

L'APPLICAZIONE DI TECNICHE INNOVATIVE NEL MONITORAGGIO COSTIERO DEGLI HABITAT PRIORITARI

Rossella Stocco, Laura Pirrera, Emilio Cellini

Regional Agency for Environmental Protection of Calabria, via E. Fermi – 88900 Crotona (Italy)
phone +39 0962 21526, e-mail: r.stocco@arpacal.it

Abstract – The aim of the present paper is to define the advantage to use innovative techniques based on experimental tool to supplement the traditional techniques in marine monitoring, through experience of CRSM-ARPACAL (*Centro Regionale Strategia Marina*) into two regional projects called "SIC CARLIT" and "Musmap". This projects born from the synergy of the following governments ARPACAL (CRSM), Calabria Environment Department, SNPA, ISPRA, CNR (IGAG), University of Calabria (DIBEST and DIMEG), Capo Rizzuto AMP, have been carried on with the purpose of improve the knowledge of the state of the calabrian coasts.

The target of Musmap project, called "multiscale mapping in pilot sites of the Calabria Region of *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* grasslands", was the updating of the previous cartography in six pilot sites distributed on the calabrian coasts, through the interaction of acquisition systems already consolidated with advanced methodologies. The result was the drawing up of 3D cartographic maps of great importance for the protection management and enhancement of priority habitats such as *Posidonia oceanica*.

The SIC CARLIT project, "the sites of Community marine importance in Calabria", still in progress, had two targets: to evaluate the extension and quality of the *Posidonia oceanica* meadows present in the 14 calabrian SIC and to define the ecological status of the calabrian coasts through an update of the CARLIT index.

CARLIT (cartography of littoral and upper-sublittoral benthic communities) is a cartographic methodology permitting a rapid assessment of water quality using rocky-shore macroalgae as biological quality elements. It is based on widely distributed communities that are relatively easy to identify and whose response to anthropogenic pressure is well-known.

Both projects have been also important for the identification of priority habitats, such as Submerged or partially submerged sea caves (8330), Reefs (1170) and Sandbanks which are slightly covered by sea water all the time (1110).

MUSMAP and SIC-CARLIT have shown that in the monitoring of coastal marine ecosystems the experimental techniques to supplement traditional methods can provide more accurate and data with reduced costs and times of work.

Work carried out increased the Calabria region and Ministry of the Environment and Protection of the Territory and the Sea database.

Introduzione

La direttiva "Habitat" (Direttiva 92/43/CEE) costituisce il pilastro della politica di conservazione della natura in Europa. Scopo della Direttiva è "salvaguardare la biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali, nonché della flora e della fauna selvatiche

nel territorio europeo degli Stati membri al quale si applica il trattato" (articolo 2), mentre la Marine Strategy Framework Directive (MSFD, 2008/56/EC) punta al raggiungimento del GES (*Good Environmental Status*) includendo l'habitat 1120 - Praterie di *Posidonia oceanica*. In particolare la Direttiva Habitat impone un'attenta analisi dello stato di conservazione delle specie e degli habitat tutelati dalla norma, una costante valutazione dei trend delle diverse popolazioni, e una verifica dei fattori di minaccia che ne influenzano le prospettive future. Queste valutazioni prevedono una raccolta capillare e standardizzata di dati ambientali e complesse analisi. Tra gli habitat prioritari marini che la Direttiva 92/43/CEE inquadra, ricordiamo: 1110 Banchi di sabbia a debole copertura permanente di acqua marina, 1120 Praterie di Posidonia (*Posidonium oceanicae*), 1130 Estuari, 1140 Distese fangose o sabbiose emergenti durante a bassa marea, 1150 Lagune costiere, 1160 Grandi cale e baie poco profonde, 1170 Scogliere, 1180 Strutture sottomarine causate da emissioni di gas, 8330 Grotte marine sommerse o semisommerse. Tra questi in Mediterraneo e soprattutto per le acque italiane, i più rilevanti sono gli habitat costituiti da "Praterie di posidonia", da "lagune costiere" e da "grotte sommerse o semisommerse" [7].

Lungo le coste calabresi, che si estendono per 740 km, sono stati istituiti 14 Siti di Importanza Comunitaria (SIC) fondali marini e 7 Siti SIC Costieri (Tab. 1).

La distribuzione dei SIC è pressoché continua lungo l'intera fascia costiera regionale ionica e tirrenica. Nel recente periodo ha preso piede una nuova frontiera di studio degli ecosistemi marini e di elaborazione delle correlate cartografie attraverso l'impiego di sistemi innovativi, come l'integrazione dei dati Multibeam Echosounder (MBES) e Side Scan Sonar (SSS) con immagini satellitari e foto aeree acquisite con droni (optical data-drone), che hanno costituito il *core* dei due progetti ARPACAL oggetto del presente lavoro.

Tabella 1 - SIC calabresi.

Table 1 - Calabrian SCI.

	Numero	Codice SIC	Nome SIC
SIC COSTIERI	1	IT9340091	Zona costiera fra Biatico e Nicotera
	2	IT9350158	Costa Viola e Monte S. Elia
	3	IT9350144	Calanchi di Palzzi Mazza
	4	IT9350141	Capo S. Giovanni
	5	IT9350142	Capo Spartivento
	6	IT9350143	Fiumara Amendolea
	7	IT9350160	Spiegga di Brancalone
SIC FONDALI	1	IT9310035	Fondali Isola di Dino-Capo Scala
	2	IT9310036	Fondali Isola di Cirella-Diamante
	3	IT9310033	Fondali di Capo Tirone
	4	IT9310039	Fondali Scogli di Isca
	5	IT9340092	Fondali di Pizzo Calabro
	6	IT9340094	Fondali Capo Corzo - S. Irene
	7	IT9340093	Fondali di Capo Vaticano
	8	IT9350173	Fondali di Scilla
	9	IT9350172	Fondali da Punta Pezzo a Capo dell'Armi
	10	IT9320185	Fondali di Staletta
	11	IT9320097	Fondali da Crotone a Le Castella
	12	IT9320096	Fondali di Gabella Grande
	13	IT9310048	Fondali Crosia-Pietrapola-Carati
	14	IT9310053	Secca di Amendolara

Materiali e metodi

Per entrambi i progetti, Musmap e SIC – CARLIT, al fine di ottenere dati aggiornati ed immagini ad alta risoluzione, è stato scelto un approccio sinottico in grado di soddisfare le seguenti caratteristiche: Multiscala, Multiplatforma, Multi sensore, Multilayer, Multitemporale.

Progetto MUSMAP

Quattro delle sei aree di studio ricadono nella fascia costiera tirrenica calabrese: Isola di Dino (CS), Cirella (CS), Briatico (VV), Scilla (RC) e le restanti due sul versante ionico: Isola Capo Rizzuto (KR), Calopezzati (CS). Al fine di mappare e modellizzare le principali biocenosi e rendere le evidenze geomorfologiche presenti nei siti pilota oggetto di studio, sono state incrociate immagini aeree e satellitari, effettuati rilievi mediante ecografici Single beam e MBES e SSS e rilievi video fotografici mediante strumenti ottici multi telecamera (“*underwater towed platforms*” definite anche slitte) [4]. La valutazione della distribuzione spaziale “aggiornata” delle praterie di *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa* è stata effettuata “preliminarmente” mediante processamento e fotointerpretazioni di immagini satellitari e/o di ortofoto a colori, solo in fase successiva il dato è stato valorizzato con le acquisizioni ecografiche SSS e MB, questi ultimi integrati e confrontati con quanto è già esistente in letteratura. Sono state adoperate immagini Iperspettrali MIVIS ottenute, con regolare atto di consegna, dal Centro Elaborazioni Dati (CED) del Corpo dei Carabinieri nonché immagini provenienti dal satellite World View 2 e dal satellite RapidEye (dati di provenienza archivio interno ISPRA). Si è fatto uso, inoltre, dei dati forniti dai satelliti del progetto Copernicus, un programma dell’unione Europea finalizzato a sviluppare servizi di informazione e osservazione della terra, mediante l’impiego degli stessi. Il programma è coordinato e gestito dalla Commissione europea ed è attuato in collaborazione con gli Stati membri, l’Agenzia Spaziale Europea (ESA), l’Organizzazione europea per l’esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (CEPMET), le agenzie dell’UE e Mercator Océan. Il telerilevamento consente di ottenere informazioni qualitative e quantitative di “oggetti” posti nell’atmosfera o sulla superficie terrestre senza che vi sia contatto alcuno con l’oggetto studiato, emula alcune azioni che compiamo quotidianamente, ampliando la nostra capacità di rilevare a distanza determinate proprietà degli oggetti che ci circondano e rendendo tali capacità efficaci, veloci ed al tempo stesso applicabili su larga scala. I dati utilizzati per il progetto Musmap sono stati forniti attraverso Satelliti Multi Spettrali: SPOT-5, Seo-Sat, Sentinel 2 – 3, al fine di ottenere: Immagini aeree “iperspettrali” - 102 bande (MIVIS - *Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*); Immagini satellitari “multispettrali” - 8 bande (WorldView2); Immagini satellitari “multispettrali” - 5 bande (RapidEye). Nell’ottica di poter confrontare i dati già acquisiti negli anni precedenti e i nuovi rilievi, ai dati satellitari sono stati aggiunti sia la Mappatura da Immagini Sensore ADAR+Sonar del 2003 che i dati bati-morfologici ottenuti mediante indagini con sistema LIDAR da aereo e prodotti nell’ambito del progetto MATTM - PON MAMPIRA, avviato il 24/10/2011, realizzato in collaborazione con il Comando dei Carabinieri per la Tutela dell’Ambiente, gli Enti Gestori delle Aree Marine Protette delle quattro Regioni Convergenza e le Capitanerie di Porto Competenti. Questi dati sono stati poi confrontati attraverso un sistema GIS con un processo di *Intersecting* che ha consentito di determinare le variazioni in termini di superficie per le classi presenti, e di estrarre le tabelle



Figura 1 - *Undewater towed system* dell' ISPRA.

Figure 1 - *Undewater towed system of ISPRA.*

di sintesi per ciascuno dei siti rilevati. Il progetto ha previsto inoltre l'utilizzo di altra strumentazione per la raccolta di dati da elaborare, come APR (aeromobili a pilotaggio remoto) e l'applicazione di una tecnica sperimentale di rilievo fotogrammetrico 3D per il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica*. Per le acquisizioni video fotografiche mediante veicolo al traino (Fig. 1), nelle sei aree pilota sono stati condotti rilievi video fotografici a mesoscala. Le acquisizioni fotografiche sono state effettuate con una telecamera GOPRO Hero 3+ (settata in modalità *time lapse*), con un tempo di ripresa dei fotogrammi pari a 0,5 secondi. Contemporaneamente all'acquisizione dei frames fotografici sono state acquisite le coordinate GPS del tracciato, adoperando un GPS data logger Blumax 4404. Mediante le coordinate GPS sono state georeferenziate le immagini, applicando la procedura di taggatura delle foto tramite l'ausilio di un software di *geotagging*. Le acquisizioni sono state effettuate mediante l'impiego di veicolo al traino munito di apparecchiature video-fotografiche "telecamere verticali" (HD) ad alta risoluzione, di proprietà dell'ISPRA [5]. Per quanto riguarda le elaborazioni aereo fotogrammetriche, è stato impiegato un software di modeling 3D. Il processing di modellazione 3D permette di generare, da una sequenza di immagini 2D, una nuvola di punti "Point Cloud" ottenuta dal riconoscimento dei nodi e delle geometrie caratterizzanti l'immagine. Dalla nuvola di punti (*Point Cloud*), mediante gli algoritmi del software, si possono generare le *Dense Cloud* "nuvole dense" dal quale generare le *Mesh* e le *Texture* [6]. I tecnici ISPRA hanno curato il processamento delle immagini aeree e/o satellitari, la validazione dei prodotti classificati, il trattamento dei dati in ambiente GIS ed infine la realizzazione dei prodotti cartografici di sintesi "layout di stampa". Le elaborazioni delle immagini satellitari (correzione atmosferica, correzione colonna d'acqua e classificazione) sono state eseguite dai tecnici dell'Università della Calabria - Dipartimento DIBEST.

Progetto SIC – CARLIT

Nel corso di svolgimento del progetto SIC-CARLIT si è fatto uso della nave oceanografica ASTREA dell'ISPRA con acquisizione di dati morfo-batimetrici in 11 siti SIC fondali marini della Calabria. Con il Multibeam 2040 Kongsberg sono state acquisite 535 miglia nautiche di linee, circa 990 km, in 13 giorni complessivi di rilievi. Parallelamente



Figura 2 - DEVSS, *autonomous surface vehicle*.
Figure 2 - DEVSS, *autonomous surface vehicle*.

sono state condotte elaborazioni e analisi di immagini satellitari ad alta risoluzione tipo Pleiades e World View 2. Negli stessi SIC sono state condotte immersioni subacquee e prelievi di fasci fogliari per la valutazione della condizione dell'habitat prioritario 1120* *Posidonia oceanica*. Al fine di testare una nuova metodologia cartografica per l'Indice CARLIT, nei SIC Fondali di Cirella e Crotona Le Castella, è stata svolta un'attività sperimentale mediante l'impiego di un *Autonomous Surface Vehicle* ASVs (Fig.2) e un APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto). Per le acquisizioni ecografiche è stato adoperato lo strumento di acquisizione Multibeam Kongsberg EM 2040, 300 kHz Range: 4÷280 m *Soundings*: 256 *Resolution*: 0.2 m *Coverage* 3x, quest'ultimo gestito in acquisizione dal software SIS (*Seafloor Information Systems*). Le attività di prospezione ecografica sono state condotte nei tratti di costa ricadenti nei siti SIC fondali marini: Isola di Dino (CS), Isola di Cirella – Diamante (CS), Capo Tirone (CS), Scogli di Isca (CS), Vibo Marina (VV), Capo Cozzo (VV), Capo Vaticano (VV), Scilla (RC) per il Mar Tirreno; e Amendolara (CS), Staletti (CZ), AMP Capo Rizzuto - Le Castella (KR) per il Mar Ionio. Le pre-elaborazioni e le elaborazioni sono state generate dai tecnici del CNR –IGAG e sono stati prodotti i DTM (Modelli Digitali del Terreno) con celle di risoluzione di 1 x 1 m e 0,5 mx 0,5 m; le mappe di riflettività acustica “*Backscatter*” sono state ottenute associando i dati del Multibeam ai dati LIDAR *bathymetry Green*: λ 532 nm *InfraRed*: λ 1064 nm. Al fine di indagare gli habitat superficiali dei siti non mappabili con la nave oceanografica ASTREA sono state utilizzate le immagini acquisite dal Satellite Sentinel II della rete Copernicus e le immagini satellitari WV2 e Pleiades, quest'ultime ottenute dal sistema Panda - ESA (*Planetary Data Access*). I dati Multibeam e quelli satellitari sono stati elaborati con il software di classificazione a oggetti denominato *eCognition Essential* ottenendo delle mappe tematiche accurate delle eco-morfosi caratterizzanti le aree di interesse del progetto. Parallelamente è stata condotta una attività di campo relativa all'acquisizione e all'identificazione visiva delle comunità bentoniche superficiali presenti nella zona litorale, mediante l'uso di un drone. ISPRA, in collaborazione con l'Università della Calabria-Dipartimento DIMEG, ha curato le acquisizioni ecografiche e ottiche con l'impiego del veicolo autonomo di superficie robotizzato ASVs “*Autonomous Surface Vehicles*”, DEVSS munito di Side Scan Sonar Lowrance HDS7 Carbon e Single Beam Biosonics MX Acquatics e con un Drone DJI Mavic PRO con l'ausilio di Sistemi a Pilotaggio Remoto Classe Very Light. I dati acquisiti con il Biosonics sono stati processati con il software Visual Mx Acquatics, mentre i dati acquisiti con Sonar Lowrance HDS 7 sono stati processati con il software ReefMaster. A tale approccio sperimentale è stata comunque associata la metodologia standard del *visual census* secondo quanto stabilito dalla metodologia CARLIT elaborata da [1]; quest'ultima è stata eseguita dai tecnici del Centro Regionale Strategia Marina dell'ARPACAL con ausilio di piccole imbarcazioni ed attrezzatura snorkeling.

L'indice CARLIT (*cartography of littoral and upper sublittoral benthic communities*), utilizza le comunità bentoniche del litorale roccioso come indicatori biologici di qualità ambientale. Esso rappresenta lo strumento per l'analisi dell'Elemento di Qualità Biologica Macroalghe e per la definizione dello Stato di Qualità dei corpi idrici nelle acque marino-costiere ai sensi della Direttiva WFD2000/60/CE. Il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE), da cui si ricava la valutazione qualitativa (Stato Ecologico), si ottiene dal rapporto tra il valore di sensibilità associato alla comunità algale dominante e il valore di riferimento assegnato a tre differenti Situazione Geomorfologiche Rilevanti (SGR). La fase di campo ha previsto un'iniziale verifica della presenza dei popolamenti algali, per poi procedere all'identificazione delle comunità algali caratteristiche e alla definizione dell'estensione mediante GPS. Per ogni tratto sono stati raccolti dati relativi alla morfologia e all'orientamento della costa, all'inclinazione della frangia infralitorale e al grado di esposizione all'idrocinamismo.

Risultati

Progetto MUSMAP

Il risultato del Progetto è stato l'aggiornamento cartografico, rispetto a quanto effettuato tra il 2002 e il 2004, dei sei siti pilota e lo sviluppo di un nuovo approccio di monitoraggio multiscala, associando sistemi ecografici, sistemi per il rilievo 3D georeferenziato, Telerilevamento, immagini da APR (aeromobili a pilotaggio remoto).

Per ogni sito sono state aggiornate le perimetrazioni spaziali di distribuzione delle praterie di *Posidonia oceanica*. Un esempio di restituzione cartografica con un overlay di immagini MBES, SSS e satellite è riportato in figura 3.

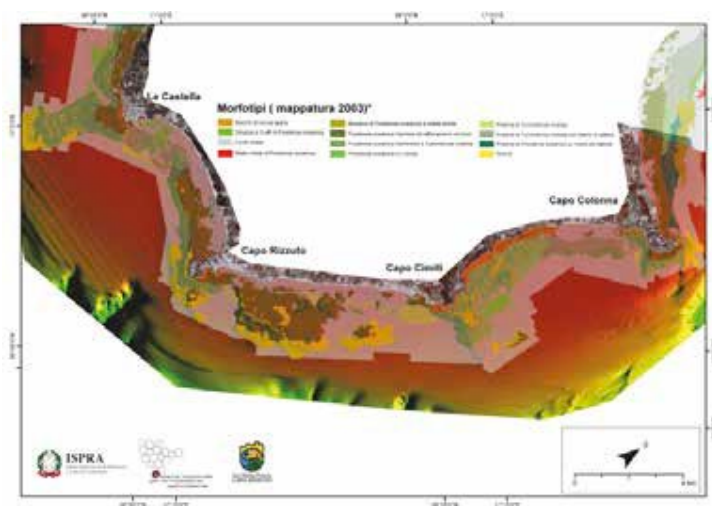


Figura 3 - Esempio di overlay tra Multibeam e dati satellitari nel SIC calabrese "IT9320097".

Figure 3 - Example of multibeam and satellite overlay in the Calabrian SCI "IT9320097".

Sono state eseguite le modellazioni fotografiche 3D geo-referenziate integrando sensori ottici e acustici di due siti marino costieri, Isola di Cirella e le Castella (Fig. 4 e Fig. 5) ed i cui dati sono ora disponibili per la loro gestione su una piattaforma GIS.

L'alta vocazione turistica della regione Calabria, le valenze ambientali delle sue acque marino costiere e la necessità di tutela e valorizzazione delle praterie di Posidonia oceanica hanno generato i presupposti per la stesura della prima bozza di Legge Regionale a tutela delle praterie stesse. In output di progetto il testo di Legge è stato consegnato nel giugno 2017 al Servizio giuridico-legislativo della Regione Calabria per il vaglio e la successiva pubblicazione.

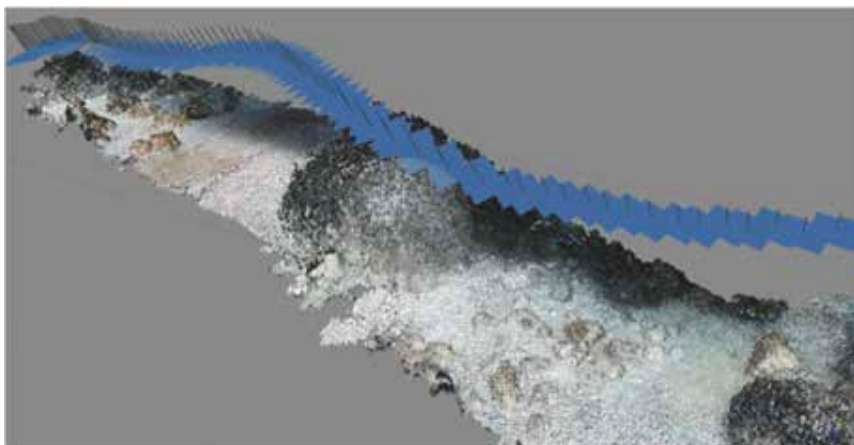


Figura 4 - Dense cloud, dim. 40 m x 7 m, 700 immagini, 15 milioni di punti 3D.
Figure 4 - Dense cloud, dim. 40 m x 7 m, 700 images, 15 millions of points 3D.

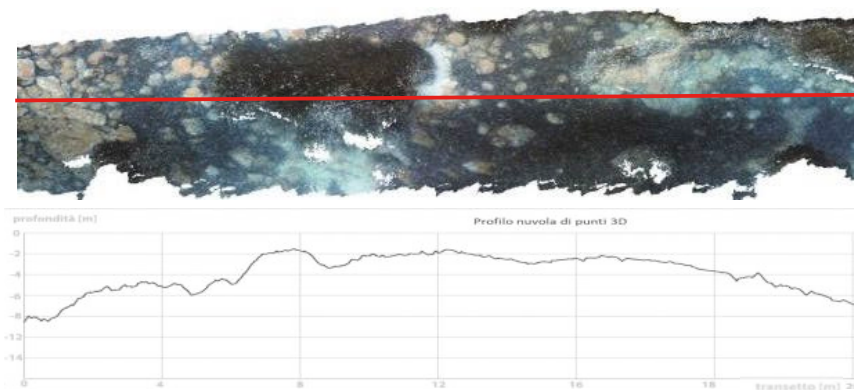


Figura 5 - Processamento del Point cloud.
Figure 5 - Point cloud processing.

Progetto SIC- CARLIT

I dati acquisiti e le cartografie prodotte degli 11 Siti SIC oggetto di studio hanno permesso di incrementare le informazioni riguardo la distribuzione degli habitat 1120 Praterie di *Posidonia oceanica*, 1170 Scogliere e 1110 Banchi di sabbia a debole copertura permanente di acqua marina, con aggiornamento del formulario standard per la raccolta dei dati Natura 2000 presso il Dipartimento Ambiente della Regione Calabria. Per ognuno dei SIC oggetto di monitoraggio, al fine di valutarne i cambiamenti in termini di perdita di habitat, sono state confrontate le estensioni, calcolate nell'ambito del progetto SIC CARLIT, con le estensioni desunte dalla mappatura delle fanerogame marine, realizzata nel 2003 e finanziata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. In linea generale, i dati acquisiti, non evidenziano particolari cambiamenti in termini di copertura degli habitat prioritari. Per quanto concerne l'applicazione della tecnica fotogrammetrica, a supporto per la mappatura CARLIT dei popolamenti algali della zona intertidale e della frangia infralitorale esposta, si evidenziano ottime possibilità di impiego della metodologia e dei Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR) a fronte di una maggiore possibilità di estensione del rilievo nonché di precisione e accuratezza (Fig. 6). Sono stati individuati tutti i tratti di costa rocciosa attraverso la foto interpretazione di ortofoto georeferenziate 1:5000 in ambiente GIS. La valutazione dello Stato Ecologico è stata effettuata per corpi idrici, che rappresentano dei tratti di costa con caratteristiche omogenee. Su un totale di 67 corpi idrici presenti lungo l'intero litorale, solo 18 (27%) sono risultati idonei all'applicazione dell'indice, per un totale di costa analizzata di 25,7 km, distribuita maggiormente lungo il versante tirrenico. I risultati così ottenuti sono stati rappresentati tramite GIS e hanno permesso di valutare l'evoluzione spaziale dei valori di EQR. Dei diciotto corpi idrici analizzati solo 3 risultano con un EQR "buono" (17%), mentre i restanti 15 (83%) presentano un EQR "elevato" (Fig. 7). Non si riscontrano variazioni significative dello stato ecologico tra il versante Ionico (EQR=0,796) e quello Tirrenico (EQR=0,867).

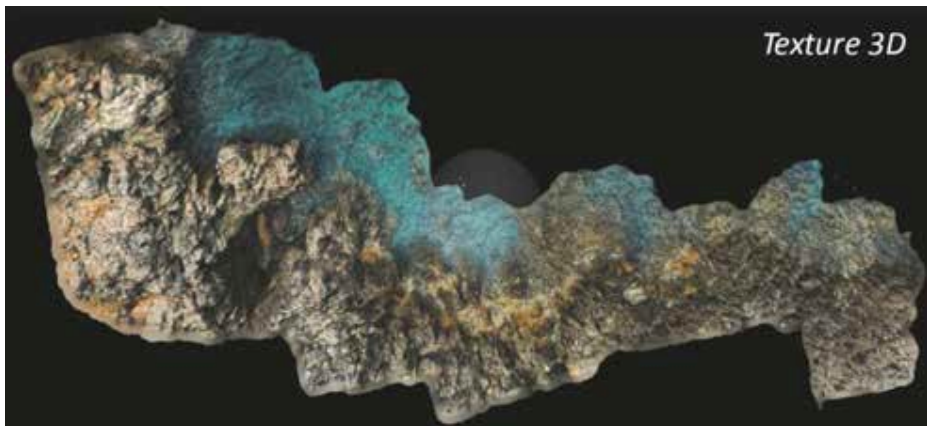


Figura 6 - Rendering immagini 3D.
Figure 6 - 3D images modeling.

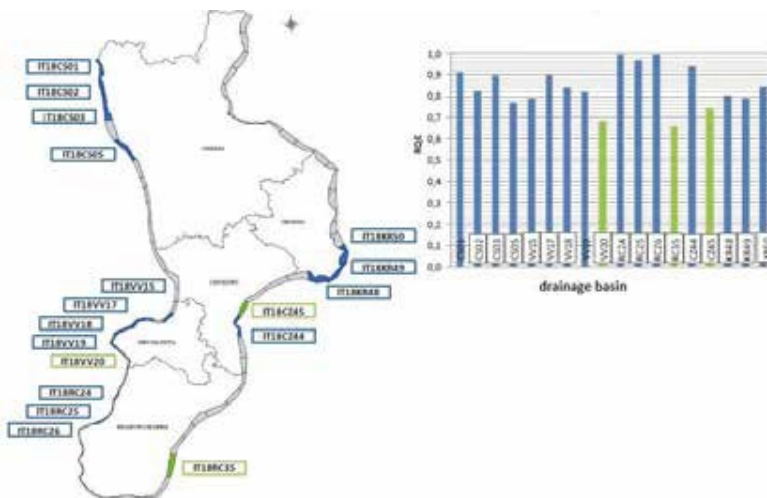


Figura 7 - Corpi idrici e relativo RQE.
 Figure 7 - Drainage basins and their EQR.

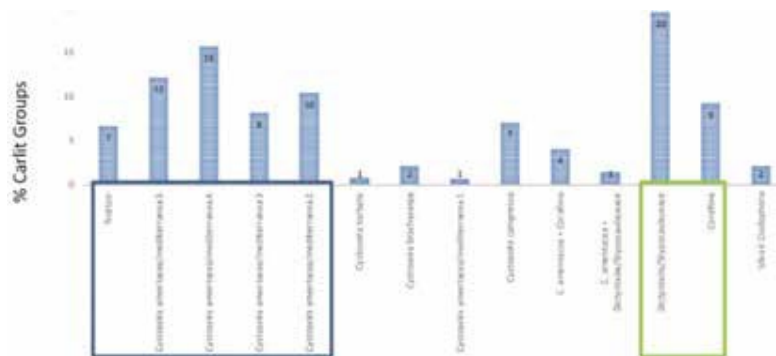


Figura 8 - % gruppi CARLIT.
 Figure 8 - % CARLIT groups.

In totale sono state individuate 14 comunità macroalgali caratteristiche (Fig. 8), appartenenti all'elenco contenuto nel manuale ISPRA relativo al calcolo del CARLIT, dominate dall'ordine Fucales con il genere *Cystoseira*, seguito dagli ordini Dictyotales/Sphacelariales (con i generi *Dictyota*, *Padina*, *Stypocaulon*), Corallinales (con i generi *Lithophyllum*, *Janiae* *Corallina*) e Ulvales/Cladophorales (con i generi *Ulva* e *Cladophora*). Tra le comunità che più di altre hanno determinato lo Stato Ecologico Buono troviamo quelle con i generi *Corallina*, *Jania*, *Dictyota*, *Padina* e *Stypocaulon*, mentre la presenza abbondante di *Cystoseira* e *Lithophyllum* sono risultate importanti a generare lo Stato Ecologico Elevato.

Tra le comunità riscontrate, è necessario sottolineare la presenza della formazione biocostruita a trottoir. Questa formazione, dominata dal genere *Lithophyllum*, è il risultato della lenta crescita e sovrapposizione dei talli e della successiva fossilizzazione di alcune parti morte [2]. Tale formazione, possedendo una distribuzione ristretta (Isola di Dino e Isola di Cirella) e rappresentando un habitat ad alto valore paesaggistico e di biodiversità, necessita protezione, poiché sempre più spesso minacciata da squilibri chimico-fisici della matrice acquosa e dalla distruzione diretta dell'habitat.

La valutazione qualitativa delle acque marino-costiere secondo il metodo CARLIT ha restituito un valore complessivo elevato dello stato ecologico in tutta la Regione, difatti, l'RQE medio a livello regionale è di 0,843. La presenza dei 3 corpi idrici a RQE minore (VV20, RC35, CZ45) potrebbe essere correlata alla presenza di un lieve disturbo antropico prodotto da fonti di tipo agricolo e/o urbano, così come indicato nella base dati regionale relativa alle pressioni antropiche sui corpi idrici.

Discussioni

Il monitoraggio è uno strumento essenziale per lo studio dei sistemi ambientali, al quale è possibile ricondurre tre funzioni principali: fornire informazioni sulle variazioni rispetto allo stato desiderato; misurare il successo delle azioni di gestione e conservazione; rilevare gli effetti di perturbazioni e disturbi [3].

La Calabria ha un'alta vocazione ambientale dettata dalla presenza di numerosi habitat prioritari e tale presupposto la rende laboratorio elettivo di progettualità sperimentale finalizzata all'innovazione tecnologica. Un programma di monitoraggio presuppone valutazioni e bilanci tra sforzo di campionamento e tipo di informazione ottenuta, tenuto conto che la raccolta dati generalmente rappresenta la parte più onerosa sia in termini di tempo che di costi. I risultati dei progetti Musmap e SIC-CARLIT hanno incrementato il livello delle conoscenze sullo stato di qualità e conservazione delle fanerogame marine presenti lungo le coste della Regione Calabria, evidenziando aspetti sia positivi che negativi nelle metodologie di indagine applicate. L'impiego delle tecniche di telerilevamento marino delle praterie di *Posidonia oceanica* evidenziano una serie di vantaggi applicativi quali riduzione dei tempi di acquisizione su estese porzioni di territorio; esecuzione di riprese multi temporali della stessa scena con precoce individuazione delle modifiche spaziali delle praterie; elevato dettaglio geometrico e tematico di discriminazione dei morfotipi delle praterie di *Posidonia oceanica* e di altre fanerogame; potenziamento del monitoraggio e della sorveglianza degli habitat marini; impiego di un prodotto gratuito - sistema Copernicus; costi ridotti di esecuzione, a parità di superficie mappata in relazione al censimento tradizionale. Di contro si evidenziano alcune limitazioni come la penetrazione della luce in acqua limitata a 20÷30 m di profondità e la necessità di verifiche dirette finalizzate all'individuazione delle "verità a terra". Per quanto attiene l'ispezione subacquea mediante l'impiego di mezzi teleguidati è possibile affermare che questi ultimi permettono di avere una visione diretta dei fondali, rivelandosi quindi uno dei metodi più idonei nella ricerca e nella mappatura. I rilievi per punti sono particolarmente utili per verificare e tarare quanto evidenziato con i metodi elettroacustici o di telerilevamento ed hanno il grande vantaggio di permettere di distinguere le diverse tipologie di habitat e di effettuare osservazioni e misurazioni che aumentano il valore della

mappatura. La metodologia con *eCognition* ha un duplice vantaggio: consente una rapida classificazione realizzata mediante il riferimento di alcuni oggetti chiave pre-identificati e nello stesso tempo permette di estrapolare i contenuti essenziali di un'immagine. L'utilizzo dei droni consente di programmare l'acquisizione e di eseguirla in piena autonomia ottenendo risultati di maggior risoluzione volando ad una quota ottimale di 150 m; si precisa che, in caso di mancanza di punti di controllo a terra, l'errore riscontrato è dell'ordine dei 15÷20 cm. Tra le problematiche emerse durante l'elaborazione dei fotogrammi figura la torbidità dell'acqua e la cattiva illuminazione durante i mesi invernali oltreché l'errore di allineamento e correlabilità dei software di elaborazione fotogrammetrica rispetto alla linea di costa. Per cercare di risolvere le suddette problematiche è possibile utilizzare i filtri polarizzati di alta qualità e sovrapporre con un minimo 80 % i fotogrammi.

Conclusioni

I progetti Musmap e SIC-CARLIT hanno dimostrato che nel monitoraggio marino costiero le tecniche sperimentali associate alle metodologie tradizionali possono fornire un dato più accurato con riduzione dei costi e dei tempi di esecuzione. L'indice CARLIT, già ritenuto un utile strumento per un primo *screening* su vaste aree, grazie alla semplicità d'applicazione e ai costi limitati, associato alle suddette tecniche sperimentali, potrebbe portare ad un'implementazione/miglioramento delle metodiche nei protocolli di monitoraggio costiero svolto in maniera sistematica (annuale). Di sicuro interesse potrebbe risultare il potenziamento dell'osservazione da satellite e di tecniche LARS, come approccio avanzato per la sorveglianza delle coste e dell'ambiente marino costiero, magari supportando la creazione di un sistema avanzato di monitoraggio dell'ambiente marino con biosensori, veicoli robotizzati e il Remote Sensing. Il modello di "rete istituzionale" tra Enti adottato nei Progetti Musmap e SIC-CARLIT ha consentito di testare nuove metodologie d'indagine da utilizzare nell'ambito di piani di monitoraggio nazionali e internazionali degli habitat marino costieri, favorendo altresì scambi di conoscenza ed implementazione delle competenze specifiche di ciascun partner.

Bibliografia

- [1] Ballesteros E., Torras X., Pinedo S., Garcia M., Mangialajo L., & De Torres M. (2007) - *A new methodology based on littoral community cartography for the implementation of the European Water Framework Directive*. Marine Pollution Bulletin, 55, 172-180.
- [2] Bressan G., Babbini L., Ghirardelli L., & Basso D. (2001) - *Bio-costruzione e bio-distruzione di Corallinales nel Mar Mediterraneo*. Biologia Marina Mediterranea, 8 (1), 131-174.
- [3] Legg C. J., & Nagy L. (2005) - *Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time*. Journal Environmental Management, 78(2), 194-199. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.04.016
- [4] Mallet D. & Pelletier D. (2014) - *Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952–2012)*. Fisheries Research 154, 44-6. DOI: 10.1016/j.fishres.2014.01.019

- [5] Rende F. S., Irving A. D., Bacci T., Parlagreco L., Bruno F., Defilippo F., Montefalcone M., Penna M., Trabucco B., Di Mento R., & Cicero A. M. (2015a) - *Advances in micro-cartography: two-dimensional video mosaicing technique for seagrass monitoring*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 167, 475-486. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.10.029
- [6] Rende F. S., Irving A. D., Lagudi A., Bruno F., Scalise S., Cappa P., Montefalcone M., Bacci T., Penna M., Trabucco B., Di Mento R., & Cicero A. M. (2015b) - *Pilot application of 3d underwater imaging techniques for mapping Posidonia oceanica (L.) delile meadows*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W5, 177-181. doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W5-177-2015.
- [7] Tunesi L., Agnesi S., Di Nora T., & Mo G. (2008) - *La conservazione della biodiversità marina alla luce delle iniziative europee*. Biologia Marina Mediterranea, 15 (1), 463-472.