



**Convenzione Tra
Regione Abruzzo Dipartimento Politiche Dello
Sviluppo Rurale E Della Pesca
E
Istituto Zooprofilattico Sperimentale Dell'abruzzo
E Del Molise "G. Caporale"
SATSEA**

RELAZIONE FINALE

<i>N° Progetto/anno</i>	RAAATE0119
<i>Responsabile scientifico</i>	Annamaria Conte
<i>Data di inizio della collaborazione</i>	26/02/2019
<i>Data di fine della collaborazione</i>	17/11/2020
<i>Data di stampa della relazione</i>	02/11/2020



Indice generale

INDICE GENERALE	2
ELENCO DEI COLLABORATORI	3
INTRODUZIONE	4
MATERIALI E METODI.....	5
I. Proposta di definizione delle AZA	5
II. Sperimentazione con dati satellitari	14
RISULTATI.....	19
I. Proposta di definizione delle AZA	19
II. Sperimentazione con dati satellitari	21
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	28
BIBLIOGRAFIA.....	30
ALLEGATO 1. MAPPE DEGLI STRATI INFORMATIVI PER LE AZA.....	31
ALLEGATO 2. PUBBLICAZIONE SCIENTIFICA.....	36
ALLEGATO 3. MAPPE DI SOLIDI SOSPESI E CLOROFILLA “A” ELABORATE DA PASSAGGI SATELLITARI SULLA ZONA PROSPICIENTE LA FOCE DEL PESCARA.....	47

Elenco dei collaboratori

DR. ANNAMARIA CONTE
Responsabile scientifico del progetto

DR. CARLA IPPOLITI
Matematico

DR. SUSANNA TORA
Collaboratore analisi dati e GIS

SG. SANDRO PELINI
Collaboratore analisi dati e GIS

DR. CARLA GIANANTE
Biologo

DR. ROMOLO SALINI
Statistico

Introduzione

Il 26.02.2019 tra la Regione Abruzzo, Dipartimento Politiche Dello Sviluppo Rurale e Della Pesca e l'IZSAM è stata sottoscritta una convenzione nell'ambito del finanziamento Reg. (UE) n. 508/2014 P.O. FEAMP 2014/2020 – art. 51.

La presente convenzione prevede che IZSAM, in collaborazione con la Regione Abruzzo, ARTA e con il Gruppo Tecnico di Lavoro (GdL) Interdipartimentale istituito con DGR 225 del 28 aprile 2017 e con DPD027/44 del 31/07/2017 che ha l'obiettivo di identificare e mappare le aree marine in cui dovrebbero essere escluse attività di acquacoltura (mappa dei vincoli) e quelle più idonee per lo sviluppo dell'acquacoltura, provvederà a (art. 7):

1. Partecipare ai tavoli di consultazione ed agli incontri tecnici organizzati per la pianificazione in acquacoltura fornendo supporto tecnico alla regione Abruzzo;
2. Definire i parametri spaziali da prendere in considerazione per la definizione delle AZA con relative zone buffer;
3. Promuovere di concerto con Regione Abruzzo e tavolo tecnico la raccolta dei dati relativi ai parametri individuati e provvedere alla loro validazione, georeferenziazione ed elaborazione per la definizione delle aree marine più idonee alla acquacoltura utilizzando le mappe elaborate dal progetto SeaGIS Abruzzo e quelle che saranno ulteriormente elaborate da IZSAM nell'ambito del presente lavoro;
4. Aggiornare il webGIS "SeaGIS Abruzzo" (http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/) con i nuovi strati informativi e con i nuovi dati che saranno prodotti dal Tavolo Tecnico;
5. Sperimentare modelli di utilizzo di immagini satellitari per la verifica della dispersione di sedimenti in mare e per il confronto con dati reali provenienti da sonda multiparametrica;
6. Redigere contributi tecnici, cartografie tematiche e prodotti per la divulgazione dei risultati.

La presente relazione descrive le attività effettuate dall'IZSAM nell'ambito del presente accordo, suddividendole in due grandi capitoli, (I) la collaborazione alla proposta di definizione delle AZA e (II) la sperimentazione dell'utilizzo di dati satellitari. La relazione si divide nelle sezioni materiali e metodi, risultati e conclusioni.

La relazione si conclude con la bibliografia scientifica ed i riferimenti normativi necessari, e alcuni allegati che riportano mappe e documenti integrativi della relazione stessa.

Le tecniche di rilevamento *in situ* e da remoto sono complementari e supportano un'ampia gamma di possibilità per il monitoraggio della qualità dell'acqua. L'obiettivo è di ottenere, a regime, mappe multi-temporali di clorofilla "a" e solidi sospesi totali su vaste porzioni di superfici, finalizzati al monitoraggio dei loro pattern spaziali di distribuzione. Predisponendo gli algoritmi di stima per le acque della costa abruzzese, essi potranno essere utilizzati per ottimizzare gli strumenti di monitoraggio riducendo anche l'impiego delle risorse in mare, sfruttando la loro elevata accuratezza spaziale ed elevata frequenza di passaggio.

Materiali e metodi

I. Proposta di definizione delle AZA

- *Definire i parametri spaziali da prendere in considerazione per la definizione delle AZA con relative zone buffer.*

La prima fase delle attività ha visto la ricerca di documenti e linee guida nazionali ed internazionali che prevedono la definizione di sistemi di pianificazione e programmazione degli spazi marittimi da allocare all'acquacoltura. Tra la documentazione raccolta dal tavolo di lavoro ITAQUA, sono stati considerati a riferimento, le linee guida FAO del 2019, tradotte in italiano dal CREA¹ per l'istituzione di zone costiere assegnate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero, ed il documento del Dipartimento delle Politiche Europee ed internazionali per la definizione di sistemi di pianificazione e programmazione degli spazi marittimi da allocare all'acquacoltura².

Seguendo i due documenti di riferimento, il gruppo di lavoro Regione-ITAQUA ha concordato che i criteri da considerare per la definizione delle AZA lungo la Costa Abruzzese sono:

- a. **Vincoli ambientali ed antropici**
Sono rappresentati da tutti i tematismi con elementi che possono essere di vincolo ad un eventuale sviluppo della maricoltura (o molluschicoltura) a causa di interferenze d'uso che possono insistere nella zona stessa.
- b. **Dati ambientali chimico-fisici**
Sono rappresentati dai parametri chimico-fisici e biologici afferenti all'area di studio, utili ad una caratterizzazione ambientale della stessa. La caratterizzazione ambientale è estensivamente descritta nella relazione di ARTA Abruzzo, da cui si evince che lungo la costa abruzzese i suddetti parametri idrodinamici ed ambientali non presentano differenze significative.

Per la definizione delle AZA sono state individuate le informazioni ed i dati minimi necessari, facendo riferimento alla tabella 1 del documento FAO.

Tabella 1. Informazioni e dati minimi necessari per definire l'area di studio.

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati
Batimetria	Rappresentazione grafica delle profondità marine	Strato geografico già disponibile in SeaGIS-

¹ ZONE ALLOCATE PER L'ACQUACOLTURA Una guida per l'istituzione di zone costiere assegnate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero

José Carlos Macias, Pablo Avila Zaragoza, Ioannis Karakassis, Pablo Sanchez-Jerez, Fabio Massa, Davide Fezzardi, Güzel Yücel Gier, Vlasta Franičević, Joseph A. Borg, Rosa María Chapela Pérez, Paolo Tomassetti, Dror L. Angel, Giovanna Marino, Hassan Nhhala, Houssam Hamza, Coline Carmignac e Linda Fourdain
Pubblicato in accordo con Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

² Consorzio UNImar S.c.r.l. in collaborazione con ISPRA

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati
		Abruzzo CNR-ISMAR Bologna.
Linea di costa	La linea di costa è la striscia di terra che si trova lungo il bordo di una costa, formando un confine tra terra e mare.	Strato geografico già disponibile in SeaGIS-Abruzzo ISPRA IT2006 coastline.
Infrastrutture portuali	Porti turistici e commerciali, approdi turistici.	Strato geografico già disponibile in SeaGIS-Abruzzo ISPRA database.
Infrastrutture di base del territorio	Strade principali, i porti locali, gli aeroporti, ecc. così come altre infrastrutture che possono essere di interesse per una produzione specifica, in particolare per quanto riguarda il trasporto dei prodotti.	Queste informazioni sono visibili nelle mappe di base del SeaGIS-Abruzzo
Entità territoriali	Città, cittadine, paesi e organizzazioni territoriali locali presenti nelle province o nelle regioni in esame sono essenziali per comprendere il contesto socioeconomico in cui saranno collocate le AZA e gli impianti di acquacoltura. La posizione di questi punti di riferimento è utile per lo studio delle strutture di comunicazione e di logistica, e la loro presenza in prossimità di un impianto di acquacoltura può supportare lo sviluppo delle attività quotidiane.	Queste informazioni sono visibili nelle mappe di base del SeaGIS-Abruzzo
NEW! Limite acque territoriali	Acque territoriali o mare territoriale, come definito dalla Convenzione delle Nazioni Unite del 1982 (12 miglia nautiche)	Strato geografico già disponibile in SeaGIS-Abruzzo

Da documento FAO, i dati e le informazioni amministrative e socioeconomiche da raccogliere si riferiscono ai diversi utilizzi, attività e occupazioni che insistono nell'area costiera e che sono spesso soggetti ai vincoli stabiliti dai regolamenti o ai piani specifici dei vari governi che hanno responsabilità nello spazio marittimo-terrestre (Tabella 2 del documento FAO).

Tabella 2. Parametri amministrativi e socioeconomici da considerare nella definizione delle AZA. L'ultima colonna riporta l'area di rispetto considerata.

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati	Buffer (area di rispetto, in metri)
Siti Natura	Aree designate a livello nazionale	Strato	3000

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati	Buffer (area di rispetto, in metri)
2000	contenenti informazioni sulle aree protette. In Abruzzo ci sono: un'area marina protetta "Torre del Cerrano", sei siti di importanza comunitaria (SIC) e tre riserve naturali.	geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	
Aree Marine Protette (Cerrano)	Aree designate a livello nazionale contenenti informazioni sulle aree protette. In Abruzzo c'è un'area marina protetta "Torre del Cerrano".	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	3000
Zone tutela Biologica	Aree designate a livello nazionale contenenti informazioni sulle aree protette. In Abruzzo ci sono: un'area marina protetta "Torre del Cerrano", sei siti di importanza comunitaria (SIC) e tre riserve naturali.	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	3000
Important Bird Areas	Aree designate a livello nazionale contenenti informazioni sulle aree protette. In Abruzzo ci sono: un'area marina protetta "Torre del Cerrano", sei siti di importanza comunitaria (SIC) e tre riserve naturali.	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	3000
Fanerogame	Aree con la presenza di praterie di posidonia (<i>Cymodocea</i>). La presenza di habitat di particolare interesse e/o protetti, come le praterie di fanerogame o altri elencati nella Direttiva "Habitat", deve essere presa in considerazione per stabilire un'area di precauzione dove avere particolare attenzione (Parametro di caratterizzazione del fondale marino).	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	3000
Foce Fiumi	Foce dei principali fiumi in Abruzzo. http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-di-scaricamento-wfs/	Portale Cartografico Ministero Ambiente	3000
SIN	Siti di Interesse Nazionale. I siti d'interesse	https://ww	3000

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati	Buffer (area di rispetto, in metri)
	<p>nazionale, ai fini della bonifica, sono individuabili in relazione alle caratteristiche del sito, alle quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, al rilievo dell'impatto sull'ambiente circostante in termini di rischio sanitario ed ecologico, nonché di pregiudizio per i beni culturali ed ambientali. (Art. 252, comma 1 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.).</p> <p>Lungo la costa abruzzese ricadono i SIN delle foci dei Fiumi Saline e Alento (D.M. 468/01 - Legge 289/02)</p>	w.regione.abruzzo.it/content/siti-di-interesse-regionale-saline-alento	
Porti	Porti principali, turistici, approdi da diporto.	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	3000
Ordigni Inesplosi	Aree adibite all'abbandono di armi ed esplosivi	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	1500
Barriere Artificiali	Barriere artificiali sommerse adibite al ripopolamento	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	500
Dumping Areas	Siti marini adibiti all'immersione di sedimenti portuali dragati	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	1000
Limite di	Limite di possibile contaminazione fecale	Strato	3000

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati	Buffer (area di rispetto, in metri)
possibile contaminazione e fecale		geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	
AREE SENSIBILI (d. lgs 152/2006)	Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche (d. lgs 152/2006).	Tipologia non presente in Abruzzo (*)	(3000)
Siti archeologici sommersi	Alcuni resti archeologici possono trovarsi sul fondale marino, portando alla designazione di aree di valore archeologico. In genere, occupano piccole aree e per questo motivo è importante identificarle e localizzarle perfettamente per non posizionare impianti di acquacoltura in siti archeologici. Data la difficoltà nel localizzare tali resti, è necessario effettuare studi di posizionamento e stabilire una distanza precauzionale.	Tipologia non presente in Abruzzo (*)	(3000)
Rotte marittime	Maggiori rotte in arrivo ed in partenza dalle coste italiane	Tipologia non presente in Abruzzo (*)	(1000)
Nautica Da Diporto	Porti principali, turistici, approdi da diporto	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	500
Insedimenti turistici	In alcune zone d'Italia, il turismo è un'attività economica importante ed è quindi necessario considerarne il livello di interazione con l'acquacoltura al fine di	Tipologia non presente in Abruzzo (*)	(1000)

(*) Informazione fornita dalla Direzione Marittima di Pescara

Parametro	Descrizione	Fonte dei dati	Buffer (area di rispetto, in metri)
	evitare conflitti nell'utilizzo dello spazio.		
Prelievo acque incendi	Aree destinate al prelievo delle acque per l'estinzione di incendi; generalmente è vietato l'ammarraggio degli aeromobili a una distanza inferiore ai 1000 metri dalla costa, e sono identificate alcune aree specifiche. In Abruzzo non ci sono aree espressamente destinate al prelievo dell'acqua per gli incendi, ma una serie di zone dove questo è vietato.	Dato fornito dalla Direzione Marittima di Pescara	(1000) non utilizzabile in Abruzzo
Aree in concessione ricerca e estrazione idrocarburi	Aree in cui le attività di pesca sono proibite per la presenza di elementi emersi o sommersi (aree di rispetto da piattaforme per l'estrazione di idrocarburi, condotte sottomarine, zone riservate alla balneazione)	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	500
Impianti di molluschicoltura	Aree marine dedicate all'allevamento di molluschi bivalvi e cozze già presenti.	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	500
Zone sosta (zone regolamentate)	Aree in cui le attività di pesca sono soggette a specifica legislazione (aree di fonda, aree per esercitazioni militari).	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	0
Relitti	Presenza di relitti sul fondale (dall'Istituto Idrografico della Marina e dalle Capitanerie di Porto Abruzzesi)	Strato geografico disponibile in SeaGIS Abruzzo	500

Promuovere di concerto con Regione Abruzzo e tavolo tecnico la raccolta dei dati relativi ai parametri individuati e provvedere alla loro validazione, georeferenziazione ed elaborazione per la definizione delle aree marine più idonee alla acquacoltura utilizzando le mappe elaborate dal progetto SeaGIS Abruzzo e quelle che saranno ulteriormente elaborate da IZSAM nell'ambito del presente lavoro.

Il sistema informativo **SeaGIS Abruzzo** (accessibile al link pubblico http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/, descritto nella pubblicazione scientifica <https://doi.org/10.4081/gh.2018.705>, e presentato nel video corredato <https://www.youtube.com/watch?v=4Td1e3iHmDk>) è stato sviluppato da IZSAM nel corso di una precedente collaborazione con la Regione Abruzzo, nell'ambito delle attività del progetto ECOSEA (<http://www.ecosea.eu/it/>), finanziato nell'ambito del programma di cooperazione transfrontaliero IPA Adriatico, Area di intervento 2 – Protezione e rafforzamento dell'ambiente marino e delle coste, 2012-2016. In particolare, **SeaGIS Abruzzo** è un sistema informativo di mappe tematiche pubblicato su web (webGIS) in grado di rappresentare la costa abruzzese del Mare Adriatico con tutte le informazioni sull'uso del mare e sulla pesca, raccolte dagli enti ufficialmente preposti alla loro gestione. La figura 1 mostra l'interfaccia dell'applicazione.

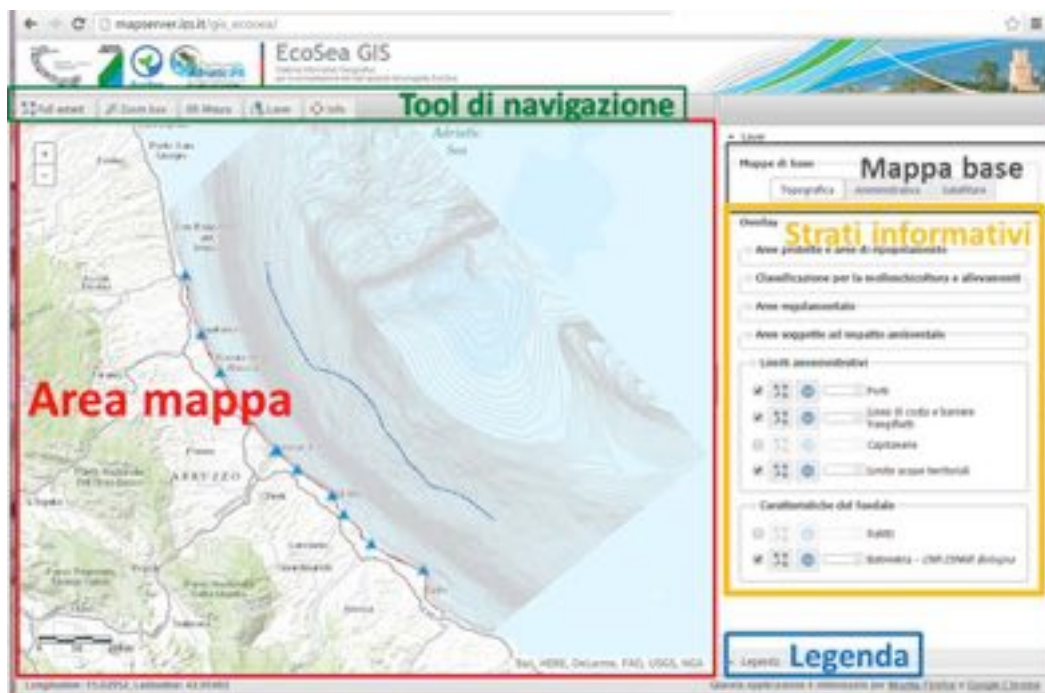


Figura 1. Visualizzazione del webGIS SeaGIS Abruzzo, accessibile dalla home page del Servizio Pesca della Regione Abruzzo e dal link http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/

Dopo aver individuato tutti gli strati informativi di interesse come riportati nelle tabelle 1 e 2, essi sono stati raccolti in un unico database geografico (Oracle 12c) e processati con il software geografico ESRI® ArcMap 10.6. I singoli strati geografici sono stati poi elaborati attraverso strumenti di geoprocessing per creare le aree di rispetto, dette buffer. La scala di lavoro è stata approssimativamente tra 1/10 000 e 1/50 000.

I singoli strati geografici sono stati quindi esposti come servizi ReST di ArcGIS tramite una connessione ad ArcGIS Server 10.6 per la loro consultazione su un sistema WebGIS.

Nel corso della presente collaborazione, per permettere alla Regione una esplorazione dinamica ed interattiva delle informazioni, è stato disegnato e costruito un nuovo webGIS “Ecosea Data Explorer”, realizzato tramite la piattaforma ESRI® ArcGIS Online (figura 2).

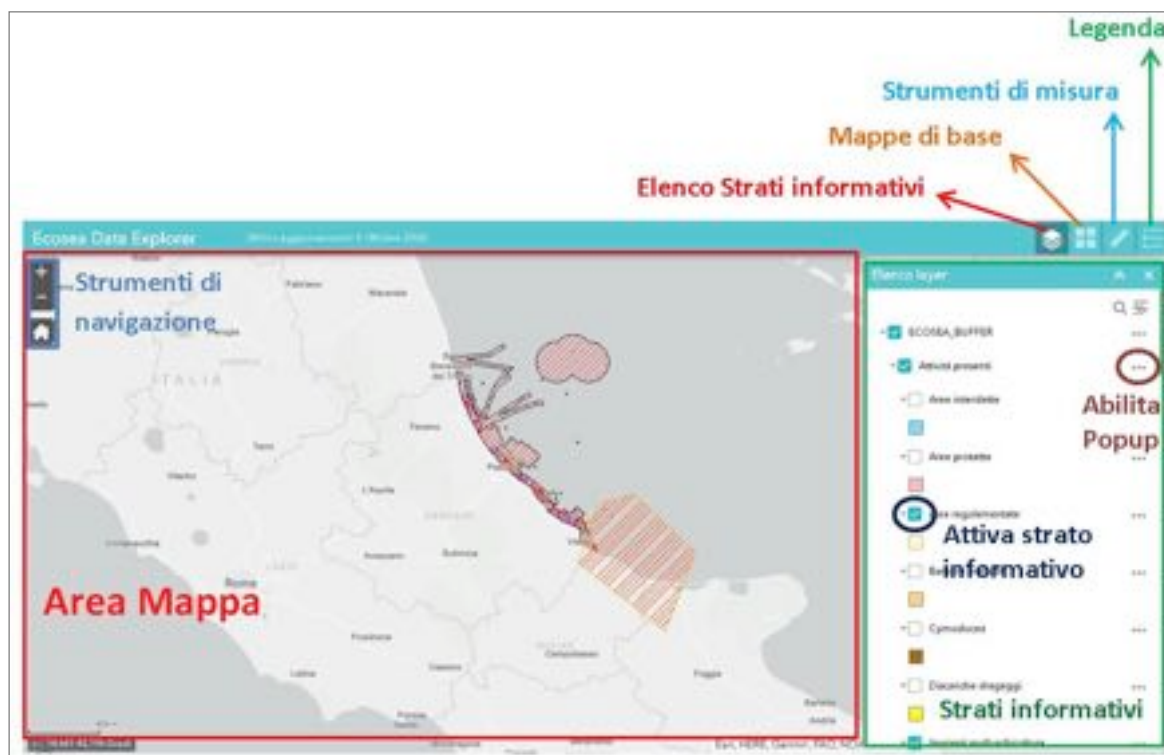


Figura 2 - Visualizzazione del webGIS Ecosea Data Explorer, accessibile dal link <https://arcg.is/185W4e>

In questo nuovo sistema, sono consultabili gli strati informativi già presenti in SeaGIS Abruzzo (attività presenti); e ulteriori strati informativi contenenti le zone di distanza cautelativa dagli insediamenti in mare (aree di esclusione), come da indicazione del gruppo di lavoro; parametri ambientali e altri dataset (con batimetria, limite acque territoriali, etc.). L'applicazione è liberamente accessibile dal seguente url <https://arcg.is/185W4e>. Essa permette l'accensione e lo spegnimento dei singoli strati informativi e cliccando direttamente sull'elemento presente in mappa, è possibile la visualizzazione degli attributi (ossia tutte le informazioni disponibili per quell'oggetto in formato tabellare). Inoltre, nell'applicazione è possibile scegliere la mappa di sfondo, visualizzare la legenda ed utilizzare gli strumenti di misura (figura 3).

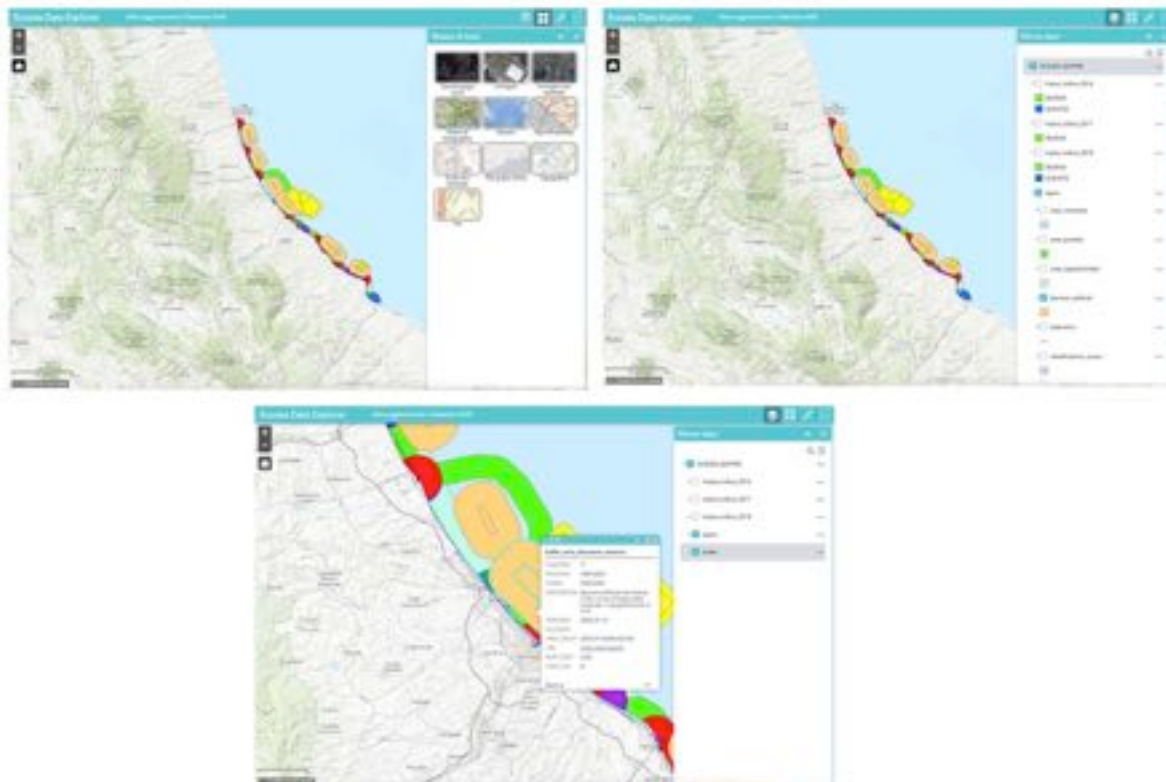


Figura 3. Applicazione “Ecosea Data Explorer”, realizzata per la visualizzazione dei dati e delle aree di rispetto degli strati informativi presenti in SeaGIS-Abruzzo.

- *Aggiornare il webGIS “SeaGIS Abruzzo” (http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/) con i nuovi strati informativi e con i nuovi dati che saranno prodotti dal Tavolo Tecnico.*

L’IZSAM si è occupato inoltre di **aggiornare il webGIS “SeaGIS Abruzzo”** (http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/) con i nuovi strati informativi e con i nuovi dati. Durante la collaborazione **sono state aggiornate le informazioni già contenute nel sistema** grazie alla collaborazione con la Direzione Marittima di Pescara (nuovo elettrodotto Italia-Montenegro di Terna inaugurato nell’autunno 2019, aree prelievo incendi, etc.). Inoltre, nel sistema è stata integrata la classificazione delle acque per la molluschicoltura, dinamica e continuamente aggiornata, in quanto alimentata dallo specifico sistema che raccoglie ed elabora le informazioni relative alle attività di monitoraggio e controllo sulle aree di produzione e stabulazione dei molluschi bivalvi nel Sistema Informativo Nazionale Veterinario per la Sicurezza Alimentare (SINVSA), disponibile tra i servizi offerti dal portale Vetinfo (Servizio Informativo Veterinario) del Ministero della Salute. Tale strato informativo è aggiornato dinamicamente dalle autorità preposte (Regioni, etc.) tramite un applicativo gestionale, sia per lo stato sanitario sia le geometrie.

II. Sperimentazione con dati satellitari

Nell'ambito della presente collaborazione, IZSAM ha sperimentato modelli di utilizzo di immagini satellitari per la verifica della dispersione di sedimenti in mare e per il confronto con dati reali provenienti da sonda multiparametrica.

Le tecniche di rilevamento *in situ* e da remoto sono complementari e supportano un'ampia gamma di possibilità per il monitoraggio della qualità dell'acqua. Gli studi in questo settore sono in continua crescita ed evoluzione, inclusa l'integrazione in modelli previsionali a carattere regionale e locale.

L'obiettivo è di ottenere, a regime, mappe multi-temporali di solidi sospesi totali su vaste porzioni di superfici, finalizzati al monitoraggio dei loro pattern spaziali di distribuzione. Predisponendo gli algoritmi di stima per le acque della costa abruzzese, essi potranno essere utilizzati per ottimizzare gli strumenti di monitoraggio riducendo anche l'impiego delle risorse in mare, sfruttando la loro elevata accuratezza spaziale ed elevata frequenza di passaggio.

In particolare, l'IZSAM:

- ha innanzitutto esplorato ed identificato i prodotti satellitari migliori tra quelli disponibili, individuando il programma Europeo Copernicus ed i sensori ottici a bordo dei Sentinel 2 per le loro acquisizioni ad alta risoluzione spaziale (pixel a Terra di 10, 20 o 60 metri), ad alte frequenze di passaggi (almeno ogni 5 giorni sullo stesso punto) e con un'ampia gamma di spettro elettromagnetico rilevato (13 bande spettrali, dal visibile all'infrarosso);
- si è occupato dello scarico e dell'archiviazione di tali dati satellitari nei server IZSAM, e del loro processamento tramite macchine virtuali dedicate;
- ha collaborato con ARTA Abruzzo alla definizione dei campionamenti in mare da effettuare nel corso del presente progetto con sonda multiparametrica, individuando l'area di interesse tra il porto di Pescara e l'impianto di miticoltura Mitilmare Srl, pianificando le distanze e le frequenze di rilevazione;
- ha fornito ad ARTA Abruzzo il calendario con i passaggi dei satelliti Sentinel-2A o Sentinel-2B, per scegliere le date in cui effettuare le uscite in mare, in giornate limpide senza copertura nuvolosa, così da avere dati per lo stesso giorno, con qualche ora di tolleranza tra il passaggio del satellite e la misurazione in mare;
- ha disposto un workflow con il software SNAP di ESA e algoritmi in Python in grado di correlare i dati acquisiti da satellite con le rilevazioni effettuate in mare;
- ha messo a punto il workflow, prima delle uscite in mare, utilizzando un dataset fornito dall'ARTA Abruzzo e relativo ai campionamenti effettuati per motivi istituzionali nel corso dell'anno 2018, in 14 punti lungo la costa abruzzese;
- i risultati preliminari di tale messa a punto sono descritti nel lavoro scientifico dal titolo "Sentinel-2 e campionamenti *In Situ* per il monitoraggio delle acque marine dell'Abruzzo: primi risultati", che sarà pubblicato sul prossimo Volume of Symposium Proceedings, by Firenze University Press. Il lavoro scientifico è integralmente riportato nell'Allegato 2;

- ha ulteriormente migliorato il workflow, ottimizzando i parametri propri degli algoritmi, avvalendosi, a titolo gratuito, anche del supporto di esperti dell'argomento;
- ha applicato il workflow alle immagini acquisite in corrispondenza delle uscite in mare di ARTA, 7 nel 2019 e 5 nel 2020;
- ha elaborato statisticamente i risultati;
- ha prodotto mappe di distribuzione di clorofilla "a" e solidi sospesi per la costa Abruzzese, nel tratto che va approssimativamente tra Giulianova e Francavilla.

I campionamenti in mare

IZSAM e ARTA Abruzzo hanno collaborato alla definizione del campionamento, che tenesse conto delle esigenze pratiche di spostamento e gestione della barca, della numerosità statistica dei campioni raccolti, della rappresentatività dei dati, ossia che comprendesse un ampio intervallo di valori dei parametri.

Il campionamento scelto è composto da un reticolo di venti punti, distribuiti su sei file di transetti trasversali alla costa, distribuiti nell'area compresa tra la foce del fiume Pescara e l'impianto di miticoltura Mitilmare Srl.

In ciascun punto, il personale di ARTA Abruzzo, con l'ausilio della Motonave Ermione, ha effettuato con la sonda multiparametrica IDRONAUT Ocean Seven 316 Plus equipaggiata con fluorimetro e torbidimetro Seapoint Sensors, inc, rilevazioni chimico-fisiche, misura della clorofilla 'a', temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, torbidità sulla colonna d'acqua. Negli stessi punti, in qualche uscita, l'ARTA ha prelevato campioni di acqua per eseguire analisi di laboratorio per i parametri clorofilla "a" e solidi sospesi.

I dati Sentinel: proprietà e caratteristiche

Il programma considerato è stato il programma Europeo Copernicus, per l'Osservazione della Terra, che con i sensori ottici a bordo di Sentinel 2, unisce acquisizioni di dati da remoto ad alta risoluzione spaziale (pixel a Terra di 10, 20 o 60 metri) ad alte frequenze di passaggi (almeno ogni 5 giorni sullo stesso punto) e con un'ampia gamma di spettro elettromagnetico rilevato (13 bande spettrali, dal visibile all'infrarosso).

I dati della missione Sentinel-2, sono dedicati al monitoraggio della copertura del suolo, ma anche a quello delle acque terrestri e marine e alla mappatura delle variabili biofisiche, come la clorofilla 'a' nelle acque e le concentrazioni di sedimenti solidi sospesi (TSM).

La missione Sentinel-2 è dotata di una costellazione di due satelliti gemelli, Sentinel-2A e Sentinel-2B, che seguono la stessa orbita, sfalsati di 180°, così da assicurare dati con tempi di rivisitazione e copertura globale di 5 giorni all'Equatore. 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 di 10 metri al suolo ed uno swath (superficie acquisita a Terra) di 290 km.

L'acqua possiede uno specifico comportamento nello spettro elettromagnetico che contrasta con gli elementi del paesaggio al contorno [Bresciani et al., 2011]. Se limpida, assorbe principalmente le radiazioni più lunghe del visibile e dell'infrarosso e diffonde quelle più corte (motivo per cui appare blu o blu-verde). La frazione di energia incidente riflessa (circa il 5%) è comunque molto bassa rispetto alle altre superfici. L'interazione dell'acqua con l'energia elettromagnetica dipende:

- dalla rugosità della superficie
- da ciò che è contenuto nell'acqua
- dal fondale.

Soprattutto nella banda del visibile dello spettro elettromagnetico, l'energia riflessa dalle superfici acquatiche contiene informazioni sui parametri di qualità dell'acqua otticamente attivi. Questi parametri sono così denominati perché regolano e modificano il comportamento spettrale dell'acqua stessa e sono dunque indagabili attraverso le tecniche di Telerilevamento. In particolare questi parametri sono: la presenza di fioriture algali, la concentrazione di pigmenti fotosintetici (in particolare chl-a), concentrazioni di sedimenti solidi sospesi (TSM), trasparenza, presenza di sostanze gialle (CDOM), temperatura superficiale, batimetria e copertura del fondale (solo per acque poco profonde).

Si è scelto di sperimentare due caratteristiche dell'acqua, in qualche modo misurabili da remoto, perché legate alla trasparenza dell'acqua stessa: la torbidità e la clorofilla.

I dati Sentinel: processamento per l'estrazione dei dati di concentrazione di clorofilla (CHL) e sedimenti di solidi sospesi (TSM)

Il processamento dei dati Sentinel 2 MSI è composto da due fasi principali: l'acquisizione e la successiva elaborazione.

L'acquisizione è avvenuta tramite un batch script Python che sfrutta, previa registrazione, il servizio Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>), 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 T33TVH della griglia di distribuzione, appartenenti alle orbite 79 e 122 dei satelliti (figura 4). La zona presa in esame è compresa nella zona di sovrapposizione di due orbite, ed ha quindi passaggi dei satelliti più frequenti di quelli nominali (5 giorni): in questa zona si ha un passaggio ogni 2-3 giorni.

Il livello 1C fornisce immagini ortorettificate di dimensione 100x100 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 ESA 7.0 su una macchina virtuale (VM) dedicata, ha previsto il ricampionamento (o resampling) del dato alla risoluzione spaziale di 10 m e l'estrazione delle bande di clorofilla e sedimenti solidi sospesi con il processore C2RCC S2-MSI (Case-2 Regional CoastColor, specifico per il Multispectral Instrument delle Sentinel-2) (Brockmann et al., 2016).

L'algoritmo è stato adattato alle nostre coste, utilizzando i valori di salinità e temperatura dell'acqua ottenuti dai campionamenti effettuati in mare da ARTA Abruzzo, e quelli di pressione atmosferica relativa all'Aeroporto di Pescara, (<https://weatherspark.com/h/d/148314/2018/1/3/Historical-Weather-on-Wednesday-January-3-2018-at-Abruzzo-Airport-Italy#metar-08-50>), ricalcolata all'altezza del livello del mare.

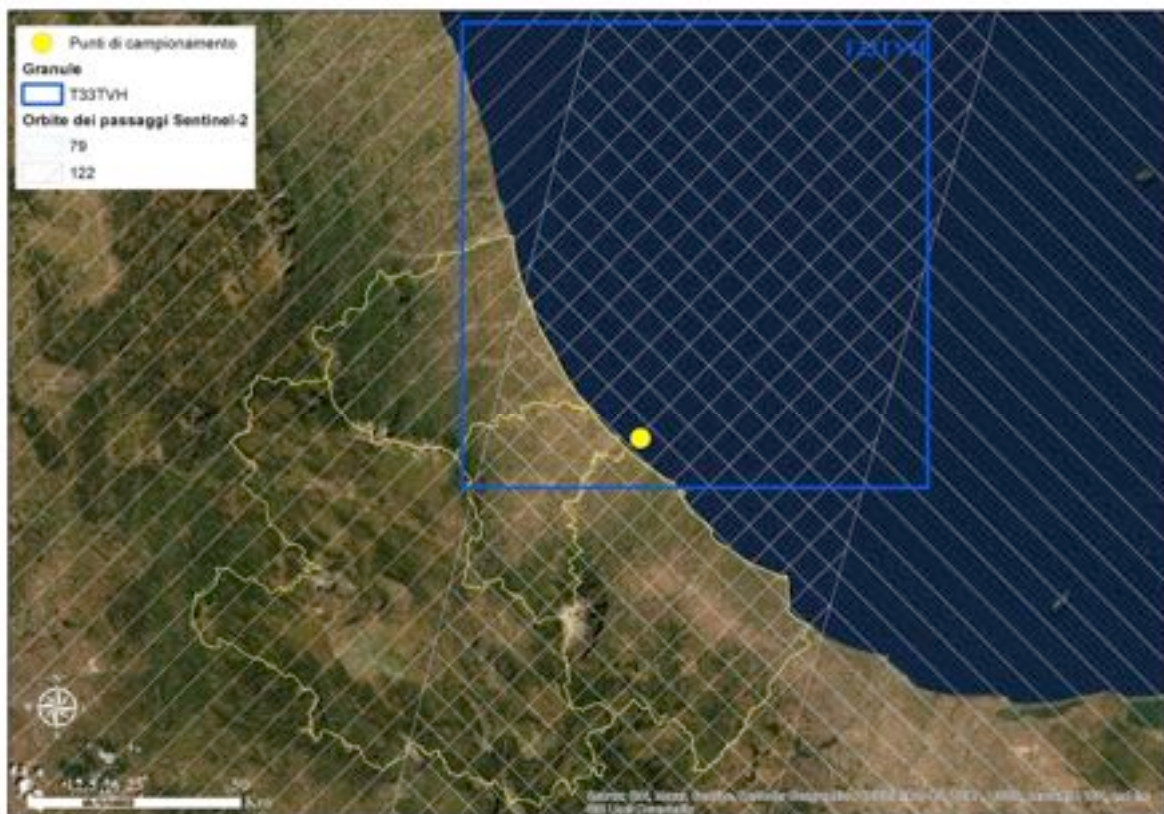


Figura 4 -Localizzazione dell'area di studio alla foce del fiume Pescara (punto giallo sulla mappa). Il riquadro blu mostra l'extent del tile T33TVH delle immagini satellitari acquisite dai sensori a bordo dei satelliti Sentinel-2A e Sentinel-2B. Le zone coperte dai passaggi dei satelliti (orbite 79 e 122) sulla area di studio sono riportate con un grigliato.

Analisi statistica dei dati

Dagli strati informativi ottenuti, Chlorophyll concentration (CHL) e total suspended matter dry weight concentration (TSM), sono stati estratti sia i valori nei punti di campionamento,

sia la media dei valori in un buffer di 100 metri di raggio intorno a ciascun punto, per ciascuna data di acquisizione.

Per questa elaborazione è stato utilizzato il software ESRI® ArcMap 10.6.

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

I. Proposta di definizione delle AZA

Partecipare ai tavoli di consultazione ed agli incontri tecnici organizzati per la pianificazione in acquacoltura fornendo supporto tecnico alla Regione Abruzzo.

Il primo incontro si è tenuto il 03 aprile 2019 presso la sede della Regione Abruzzo, assessorato Agricoltura e Pesca a Pescara. Durante l'incontro sono state discussi gli accordi di programma e pianificate le attività e le tempistiche.

Riunioni *ad hoc* si sono tenute presso la sede dell'ARTA Abruzzo per definire gli strati informativi rilevanti per la definizione delle AZA ed il piano di campionamento per i satelliti in data 19/03/2019, 12/06/2020, 20/06/2019, 02/08/2019, via Skype il 13/07/2020 e presso la sede della Regione Abruzzo, assessorato alla Pesca, il 03/04/2019, 30/10/2019, 15/09/2020, 18/09/2020).

Definire i parametri spaziali da prendere in considerazione per la definizione delle AZA con relative zone buffer.

Promuovere di concerto con Regione Abruzzo e tavolo tecnico la raccolta dei dati relativi ai parametri individuati e provvedere alla loro validazione, georeferenziazione ed elaborazione per la definizione delle aree marine più idonee alla acquacoltura utilizzando le mappe elaborate dal progetto SeaGIS Abruzzo e quelle che saranno ulteriormente elaborate da IZSAM nell'ambito del presente lavoro.

Redigere contributi tecnici, cartografie tematiche e prodotti per la divulgazione dei risultati.

In accordo con la Regione Abruzzo e l'ARTA Abruzzo, sono state seguite le indicazioni del tavolo tecnico ITAQUA che ha adatto i parametri definiti nei documenti FAO e MIPAF alla costa Abruzzese. Le precedenti tabelle 1 e 2 riportano gli singoli strati informativi individuati come vincoli per le AZA e la relativa area di rispetto (buffer).

La maggior parte degli strati informativi era già presente (digitalizzato, verificato e validato) nell'applicativo SeaGIS Abruzzo, frutto di una precedente collaborazione tra IZSAM e Regione Abruzzo. Durante la collaborazione sono state aggiornate le informazioni già contenute nel sistema grazie alla collaborazione con la Direzione Marittima di Pescara.

L'allegato 1 riporta tutte le mappe tematiche degli strati informativi considerati e delle aree di rispetto considerate.

La sovrapposizione degli strati informativi (operazione di overlay geografico) ha generato la mappa (figura 5) con la proposta delle aree marine in cui dovrebbero essere escluse attività di acquacoltura (mappa dei vincoli), nello specchio di mare prospiciente le coste della Regione Abruzzo tra la linea di costa e le 12 miglia nautiche (linea delle acque territoriali).

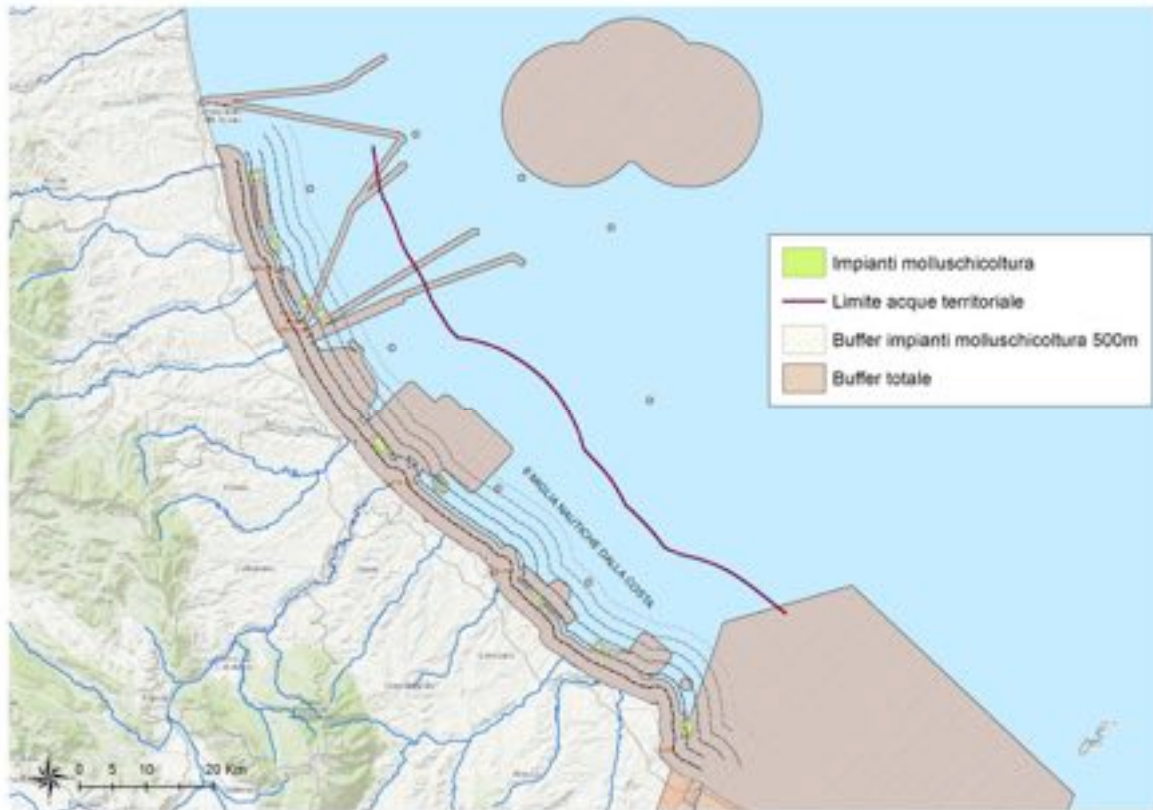


Figura 5 - Proposta delle aree marine in cui dovrebbero essere escluse attività di acquacoltura (mappa dei vincoli).

La definizione delle aree per le AZA è ovviamente dinamica, e va aggiornata periodicamente, in conseguenza delle modifiche ai vincoli. Tali modifiche andrebbero comunicate per il loro aggiornamento negli applicativi disponibili, sia SeaGIS Abruzzo, sia Ecosea Data Explorer.

Aggiornare il webGIS “SeaGIS Abruzzo” (http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/) con i nuovi strati informativi e con i nuovi dati che saranno prodotti dal Tavolo Tecnico.

L’IZSAM si è occupato inoltre di **aggiornare il webGIS “SeaGIS Abruzzo”** (http://mapserver.izs.it/gis_ecosea/) con i nuovi strati informativi e con i nuovi dati. Durante la collaborazione **sono state aggiornate le informazioni già contenute nel sistema** grazie alla collaborazione con la Direzione Marittima di Pescara.

Inoltre, nel sistema è stata integrata la classificazione delle acque per la molluschicoltura, dinamica e continuamente aggiornata, in quanto alimentata dallo specifico sistema che raccoglie ed elabora le informazioni relative alle attività di monitoraggio e controllo sulle aree di produzione e stabulazione dei molluschi bivalvi nel Sistema Informativo Nazionale Veterinario per la Sicurezza Alimentare (SINVSA), disponibile tra i servizi offerti dal portale Vetinfo (Servizio Informativo Veterinario) del Ministero della Salute.

II. Sperimentazione con dati satellitari

I campionamenti in mare

Il piano di campionamento dei punti in mare è stato definito tra IZSAM e ARTA Abruzzo in base ai criteri statistici ed alle esigenze organizzative emerse durante gli incontri. La tabella 3 mostra l'elenco dei 20 punti di campionamento individuati tra il porto di Pescara e l'impianto di miticoltura Mitilmare Srl, e ne riporta i codici, le coordinate geografiche e la profondità; la figura 6 mostra la loro distribuzione geografica su sei file di transetti trasversali alla costa, identificati con le lettere dalla A alla F.

Il campionamento scelto è composto da un reticolo di venti punti (tabella 3), distribuiti su sei file di transetti trasversali alla costa (identificati con le lettere dalla A alla F), distribuiti nell'area compresa tra la foce del fiume Pescara e l'impianto di miticoltura Mitilmare Srl (Figura 6). La distanza tra i transetti A e B è di circa 750 metri e sono composti da 4 punti ciascuno equidistanziati tra loro, tra B e C la distanza è di circa 1000 metri, gli altri transetti sono distanti circa 1400 metri e composti da 3 punti (nei transetti C-F).

Tabella 3 – Coordinate geografiche, profondità e codice dei punti di campionamento localizzati tra la foce del fiume Pescara e l'impianto di miticoltura Mitilmare Srl.

Codice Punto	Latitudine Nord	Longitudine Est	Profondità (in metri)
A1	42,47604185	14,23693554	10
A2	42,47024603	14,23887662	8
A3	42,46399487	14,24102152	6
A4	42,45817748	14,24300149	5
B1	42,47606601	14,24611064	11
B2	42,47014963	14,24805525	10
B3	42,4642437	14,2500019	9
B4	42,45822296	14,25207088	7
C1	42,47619929	14,25830606	13
C2	42,46743472	14,26123382	12
C3	42,45840778	14,26451742	10
D1	42,4763111	14,27491774	15
D2	42,46761407	14,2777106	14
D3	42,45854135	14,28088795	13
E1	42,47641072	14,29173029	18
E2	42,46765233	14,29529778	16
E3	42,4588099	14,29792127	15
F1	42,47670395	14,30835321	20

F2	42,46757508	14,31178943	19
F3	42,45924094	14,31517403	17



Figura 6 - Distribuzione geografica dei punti di campionamento in mare per l'appaiamento con le rilevazioni satellitari.

I dati Sentinel: proprietà e caratteristiche

Le uscite in mare per l'acquisizione dei dati sono avvenute in corrispondenza di alcuni passaggi dei satelliti Sentinel-2A o Sentinel-2B, in giornate senza copertura nuvolosa, così da avere acquisizioni contemporanee, con qualche ora di tolleranza tra il passaggio del satellite e la misurazione in mare. La tabella 4 riporta le date di campionamento, il satellite passante in quel giorno ed eventuali criticità.

Tabella 4. Date di campionamento in mare, corrispondente passaggio del satellite Sentinel (2A o 2B) ed eventuali criticità.

DATA DI CAMPIONAMENTO	DATI ARTA	Satellite	Sentinel 2 TVH Download	Criticità (nuvolosità, altro)
27/06/2019	✓	2A	✓	-
10/07/2019	✓	2A	✓	nuvolosità 99.79% non si può elaborare
06/08/2019	✓	2A	✓	-
13/09/2019	✓	2B	✓	-

25/09/2019	✓	2A	✓	nuvolosità: 33.8%
30/09/2019	✓	2B	✓	nuvolosità: 0.7%
28/10/2019	✓	2A	✓	nuvolosità: 72.38%
09/12/2019	✓	2B	✓	nuvolosità: 0.45%
17/02/2020	✓	2B	✓	nuvolosità: 29.0%
19/06/2020	✓	2B	✓	nuvolosità: 4.48%
06/07/2020	✓	2B	✓	-
21/07/2020	✓	2A	✓	-
02/10/2020	✓	2A	✓	nuvolosità: 40.19%

I dati Sentinel: processamento per l'estrazione dei dati di concentrazione di clorofilla (CHL) e sedimenti di solidi sospesi (TSM)

La figura 7 mostra il workflow del processamento dei dati satellitari Sentinel-2, dal download all'elaborazione tramite il software SNAP di ESA e algoritmi in Python, in grado di interfacciare ed associare i dati satellitari con le rilevazioni effettuate in mare dall'ARTA Abruzzo con sonda multiparametrica. Il risultato dell'elaborazione è rappresentato dai due strati informativi chlorophyll concentration (CHL) e total suspended matter dry weight concentration (TSM). Le elaborazioni relative alla giornata del 13.09.2019 sono riportate in figura 8 a titolo esemplificativo, e le mappe elaborate per tutte le date sono riportate nell'appendice 3.

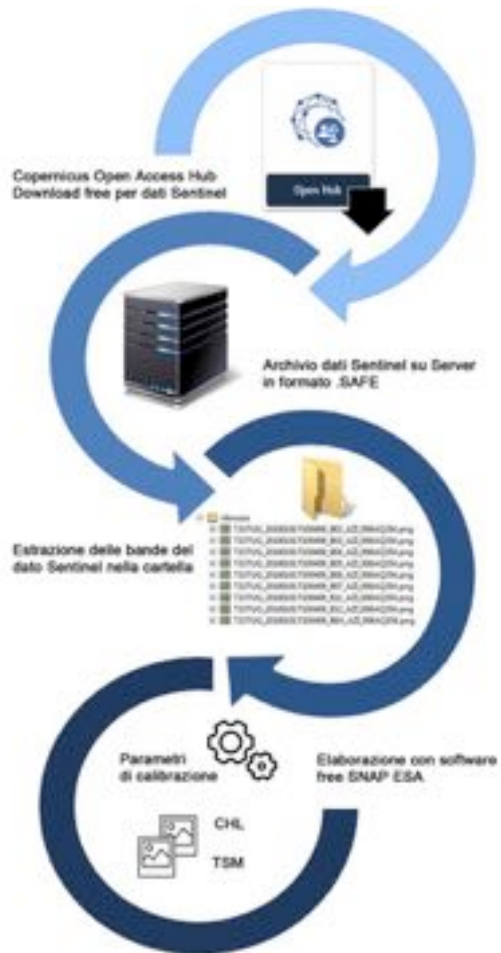


Figura 7 - Workflow per il processamento delle immagini satellitari Sentinel-2

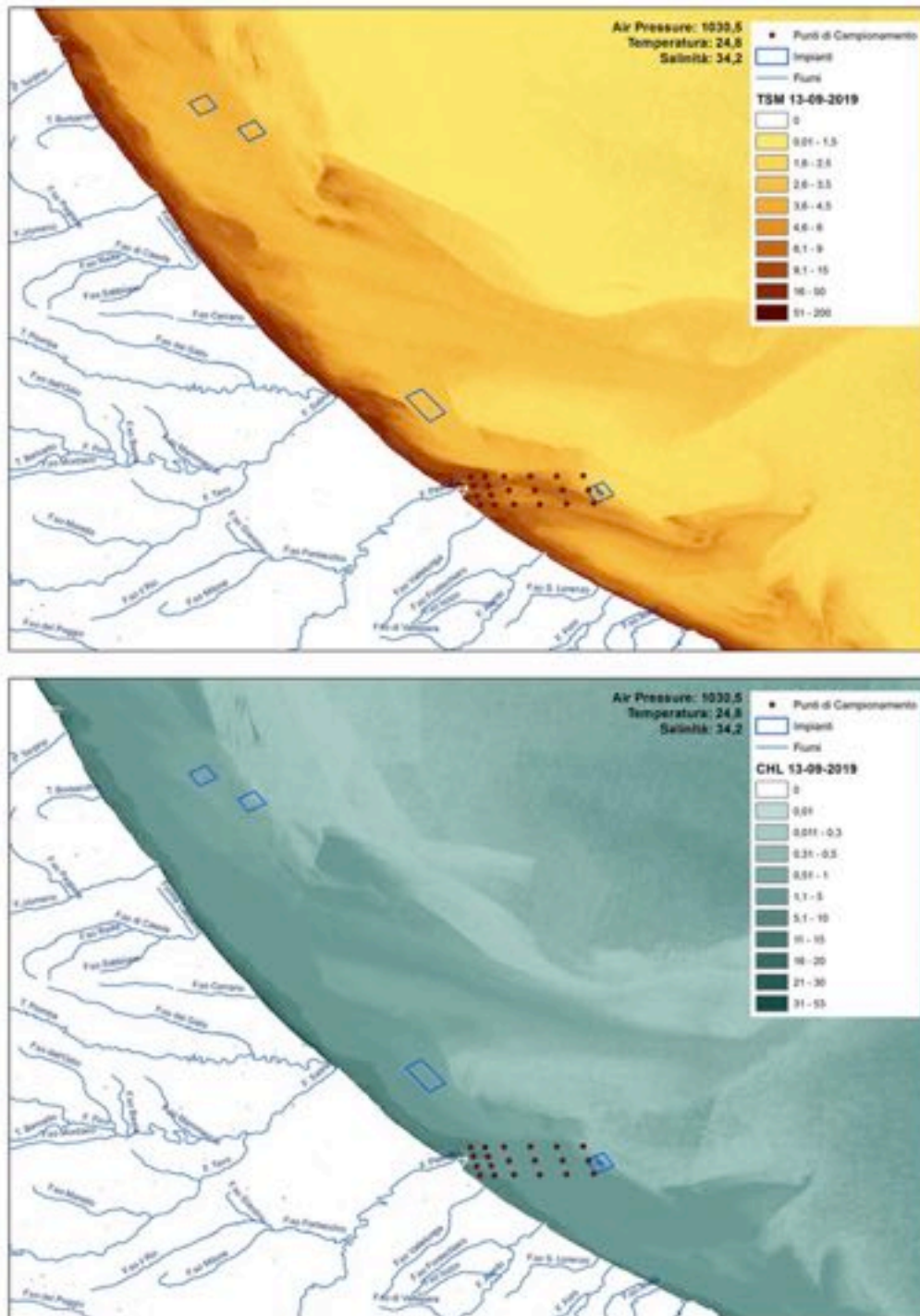


Figura 8 - Mappe ottenute tramite il processore C2RCC del software SNAP di ESA dall'elaborazione delle immagini satellitari Sentinel-2 del giorno 13-09-2019, per i sedimenti solidi sospesi (in alto: TSM) e per la clorofilla (in basso: CHL) nei pressi della foce del Fiume Pescara. Le mappe elaborate per tutte le date sono riportate nell'appendice 3.

Analisi statistica dei dati

Per verificare l'esistenza di una relazione tra i valori dei parametri di clorofilla (CHL) e sedimenti di solidi sospesi (TSM) stimati da satellite (sia in corrispondenza del punto esatto di campionamento che dalla media dei valori di un buffer di 100 metri intorno al punto) con i valori di fluorescenza e di torbidità misurati *in situ*, è stato applicato un modello di regressione lineare, che ha evidenziato risultati statisticamente significativi per i TSM nel punto ($r^2 = 0,77$, figura 9) e nel buffer ($r^2=0.82$, figura 10).

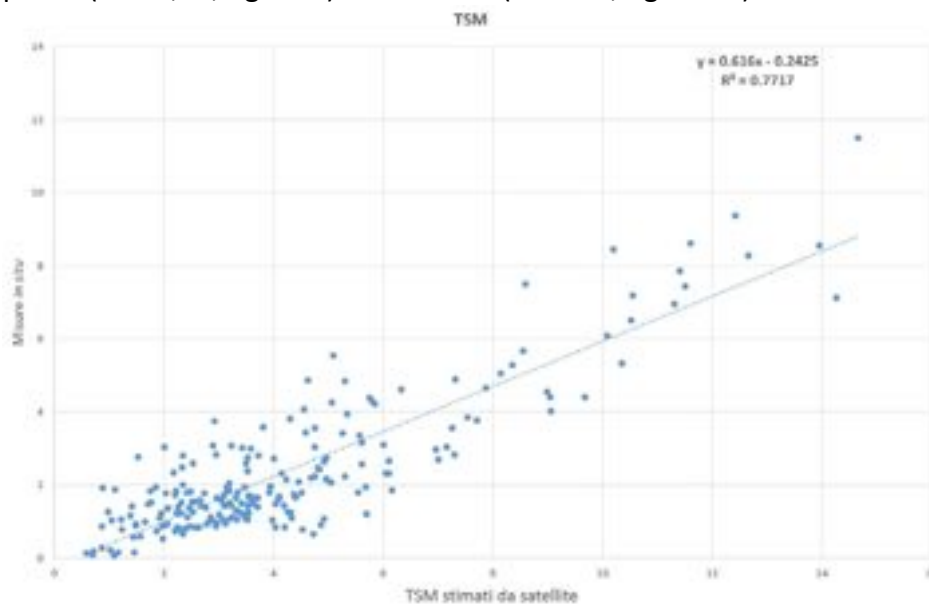


Figura 9. Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) con fluorimetro (in FTU) e le concentrazioni di solidi sospesi stimate con l’algoritmo C2RCC dai dati satellitari (asse x) nel punto di campionamento (in g/m3).

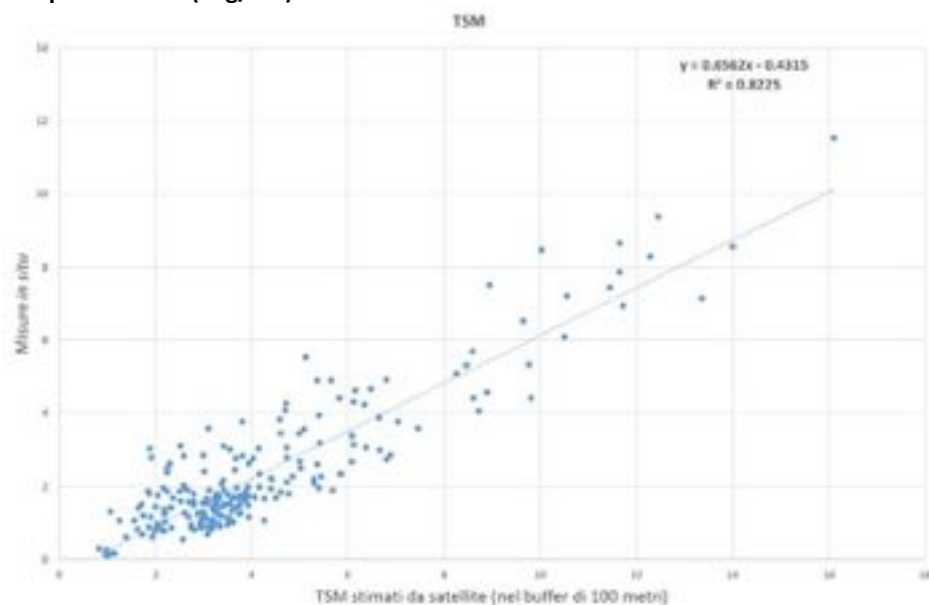


Figura 10. Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) con fluorimetro (in FTU) e le concentrazioni di solidi sospesi stimate con l’algoritmo C2RCC dai dati satellitari (asse x) nell’intorno di 100 m dal punto di campionamento (in g/m3).

Per la clorofilla “a” (CHL-a), le correlazioni non sono significative né considerando i valori stimati nel punto né i valori medi nel buffer di 100 metri, avendo le regressioni bassi valori di r^2 in entrambe le stime. Le figure 11 e 12 riportano la distribuzione dei valori.

La nuvola di punti con valori misurati *in situ* (asse y) maggiori di 1 fanno tutti riferimento alla data del 09 dicembre 2019, quando probabilmente una fioritura algale è stata presente sull’acqua alla foce del Pescara.

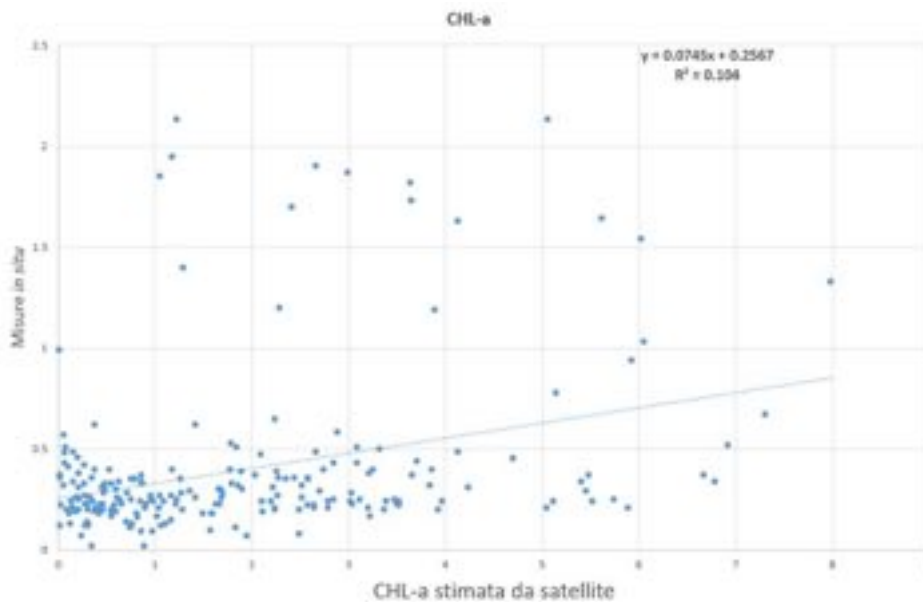


Figura 11. Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) e le concentrazioni di clorofilla “a” stimate a partire dai dati satellitari (Satellite) sul punto di campionamento (mg/m3).

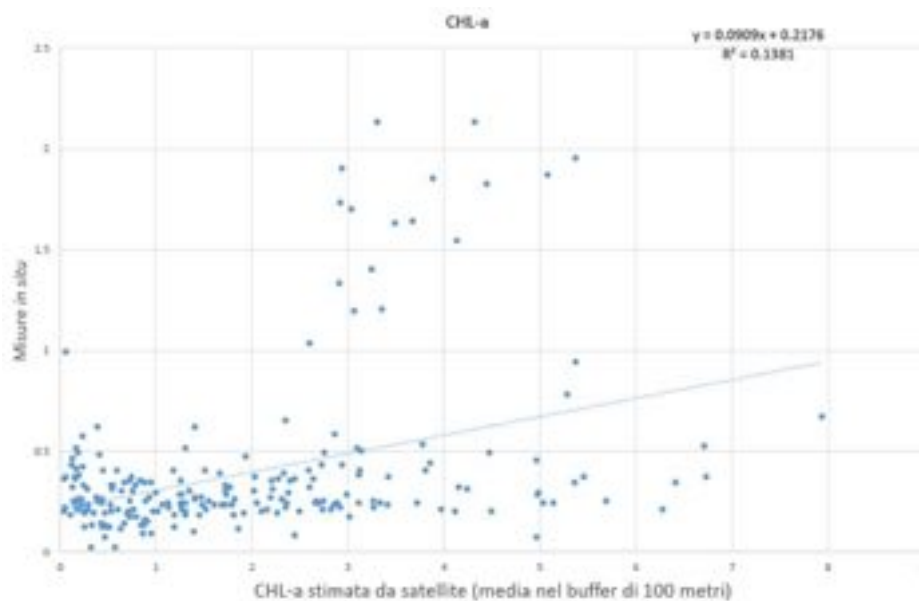


Figura 12. Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) e le concentrazioni di clorofilla “a” stimate a partire dai dati satellitari (Satellite) nel buffer di 100 metri attorno al punto di campionamento (mg/m3).

Discussione e conclusioni

Lo scopo del presente lavoro è una preliminare proposta di identificazione delle aree adatte alla molluschicoltura (AZA).

Per la definizione delle AZA sono stati presi in considerazione i vincoli esistenti e parametri biologici, come l'indice Trix, e la contaminazione di origine fecale, identificati secondo criteri stabiliti dal tavolo nazionale MIPAAF ed accolti dal tavolo tecnico regionale.

I dati di origine presenti nel sistema SeaGIS Abruzzo, che indicano i vincoli esistenti, sono stati integrati con nuove informazioni provenienti da fonti ufficiali e sono stati elaborati con un software geografico (GIS).

Per ciascun dato è stata creata un'area di rispetto, secondo criteri condivisi dal tavolo tecnico e dalle linee guida FAO e MIPAAF, ed è stata creata la relativa mappa tematica.

Il nuovo sistema geografico informativo creato 'Ecosea Data Explorer' permette la sovrapposizione delle informazioni (overlay) e l'integrazione delle mappe, considerando tutti gli strati informativi che rappresentano i tematismi considerati.

L'unione delle aree così generate, è da considerarsi come l'area con presenza di vincoli, in cui è da escludere l'attività di molluschicoltura. Tutta l'area complementare, nelle acque territoriali, è da considerarsi idonea all'attività di acquacoltura.

La proposta di definizione delle aree per le AZA è ovviamente dinamica, e va aggiornata periodicamente, in conseguenza delle modifiche ai vincoli. Tali modifiche andrebbero comunicate dalla Regione Abruzzo all'IZSAM per il loro aggiornamento negli applicativi disponibili, sia SeaGIS Abruzzo, sia Ecosea Data Explorer. A tale proposito è auspicabile un'apposita convenzione tra Regione Abruzzo e IZSAM in modo che l'aggiornamento continuativo dei due GIS permetta un utilizzo adeguato dei due sistemi per tutti i portatori di interesse.

Le caratteristiche ambientali e climatiche sono valutabili con dati derivati da satellite, con uno studio sui dati periodici messi a disposizione da Copernicus CMEMS (o altri sistemi informativi), da effettuare in un'ulteriore attività progettuale.

I dati da satellite sono stati oggetto di ricerca in questo progetto, con il confronto dei dati misurati da sonda multiparametrica in un'area campione alla foce del fiume Pescara. Lo studio ha fornito risultati incoraggianti per la stima di alcuni parametri bio-geofisici dell'acqua da dati telerilevati, lungo la costa abruzzese.

In particolare, l'appaiamento dei due dataset, ha permesso di dare una stima qualitativa della dispersione dei solidi sospesi, cogliendo bene gli andamenti spaziali e temporali, legate principalmente alla direzione ed intensità dei venti, alle condizioni meteorologiche, alle correnti ed alle portate dei fiumi. Dalle mappe riportate nell'allegato 3, è ben visibile che in giornate di campionamento diverse, le plume di dispersione dei sedimenti hanno direzioni ed intensità differenti. Per una stima quantitativa dei solidi sospesi, è necessaria una ulteriore fase di calibrazione e verifica dei modelli utilizzati, con l'integrazione di misure di laboratorio.

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 clorofilla “a” e TSM. Ulteriori dati di misure *in situ* con torbidimetro, e contestualmente prelievi di acque superficiali da analizzare poi in laboratorio, ci darà la possibilità di confrontare il dato satellitare con quello reale utilizzando la stessa unità di misura prevista dai metodi analitici per le acque.

La stima della clorofilla “a” da satellite, seppur incoraggiante nei dati del 2018, non è risultata statisticamente correlata ai valori di fluorimetria misurati in mare, nell’area campione alla foce del Pescara. Probabilmente l’algoritmo utilizzato è predisposto per acque profonde, oceaniche o per acque marine più trofiche e non si adatta bene all’area di studio, dove la presenza di clorofilla “a” è risultata molto bassa (valori sempre compresi tra 0 ed 1 mg/m³, tranne una fioritura algale di dicembre 2019, in cui varia tra 1 e 2). Ulteriori approfondimenti saranno necessari per comprendere a pieno tali risultati.

In generale, l’obiettivo resta quello di generalizzare i risultati per creare un unico modello applicabile alla costa Abruzzese (regionalizzazione) e riproducibile a ciascun passaggio dei satelliti, ossia fornendo un dato ogni 2-3 giorni (ripetibilità), sia per il futuro, sia per l’analisi delle condizioni storiche. A regime si potranno avere mappe multitemporali di solidi sospesi totali su vaste porzioni di superfici, finalizzati al monitoraggio dei loro pattern spaziali di distribuzione. 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.

I dati satellitari potranno essere utilizzati come strumento di monitoraggio, riducendo l’utilizzo di altra strumentazione e anche l’impiego delle risorse in mare. Le informazioni dedotte possono essere utili per individuare la plume di dispersione in mare delle acque dolci provenienti dai corsi d’acqua abruzzesi che potrebbe condizionare la qualità delle acque e, di conseguenza, le condizioni igienico-sanitarie delle specie allevate e, inoltre, indicare zone potenzialmente non idonee alla molluschicoltura perché soggette a fioriture di alghe potenzialmente tossiche o a innalzamenti di temperatura che potrebbero influenzare negativamente le produzioni.

Bibliografia

1. ZONE ALLOCATE PER L'ACQUACOLTURA Una guida per l'istituzione di zone costiere assegnate all'acquacoltura nel Mediterraneo e nel Mar Nero
2. José Carlos Macias, Pablo Avila Zaragozá, Ioannis Karakassis, Pablo Sanchez-Jerez, Fabio Massa, Davide Fezzardi, Güzel Yücel Gier, Vlasta Franičević, Joseph A. Borg, Rosa María Chapela Pérez, Paolo Tomassetti, Dror L. Angel, Giovanna Marino, Hassan Nhhala, Houssam Hamza, Coline Carmignac e Linda Fourdain Pubblicato in accordo con Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
3. Novoa, S.; Doxaran, D.; Ody, A.; Vanhellemont, Q.; Lafon, V.; Lubac, B.; Gernez, P. Atmospheric Corrections and Multi-Conditional Algorithm for Multi-Sensor Remote Sensing of Suspended Particulate Matter in Low-to-High Turbidity Levels Coastal Waters. *Remote Sens.* 2017, 9, 61. Filipponi F., 2018. River Color Monitoring Using Optical Satellite Data. *Proceedings*, 2(10), 569. DOI:10.3390/IECG_2018-05336.
4. 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*.
5. <https://www.regione.abruzzo.it/content/qualità-acque-di-balneazione>
6. <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/3/210/html><https://scihub.copernicus.eu/>
7. <https://weatherspark.com/>
8. <https://www.copernicus.eu/en>
9. 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>.
10. 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>.
11. Mariano Bresciani, Claudia Giardino, Daniela Stroppiana, Maria Antonietta Dessena, Paola Buscarinu, Loretta Cabras, Karin Schenk, Thomas Heege, Hendrik Bernet, Giorgos Bazdanis & Apostolos Tzimas (2019) Monitoring water quality in two dammed reservoirs from multispectral satellite data, *European Journal of Remote Sensing*, 52:sup4, 113-122, DOI: [10.1080/22797254.2019.1686956](https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1686956)

Allegato 1. Mappe degli strati informativi per le AZA

Giova qui riportare che nel corso della presente collaborazione, per permettere alla Regione Abruzzo una esplorazione interattiva e dinamica, è stato disegnato e costruito un nuovo webGIS “Ecosea Data Explorer”.

L’applicazione, ad accesso libero dal seguente url <https://arcg.is/185W4e>

In questo nuovo sistema, sono consultabili tutti gli strati informativi che hanno portato alla proposta delle AZA, sia quelli già presenti in SeaGIS Abruzzo, sia gli strati informativi contenenti le zone di distanza cautelativa dagli insediamenti in mare (buffer).

L’applicazione permette l’accensione e lo spegnimento dei singoli strati informativi e la relativa visualizzazione degli attributi mediante popup, cliccando direttamente sull’elemento presente in mappa.

Inoltre, è possibile: scegliere la mappa di sfondo, visualizzare la legenda ed utilizzare gli strumenti di misura.



Figura 13 - Barriere artificiali sommerse con rispettive aree di rispetto



Figura 14 – Porti con rispettive aree di rispetto



Figura 15 – Aree di rispetto per la foce dei fiumi e, a destra, aree di rispetto per le aree SIN.



Figura 16 – Discariche di dragaggi di sedimenti portuali con le rispettive aree di rispetto



Figura 17 – *Cymodocea* con la rispettiva area di rispetto



Figura 18 – Aree protette, sia marine sia prospicienti la costa, con le rispettive aree di rispetto



Figura 19 – Possibile limite di contaminazione fecale lungo la costa



Figura 20 – Ordigni inesplosi con le relative aree di rispetto



Figura 21 – Aree interdette per presenza di oleodotti, gasdotti, etc.



Figura 22 – Relitti con relative aree di rispetto



Figura 23 – Impianti di molluschicoltura già esistenti e relative aree di rispetto



Figura 24 – Aree regolamentate e, sulla destra, aree escluse dal prelievo di acqua per lo spegnimento degli incendi

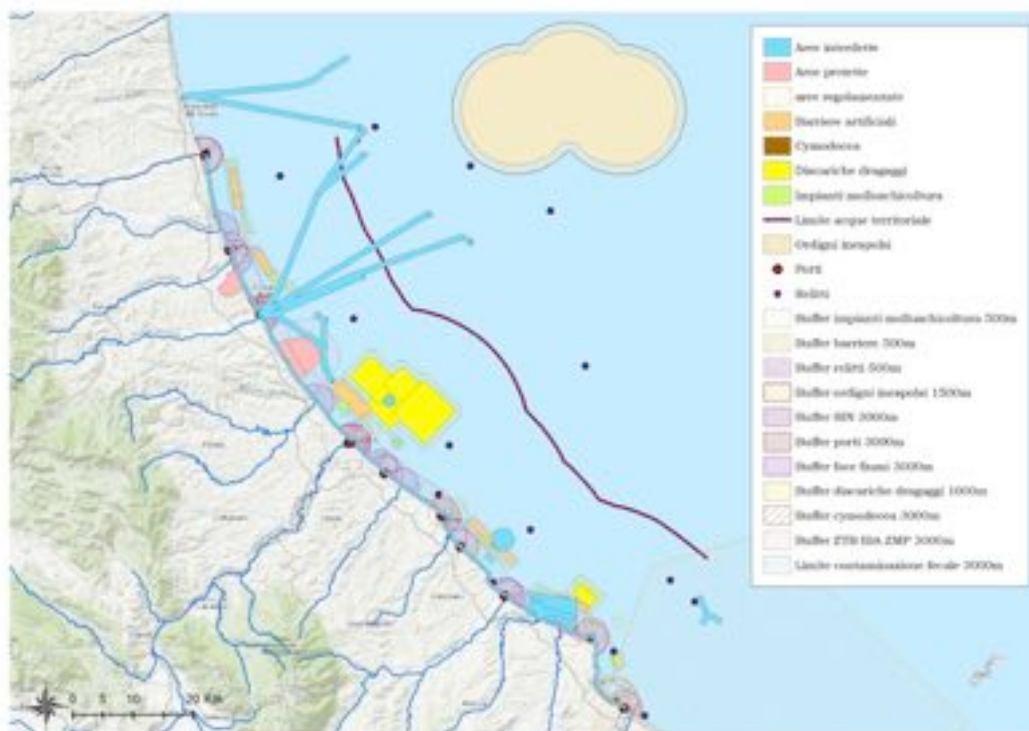


Figura 25 Riepilogo di tutte le aree occupate da usi del mare che rappresentano vincoli per le AZA.

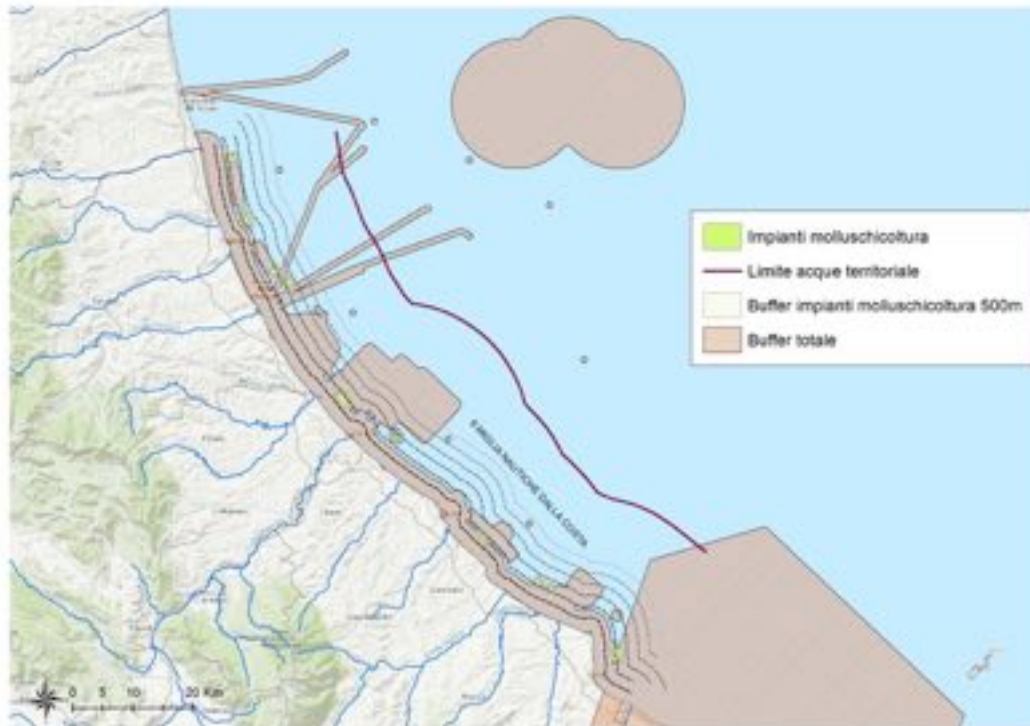



Figura 26. Proposta delle aree marine in cui dovrebbero essere escluse attività di acquacoltura (mappa dei vincoli).

Allegato 2. Pubblicazione scientifica



8th International Symposium
**MONITORING OF MEDITERRANEAN
COASTAL AREAS:**
PROBLEMS AND MEASUREMENT TECHNIQUES

Firenze, 1st October 2020

We declare that the paper


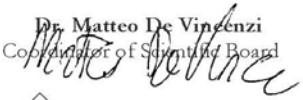
***SENTINEL-2 E CAMPIONAMENTI IN SITU PER IL
MONITORAGGIO DELLE ACQUE MARINE DELL'ABRUZZO:
PRIMI RISULTATI***

Authors: *Carla IPPOLITI, Susanna TORA, Carla GIANANTE, Romolo SALINI,
Federico FILIPPONI, Emanuela SCAMOSCI, Massimo PETRINI,
Nicola DI DEO, Annamaria CONTE*

was selected, by the Scientific Committee, as oral presentation in the Session “Flora and Fauna of the littoral system: dynamics and protection” of 8th International Symposium *Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques*, (Livorno -Italy June 2020).

The paper will be published in full in the Volume of Symposium Proceedings, by Firenze University Press.

Dr. Matteo De Vincenzi
Coordinator of Scientific Board



8th International Symposium
**MONITORING OF
MEDITERRANEAN COASTAL AREAS**
Livorno June 16 -18, 2020

Chairmanship and Coordination of Scientific Secretariat
c/o CNR-IBE via Caproni 8, 50145 Firenze (ITALY)
Phone +39 055 521 6060-6050 e-mail simposio@ibe.cnr.it

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 Filippini³, 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.filippini@isprambiente.it

Riassunto – La costellazione di satelliti Sentinel-2, realizzata nell'ambito del programma comunitario Copernicus, contribuisce al sistema globale di monitoraggio per l'osservazione della Terra (Global Earth Observation System of System - GEOSS). Oltre al monitoraggio della copertura del suolo e dei disastri, è dedicata alla valutazione della qualità delle acque terrestri e marine con parametri biofisici e chimico-fisici come la clorofilla "a", ed i solidi sospesi totali (TSM: Total Suspended Matter). Dotati di un sensore ottico MSI (MultiSpectral Instrument) che acquisisce in 13 bande spettrali, i satelliti gemelli Sentinel-2A e Sentinel-2B, si muovono sulla stessa orbita sfalsati di 180°, e forniscono acquisizioni con copertura globale, con tempi di rivisitazione di 5 giorni all'equatore e con una risoluzione spaziale fino a 10 metri al suolo.

In questo studio, la stima della clorofilla "a" e della dispersione dei sedimenti in mare calcolata da immagini Sentinel-2 è stata confrontata con dati acquisiti *in situ* mediante sonda multiparametrica nelle stazioni di monitoraggio che ARTA Abruzzo controlla mensilmente lungo la costa adriatica. L'obiettivo finale è quello di ottimizzare parametri ed algoritmi per poter derivare mappe di concentrazione di clorofilla e solidi sospesi da satellite, sfruttando l'elevata frequenza temporale e l'alta risoluzione spaziale delle rilevazioni. La generazione di tali informazioni è di particolare rilevanza per l'attività di acquacoltura, per il monitoraggio della qualità delle acque e per l'analisi dei processi sedimentari.

Le immagini Sentinel-2 livello 1C sono state processate con il software SNAP ESA, tramite il processore di colori oceanici multi-missione C2RCC (Case-2 Regional CoastColour), settando i parametri richiesti dall'algoritmo di stima con i campionamenti effettuati *in situ*, in 4 giornate di acquisizione dati nel corso dell'anno 2018.

Il confronto, sia nel punto di campionamento, sia in un suo intorno di 100 metri di raggio, ha evidenziato risultati statisticamente significativi ($r^2 = 0,82$ nel punto, $r^2 = 0,81$ nel buffer di 100 metri per la clorofilla "a"; $r^2 = 0,88$ nel punto ed $r^2 = 0,91$ per TSM).

Questo studio preliminare, con 4 campagne di acquisizione dati effettuate nel 2018, simultanee ad altrettante immagini da satellite, ha fornito risultati incoraggianti. Lo studio, tutt'ora in corso, prevede l'incremento della numerosità dei dati per rendere le stime più accurate, la comparazione con altri prodotti satellitari (es. Sentinel-3 OLCI) e l'utilizzo di altri algoritmi (ACOLITE, BOMBER, etc.) per valutare il processo più accurato ed efficiente (tempi di elaborazione e complessità), per la produzione di mappe ed indicatori per il monitoraggio della qualità delle acque.

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 CoastColour) 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 compartecipazione 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 100x100 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]. E’ 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 ne punto sia la media dei pixel in un intorno di 100 metri di raggio attorno a ciascun punto.



Figura 27 –

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 28 – 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 5– Campionamento *in situ*: date, stazioni di campionamento e misure rilevate, utilizzate come parametri del modello.

Table 6– *In situ* sampling: dates, sampling points and in situ collected values used in the models.

Data di	Stazioni di	Salinità	Temperatura	Pressione	Satellite
---------	-------------	----------	-------------	-----------	-----------

campionamento	campionamento	media (PSU)	media (°C)	atmosfera (hPa)	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

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).

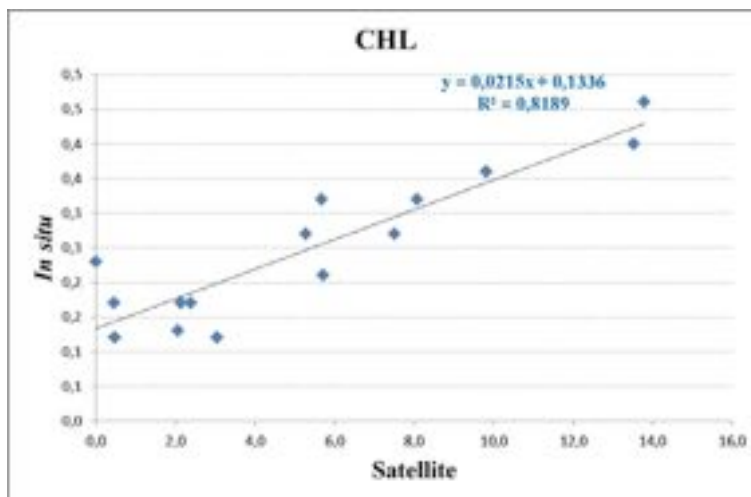


Figura 2 –Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) e le concentrazioni di clorofilla stimate a partire dai dati satellitari (Satellite) sul punto di campionamento (mg/m^3).

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).

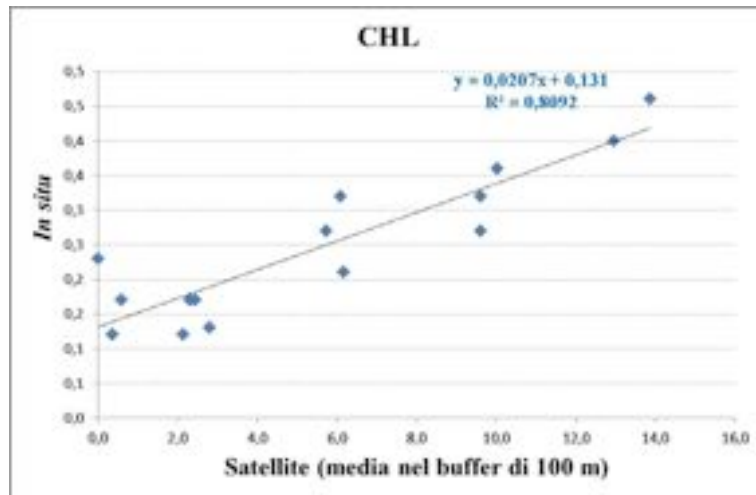


Figura 3 –Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) e le concentrazioni di clorofilla stimate a partire dai dati satellitari (Satellite 100 m) nell’intorno di 100 m dal punto di campionamento (mg/m³).

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/m³).

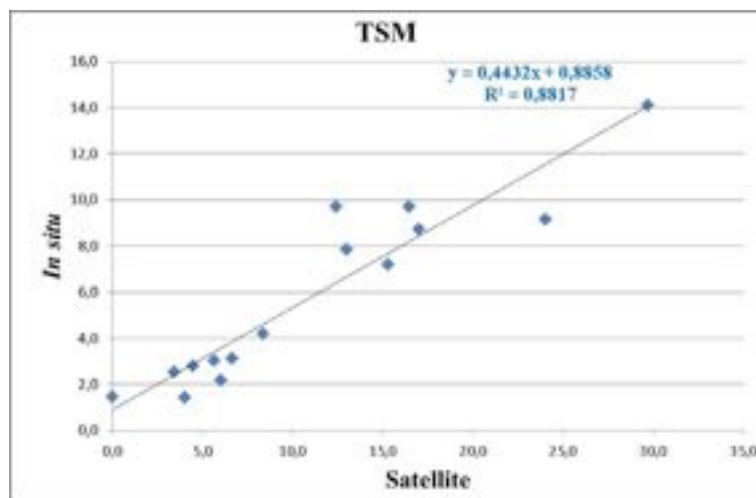


Figura 4 –Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) con fluorimetro (in FTU) e le concentrazioni di solidi sospesi stimate con l’algoritmo C2RCC dai dati satellitari (Satellite) sul punto di campionamento (in g/m³).

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/m³).

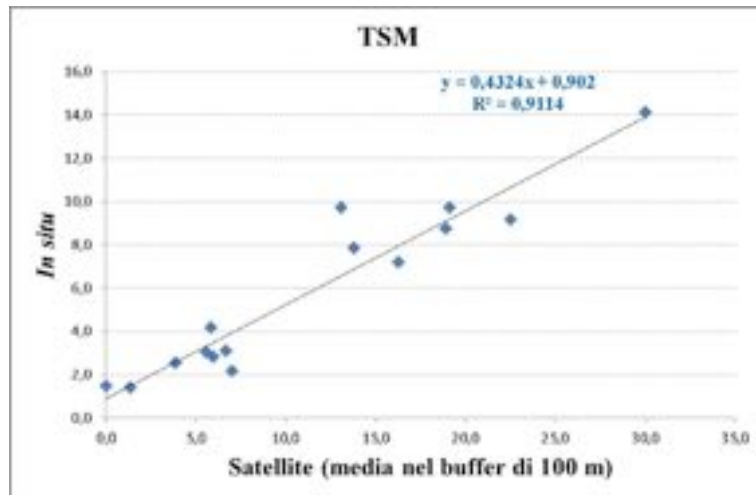


Figura 5 –Modello di regressione lineare tra dati campionati in mare (*in situ*) con fluorimetro (in FTU) e le concentrazioni di solidi sospesi stimate con l’algoritmo C2RCC dai dati satellitari (Satellite 100 m) nell’intorno di 100 m dal punto di campionamento (in g/m³).

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/m³).

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).

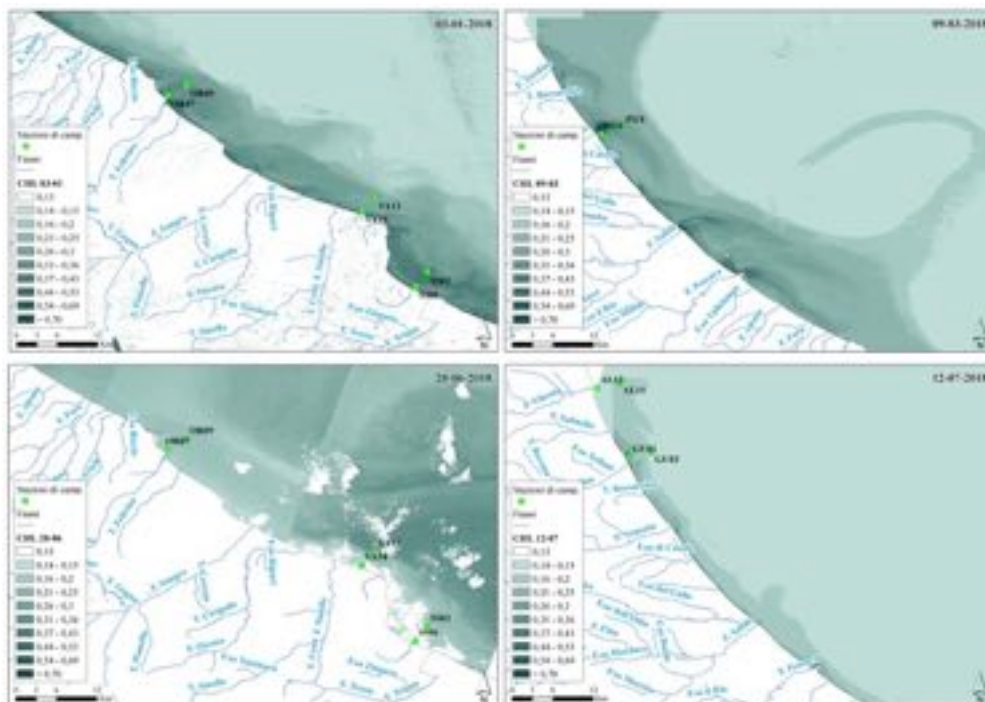


Figura 6 – Mappe di concentrazione della clorofilla (Chl-a) della costa abruzzese elaborate dalle immagini

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.

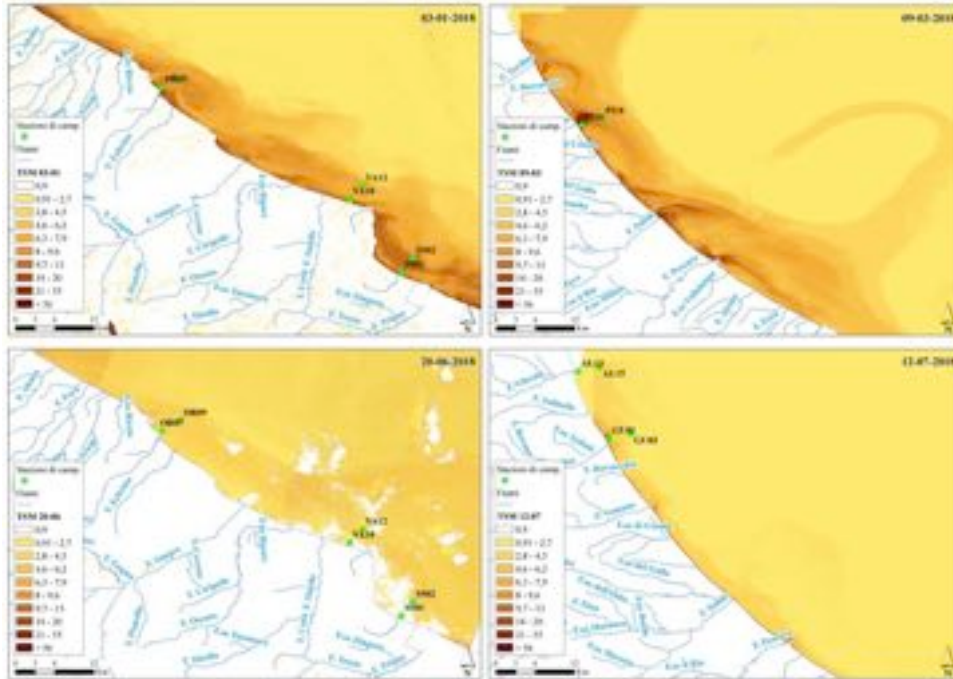


Figura 7 – Mappe di concentrazione dei sedimenti di solidi sospesi (TSM) della costa abruzzese elaborate dalle immagini Sentinel-2 con il processore C2RCC per le date 03/01, 09/03, 20/06 e 12/07 del 2018 con i punti di campionamento *in situ*, corrispondenti alle granule T33TVG e T33TVH.

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.

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 migliorata, 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 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] Filipponi 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] Filipponi 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] Filipponi 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. DOI:10.1109/IGARSS.2015.7326258. ISBN: 978-1-4799-7929-5.
- [15] Filipponi F., 2018. River Color Monitoring Using Optical Satellite Data. *Proceedings*, 2(10), 569. DOI: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-Vacaresse 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 doi: 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>.

Allegato 3. Mappe di solidi sospesi e clorofilla “a” elaborate da passaggi satellitari sulla zona prospiciente la foce del Pescara

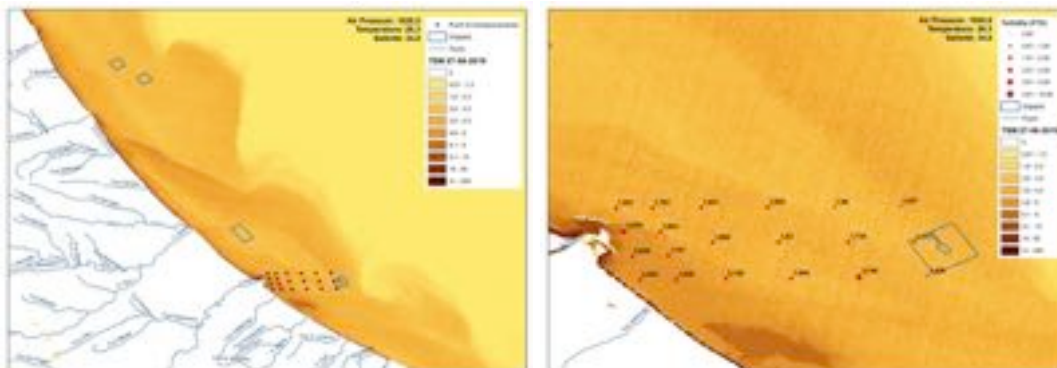


Figura 29 - TSM del 27-06-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

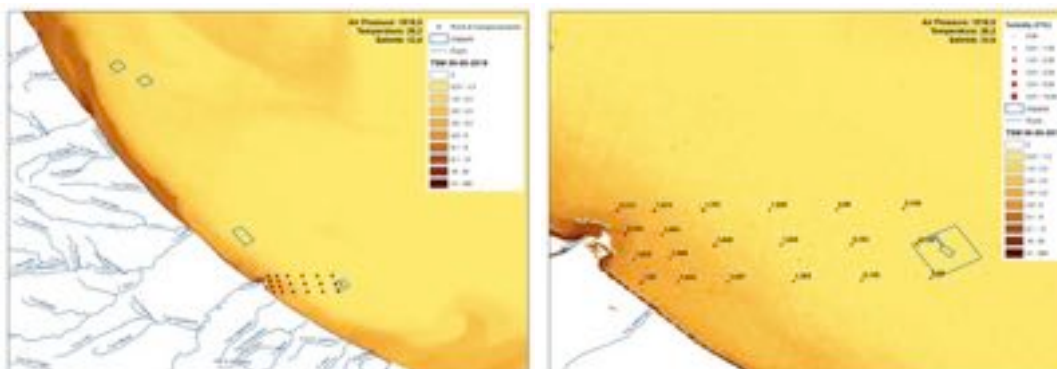


Figura 30 - TSM del 06-08-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

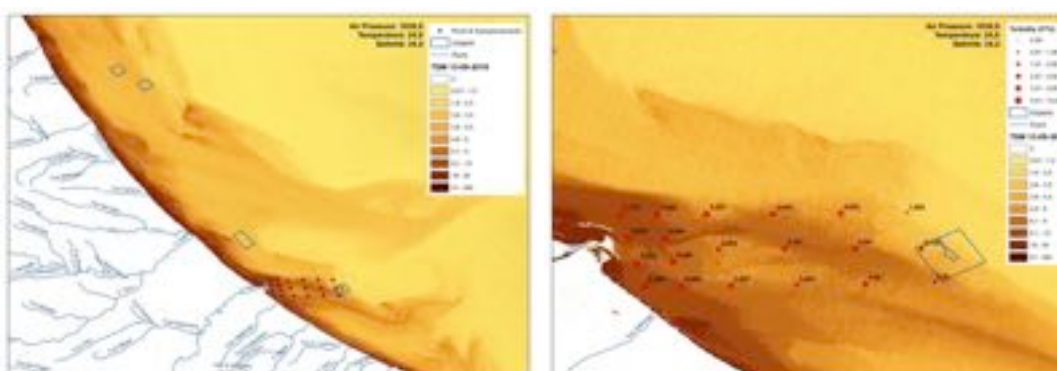


Figura 31 - TSM del 13-09-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

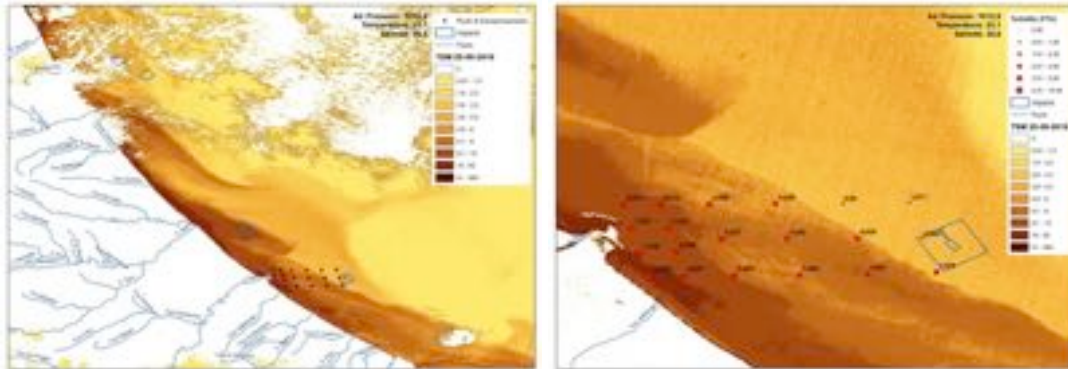


Figura 32 - TSM del 25-09-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

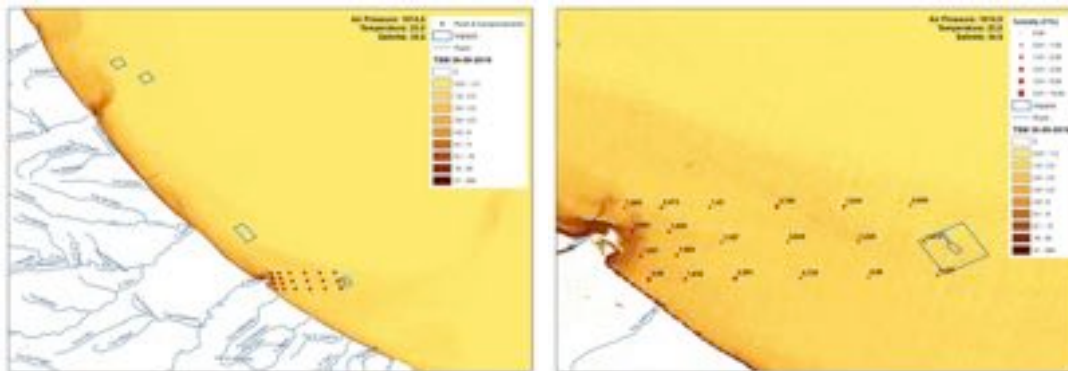


Figura 33 - TSM del 30-09-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

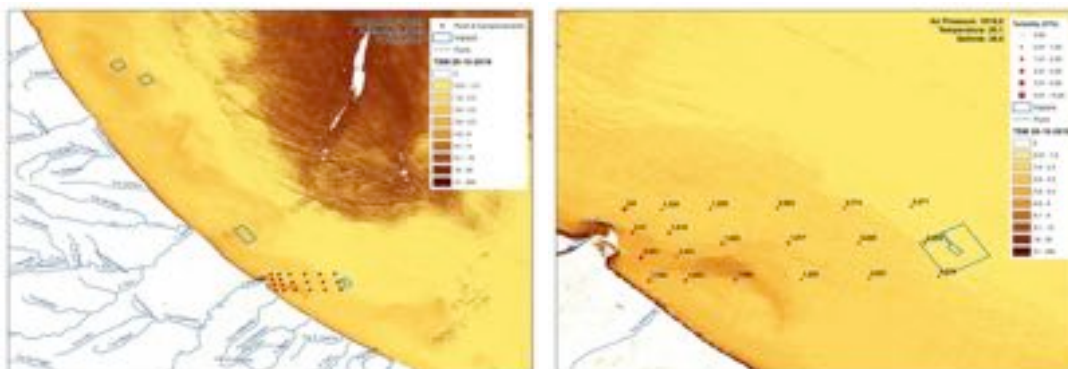


Figura 34 - TSM del 28-10-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

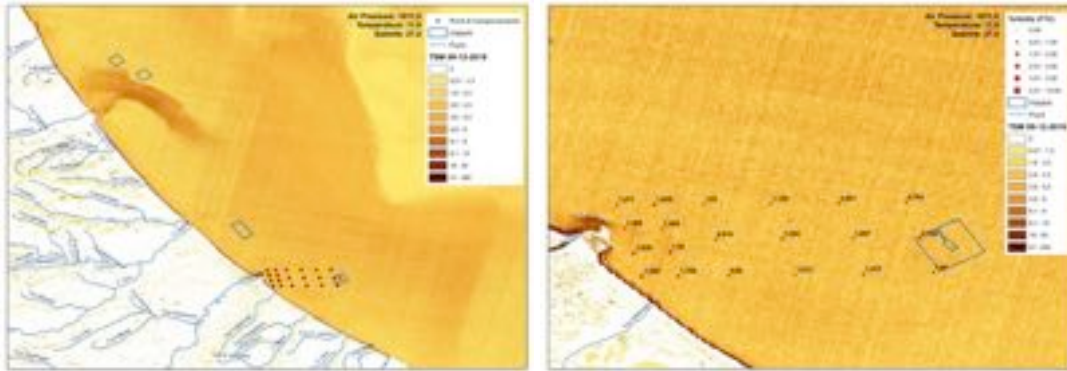


Figura 35 - TSM del 09-12-2019 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

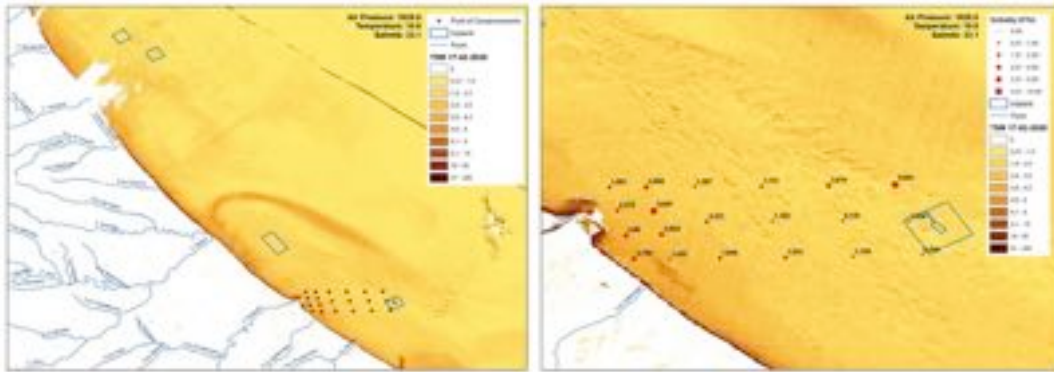


Figura 36 - TSM del 17-02-2020 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

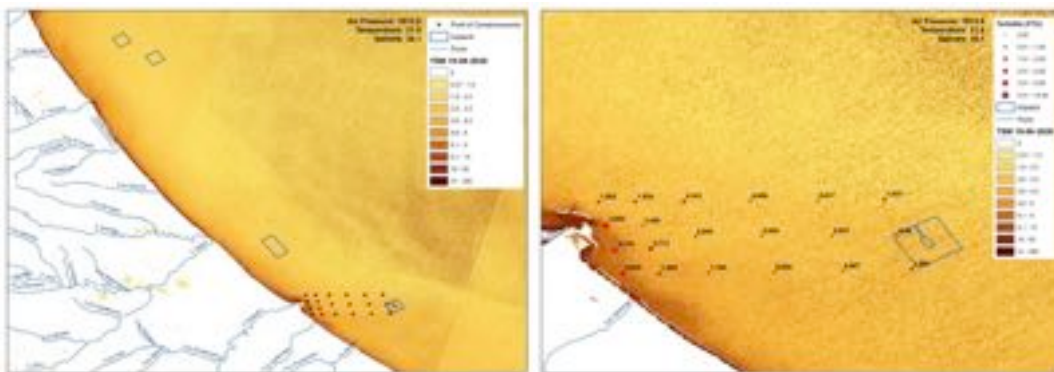


Figura 37 - TSM del 19-06-2020 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

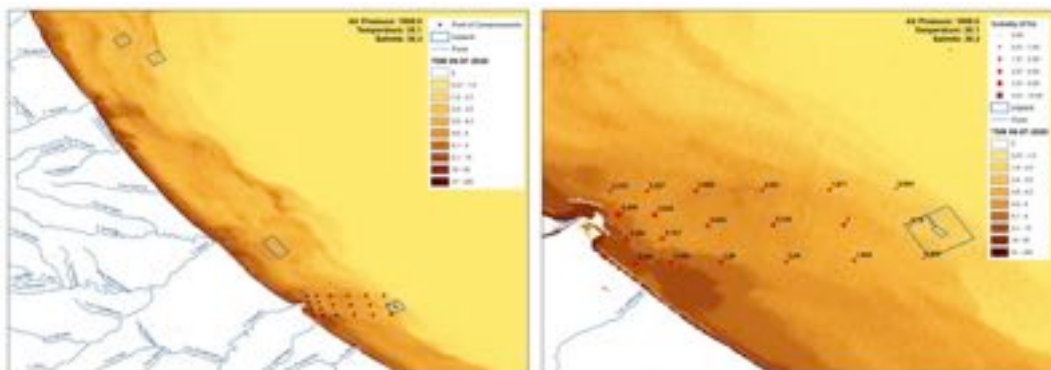


Figura 38 - TSM del 06-07-2020 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

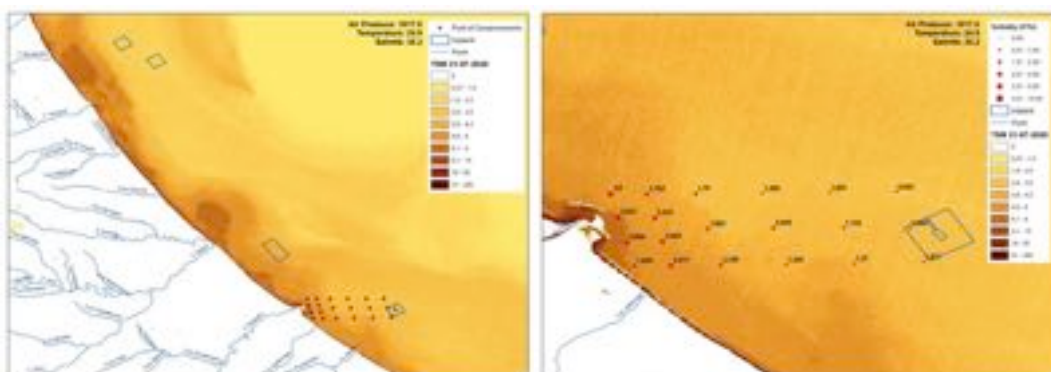


Figura 39 - TSM del 21-07-2020 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

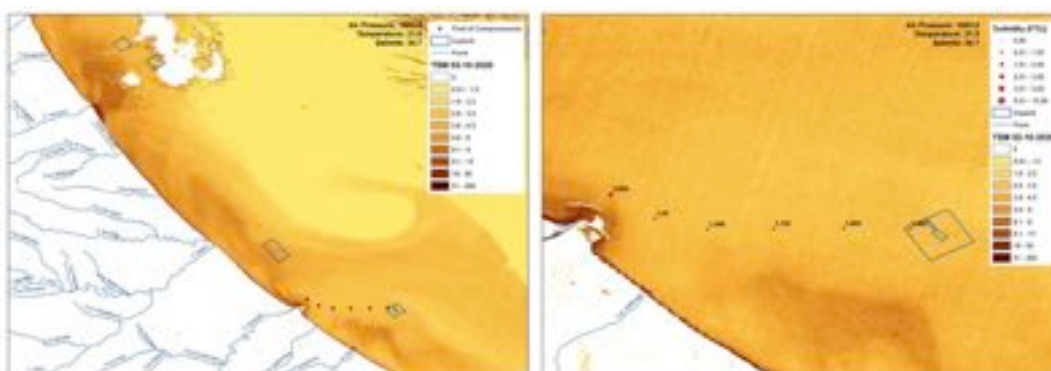


Figura 40 - TSM del 02-10-2020 con dettaglio del quantitativo di torbidità misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

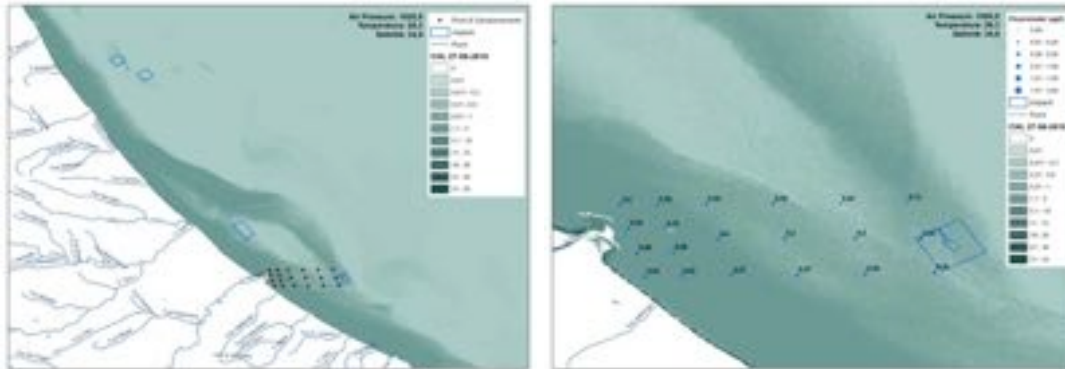


Figura 41 – CHL del 27-06-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

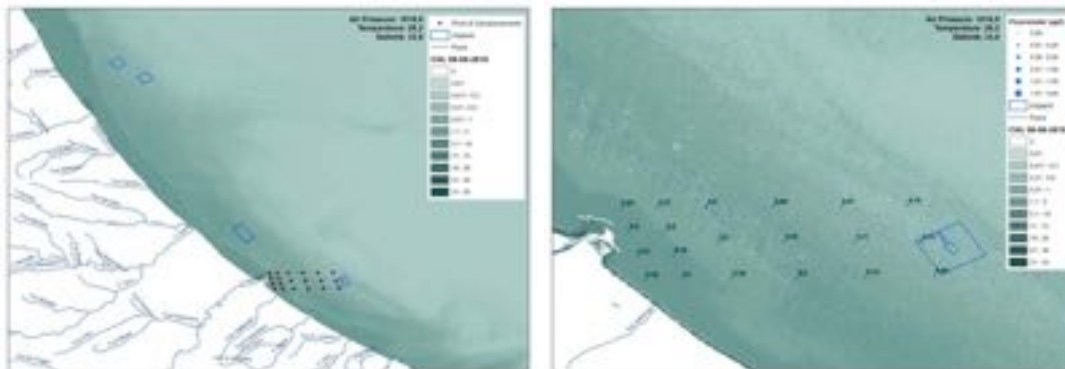


Figura 42 - CHL del 06-08-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

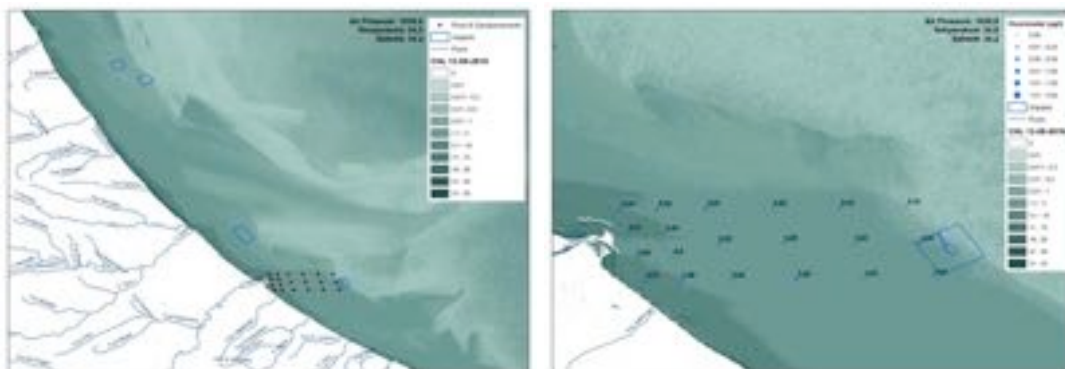


Figura 43 - CHL del 13-09-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

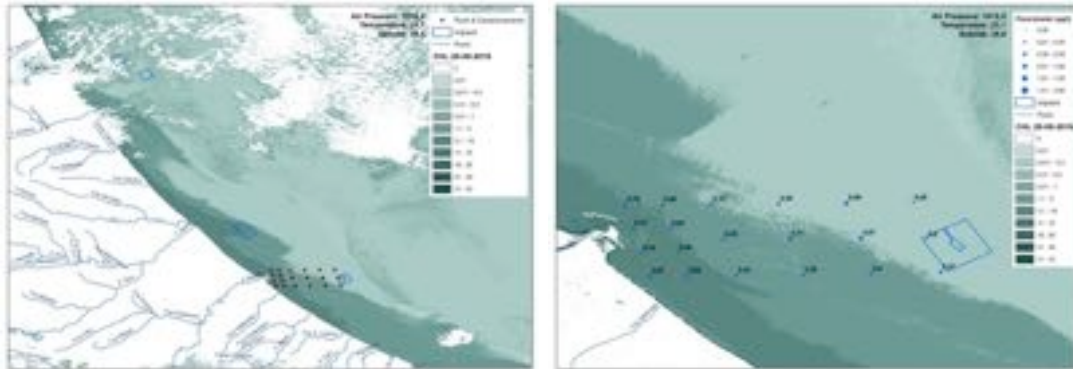


Figura 44 - CHL del 25-09-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

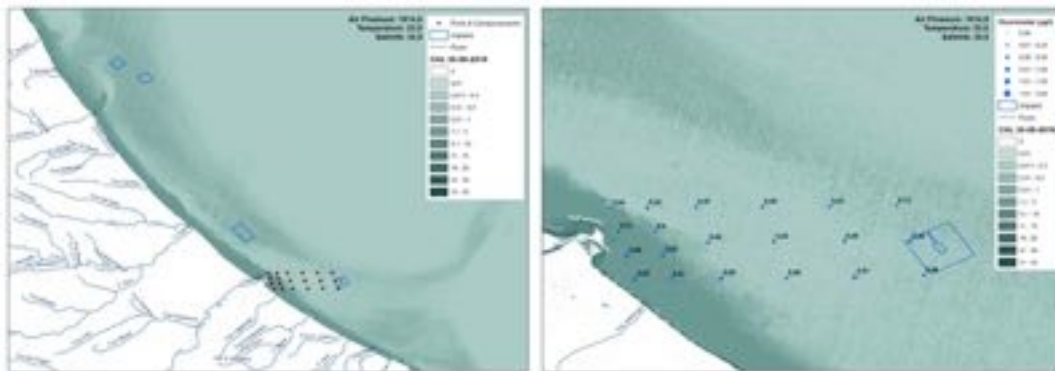


Figura 45 - CHL del 30-09-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

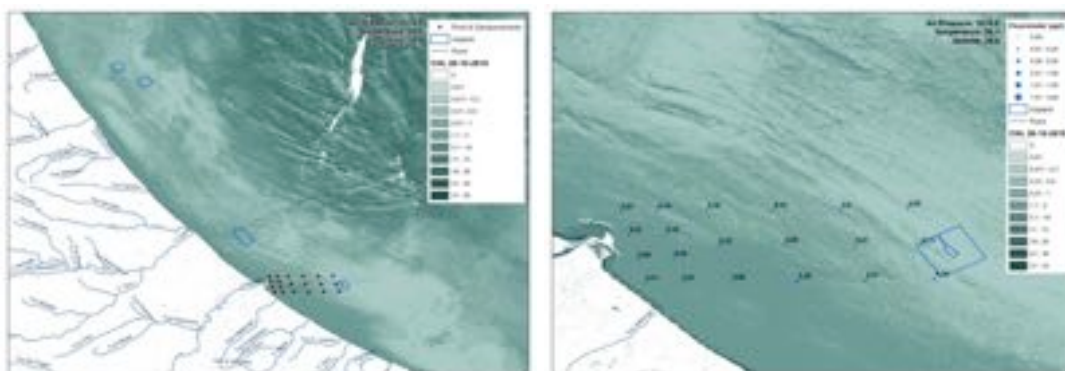


Figura 46 - CHL del 28-10-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

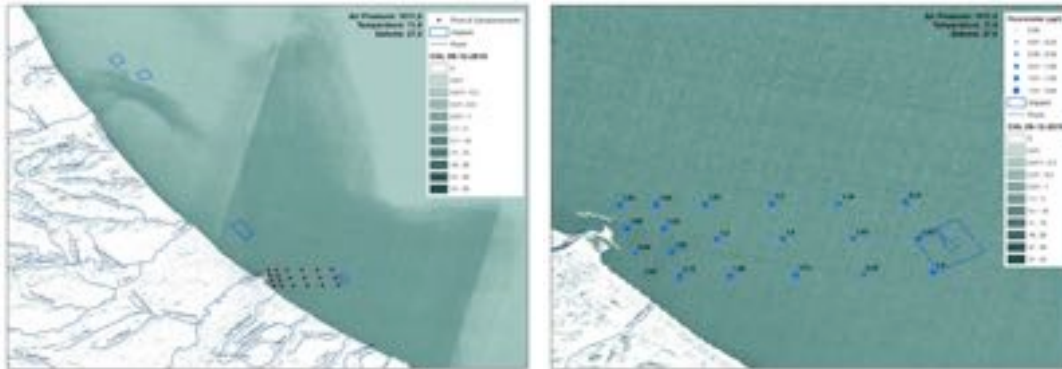


Figura 47 - CHL del 09-12-2019 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

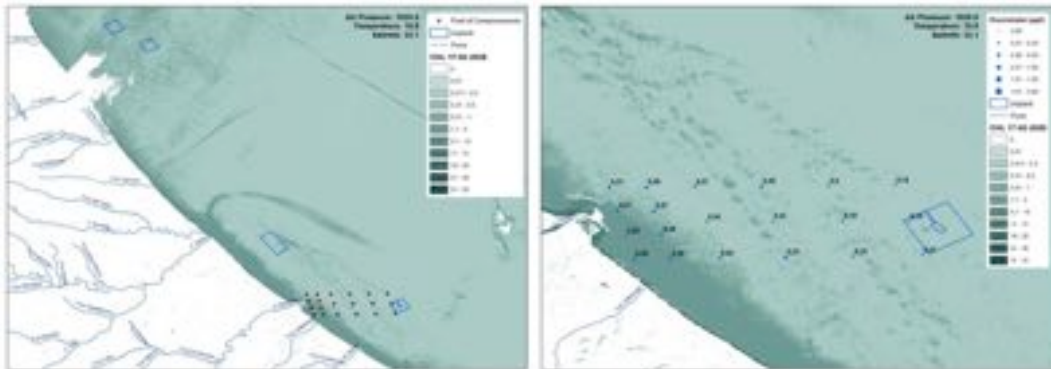


Figura 48 - CHL del 17-02-2020 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

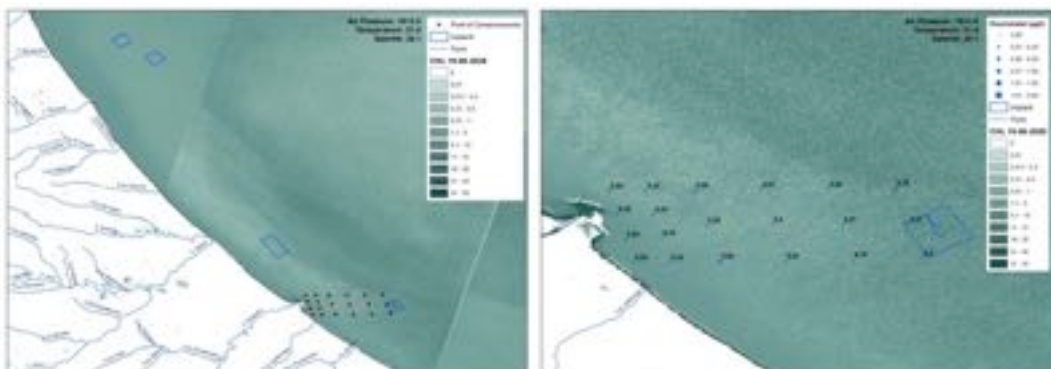


Figura 49 - CHL del 19-06-2020 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

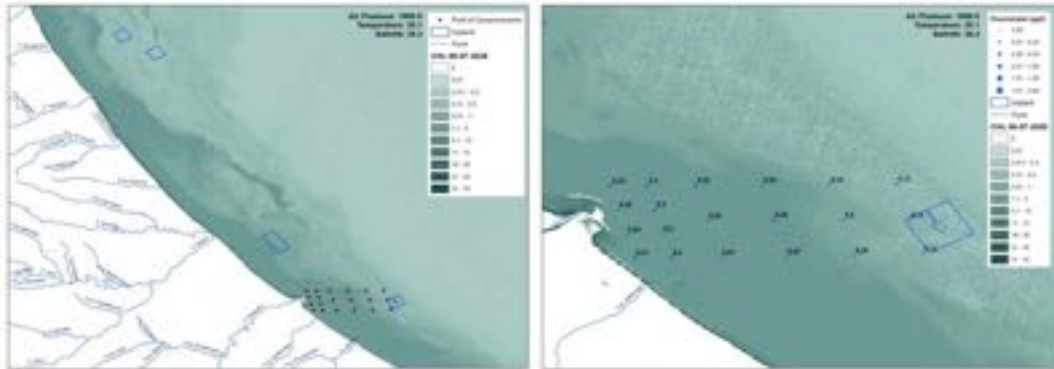


Figura 50 - CHL del 06-07-2020 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

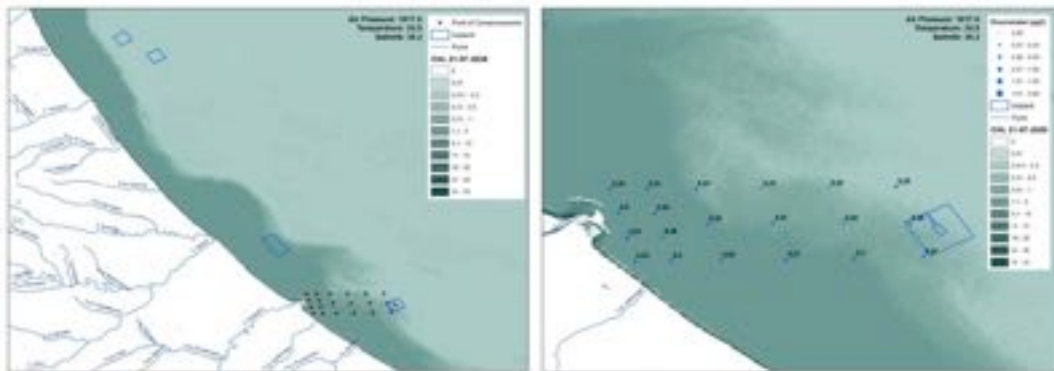


Figura 51 - CHL del 21-07-2020 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento

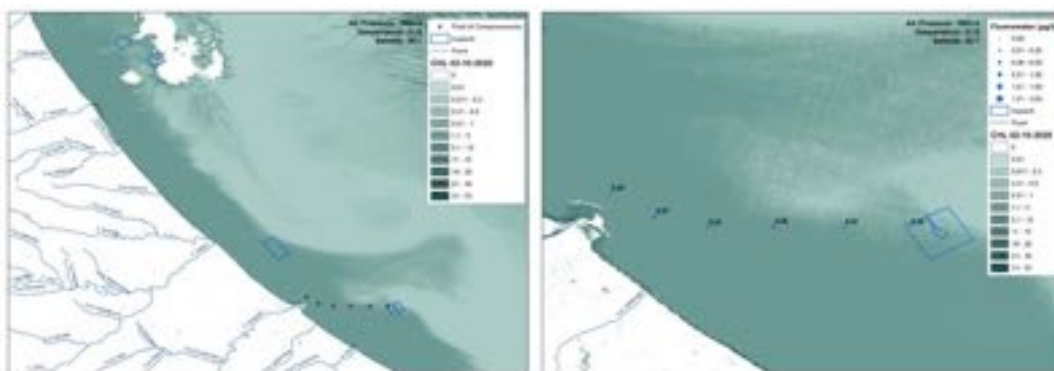


Figura 52 - CHL del 02-10-2020 con dettaglio del quantitativo di fluorimetria misurato da ARTA Abruzzo nei punti di campionamento