

SENTINEL-2 E CAMPIONAMENTI *IN SITU* PER IL MONITORAGGIO DELLE ACQUE MARINE DELL'ABRUZZO: PRIMI RISULTATI

Carla Ippoliti¹, Susanna Tora¹, Carla Giansante^{1,2}, Romolo Salini¹, Federico Filipponi³, Emanuela Scamosci², Massimo Petrini², Nicola Di Deo², Annamaria Conte¹

¹Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G. Caporale", Campo Boario, 64100 Teramo (Italy), phone: 0039.0861.3321, fax: 0039.0861.332251

e-mail: c.ippoliti@izs.it, s.tora@izs.it, r.salini@izs.it, a.conte@izs.it, c.giansante@izs.it

²ARTA Abruzzo, Viale G. Marconi 178, 65127 Pescara (Italy),

e-mail: c.giansante@artaabruzzo.it, e.scamosci@artaabruzzo.it, m.petrini@artaabruzzo.it, n.dideo@artaabruzzo.it

³Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma (Italy), e-mail: federico.filipponi@isprambiente.it

Abstract – The Sentinel-2 mission is a constellation of two satellites, developed by ESA on behalf of the joint ESA/European Commission initiative GMES (Global Monitoring for Environment and Security). In addition to monitoring land cover and disasters, it is useful in the assessment of the quality of terrestrial and marine waters with biophysical and chemical-physical parameters such as chlorophyll "a" and total suspended matter concentrations. The twin Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites are equipped with a MSI (MultiSpectral Instrument) optical sensor that acquires in 13 spectral bands, with global coverage, a revisit time of 5 days and a spatial resolution of up to 10 meters on the ground.

In this study, the estimates of chlorophyll "a" and of dispersion of sediments in the sea, derived from Sentinel-2 images were compared with in situ data acquired by means of a multiparametric probe in the monitoring stations that ARTA Abruzzo monthly checks along the Adriatic coast. The ultimate goal is to optimize parameters and algorithms to be able to derive concentration maps of chlorophyll and suspended solids from satellite, taking advantage of the high frequency of revisit time and high spatial resolution of the satellite acquisitions. This information is particularly relevant for aquaculture activities, for the monitoring of water quality and for the analyses of sedimentary processes.

Sentinel-2 level 1C images were processed using the C2RCC (Case-2 Regional Coast Colour) processor in ESA SNAP software, setting the required parameters of the algorithm according to the in situ sampling measurements, in 4 acquisition dates during the year 2018.

The comparisons, both at the sampling point and in the 100 meters radius buffer, showed statistically significant results: for chlorophyll "a", linear regression models have $r^2 = 0.82$ in situ, $r^2 = 0.81$ in the 100 m buffer, respectively; $r^2 = 0.88$ in situ and $r^2 = 0.91$ for TSM.

This preliminary study has provided encouraging results with only four sampling dates. In future ongoing work, the increase in the number of sampling dates should further improve the accuracy of the estimates; we aim also to compare other satellite products (e.g. Sentinel-3 OLCI) and test other algorithms (ACOLITE, BOMBER, etc.). All these aspects should lead to obtain a most accurate regional algorithm and an efficient process, for the production of maps and indicators useful in the monitoring of water quality.

Introduzione

Il monitoraggio delle acque costiere è richiesto da direttive europee [7, 8, 9, 23] e da regolamenti nazionali sulle attività produttive nelle aree litoranee: impianti di trattamento delle acque, attività di estrazione (ad es. petrolio e gas), acquacoltura, etc. Il raggiungimento del “buono” stato di qualità dell'ambiente marino è quindi un obiettivo comunitario e nazionale, parte della strategia di salute globale “One Health”, condizionata dalle attività antropiche e da cambiamenti climatici.

La necessità di dati sulla qualità delle acque (in senso lato) è stata finora soddisfatta principalmente tramite campionamenti e misurazioni di parametri chimico-fisici effettuati in mare [22]. Questo rende le campagne di acquisizione dati onerose in termini di risorse impiegate e permette campionamenti limitati nel tempo e nello spazio, mentre normalmente le aree marine da monitorare sono ampie ed è necessario un monitoraggio costante e frequente. Campagne di campionamenti e sistemi di monitoraggio per la qualità dell'acqua e la salubrità dei prodotti ittici in aree costiere sono utilizzati in acquacoltura [11, 24, 25], nel trattamento delle acque reflue, nelle attività di dragaggio, nella protezione delle Aree Marine protette, in tutte le attività commerciali e turistiche che insistono e convivono sulle zone costiere [10, 21]. I parametri rilevati e misurati, comuni a queste finalità, sono, principalmente, clorofilla “a”, trasparenza delle acque, torbidità, eventuale presenza di bloom algali e solidi sospesi.

Inoltre, l'Osservazione della Terra è una delle principali conquiste scientifico-tecnologiche degli ultimi decenni, poiché fornisce dense serie temporali di dati (con passaggi frequenti dei satelliti) su vaste aree geografiche (*big swath*, ossia grande superficie acquisita a terra) rilevando la radiazione riflessa dalle superfici in ampi intervalli dello spettro elettromagnetico.

Molti sono i prodotti di remote sensing dedicati al monitoraggio delle acque marine (es. *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* - CMEMS, MODIS, Sentinel-3 OLCI). La loro media risoluzione spaziale (dimensione a terra della porzione di territorio rappresentata da un pixel) varia generalmente da 300 metri a 1 km, o dimensioni maggiori. Sebbene i sensori multispettrali a media risoluzione spaziale montati sulle piattaforme satellitari abbiano una configurazione radiometrica più adatta alla stima di parametri descrittivi della colonna d'acqua (es. Chl-a e TSM), la loro risoluzione spaziale rende difficilmente utilizzabile i loro prodotti in applicazioni di monitoraggio in prossimità delle coste, per le quali si rende necessaria l'identificazione di pattern spaziali anche a piccola scala.

I satelliti Sentinel, realizzati nell'ambito del programma comunitario Copernicus [20], contribuiscono al sistema globale di monitoraggio per l'osservazione della Terra (*Global Earth Observation System of System* - GEOSS); il programma è coordinato dalla Commissione Europea con la partecipazione dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA). L'operatività è assicurata da un insieme di sei missioni (da Sentinel-1 a Sentinel-6) ciascuna dedicata a specifiche applicazioni. I satelliti Sentinel-2, nello specifico, oltre al monitoraggio della copertura del suolo e dei disastri, acquisiscono in prossimità della costa e possono essere impiegate per il monitoraggio delle acque terrestri e marine e per la mappatura delle variabili chimico-fisiche [16, 26], come la clorofilla “a” [24] e le concentrazioni di solidi sospesi totali (TSM) [2, 4, 5].

In questo studio, i parametri caratterizzanti la colonna d'acqua, clorofilla “a” e solidi sospesi totali, sono stati stimati da immagini Sentinel-2 MSI ed è stata confrontata

con dati *in situ* acquisiti in mare da sonda multiparametrica, lungo la costa abruzzese nel Mare Adriatico. L'obiettivo finale è quello di ottimizzare parametri ed algoritmi per poter derivare mappe di concentrazione di clorofilla "a" e solidi sospesi da satellite, sfruttando la loro elevata frequenza temporale e l'alta risoluzione spaziale. La generazione di tali informazioni potrebbe essere di rilevante supporto all'attività di acquacoltura, per il monitoraggio della qualità delle acque e per l'analisi dei processi sedimentari.

Materiali e Metodi

Area di studio

L'area di studio è lo specchio di Mare Adriatico prospiciente le coste della Regione Abruzzo. In questo tratto, lungo circa 120 km, si versano numerosi corsi d'acqua nelle cui pianure alluvionali di fondovalle sono presenti molte delle principali zone industriali ed agricole della regione. Le dinamiche di dispersione nel Mar Adriatico sono influenzate dalle correnti, dalle acque provenienti dal Mar Ionio, dalla portata del fiume Po e soprattutto dalla piovosità che provoca il maggior apporto di inquinanti in mare [6].

Dati rilevati in mare

Il piano di monitoraggio istituzionale che l'ARTA Abruzzo conduce sul controllo delle acque marino-costiere, è espletato sulla rete regionale, come indicato dalla convenzione con il Settore Opere Marittime della Regione Abruzzo, su 14 stazioni di campionamento distribuite su 7 transetti perpendicolari alla costa, ai fini della determinazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici superficiali come previsto dal Direttiva 2000/60/CE. In ciascuna stazione sono state effettuate rilevazioni chimico-fisiche sulla colonna d'acqua: temperatura, salinità, conduttività, clorofilla "a", torbidità, ossigeno disciolto e pH.

Questi dati sono stati rilevati tramite sonda multiparametrica IDRONAUT Ocean Seven 316 Plus equipaggiata con fluorimetro e torbidimetro Seapoint Sensors, inc.

Dati satellitari

Le concentrazioni di clorofilla (CHL) e di solidi sospesi totali (TSM) in superficie, misurati *in situ*, sono state appaiate a stime derivate dalle misure radiometriche degli strumenti a bordo dei satelliti.

Il dataset di immagini satellitari utilizzati è quello della missione Copernicus Sentinel-2, con i due satelliti gemelli, Sentinel-2A e Sentinel-2B, che assicurano dati con tempi di rivisitazione (sullo stesso punto) e copertura globale di 5 giorni (ciascun satellite ripassa sullo stesso punto ogni 10 giorni) [16]. Questi satelliti sono dotati di un sensore ottico MSI (*MultiSpectral Instrument*) che acquisisce in 13 bande spettrali, tra i 443 nm e i 2190 nm, con una risoluzione spaziale tra 10 e 60 metri al suolo.

Per ciascun prelievo in mare è stato acquisito il passaggio dei satelliti Sentinel-2A o Sentinel-2B avvenuti lo stesso giorno (con una tolleranza di qualche ora tra il passaggio del satellite e la misurazione in mare) e senza copertura nuvolosa.

Processamento dei dati satellitari

I dati Sentinel-2 MSI sono stati elaborati in tre fasi: acquisizione, elaborazione e analisi statistica.

L'acquisizione è avvenuta tramite un batch script Python che sfrutta, previa registrazione, il servizio Copernicus Open Access Hub [18], grazie al pacchetto ufficiale SentinelSat, che scarica il dato Sentinel-2 nel formato compresso SAFE (*Standard Archive Format for Europe*).

I dati presi in esame (livello 1C) ricadono nelle granule T33TVG e T33TVH della griglia di distribuzione, appartenenti alle orbite 79 e 122 dei satelliti.

Il livello 1C fornisce immagini ortorettificate di dimensione 100 km x 100 km, nella proiezione *Universal Transverse Mercator/World Geodetic System 1984* (UTM/WGS84) e contiene la riflettanza Top of Atmosphere, ossia non corretto dall'effetto dell'atmosfera.

La fase di elaborazione, effettuata con il software SNAP v 6.0, distribuito da ESA, ha previsto il ricampionamento (o *resampling*) di tutte le bande alla risoluzione spaziale di 10 m, e l'estrazione delle bande dedicate di clorofilla "a" e solidi sospesi, prodotte dal processore di colori oceanici multi-missione C2RCC S2-MSI (*Case-2 Regional CoastColor*) [3], specifico per le Sentinel-2 e risultato tra i migliori stimatori di questi parametri in studi simili [1, 17]. È stato utilizzato l'algoritmo C2RCC-Nets, parametrizzato con i valori di salinità e temperatura ottenuti dai campionamenti *in situ* (tabella 1), e dalla pressione atmosferica relativa all'Aeroporto di Pescara [19] ricalcolata all'altezza del livello del mare. Dalle bande ottenute di *Chlorophyll concentration* (conc_chl) e *total suspended matter dry weight concentration* (conc_tsm), sono stati estratti sia i valori nelle stazioni di campionamento, sia la media dei valori in un buffer di 100 metri di raggio intorno a ciascuna stazione, per ciascuna data di acquisizione. Per questa elaborazione è stato utilizzato il software ESRI® ArcMap 10.5.

Sui dati estratti sono state effettuate analisi di regressione lineare per verificare l'esistenza di una relazione tra il valore dei parametri CHL e TSM stimati da rilevazioni satellitari e i valori degli stessi parametri campionati in mare. L'analisi statistica è stata effettuata mediante l'utilizzo del software R Core Team (2019).

Risultati

La figura 1 mostra la localizzazione delle 14 stazioni di campionamento dislocate lungo la costa abruzzese del Mar Adriatico, e sovrapposte, le delimitazioni delle immagini Sentinel-2A e Sentinel-2B (granule T33TVG e T33TVH).

Considerate le date di campionamento ed i passaggi dei due satelliti, sono state processate 4 immagini satellitari in 4 diverse giornate di campionamento in mare, per un totale di 18 osservazioni in 12 punti (Tabella 1). Tre osservazioni sono state escluse dalle regressioni poiché outlier nel dataset. Inoltre, per tener conto dei potenziali minimi scostamenti delle coordinate dei punti di campionamento, della sovrapposizione delle granule e della variabilità locale dei parametri misurati, è stato considerato sia il valore nel punto sia la media dei pixel in un intorno di 100 metri di raggio attorno a ciascun punto.

Ai dati estratti dall'elaborazione delle immagini satellitari, sia nel punto di campionamento, sia nel suo intorno di 100 metri di raggio, è stato applicato un modello di regressione lineare, che ha evidenziato risultati statisticamente significativi sia per la CHL ($r^2 = 0,82$ nel punto, figura 2; $r^2 = 0,81$ nel buffer di 100 metri, figura 3) sia per i TSM ($r^2 = 0,88$ nel punto figura 4, $r^2 = 0,91$, figura 5).

Applicando tali regressioni (media nel buffer a 100 metri) alle quattro immagini considerate, sono state ottenute le mappe di CHL (Figura 6) e TSM (Figura 7).



Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle stazioni di campionamento. I riquadri mostrano l'extent delle immagini satellitari acquisite dai sensori a bordo dei satelliti Sentinel-2A e Sentinel-2B.

Figure 1 - Study area (coast facing Abruzzo region in the Adriatic Sea) and location of the sampling points. The squares are the extent of satellite imagery of Sentinel-2A e Sentinel-2B.

Tabella 1 - Campionamento *in situ*: date, stazioni di campionamento e misure rilevate, utilizzate come parametri del modello.

Table 1 - In situ sampling: dates, sampling points and in situ collected values used in the models.

Data di campionamento	Stazioni di campionamento	Salinità media (PSU)	Temperatura media (°C)	Pressione atmosferica (hPa)	Satellite corrispondente
03-01-2018	OR07, OR09, VA10, VA12, SS01, SS02	36,5	9,2	1016,5	Sentinel-2A
09-03-2018	PI16, PI18	32,3	9,3	1019,5	Sentinel-2B
20-06-2018	OR07, OR09, VA10, VA12, SS01, SS02	35,2	24,8	1020,5	Sentinel-2B
12-07-2018	AL13, AL15, GU01, GU03	34,8	27,1	1016,5	Sentinel-2A

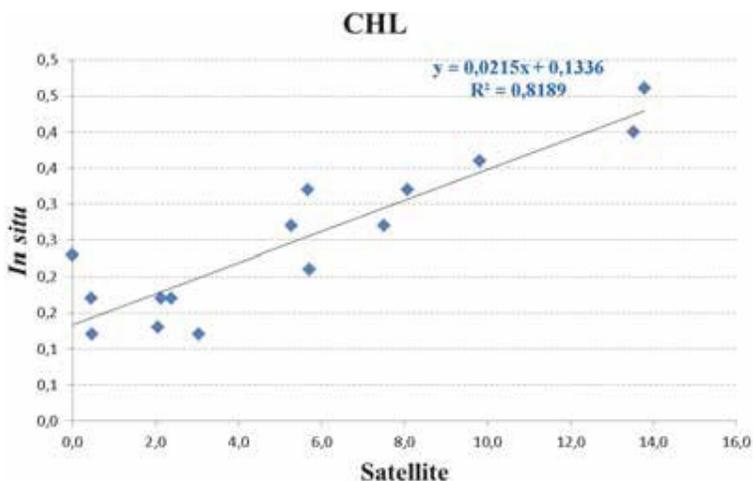


Figura 2 - Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) e le concentrazioni di clorofilla stimate a partire dai dati satellitari (Satellite) sul punto di campionamento (mg/m^3).

Figure 2 - Linear regression model between sampling collected in the sea (*in situ*) and the estimated concentration in the same point of chlorophyll "a" derived from satellite imagery (Satellite) (mg/m^3).

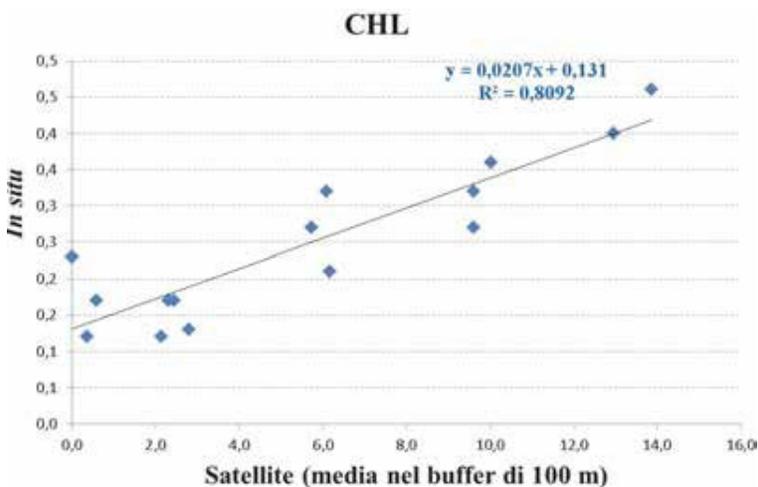


Figura 3 - Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) e le concentrazioni di clorofilla stimate a partire dai dati satellitari (Satellite 100 m) nell'intorno di 100 m dal punto di campionamento (mg/m^3).

Figure 3 - Linear regression model between sampling collected in the sea (*in situ*) and the average estimated concentration in a 100 m - buffer around the point of chlorophyll "a" derived from satellite imagery (Satellite) (mg/m^3).

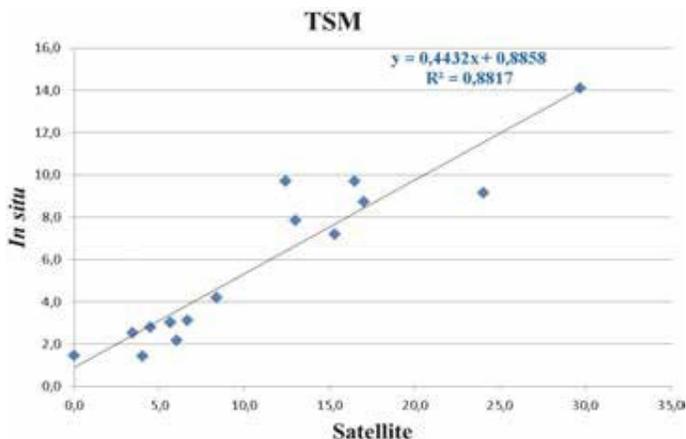


Figura 4 - Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) con fluorimetro (in FTU) e le concentrazioni di solidi sospesi stimate con l’algoritmo C2RCC dai dati satellitari (Satellite) sul punto di campionamento (in g/m^3).

*Figure 4 - Linear regression model between sampling collected in the sea (*in situ*) measured with a fluorimeter (in FTU) and the concentration in the same point of Total Suspended Matter (TSM) estimated with the C2RCC algorithm from satellite imagery (Satellite) (in g/m^3).*

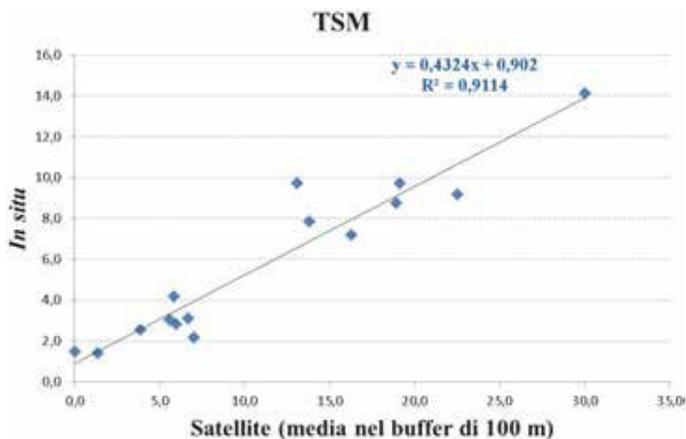


Figura 5 - Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) con fluorimetro (in FTU) e le concentrazioni di solidi sospesi stimate con l’algoritmo C2RCC dai dati satellitari (Satellite 100 m) nell’intorno di 100 m dal punto di campionamento (in g/m^3).

*Figure 5 - Linear regression model between sampling collected in the sea (*in situ*) measured with a fluorimeter (in FTU) and the average concentration in a 100 m-buffer around the point of Total Suspended Matter (TSM) estimated with the C2RCC algorithm from satellite imagery (Satellite 100 m) (in g/m^3).*

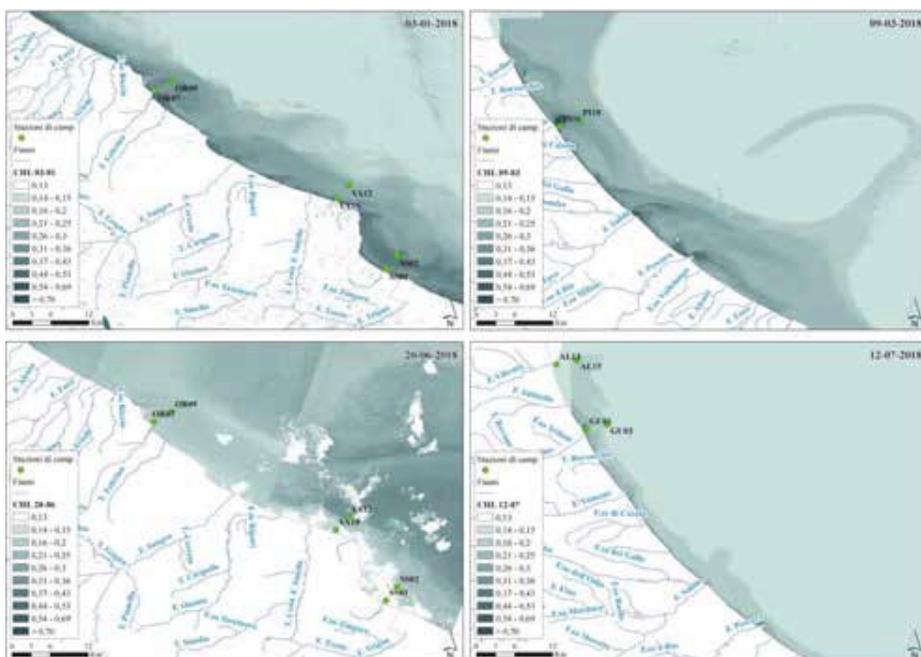


Figura 6 - Mappe di concentrazione della clorofilla (Chl-a) della costa abruzzese elaborate dalle immagini Sentinel-2 con il processore C2RCC per le date 03/01, 09/03, 20/06 e 12/07 del 2018, corrispondenti alle granule T33TVG (nelle mappe di sinistra) e T33TVH (nelle mappe a destra). Le mappe sono ottenute applicando la regressione lineare al buffer a 100 metri (figura 3).

Figure 6 - Concentration maps of chlorophyll (Chl-a) along Abruzzo coast in the Adriatic sea, as elaborated with the C2RCC processor from Sentinel-2 imagery of the dates: 03/01/2018, 09/03/2018, 20/06/2018 and 12/07/2018. The values in the maps are obtained by applying the linear regression in the 100 m – buffer (figure 3). The images on the left side are the T33TVG granule, the images on the right are the T33TVH granule.

Discussione

Questo studio preliminare, con sole 4 campagne di acquisizione nel 2018, simultanee ad altrettanti passaggi dei satelliti Sentinel-2 (A o B), ha fornito risultati incoraggianti per la stima da dati telerilevati di alcuni parametri bio-geofisici dell'acqua lungo la costa abruzzese. Il settaggio dei parametri di stima dell'algoritmo deve ancora essere migliorato, soprattutto per quanto riguarda le performances in termini di accuratezza. Al momento, i pochi dati disponibili mostrano comunque l'esistenza di una correlazione, incoraggiandoci nella ricerca della migliore calibrazione possibile. Lo studio, tutt'ora in corso, prevede l'incremento della numerosità dei dati raccolti *in situ* per rendere le stime più accurate, la comparazione con altri prodotti satellitari (es. Sentinel-3 OLCI [12] e LANDSAT8 OLI [15]) e l'utilizzo di altri algoritmi (ACOLITE, BOMBER, etc.) per valutare il processo più accurato, efficiente (tempi di elaborazione, complessità e regionalizzazione tramite procedure

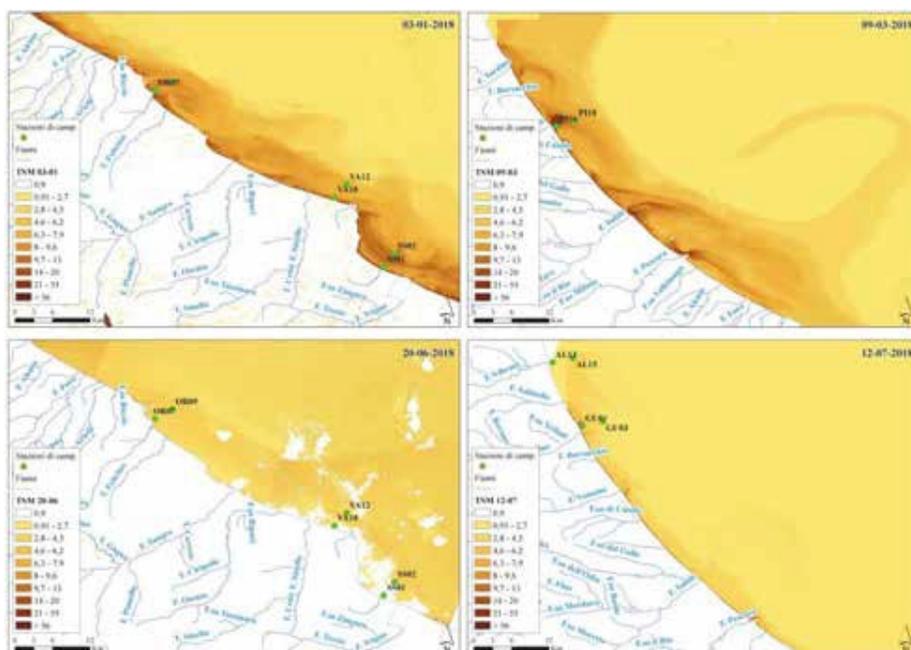


Figura 7 - Mappe di concentrazione dei sedimenti di solidi sospesi (TSM) della costa abruzzese elaborate dalle immagini Sentinel-2 con il processore C2RCC per le date 03/01, 09/03, 20/06 e 12/07 del 2018 con i punti di campionamento *in situ*, corrispondenti alle granule T33TVG e T33TVH.

Figure 7 - Concentration maps of Total Suspended Matter (TSM) along Abruzzo coast in the Adriatic sea, as elaborated with the C2RCC processor from Sentinel-2 imagery of the dates: 03/01/2018, 09/03/2018, 20/06/2018 and 12/07/2018. The values in the maps are obtained by applying the linear regression in the 100 m – buffer (figure 5). The images on the left side are the T33TVG granule, the images on the right are the T33TVH granule.

di calibrazione), in grado di correggere effetti relativi alle condizioni presenti al momento dell'acquisizione delle immagini (es. *sun-glint*) e capace di produrre mappe ed indicatori per il monitoraggio della qualità delle acque.

Le unità di misura non sono sempre corrispondenti, dato che generalmente le misure *in situ* per la caratterizzazione della qualità delle acque vengono fatte con strumenti che misurano fluorescenza e torbidità, mentre gli algoritmi da satellite stimano Chl e TSM. Campagne *ad hoc* saranno necessarie per misurare *in situ* il dato da torbidimetro, e contestualmente effettuare prelievi di acque superficiali da analizzare poi in laboratorio. Così facendo avremo la possibilità di confrontare il dato satellitare con quello reale utilizzando la stessa unità di misura prevista dai metodi analitici per le acque.

L'obiettivo è di regionalizzare gli algoritmi di stima per le acque della costa abruzzese, con risultati coerenti e affidabili, che potranno in futuro essere utilizzati per ottimizzare gli strumenti di monitoraggio riducendo anche l'impiego delle risorse in mare.

A regime si potranno avere mappe multitemporali di clorofilla “a” e solidi sospesi totali su vaste porzioni di superfici [22], finalizzati al monitoraggio dei loro pattern spaziali di distribuzione [14, 13]. La rilevanza nell’utilizzo dei dati Sentinel-2 è data dalla risoluzione spaziale (10 metri), compatibile con la scala di osservazione necessaria alla valutazione e al monitoraggio degli effetti nel mare delle attività antropiche.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato finanziato dalla Regione Abruzzo, Dipartimento Politiche Dello Sviluppo Rurale E Della Pesca, nell’ambito della convenzione 2019/2020 denominata SATSEA con fondi misura 2.51 del PO FEAMP 2014/2020.

Bibliografia

- [1] Ansper A., Alikas K. (2019) - *Retrieval of Chlorophyll a from Sentinel-2 MSI Data for the European Union Water Framework Directive Reporting Purposes*. Remote Sens. 2019, 11, 64. <https://doi.org/10.3390/rs11010064>
- [2] Bowers D., Braithwaite K., Nimmo-Smith W., Graham G. (2009) - *Light scattering by particles suspended in the sea: The role of particle size and density*. Cont. Shelf Res. 2009 29 1748–1755.
- [3] Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., Ruescas, A. (2016) - *Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters*. In Proceedings of the Living Planet Symposium, Prague, Czech Republic, 9–13 May 2016.
- [4] Caballero I., Steinmetz F., Navarro G. (2018) - *Evaluation of the First Year of Operational Sentinel-2A Data for Retrieval of Suspended Solids in Medium- to High-Turbidity Waters*. Remote Sens. 2018, 10, 982. <https://doi.org/10.3390/rs10070982> .
- [5] Caballero I., Stumpf R.P. (2020) - *Towards Routine Mapping of Shallow Bathymetry in Environments with Variable Turbidity: Contribution of Sentinel-2A/B Satellites Mission*. Remote Sens. 2020, 12, 451.
- [6] Colaiuda V., Di Giacinto F., Lombardi A., Ippoliti C., Giansante C., Latini M., Mascilongo G., Ludovica Di Renzo L., Berti M., Conte A., Ferri N., Verdecchia M., Tomassetti B. *Evaluating the impact of hydrometeorological conditions on E. coli concentration in farmed mussels and clams: a case study in Central Italy*. In preparation.
- [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 (GU L 327 del 22.12.2000)
- [8] DIRETTIVA 2006/7/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 15 febbraio 2006 relativa alla gestione della qualità delle acque di balneazione e che abroga la Direttiva 76/160/CEE) (GU L 64 del 04.03.2006)
- [9] DIRETTIVA 2008/56/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 17 giugno 2008 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino) (GU L 164 del 26.06.2008)

- [10] Douvère F. (2008) - *The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management*. Mar Policy 32:762-71.
- [11] Ferrè N., Mulatti P., Mazzucato M., Lorenzetto M., Trolese M., Pandolfo D., Vio P., Sitta G., Marangon S. (2011) - *GeoCREV: veterinary geographical information system and the development of a practical sub-national spatial data infrastructure*. Geospat Health 5:275-83.
- [12] Filippini F., Bassani C., Taramelli A., (2015) - *Comparison of Sentinel-3 OLCI simulated data with MERIS for Ocean Color parameter estimation*. Proceedings of "Sentinel-3 for Science Workshop", Venice (Italy) 2-5 June 2015, ESA SP-734 (CD-ROM). ISBN: 978-92-9221-298-8.
- [13] Filippini F., Zucca F., Taramelli A., Valentini E., (2015) - *Total Suspended Matter (TSM) and maximum signal depth (Z90_max) for monitoring the evolution of sediment resuspension processes in shallow coastal environments*. Proceedings of "Sentinel-3 for Science Workshop", Venice (Italy) 2-5 June 2015, ESA SP-734 (CD-ROM). ISBN: 978-92-9221-298-8.
- [14] Filippini F., Taramelli A., Zucca F., Valentini E., El Serafy G.Y., (2015) - *Ten years sediment dynamics in northern Adriatic Sea investigated through optical Remote Sensing observations*. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, pp. 2265-2268. ISBN: 978-1-4799-7929-5. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326258>
- [15] Filippini F., (2018) *River Color Monitoring Using Optical Satellite Data*. Proceedings, 2(10), 569. https://doi.org/10.3390/IECG_2018-05336
- [16] Gascon F., Bouzinac C., Thépaut O., Jung M., Francesconi B., Louis J., Lonjou V., Lafrance B., Massera S., Gaudel-Vacresse A., Languille F., Alhammoud B., Viallefont F., Pflug B., Bieniarz J., Clerc S., Pessiot L., Trémas T., Cadau E., De Bonis R., Isola C., Martimort P., Fernandez V. (2017) - *Copernicus Sentinel-2A Calibration and Products Validation Status*, Remote Sens.2017, 9, 584. <https://doi.org/10.3390/rs9060584> .
- [17] Hafeez S. and Wong M. S. (2019) - *Measurement of Coastal Water Quality Indicators Using Sentinel-2, An Evaluation Over Hong Kong and the Pearl River Estuary*. IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Yokohama Japan 2019 pp. 8249-8252 <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8899342> .
- [18] <https://scihub.copernicus.eu/>
- [19] <https://weatherspark.com/>
- [20] <https://www.copernicus.eu/en>
- [21] Ippoliti C., Di Lorenzo A., Caprioli R., Pelini S., Conte A., D'Anselmo F., Alessandrini B., Tora S., Giansante C. (2018) - *SeaGIS Abruzzo: A publicly available atlas of marine uses and natural resources in the Adriatic Sea Region*. Geospatial Health 13. <https://doi.org/10.4081/gh.2018.705>.
- [22] Ouellette W., Getinet W. (2016) - *Remote sensing for Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Areas Management: Achievements challenges opportunities and future prospects* Remote Sensing Applications: Society and Environment Volume 4 2016 Pages 138-157 ISSN 2352-9385, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.07.003> .
- [23] RACCOMANDAZIONE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 30 maggio 2002 relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa (2002/413/CE) (GU L 148 del 06.06.20028)

- [24] Soriano-González J., Angelats E., Fernández-Tejedor M., Diogene J., Alcaraz C. (2019) - *First Results of Phytoplankton Spatial Dynamics in Two NW-Mediterranean Bays from Chlorophyll-a Estimates Using Sentinel 2: Potential Implications for Aquaculture* Remote Sens. 2019, 11, 1756.
- [25] Tora S., Sacchini S., Listeš E., Bogdanović T., Di Lorenzo A., Smajlović M., Smajlović A., Filipović J. V., Tahirović V., Šuković D., Beljkas B., Xinxo A., Maçi R., Colangeli P., Di Giacinto F. & Conte A. (2017) - *A geographical information system for the management of the aquaculture data in the Adriatic Sea – the Strengthening of Centres for Aquaculture Production and Safety surveillance in the Adriatic countries experience: Present capabilities, tools and functions*. Geospatial Health 12(2). <https://doi.org/10.4081/gh.2017.593> .
- [26] Traganos D., Reinartz P. (2018) - *Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery*. Marine Pollution Bulletin Volume 134 2018 Pages 197-209 ISSN 0025-326X <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.075> .