegno Italiano sui Chiroterri, Serra San Quirico (AN), pp. 89-98
- [20] G. Muscio (2002) - *Il fenomeno carsico e la speleologia* pag 9-51 in Fabio Stock (a cura di) *Grotte e fenomeno carsico - La vita nel mondo sotterraneo*, ed. Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio
- [21] National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) (1997) - *Pocket guide to chemical hazard*, Rep. pp. 97-140, Washington, D. C.
- [22] G. C. Perosino (2012) - *Scienze della Terra*, Crest (Torino) <http://www.crestsnc.it/divulgazione/media/libro/indice.htm>
- [23] G. Settimo, S. Brini, L. Turrio Baldassarri, A. De Martino, A. Lepore, F. Moricci (2011) - *Presenza di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S in ambienti indoor-residenziali: analisi critica delle conoscenze di letteratura* per il Gruppo di Studio Nazionale "Inquinamento Indoor", Report bdi y ISS, ISPRA e Ministero della Salute alla Direzione Regionale Protezione Civile, pp. 10 [http://www.iss.it/binary/iasa/cont/CO2\\_H2S\\_FINALE.pdf](http://www.iss.it/binary/iasa/cont/CO2_H2S_FINALE.pdf)
- [24] G. Tanda (1999) - *Alghero Grotta Verde*, in Anati E. (a cura di) *I Sardi. La Sardegna dal Paleolitico all'età Romana*, Jaka Book, Milano, pp. 273-275.
- [25] F. Trombe - (1952) *Traité de spéléologie*, Payot, Paris
- [26] U.S. Department of the Interior Bureau of Land Management Casper Field Office (2006) - *Salt Creek Phases III/IV Environmental Assessment-Appendix C "Health Risk Evaluation for Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>)"*  
<http://www.blm.gov/style/medialib/blm/wy/information/NEPA/cfodocs/howell.Par.6600.File.dat/01ea.pdf>
- [27] <https://www.anses.fr/fr/glossaire/1150>
- [28] <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- [29] <https://www.regione.sardegna.it/j/v/1725?s=1&v=9&c=389&c1=1345&id=30556&b>

#### **Note Tecniche**

- [101] DeltaOhm (2009) - *Trasmettitori e regolatori di umidità, temperatura e CO<sub>2</sub> serie HD45 e HD46* (rev1.0 15 ottobre 2009) <http://www.deltaohm.com>
- [102] Onset Computer Corporation (2010) - *HOBO U12-006* <http://www.onsetcomp.com/>
- [103] Microlog srl - *Sistema contapersone Smarcheck* <http://www.microlog.it>
- [104] Campbell Scientific Inc (2014) - *CR 1000 Training manual* <http://www.campbellsci.eu/cr1000>
- [105] ROTRONIC (2014) - *HC2-S3* <http://www.rotronic.it/it-it/humidity-measurement-feuchtemessung-temperaturmessung/humidity-measurement-feuchte-messung/meteorology-meteorologie/hygromet-meteorological-probe/hc2-s3.html>
- [106] Vaisala (2014) - *GMM220 CO<sub>2</sub> Transmitter Modules* <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/GMM220%20User%20Guide%20in%20English.pdf>
- [107] Gill Instruments (2014) - *WindSonic User Manual* <http://gillinstruments.com/products/anemometer/windsonic.htm>
- [108] Vaisala (2014) - *Vaisala Barocap® PTB110 User's Guide*

<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/PTB110%20User%20Guide%20in%20English.pdf>

[109] Li-COR (2013) - *Li-COR Terrestrial Radiation Sensors- INstruction Manual*  
<https://www.licor.com>

[110] EML (2012) *ARG100 - Tipping Bucket Raingauge – User manual*  
<http://www.emltd.net/products/precipitation/arg100-rain-gauge>

---

<sup>1</sup> Si dice che una grotta è attiva o viva quando le concrezioni sono ancora in crescita, cioè ci sono ancora acque sotterranee in movimento; si dice che una grotta è inattiva o fossile quando le concrezioni non sono più in crescita, cioè non ci sono più acque sotterranee in movimento [11].

<sup>2</sup> Con una grande, e ingiustificata, semplificazione si tende a ricondurre la Capacità Ricettiva di una grotta alla sola CO<sub>2</sub> emessa dalle persone che la frequentano, tralasciando i molti altri fattori che la determinano. Come esempio citiamo la temperatura: ogni persona, se non impegnata in attività fisiche rilevanti, emette 100 ÷ 150 W di potenza termica che va a sommarsi a quella prodotta dall'impianto di illuminazione il quale, inoltre, favorisce la proliferazione della *lampenflora* [3 art. 5], con un non trascurabile inquinamento biologico della grotta.

<sup>3</sup> La resilienza di un sistema ecologico è la capacità di ritornare al suo stato iniziale dopo essere stato sottoposto a una perturbazione che ha modificato quello stato.

<sup>4</sup> Per la Grotta Verde i dati sono per riferiti al sito di misura più in basso (punto 4 in figura 1) poiché solo da questo punto in poi la grotta può essere considerata ancora attiva.

<sup>5</sup> Il range di valori si riferisce agli ambienti naturali costieri, in zone portuali o industriali si possono avere valori anche molto più elevati. Nel 1950 il valore del tasso di CO<sub>2</sub>, attestato in bibliografia, era di 0,03 % [25].

<sup>6</sup> In Italia c'è solo una proposta di legge, n. 36688, ferma alla Camera dei Deputati dal 2010 [3]. In Francia l'ANSES (*Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*) ha elaborato uno studio degli effetti sulla salute umana della concentrazione di CO<sub>2</sub> in ambienti chiusi. Questo studio propone, come in molti altri Paesi, di limitare il tasso di CO<sub>2</sub> a 1000 ÷ 1500 ppm poiché già a questi livelli si riducono le prestazioni psicomotorie e decisionali (il cosiddetto *problem solving*) [27]. Purtroppo lo studio si riferisce esplicitamente agli ambienti di lavoro e non cita le grotte, intese come ambiente di svago e quindi di breve o medio-breve periodo di intrattenimento. Se ciò è vero per i turisti non lo è per le guide e quindi un limite andrebbe posto anche in questi casi. Normative specifiche per le grotte, anche se non molto vincolanti, si hanno negli Stati Uniti. In [23] è riportata una rassegna sui tassi di CO<sub>2</sub> ammessi in varie nazioni.

<sup>7</sup> Concentrazioni di 5 %, 10 %, 15 % rappresentano tre soglie importanti per la salute umana [6 da 21]:

- 5 %, il ritmo respiratorio raddoppia rispetto alle condizioni normali, si possono manifestare deboli effetti narcotici e mal di testa. Questo è un limite tollerato dalla maggioranza delle persone;
- 10 %, la respirazione diventa difficoltosa e in 10 ÷ 15 minuti si può avere perdita di conoscenza;
- 15 %, in pochi secondi si ha perdita conoscenza con conseguente morte se non viene erogato immediatamente ossigeno.

<sup>8</sup> Accumulatore al piombo di tipo sigillato da 12 V 18 Ah che alimenta i sensori con una autonomia di funzionamento molto superiore a 30 giorni.

<sup>9</sup> Per questa applicazione, per consentire un adeguato tempo di riscaldamento del sensore di CO<sub>2</sub> (circa 15 minuti), che viene spento dopo ogni lettura, si è stabilito di acquisire e memorizzare i dati ogni 15 minuti.

<sup>10</sup> Ciò significa che l'aria di (1) passa da (3) e raggiunge (4).

<sup>11</sup> L'acqua ha peso molecolare 18, mentre il "peso molecolare" dell'aria (media ponderata fra 80 % di azoto e 20 % di ossigeno) è 29.

<sup>12</sup> Sul mare è comune un tasso di CO<sub>2</sub> intorno a 360 ppm.

<sup>13</sup> Un primo scavo è in prossimità dell'ingresso con ritrovamento di materiali ceramici risalenti al periodo della cultura di Ozieri [9], l'altro è nei pressi dell'Altare di Sant'Elmo dove sono stati rinvenuti resti umani di epoca medievale [9].



# HIGH POWER LEDS AS RANGE FINDER IN AN UNDERWATER ROBOTICS SWARMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

Ramiro dell'Erba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ENEA – National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development  
Robotic laboratory-Via Anguillarese, 301 - 00123 Roma, phone +3906 30486128,  
telefax +39 06 30480328, e-mail: [ramiro.dellerba@enea.it](mailto:ramiro.dellerba@enea.it)

**Abstract** – This paper is concerning the use of high power cheap led as range finder and optical modem in an underwater robotics swarm to be used for environmental measurements. The system is based on light signal exchanged between the machines and uses power led of different wavelength to calculate distances between them. It supports acoustic devices in the localization problem of the units but it works also as modem for communication. An underwater robotic swarm is able to perform tasks in a more fast and robust way with respect of a single machine. Environmental monitoring is much more efficient, owing to the parallel measurements in different locations in the same time. The unknown water conditions, affecting the light propagation, ask for special strategies to make the approach robust enough to be a reliable data source. Local measurements of absorption coefficients are used to measure distances between the machines for cooperative localization; power and flash time of the leds are stressed to vary emission conditions. The system is patent pending.

## 1 Introduction

ENEA is working in robotics since a long time [1],[2],[3]; in particular underwater robotics is a key topic of our laboratory. It is many years we have moved our studies from a single autonomous underwater vehicle (AUV) to a swarm of very low cost cooperating robots. So far laboratory of ENEA is developing an underwater robotic swarm based on cheap autonomous underwater vehicles (AUV). They are organized with swarm rules and are conceived to perform tasks of environmental monitoring.

In this paper we focused on the use of a cheap power led system as range finder for our robots. It supports acoustic devices in the localization problem of the units between them, to obtain the geometry of the swarm formation i.e. the configuration [4] by cooperative behaviour [5], [6]. Moreover it works also as modem for communication.

A swarm is able to perform tasks in a more fast and robust way with respect of a single machine. Moreover a swarm have the capability to have a most efficient perception (vision, acoustical data, and magnetic measurements) of the surrounding environment. Environmental monitoring is much more efficient, owing to the parallel measurements in different locations in the same time. but the most important point is perhaps that a swarm, owing to its capability to span from the surface to the basement, allows to ensure a quasi-real time communication and therefore to interact with the underwater system also using a remote console that can be locate also on the coast. This could limit the use of the expensive surface ships [7] to the deployment phase, taking advantage of the parallel exploration to shorten times and have many other advantages [8], [9]. Other advantages of the swarm approach is

in the speed-up coming by the parallelism and in the increase of reliability by redundancy [10], provided that the lack of one member can be easily managed by redistributing the job among the others like, in natural systems, for the bees [11]. Last, but not least, a swarm can interact with a human operator as a single object, without the problem of controlling a large number of individuals.

In underwater world a severe limitation to our communications technology is, perhaps, the main drawback: the physical medium only permits acoustical channels, since electromagnetic waves are rapidly damped [12]. The acoustical technology has limited performances; the band pass increase with the frequency but the signal is more rapidly damped, limiting useful range, [6]. A possible solution, which improves at the same time the time allocation in the acoustical protocols and allows to enlighten the acoustical channel burden, is to couple acoustic system with optical device, with the intention to collect distance measurements between the robots more precise, using sensor data fusion. Technology of dense swarms is an answer to these problems with larger acoustical bands and allowing other physical channels to be exploited.

This paper explores the opportunities offered by simple and economical optical sources to perform swarm localization. Here we present preliminaries results we have performed using commercial cheap led diodes. Here we focus our attention on the possibility to use this system as range finder; the opportunity to use it as modem it is the object of another paper.

Our system is based on mixed system. Light signal are exchanged between the machines and uses power led of different wavelength to calculate distances between them. The unknown water conditions, affecting the light propagation, ask for special strategies to make the approach robust enough to be a reliable data source. Local measurements of absorption coefficients are used to measure distances between the machines for cooperative localization; power and flash time of the leds are stressed to vary emission conditions.

The need to continuously exchange data among the nodes to get the distances and exchange data, using acoustic devices, represents a considerable burden for the network operation to calculate the swarm configuration, also using suitable algorithms [4]. It force to use frequent short messages that strongly deoptimize the exploitation of the communication channel, mainly for the long times needed to switch from a message to another one. So we decided to improve both the time allocation in the acoustical protocols and unloads the acoustical channel burden, coupling the acoustic protocol with optical device, with the intention to collect distance measurements between the robots more precise, using sensor data fusion.

Optical methods are very powerful but their performances are affected by many strongly variable parameters like salinity, turbidity, the presence of dissolved substances, which change the colour and the transparency of the water in different optical bands; the amount of solar radiation heavily affects the signal to noise ratio. Our current approach uses a mixed strategy based on the variable exploitation of the optical channel depending on the environmental conditions. In favourable conditions the transmission protocol will freely decide which channel to adopt depending on the priority, i.e. distance-to-cover and dimension of the message itself. In less favourable conditions the optical channel will be limited to the fundamental synchronization task, generating a light lamp that will optimize the message passing through the optical channel. The use of multi frequency leds tries to be independent on water conditions on distances measurements.

It must be outlined that only dense swarms can take advantage of such an approach because only in these situations, with internal distances ranging from few meters to a

maximum of 20 meters, there are the conditions suitable to use light signals for sync and measurements. Also, backup solutions based on the “all acoustical” approach, must remain available because it is always possible to meet dirty waters with no practical possibility to use light signals.

The recent experiments confirm as, in clear or medium transparency waters, a system based on power led diodes with a suitable optical can be a valid support to an acoustic traditional system.

## 2 Experimental

### 2.1 Our prototype

In Figure the prototype, (VENUS), realized in our laboratory, is showed. Its characteristics are the following: Max operative depth 100 m; Max speed 4 km/hour; Weight about 20 kg; Autonomy 3 hours; Dimensions 1.20 m length and 0.20 m diameter.



Figure 1 – Robot during lake test.



Figure 2 – Optical modem detail: omni-directional light head.

Standard sensors include a stereoscopic camera, sonar, accelerometer, compass, depth meter, hydrophones side-scan sonar.

In Figure the optical head is showed; its dimensions are about 0.2 m side length and 0.1 m height. Remember that we are dealing with a system thought as to be a component of a swarm of about 20 objects. The distances between robots are between 3 and 50 m. Therefore, the maximum distance possible between two robots is about 1000 m, as a very particular alignment case; the average value of the distances was considered about 10 m.

### 3.2 Materials

We have used two leds a ENSW10-1010-EB1 by EDISTAR (white led, 35 V, 100 W) and XLED code 21.00.50B (blue led, 27 V 50 W) together with a photodiode OSD100-E by Centronic. Their technical specifications can be easily found on the web. They are commercial products whose costs are around hundred euros each. Their characterization it

has been performed by HR4000 instrument, by Ocean Optics, that has a resolution of 0.5 nm wavelength. The software used to manage data was Mathematica by Wolfram Research.

### 3.3 Theory

Attenuation of the light by material medium, as a function of distance from the source and the wavelength, is a well known phenomenon. In a first approximation we can assume an exponential law for the decay of the signal intensity.

$$I = I_0 e^{-a(\lambda)d}$$

Where  $I$  is the measured intensity signal,  $I_0$  the starting intensity,  $a(\lambda)$  the attenuation function and  $d$  the distance. The  $a(\lambda)$  is composed by two terms, adsorption by the water and scattering by the particles. In Figure there are some example of the function vs wave length for different water conditions.

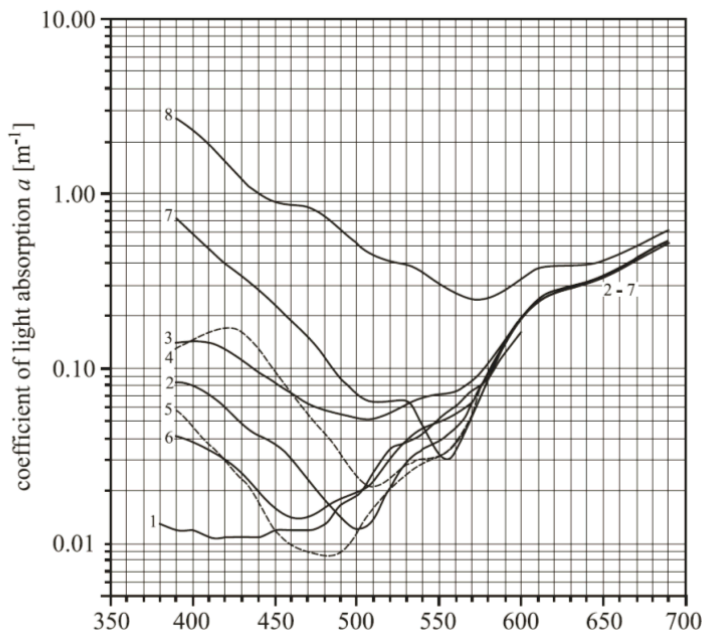


Figure 3 – Spectra of light absorption in the visible range measured in different sea waters, curves: 1. Central Pacific; a very clear, deep - sea water (data from Pelevin and Rostovtseva, 2001); 2. Pacific Ocean, northern zone of subtropical convergence, depth 85 m; 3. Pacific Ocean, North Equatorial Current, depth 200 m; 4. Pacific Ocean, South Equatorial Current, depth 10 m; 5. Pacific Ocean, Tonga Trench, depth 10 000 m; 6. Atlantic Ocean, Sargasso Sea surface water; 7. Baltic Sea, Gotland Deep surface water; 8. Baltic Sea, Gulf of Riga surface water; plots 2 to 8, data selected from Kopelevitch et al.(1974); expedition of the Soviet research vessel "Dmitrii Mendeleev" to the oceans (1971) and other cruises in the Baltic Sea (1970).

The  $a(\lambda)$ , describing how the signal is attenuated as function of the wave length  $\lambda$ , is strongly affected by the water conditions; it is known as high visible frequency are adsorbed less than lower in clear water. Owing to the great variability of the unknown  $a(\lambda)$  we planned to overcome this difficulty proceeding in two ways. First we considered that each machine is arranged to perform a measurements from the head to the tail of the Venus to get local measurement of the attenuation curve  $a(\lambda)$ , knowing the head-tail distance. Therefore we are implicitly assuming that water characteristics do not vary in the volume containing the robot swarm. Moreover we perform these measurements for three different frequencies by using three different high efficiency Leds. Actually, in this paper, only two Leds are characterized. So far we will have the function's values only for these three frequencies. The uses of more than one frequency allow us to expand the range dynamic of signals to reduce estimation errors. Red source extinguish in tens of centimeters or meters, with respect to blue Led or also solar spectrum devices (white led). Later we can stress Leds work conditions changing emission curves to enlarge our knowledge of the environmental and to reduce errors.

Unfortunately the distance,  $d$ , appears as multiplicative factor of the attenuation; this make the two physical phenomena not separable. Anyway we can roughly estimate the distance  $d$  considering the magnitude of the pieces of equation and assuming a particular functional form of the  $a(\lambda)$ . This because, stressing the Leds, we are able to measure the slope of the product  $d \cdot a(\lambda)$  as function of frequency in a short wavelength range where it can be considered linear in every water condition. So far the slope can be measured using more than one Led and sweeping the power to change emission peak.

### 3.3 Diodes characterization

The diodes are characterized measuring emission spectra as function of the input power and duration time. In figure 4 and 5 the measured emission characteristic plot of the first two diodes considered: a white cold LED (Fig.4) and 50 W blue LED, produced for pool lightening (Fig.5). The curves are taken at standard work condition (35 volts 100 watt power absorption for the white led and 27 volts 50 watt for the blue) as indicate by the producer, are shown; they have been normalized by subtracting the background. It is known as the white led is composed by a blue source peak and a wide fluorescence peak. Calculation of the emission curve in watt it has been performed using the scotopic correction curve to take in

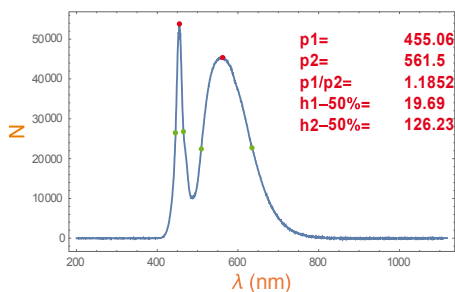


Figure 4 – White Led emission curve.

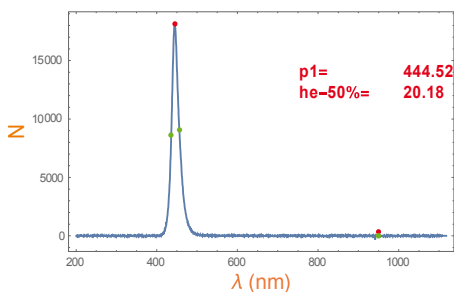


Figure 5 – Blue Led emission curve.

account the human eye sensitivity. This allows converting the emission power from lumen to watt. The results tell us that the power emission in watt, over the sensitivity range of human eye, of the white Led is about 15 watt, according to the literature data on the led efficiency [13]. The physical parameters chosen for characterization are peak height and peak wide (at 50 % of the maximum value).

Later we have stressed the diodes in different power working conditions and different duration time emission. The aim is to change emission of the Leds working in different conditions to enhance the measurements precision, by measurements at different frequencies without use a multifrequency diode. Therefore we have changed tension and used very short lamp (microseconds) to see how the emission was changed. So far power tension is sent to the Led in form of square wave; the responsivity of the device is enough high to use the Led as optical modem. In figure 6 and 7 the dependency of the emission peak on power tension can be outlined; the behaviour is quite similar for the two Leds but it is more marked for the white Led. We can note as the emitted wavelength shift toward higher frequency with increasing the tension. The second peak, present only for the white led, shows no dependency on the tension, probably because it is due to the fluorescence of the cover.

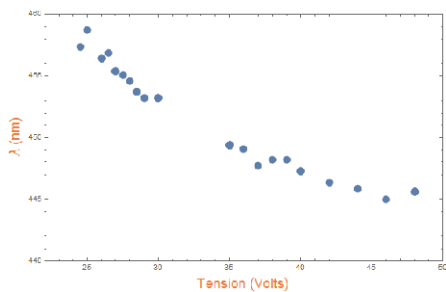


Figure 6 – White Led peak value Vs tension.

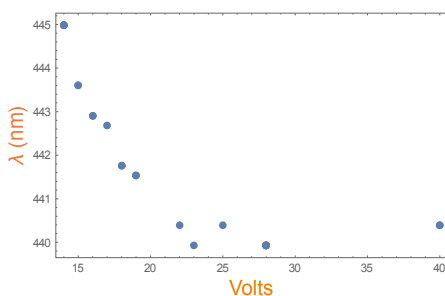


Figure 7 – Blue Led peak value Vs tension.

A dependency on tension was found, in both the diode, relatively to the half-height of the peak (see h1 in figure 1), as shown in figure 8 and 9, much less marked for the blue led.

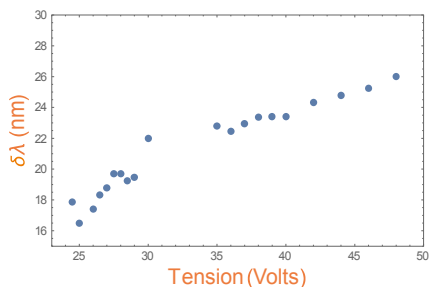


Figure 8 – First peak enlargement white Led vs tension.

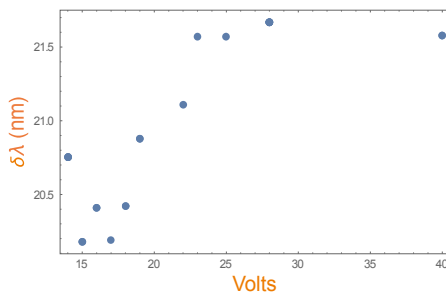


Figure 9 – Peak enlargement blue Led vs tension.

Also in this case no dependency for the second peak of the white led was found. We have to remember that second peak of the white led is a fluorescence peak and we should be using more measurements to characterize it, because the data are quite spread. Also the ratio between principal and secondary peak, of the white Led, seems to show no dependency by the tension.

Regarding the dependencies on the flash duration we can outline as the measurements are not enough to see a clear tendency. Very preliminary results seem to show as the first peak length wave increase with increasing flash time (up to reach the regime work), while it's flaring is decreasing. Our results are shown in figure 10 and 11. More measurements, changing also the tension (we are working with standard tension now) need for any conclusion. Take in account that for very short flash time the led has no time to reach regime work conditions and this is the reason of emission variation. Variation on second peak, of the white Led, and on their enlargement need more measurements to discuss.

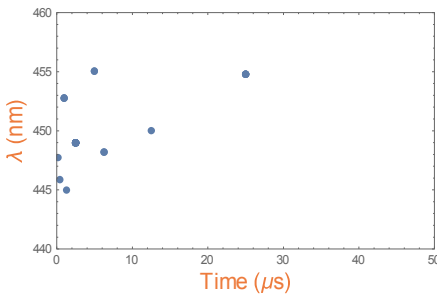


Figure 10 – White Led peak value Vs time duration lamp.

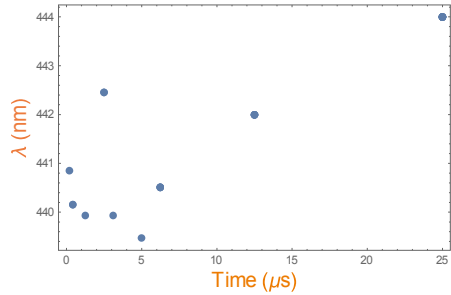


Figure 11 – Blue Led peak value Vs time duration lamp.

### 3.4 Consideration about measurements errors

The advantage using more than one frequency can be understood by the wider dynamic available as function the distance at which the signal was collected. Moreover we can observe that, fixed wavelength,  $\lambda_1$ , we have:

$$d = \frac{1}{a_1} (\log I_0 - \log I)$$

Where  $a_1$  is the absorption coefficient at the  $\lambda_1$ . Consequently the square of error on the measured  $d$  is

$$\Delta d^2 = \left( \frac{\partial d}{\partial a_1} \Delta a_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial d}{\partial I} \Delta I \right)^2 + \left( \frac{\partial d}{\partial I_0} \Delta I_0 \right)^2$$

Therefore, owing the presence of  $a_1$  at the denominator we observe that error is increase, decreasing  $a_1$  value, that's mean, typically, at high frequency, looking at the behaviour of  $a_1$ . This is one of the reasons to use more than one wavelength. It is important to stress that the ratio among the signals,  $I_1/I_2$ , given by sources with different wavelength values remains more stable than the current given by a single source when the integral absorption is modified for a significant factor. Depending on the principal absorption mechanism and on the degradation of the water transparency the choice of the frequencies that can give the maximum sensitivity can change. Working on the ratio  $I_i/I_j$  of the different frequencies we can enhance precision of our measurements. We are currently selecting sources and classifying standard water qualities, to determine the most suitable functional (i.e. the mentioned intensity ratio) and the approach led as to the maximum sensitivity of the system. By this way we can be much less sensitive from the variation of the function  $a(\lambda)$  and to get an indication of the water pollution degree by comparing the values of the single wavelengths with their ratio.

### 3 Conclusion

The paper is relative to communication and localization problem of an underwater swarm robot developed for environmental measurements. The system presented use a set of commercial cheap led diodes that could be a valid support to an acoustic device to measure distances and speeds for an underwater robotics swarm; moreover it function also as optical modem, object of another paper. Different Leds, managed by different power and different signal length can be used to overcome the unknown transparency water conditions. A local test of the attenuation light curve can be performed in situ by the single machine on a known distance head-tail of the robot. The use of more than one led allow us to reduce experimental errors and increasing the sensitivity of the signal to the measured distance, by enlarging the responsivity dynamic.

These measurements can be used to build the swarm configuration and the relative velocities between the swarm elements, essential condition for environmental monitoring.

So far this preliminary results has shown as the emission characteristic of commercial LED can be varied in a simple way and can be used for distances measurements both performing local estimation of the attenuation coefficients.

Preliminary results show as a single Led can be stressed to vary its emission characteristics changing power tension and its duration. We have stressed Led working conditions with the aim to treat one single Led as quite multicolour; work is still in progress. The use of two or three leds of different color enhance dynamic of the measurements, increasing the precision of the results playing with the ratio of the intensities instead of the intensities themselves.

Calculations of the distances in a simulated way show that the error on estimated distance can be significantly reduced.

Many questions are still open like a better management of the Led emission to render a single light source multi-source in a controlled way and experimental results are in progress and the choose of the functional form of attenuation coefficient in our frequencies working range.

Moreover we are using a new diode whose emission is in the red area to cover another area of the spectrum.



The work is in progress in our laboratory with experimental campaign into the Bracciano Lake, close to our laboratories.

#### 4 References

- [1] R. Dell’Erba, «The Localization problem for an underwater swarm», *Tech. Rep. ENEA*, 2012.
- [2] C. Moriconi e R. dell’Erba, «The Localization Problem for Harness: A Multipurpose Robotic Swarm», in *SENSORCOMM 2012, The Sixth International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2012, pagg. 327–333.
- [3] R. dell’Erba e C. Moriconi, «Harness: A robotic swarm for environmental surveillance», in *6th IARP Workshop on Risky Interventions and Environmental Surveillance (RISE)*, Warsaw, Poland, 2012.
- [4] R. Dell’Erba e C. Moriconi, «Bio-inspired Robotics — it». [In linea]. Available at: <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/edizioni-enea/2014/bio-inspired-robotics-proceedings>. [Consultato: 15-dic-2014].
- [5] A. Bahr e J. Leonard, «Cooperative localization for autonomous underwater vehicles», in *Experimental Robotics*, pagg. 387–395.
- [6] M. Dunbabin, I. Vasilescu, P. Corke, e D. Rus, «Experiments with Cooperative Networked Control of Underwater Robots», in *Experimental Robotics*, 2008, pagg. 463–470.
- [7] V. Kopman, N. Cavaliere, e M. Porfiri, «MASUV-1: A miniature underwater vehicle with multidirectional thrust vectoring for safe animal interactions», *IEEEASME Trans. Mechatron.*, vol. 17, n. 3, pagg. 563–571, 2012.
- [8] B. Anderson e J. Crowell, «Workhorse AUV—a cost-sensible new autonomous underwater vehicle for surveys/soundings, search & rescue, and research», *Proc. MTSIEEE OCEANS 2005*, pagg. 1228–1233, 2005.
- [9] V. P. Shah, «Design considerations for engineering Autonomous Underwater Vehicles (2007). Design considerations for engineering AUVs».
- [10] C. Xian-yi, L. Shu-qin, e X. De-shen, «Study of self-organization model of multiple mobile robot», *Arxiv Prepr. Cs0601062*, vol. International Journal of Advanced Robotic Systems, Volume 2, Number 3 (2005), ISSN 1729-8806, 2006.
- [11] D. Karaboga, «An idea based on honey bee swarm for numerical optimization», Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department, 2005.
- [12] Mark Rhodes, «Electromagnetic Propagation through the Water Column», 2004.
- [13] Y. Kraftmakher, «Experiments with light-emitting diodes», *Am. J. Phys.*, vol. 79, n. 8, pagg. 825–830, 2011.

# ECO-FRIENDLY DESIGN OF A SMALL SCALE PRESSURE RETARDED OSMOSIS POWER PLANT CLOSE TO THE SIMETO RIVER MOUTH

Valeria Pennisi<sup>1</sup>, Laura Maria Stancanelli<sup>2</sup>, Rosaria Ester Musumeci<sup>3</sup>, Enrico Foti<sup>4</sup>

Dipartimento Ingegneria Civile ed Architettura, Università degli studi di Catania

Viale Andrea Doria 6, 95131 Catania, Tel. 095 7382729, Fax 095 7382748

[pennisivaleria@gmail.com](mailto:pennisivaleria@gmail.com); [lmstanca@dica.unict.it](mailto:lmstanca@dica.unict.it); [rmusume@dica.unict.it](mailto:rmusume@dica.unict.it); [efoti@dica.unict.it](mailto:efoti@dica.unict.it).

**Abstract** – The osmotic pressure, obtained from the difference of salinity between fresh water of rivers and salt water from the sea, is one of the most promising technologies in the context of marine renewable energy.

The present work investigates a small-scale Pressure Retarded Osmosis (PRO) plant to be located along the eastern coast of Sicily (Italy), near the mouth of the Simeto River. After estimating PRO plant potential power production, in terms both of the availability of water resources and of local salinity gradients, in order to guarantee a low environmental impact and according to the principles of the “Green Economy”, we paid attention to the materials adopted for the structure components and, looking at the educational function of the plant, we ideated the building interior design.

Concerning possible environmental impacts, the discharge dynamics in the nearshore region is investigated by means of hydrodynamic modelling, taking into account wave and current interactions close to the river mouth.

**Riassunto** – Una delle tecnologie più promettenti nell'ambito delle fonti di energia rinnovabile è quella che utilizza la pressione osmotica, ottenuta dalla differenza di salinità tra l'acqua dolce di fiume e acqua salata di mare.

Il presente lavoro analizza la fattibilità di un impianto Pressure Retarded Osmosis (PRO) di piccola scala collocato lungo la costa della Sicilia orientale (Italia), vicino la foce del fiume Simeto. La stima del potenziale di produzione di energia dell'impianto PRO è stata fatta valutando sia la disponibilità di risorse idriche che il gradiente di salinità locale. Sono stati poi scelti i materiali adottati per la struttura, al fine di garantire un basso impatto ambientale e tenendo in considerazione i principi della “Green Economy”, e progettati gli spazi interni, pensando alla funzione educativa che l'impianto potrebbe assumere.

La dinamica della propagazione dei deflussi in uscita dall'impianto nella regione nearshore è stata studiata attraverso la modellazione numerica, tenendo conto della interazione tra onde e correnti osservata in prossimità della foce del fiume.

## Introduction

Sustainable energy development has been subject to increasing attention during the past decade as a response to global energy challenges and socio-economic and political changes [14]. In order to give people a comfortable standard of living, many scholars are

employed to fine new renewable resources that emitting fewer noxious chemicals.

The renewable energy on which is focused the society attention are solar, wind, biofuel, geothermal and hydro-power, but since 1954 Osmotic power, introduced by Pattle, is an attractive option. In fact the osmotic energy released from the mixing of fresh with salt water is a significant amount and osmotic power or salinity gradient energy as a renewable source of energy has attracted a lot of attention recently [1].

The global energy production potential of PRO (pressure-retarded osmosis) could reach up to 2 000 TW h per year against 10 000 TW h per years that are the estimated global energy production from all renewable source [2]. According to Altaee et al. (2014), osmotic energy is a promising renewable energy source.

Pressure Retarded Osmosis is a technique which enables the generation of electricity from the difference of molar free energy. The idea behind PRO is based on the fact that the water flows naturally from a low salinity solution (feed water) across a semi-permeable membrane to a more concentrated pressurized draw solution, driven by the osmotic pressure difference across the membrane. In fact, putting two solutions, with different salinity, in a compartment separated by a suitable membrane an osmotic flow can be observed. In this way, a pressurization of the volume in the concentrated salt solution compartment causes an increased hydraulic pressure difference over the membrane. By discharging the brackish effluent through hydro-turbine electricity power can be generated.

Figure 1 shows a schematically system operation.

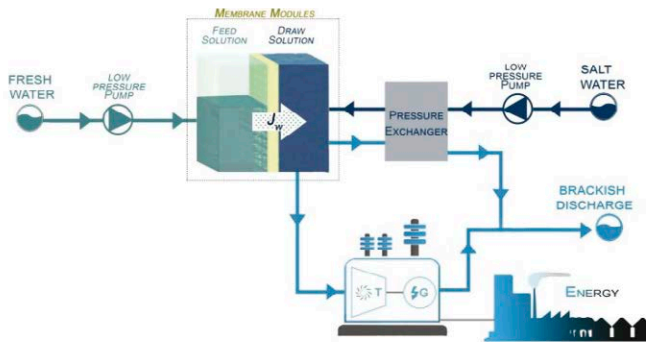


Figure 1 – Sketch of PRO.

The water flux across the membrane in PRO process is usually described by the following equation:

$$J_w = A(\Delta\pi_{osm} - \Delta P) \quad (1)$$

where  $J_w$  is the water flux per unit of membrane area in  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ,  $A$  is the water permeability coefficient of the membrane in  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{kPa}^{-1}\text{m}^{-2}$ ,  $\Delta\pi_{osm}$  and  $\Delta P$  are the theoretical osmotic pressure differential and the hydraulic pressure applied, both measured in  $\text{kPa}$ . The pressure difference ( $\Delta\pi_{osm} - \Delta P$ ) represents the effective pressure difference at the membrane of the PRO system.

The power density  $W$ , in  $W/m^2$ , which can be generated per unit membrane area, is the product of the water flux  $J_w$  and of the hydraulic pressure differential across the membrane  $\Delta P$  in kPa:

$$W = J_w \Delta P = A(\Delta\pi_{osm} - \Delta P)\Delta P \quad (2)$$

Moreover in PRO processes, since  $\Delta P < \Delta\pi_{osm}$ , it was demonstrated that the maximum power density is obtained when  $\Delta P = \Delta\pi_{osm}/2$  [8][10][20]. This equation gives the theoretical specific power density of a PRO system. However, membranes are susceptible to phenomena which reduce the effective osmotic pressure difference. For a detailed analysis see [13][3][20].

Besides the osmotic flux related to the characteristics of the semipermeable membrane, the evaluation of the performance of the whole system must take into account the efficiency of the hydraulic and the used electric machines. The gross power  $W_{gross}$  generated by the PRO plant is defined as [12]:

$$W_{gross} = \Delta P_{eff} Q_{permeate} \eta_{turbine} \eta_{generator} \quad (3)$$

where  $\Delta P_{eff}$  is the effective osmotic difference at the end of the process,  $Q_{permeate}$  is the permeate discharge flowing through the membrane,  $\eta_{turbine}$  and  $\eta_{generator}$  are respectively the turbine and the generator efficiencies.

Finally, other important design parameters are the ratio between fresh water and salt water discharge, which should be  $Q_d=Q_f=2$  [15][18] and between permeate and fresh water discharge  $Q_p=Q_f=0,8$  [18].

The aim of this study is to design a PRO plant and the building that will host it, according to the principles of the "Green Economy". Two aspects of the project are discussed: the PRO plant energy production and the environmental impact of the structure.

From the power production viewpoint, PRO design method is applied in order to estimate potential power production in terms both of the availability of water resources and of local salinity gradients. Moreover, the discharge dynamics in the nearshore region is investigated by means of hydrodynamic modelling, taking into account wave and current interactions close to the river mouth. The results of numerical simulations have been analysed in order to determine the influence area of the brackish discharge of the plant, to quantify the effect of deviating fresh and salt water from river and offshore regions and the effect of discharging the resulting brackish water near the river mouth. Indeed as a consequence of a different salinity distribution in the nearshore zone, potential ecological impact may arise.

Regarding the plant structural design, in order to guarantee a low environmental impact we paid attention to the choice of the materials adopted for the structure and to the building design, ideated also considering the educational function of the plant (i.e. educational laboratories and exposition area). The study should demonstrate that, despite the specific location close to Simeto mouth, the eco-friendly realization of a PRO plant is feasible.

## Site study

The majority of PRO researches are focused on mixing of seawater and river water [19]. The most relevant basin of Sicily is the Simeto's basin, with its 4200 km<sup>2</sup> catchment area.

In the 1984 the Simeto mouth area, with an extension of 2 000 ha, was established as natural reserve.

To determine the suitable site to build the PRO plant different types of analysis have been carried out:

- Hydraulic and hydrologic analysis, to evaluate the expected persistence of the river water discharge during an average year (Figure 2);
- Salinity concentration analysis along the river, to determine an optimal location for the river water intake;
- Road traffic and power lines system analysis, to secure a strategic position for use of energy (Figure 3);
- Environmental protection system analysis, to prevent damaging and not to alter the ecosystem of the Simeto Oasis protected area (Figure 4);
- Hydraulic risks analysis, to consider the delimitation of flood areas (Figure 5).

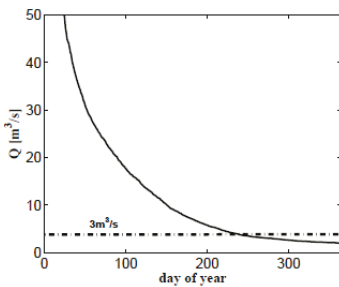


Figure 2 – Water discharge available at the Giarretta Station over an average year, determined through a statistical analysis of a data-set which covers more than 36 years (from 1931 to 1967).



Figure 3 – Road traffic and power lines system analysis.

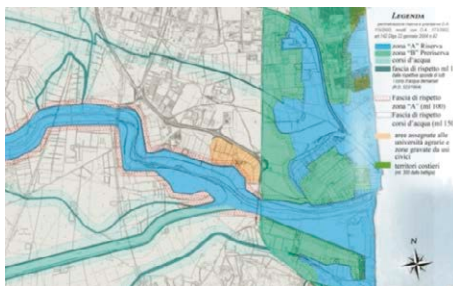


Figure 4 – Environmental protection system analysis.

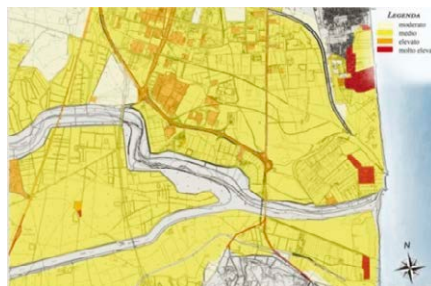


Figure 5 – Hydraulic risks analysis.

Thanks to the first analysis, by using data coming Giarretta hydrometric station, it turns out that the water discharge available for more than 240 days per year is about  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Thanks to all these analyses, the position chosen for the PRO plant is 6.5 km upstream of the estuary, nearby a node of the electric network and the extended industrial area of Catania and in such a way as to ensure a gravity driven river water supply to the plant. Indeed the elevation difference between the fresh water intake and the plant is about 5 m, which allow overcoming all possible energy losses. The salt water intake is located at an offshore area close to the river mouth, at a water depth of about 5 m, so the draw solution supply must be provided. The plant is located at 10 m above sea level. The suitable location for the plant installation is shown in Figure 6.

Concerning the wave forcing along the coast, data about the yearly average wave climate are considered, to characterize the investigated area. The analysis reveals that the wave climate is mainly characterized by waves coming from the East ( $40^\circ$ ,  $90^\circ$  and  $135^\circ$ ), in terms of frequency and significant wave height, with the most frequent wave heights in the range  $0.5 \div 3 \text{ m}$ .

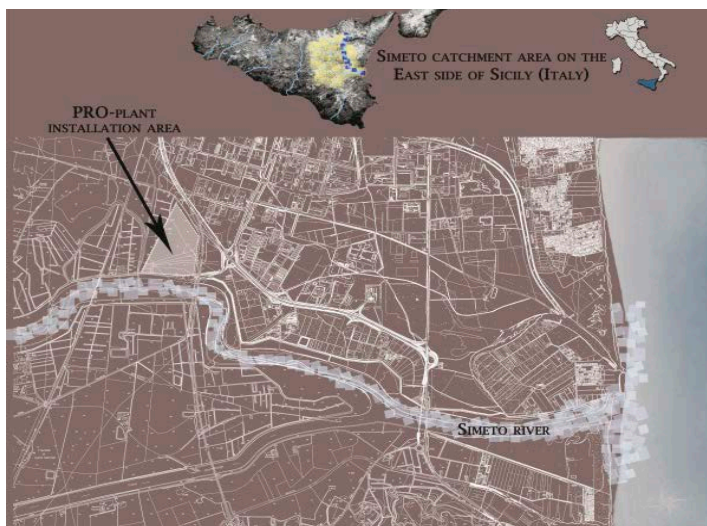


Figure 6 – Simeto catchment area and location of PRO plant installation area.

## PRO plant design

The design of PRO plant depends on three parameters: osmotic pressure difference, fresh water intake availability and characteristics of the PRO plant membrane.

The first two parameters are related to the choice of the plant installation area.

In the case being, the osmotic pressure difference is calculated using eq. 1, which gives  $\Delta\pi_{\text{osm}} = 2900 \text{ kPa}$ , considering that the salinity concentration of fresh water (Simeto River) is about  $0.1 \text{ g l}^{-1}$ , while the salinity concentration of salt water (Ionian Sea) is about  $35 \text{ g l}^{-1}$ .

The maximum power density  $W$  is obtained when the hydraulic pressure  $\Delta P$  is equal to half of the osmotic pressure  $\Delta\pi_{osm}$  [8], but a significant deviation may occur when the osmotic pressure increases and the ratio of the feed and draw flow varies [5]. To extract the maximum power density condition a volumetric ratio 0.5 for the feed and draw solution has been selected [7]. Considering that the Simeto River guarantee a water discharge of  $3 \text{ m}^2/\text{s}$ , a sea water intake of  $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  is required.

The weak point of PRO technology is the efficiency of the membranes. Indeed, no hollow fiber semi-permeable membranes have yet been developed and optimized to meet the requirement of PRO applications and we can say that they are still in their “infancy”. To choose the suitable membrane, the performances of a flat sheet cellulose triacetate (CTA) Forward Osmosis (FO) membrane and hollow fibre (HF) spiral wound membrane have been compared. The processes, which reduce the effective osmotic pressure difference across the membrane, are salt reverse diffusion and even more severe phenomena such as the concentration polarization (accounting both for external and internal polarization). The effects of the above process can be evaluated if the membrane coefficients, i.e. the water permeability coefficient  $A$ , the salt permeability coefficient  $B$ , the external concentration polarization mass transfer coefficient  $k$ , and the internal concentration polarization mass transfer coefficient  $K$ , are known. The values of such parameters are based on the work of Achilli et al. (2009), in the case of flat sheet cellulose triacetate FO membrane, and on the work of Han et al. (2014) in the case of spiral wound membranes. For each membrane type, the value of power density obtained both in the ideal case, in which salt reverse diffusion and concentration polarization are not taken into account, and in the complete case, in which the effects of such processes are considered, are reported. As expected, a much higher maximum power density ( $8.5 \text{ W m}^{-2}$ ) is obtained in the case of the hollow fiber spiral wound membrane with respect to flat sheet cellulose triacetate membrane ( $3.5 \text{ W m}^{-2}$ ). Considering the complete case, the effective osmotic difference at the membrane  $\Delta\pi_{osmeff}$ , and consequently the hydraulic pressure difference  $\Delta P$  applied at the draw solution, is slightly higher for CTA membrane ( $\Delta\pi_{osmeff}=2690 \text{ kPa}$  and  $\Delta P_{eff}=1350 \text{ kPa/m}^3$ ) when compared with the HF membrane ( $\Delta\pi_{osmeff}=2680 \text{ kPa}$  and  $\Delta P_{eff}=1340 \text{ kPa/m}^3$ ).

If the turbine and generator efficiencies are to be taken equal to 0.85 ( $\eta_t$  e  $\eta_g$ ) and the permeate discharge is to be taken equal to  $2.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $Q_p$ ), the power plant capacity is estimated about 2.7 MW for both of the selected membrane, but the areas of membrane needed are different. Indeed, for the HF membrane is required an area of about  $380\,000 \text{ m}^2$ , while for the CTA membrane is about  $915\,000 \text{ m}^2$ . Considering a membrane packing density of  $775 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ , with stack height equal to 3 m and stack length of 10 m, 12 membrane stacks are needed for the HF plant while 30 membrane stacks are needed for CTA plant.

In order to optimize the provided power density, energy losses due to the spatial variations along the membrane have to be taken into account [7]. Such energy losses throughout the system represent loads that must be provided by the pump. Considering the gross power and the losses due to the pumps, the determination of the net power of the plant is important [12]. In this case a pumping system is required only for the draw solution from the sea. The pumping system has been designed considering a pipe diameter of 2 m and an efficiency of 0.75. The power required is equal to about 1.6 MW. Therefore, net power of the considered PRO plant would be about 1.1 MW. It follows that power reduction of the 40 % of the gross power capacity  $P_{gross}$  is due to the energy required by the pumping system.



## Building design and its environmental impact

The building hosting the PRO plant is designed, according to the principles of the “Green Economy” and in a way to guarantee a low environmental impacts.

The building shape is ideated, proposing a low visual environmental impact configuration. In particular a “dug and built structure” presenting a green roof architecture and a wooden construction is designed. Figure 7 shows two different views of the 3D model of the PRO plant building.

The “dug and built structure” presents an extension of 2 meters in the underground direction and an extension of 4 meters above the terrain level. The dimension of the underground structure allows the installation of ribbon windows, ensuring a good window-to-floor area ratio.

The interior design of the structure is divided in two floors, which are ideated in order to contain not only the technical plant components (located in the lower level) but also to allow educational activities. Therefore the structure contains also: visitor center with an exposition area, pedestrian visitor paths and experimental laboratory. The visitor entrance is located on the upper floor, directly from the sloping roof. A walking way along the perimeter of the building is designed, working as terraces from which it is possible to see the different components of the plant. The walking way is designed aiming at educational goals. Visitors are allowed to go downstairs, in a underground room, where an expositive area is organized and where eventually multimedia exposition about the PRO plant functioning could be realized.



Figure 7 – View of the building 3D.



Regarding the green roof, it offers the opportunity to enjoy a nice panoramic view seeing: the Etna volcano on the north direction, the Simeto river on the south direction and the Ionian sea on the east direction. The roof of the structure is a sloping plan, with a gradient of 6% - 8%, which provides a natural habitat. It is a widely accepted form of green infrastructure deployed around the world to contribute to building efficiency and climate change mitigation and adaptation through improved thermoregulation and water capture [11]. Indeed, the green roof substrates provide insulation and the vegetation contributes to cooling via shading, reflection of solar radiation and evapotranspiration of water. These cooling effects improve building energy balance and the resulting artificial warming of surrounding air temperature. The application of green roofs is widespread and significant benefits to building owners and users by improving thermal efficiency, energy savings and mitigation of the urban heat island. Moreover, this kind of covering mitigates the effects of pollution acting as a filter, improves the building insulation (heating - cooling) increasing the building energy efficiency, reduces noises resulting in a more comfortable environment.

The main material used for the building design is cross-laminated (X-lam). The X-Lam system is based on the use of panels made of layers of timber boards with the adjacent layers glued under pressure at a right angle [17]. The main advantage of the system is the speed of construction since all the panels are prefabricated off-site, cut to size, delivered to the building site and then easily connected using metal connectors. Moreover, they are large structural elements, ranging usually between 2.40 and 2.95 m wide and up to 16.50 m long [6], able to cover large span.

From the architectural point of view the use of X-lam material means to design adopting a sustainable building material, with energy saving properties that will represent an active contribution to climate protection. X-LAM construction meets the requirements of environmental and passive energy standards, thanks to its high energy efficiency, low greenhouse emissions and small environmental impact. Moreover, a reduced wall construction thickness enables more space within the structure and it easily integrates with other materials. The panels can be visible directly from the interior, providing a natural finishing or clad with other materials and they require little or no maintenance.

Regarding the structural benefits, X-lam has a high axial load capacity and high shear strength from horizontal loading. Moreover, it offers significant advantages to fire protection, improves air tightness and provides excellent acoustic performance.

## **Environmental impact of discharge dynamics**

The dynamics of the brackish discharge has been numerically investigated based both on the plant effluent characteristics and on the river discharge and wave climate.

The hydrodynamic model used are CMS-Wave and CMS-flow, designed for simulating currents, waves, sediment transport and morphology change in coastal areas. The CMS-Wave model was used in order to simulate the wave propagation from offshore to the nearshore zone, by including wave shoaling, refraction-diffraction and breaking processes. The output of the wave model (i.e. wave heights, peak wave periods, wave direction, etc.) is used as the input of the CMS-flow simulation of the nearshore hydrodynamics. The results of hydrodynamic model provide information about the

dynamics of the PRO plant brackish effluent in terms of plume extension, current velocity and direction as a function of the specific wave climate conditions.

By taking into account different simulated scenarios, it appears that the difference in terms of salinity caused by effluent discharge is low if compared to the seasonal salinity variability of the selected site. Indeed, the maximum estimated fluctuation determined by the presence of the plant effluent discharge in terms of dilution is 40 % of the average annual ambient seawater salinity concentration, while the seasonal variability in the same coastal area is about 100 %.

Moreover, the results demonstrate that the plume extension in the offshore direction is of the order of about 300 m and it is relevant for the optimal position of draw solution intake, in order to avoid problems of salinity recirculation. Thus, the sea intake should be suitably located outside of the surf zone, more or less 150-200 m far from the shoreline.

## Conclusions

The feasibility of a small-scale PRO plant located close to a river mouth along the coast has been evaluated in terms of possible energy production and environmental impact, from the building design and the hydrodynamics of effluent discharge point of view.

Considering a fresh water intake of  $3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  coming from the Simeto River, which is guaranteed at least 230 days per year, and a salt water intake coming from the Ionian Sea, the results on the analyzed case highlight the potential of the PRO technology. In particular, the power plant is estimated about 2.7 MW. Taking in account the required power for pumping system, the net power is about 1.1 MW. After the analysis of the river mouth area, the location of the optimal position of the plant is determined.

The building plant was designed according to the Green Economy and in order to guarantee a low environmental impact. The main structure material is X-LAM, which meets the requirements of environmental and passive energy standards. Moreover, to mitigate the visual impact, the construction is a “dug and built structure” with a sloping vegetated roof. The building is designed also for hosting educational activities.

Concerning the impact of the discharge, thanks to the hydrodynamic analysis it is possible to demonstrate that the small discharge of the brackish effluent is not capable of dramatically changing the salinity distribution along the coast, which is primarily dominated by the presence of the Simeto River. Indeed, the seasonal variability of the salinity concentration in the same coastal area is about 100 % of the offshore seawater salt concentration, while the maximum fluctuation of dilution of salinity concentration due to the PRO plant effluent is about 40 %. Since the salinity dilution due to the PRO plant presence is lower than that due to the Simeto seasonal variability, it is reasonable to assume that many marine organism should be naturally adapted to such changes.

In conclusion, the net power achievable by the present plant is comparable with all other source of renewable energy. The advantages of the PRO plant technology are related to the continuity in time of the plant operation and also to the production of energy in coastal areas, where the energy demand is higher.

## References

- [1] Abbasi-Garravand, E., Mulligan, C. N., Laflamme, C. B., & Clairet, G. (2016). *Role of two different pretreatment methods in osmotic power (salinity gradient energy) generation*. *Renewable Energy*, 96, 98-119. doi:10.1016/j.renene.2016.04.031
- [2] Achilli, A., Cath, T.Y., Childress, A.E., (2009). *Power generation with pressure retarded osmosis: An experimental and theoretical investigation*, *Journal of Membrane Science*, 343 (2009), 42-52. doi:10.1016/j.memsci.2009.07.006
- [3] Achilli, A., Childress, A.E. (2010). *Pressure retarded osmosis: From the vision of Sidney Loeb to the first prototype installation - Review*, *Desalination*, 261 (2010), 205-211.
- [4] Altaee, A., Zaragoza, G., Sharif, A. (2014). *Pressure retarded osmosis for power generation and seawater desalination: Performance analysis*, *Desalination*, 344 (2014), 108115.
- [5] Banchik, L.D., Sharqawy, M.H., Lienhard V, J.H. (2014). *Limits of power production due to finite membrane area in pressure retarded osmosis*, *Journal of Membrane Science*, 468 (2014), pp. 81-89
- [6] Jorge, L., Dias, A., & Costa, R. (2015). *Performance of X-lam panels in a sports center with an indoor swimming-pool*. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5(2), 129-139. doi:10.1007/s13349-014-0090-7
- [7] He, W., Wang, Y., Shaheed, M. H., (2014). *Energy and thermodynamic analysis of power generation using a natural salinity gradient based pressure retarded osmosis process*, *Desalination*, 350 (2014) 86-94.
- [8] Lee, K., Baker, R., Lonsdale, H., (1981). *Membranes for power generation by pressure retarded osmosis*, *Journal of Membrane Science*, 8 (1981) 141171.
- [9] Loeb, S., (1975). *Osmotic power plants*, *Science*, 189 (1975) 654-655.
- [10] Lin, S., Straub, A.P., Elimelech, M., (2014). *Thermodynamic limits of extractable energy by pressure retarded osmosis*, *Energy Environmental Science*, 2014, 7, 2706-2714. DOI:10.1039/c4ee01020e
- [11] MacIvor, J. S., Margolis, L., Perotto, M., & Drake, J. A. P. (2016). *Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada*. *Ecological Engineering*, 95, 36-42. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.06.050
- [12] Maisonneuve, J., Pillay, P., Laflamme, C.B. (2015). *Pressure retarded osmotic power system model considering non ideal effects*, *Renewable Energy*, 75 (2015) 416-424.
- [13] McCutcheon, J.R., and Elimelech, M., (2006). *Influence of concentrative and dilutive internal concentration polarization on flux behavior in forward osmosis*, *Journal of membrane science*, 284 (1-2) (2006), 237-247.
- [14] Mosannenzadeh, F., Bisello, A., Diamantini, C., Stellin, G., & Vettorato, D. (2017). *A case-based learning methodology to predict barriers to implementation of smart and sustainable urban energy projects*. *Cities*, 60, 28-36. doi:10.1016/j.cities.2016.07.007
- [15] Naghiloo, A., Abbaspour, M., Ivatloo, B.M., Bakhtari, K., (2015). *Modeling and design of a 25 MW osmotic power plant (PRO) on Bahmanshir River of Iran*, *Renewable Energy*, 78 (2015), 51-59
- [16] Pattle, R.E. (1954). *Production of electric power by mixing fresh and salt water in the hydroelectric pile*, *Nature*, 174 (1954), 660.

- [17] Rinaldin, G., & Fragiaco, M. (2016). *Non-linear simulation of shaking-table tests on 3- and 7-storey X-lam timber buildings*. *Engineering Structures*, 113, 133-148. doi:10.1016/j.engstruct.2016.01.055
- [18] Thorsen, T., Holt, T., (2009). *The potential for power production from salinity gradients by pressure retarded osmosis*, *Journal of Membrane Science*, Vol. 335, Issues 12, pp 103-110, ISSN 0376-7388, <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2009.03.003>.
- [19] Wan, C. F., & Chung, T. (2015). *Osmotic power generation by pressure retarded osmosis using seawater brine as the draw solution and wastewater retentate as the feed*. *Journal of Membrane Science*, 479, 148-158. doi:10.1016/j.memsci.2014.12.036
- [20] Yip, N.Y., Tiraferri, A., Phillip, W.A., Schiffman, J.D., Hoover, L.A., Kim, Y.C., Elimelech, M., (2011). *Thin-Film Composite Pressure Retarded Osmosis Membranes for Sustainable Power Generation from Salinity Gradients*, *Environ. Sci. Technol.*, 45 (10), 43604369.



## INDEX OF AUTHORS

Acampora G.	112	Eryilmaz M.	183, 193
Amitrano L.	325	Fanciulli G.	309
Baldaccini N. E.	15	Fani F.	5
Balestieri R.	93	Fasano G.	334, 350
Battistelli A.	75	Fiorini L.	285
Benedetto G.	245	Foti E.	377
Bertoli B.	112	Frate L.	27
Bertolotto R.	309	Fratini F.	139
Brugnoli E.	75	Gambineri S.	5
Brundu B.	254	Gavrichkova O.	75
Buccianti A.	5	Genovese M.	299
Buia M. C.	75	Giannini L.	5
Cabassi J.	5	Giannini R.	66
Calfapietra C.	75	Giordano D.	299
Caligiore A.	325	Giudici G. N. M.	93, 129
Candura A. R.	266	Gomez-Enri J.	203
Canessa F.	101	Gorelli S.	203
Canu A.	254	Grech D.	299
Capecchiacci F.	5	Grottoli E.	213
Carboni D.	245	Iacullo S.	325
Carranza M. L.	27	İmren Güzel B.	169
Carta A. M.	245	Jannuzzi F.	129
Ciabò S.	285	Kaya C.	183
Ciavola P.	213	Lauteri M.	75
Cirillo C.	112	Lazzara L.	5
Citterio G.	66	Lorenti M.	75
Coccon F.	15	Lucchesi F.	101
Colella S.	325	Madonia A.	325
Corbau C.	275	Manca I.	254
D'Andrea S.	325	Mannucci M.	5
Dabalà C.	15	Marcelli M.	325
de Francesco M. C.	27	Marucci A.	285
De Luca G.	299	Massa F.	309
De Vincenzi M.	334, 350	Massa L.	37, 47, 56
De Vivo C.	299	Massi L.	5
dell'Erba R.	368	Masucci P.	299
Di Natale M.	119	Materassi A.	350
Di Ronza S.	119	Melillo C.	5
Durante L.	37, 47, 56	Molinelli M.	213
Eramo C.	119	Moraca M.	299

Mori G.	5	Scamporrino M.	159
Moscatello S.	75	Scapini F.	5
Musumeci R. E.	377	Scarpa L.	112
Natale A. R.	27	Scartazza A.	75
Nuccio C.	5	Senlier N.	169
Pacci G.	325	Serri G.	80
Pagliarani A.	299	Simeone M.	299
Paoli C.	309	Simeoni U.	275
Pascucci V.	223	Spaccavento G.	325
Patrizio S.	129	Stancanelli L. M.	377
Pellizzaro G.	254	Stanisci A.	27
Pennisi V.	377	Stefani C.	325
Piermattei V.	325	Sulas N.	80
Pintus G. V.	254	Tassi F.	5
Pittaluga D.	139	Tatino F.	299
Poli E.	266	Truccolo A.	299
Porter J.P.	325	Uda M.	223
Povero P.	309	Unguendoli S.	233
Puri P.	325	Usai A.	299
Puxeddu M.	66	Vaselli O.	5
Rodella I.	275	Vassallo P.	309
Romano B.	285	Venturini S.	309
Rossano C.	5	Vigliotti M.	119
Rotonda M.	203	Vignudelli S.	203
Ruberti D.	119	Yildiz R.	169
Russo Maria	149	Yücesoy Eryilmaz F.	183, 193
Russo Marina	112	Zanuttigh B.	233
Saccone O.	299	Zullo F.	285
Sanna L.	223	Zuzolo A.	27
Sarti F.	325		





