PO-FEAMP 2014-2020, MISURA 2.51

Aumento del potenziale dei siti di acquacoltura (art. 51 del Reg. UE 508/2014)

Progetto

PIANO REGIONALE PER LE ZONE ALLOCATE PER L'ACQUACOLTURA A MARE – AZA

identificativo n. 02/ASA/22, C.U.P. J56D23000000009

RELAZIONE FINALE delle ATTIVITA' SVOLTE

30 marzo 2023 - 11 dicembre 2023

Responsabile scientifico: prof. Emilio Sperone

Università della Calabria - Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra
Codice progetto 02/ASA/22 – CUP J56D23000000009
Via P. Bucci, 87036 Rende (CS)
Responsabile Scientifico prof. Emilio Sperone

PREMESSA

L'acquacoltura è un settore strategico per realizzare l'Agenda dell'Unione Europea per la Crescita Blu (2016), il "Green Deal" europeo (2019) e la Strategia "Farm to Fork" (2020) per la produzione di alimenti sostenibili e a basso tenore di carbonio. Sin dagli anni 2000, la mancanza di siti marini assegnati per le attività d'acquacoltura ha limitato lo sviluppo del settore acquicolo in Europa. In Italia, e soprattutto in Calabria, l'assenza di una pianificazione spaziale dedicata agli usi del mare, unitamente alle difficoltà burocratiche amministrative per ottenere concessioni demaniali per nuovi insediamenti produttivi, hanno frenato lo sviluppo e la crescita dell'acquacoltura attesa al 2020.

Dal 1990 al 2017 le produzioni di pesca hanno assicurato circa 90 milioni di tonnellate/anno di prodotti ittici, con un trend negativo costante negli anni, stante lo stato di sovrasfruttamento di oltre il 90% degli stock di pesca (FAO, 2018). Dagli anni '90, l'aumento della domanda globale di prodotti ittici, legata alla crescita demografica e al cambiamento dei consumi, è stata assicurata dall'aumento delle produzioni di pesci, molluschi, crostacei, alghe e altre specie acquatiche allevate.

- Nel 1974 l'acquacoltura contribuiva al 7% dei prodotti ittici globali
- Nel 2014 l'acquacoltura ha prodotto oltre il 50% dei prodotti ittici per il consumo umano
- Nel 2030, la Banca Mondiale ha stimato una crescita delle produzioni d'acquacoltura tale da soddisfare il 60% del consumo globale di prodotti ittici.

Nel 2017 sono circa 591 le specie e i gruppi di specie acquatiche allevati in tutto il mondo, per una produzione globale di 172,6 milioni di tonnellate, di cui di 106 milioni di tonnellate di animali e piante acquatiche allevati per consumo umano, per un valore totale stimato di 163 miliardi di dollari. Nel periodo 2001-2016 la crescita dell'acquacoltura è stata di oltre il 10% in Africa, del 6% in Asia e del 5,7% nelle Americhe, mentre in Europa le produzioni sono cresciute solo del 2,5%, rispetto a una crescita media globale di circa il 5,8% (FAO, 2018).

L'acquacoltura italiana è molto diversificata per specie, ambienti d'allevamento e tecniche di produzione: sono allevate oltre 30 specie di pesci, molluschi, crostacei e alghe, in circa 750 impianti di produzione, localizzati in aree marino costiere, ambienti di transizione e acque dolci. La maggior parte della produzione, tuttavia, riguarda 5 specie principali: trota iridea, in acque dolci, spigola, orata, mitili e vongole veraci, in acque salmastre e marine. La maricoltura, che include la molluschicoltura e la piscicoltura marina, rappresenta il 78% della produzione nazionale con un trend di produzione in crescita (+8%) rispetto al quadriennio precedente. La Calabria si colloca quintultima nella classifica nazionale del numero di impianti di acquacoltura per regione, seguita da Molise, Liguria, Valle d'Aosta e Basilicata. Inoltre, nella nostra regione i pochi impianti presenti sono quasi tutti dediti ad allevamento di trote e, quindi, di specie di acque dolci. Questo rappresenta sicuramente un aspetto molto penalizzante per la Calabria, in virtù della sua estesissima

linea di costa che interessa ben tre bacini (Tirreno, Stretto di Messina, Ionio) e che, potenzialmente, potrebbe vedere nell'acquacoltura marina nuove prospettive di sviluppo, lavoro e produzione.

Diventa, pertanto, urgente e necessario individuare aree marine ad elevata vocazione per l'acquacoltura (piscicoltura e molluschicoltura soprattutto) al fine di cogliere le possibilità di finanziamento e sviluppo che saranno alla base della prossima programmazione FEAMPA. Una "Zona assegnata per l'acquacoltura" è un'area identificata dall'autorità competente attraverso un processo di pianificazione strategica, consultazione e analisi spaziale (zonazione), effettuato a livello locale, regionale o nazionale, in cui vengono soddisfatti i criteri amministrativi, ambientali e socioeconomici

che definiscono l'idoneità di tale area allo sviluppo dell'acquacoltura (Allocated Zone for Aquaculture, AZA).

Le AZA sono dichiarate dall'autorità competente come "aree prioritariamente assegnate per l'acquacoltura", ovvero aree nelle quali non vi sono interferenze con altri utilizzatori e dove le condizioni ambientali sono tali da garantire la sostenibilità delle produzioni e la minimizzazione gli impatti ambientali.

Il processo prevede tre fasi principali:

1. Identificazione di zone marine da assegnare all'acquacoltura (AZA)
2. Identificazione di siti vocati nelle AZA
3. Monitoraggio e gestione delle AZA e dei siti di produzione

Le AZA potranno essere integrate nei Piani di gestione dello spazio marittimo redatti dalle Regioni

che, ai sensi dell'art.5 del D.Lgs. 201/2016, individuano la distribuzione spaziale e temporale delle attività e dei pertinenti usi delle acque marine per ogni area marittima. I Piani di gestione sono proposti dalle Regioni e elaborati dal Comitato Tecnico15 e approvati dal Tavolo Interministeriale dopo Valutazione Ambientale Strategica.

Il progetto " Individuazione preliminare di Aree ad alta Vocazione per impianti di Acquacoltura Marina e per l'istituzione delle AZA", identificativo n. 02/ASA/22, C.U.P. J56D23000000009 rientra tra le attività finanziate nell'ambito del FEAMP della Regione Calabria, 2014-2020, MISURA 2.51 *Aumento del potenziale dei siti di acquacoltura* (art. 51 del Reg. UE 508/2014).

Obiettivo generale del progetto è quello di fornire una indagine preliminare lungo le coste della regione Calabria individuando le aree che potrebbero essere sede di impianti di acquacoltura marina (piscicoltura e molluschicoltura) e, quindi, rientrare nell'elenco delle AZA (zone marine assegnate per l'acquacoltura) regionali.

Obiettivi specifici del progetto saranno:

- acquisizione di informazioni circa i vincoli e gli attuali usi per identificare le aree marine libere e potenzialmente idonee per lo sviluppo di attività d'acquacoltura
- analisi ecologica ed ambientale delle aree marine costiere libere da vincoli per verificarne l'idoneità ecologica a sostenere e supportare impianti di acquacoltura
- realizzazione della cartografia relativa.

Il progetto è articolato in cinque distinti momenti. I cinque work-package sono:

WP1 – Gestione e Coordinamento del Progetto

WP2 – Attività di identificazione di vincoli ed usi delle aree marino-costiere

WP3 – Valutazioni ecologiche ed ambientali

WP4 – Valutazione scientifica e redazione della cartografia relativa

WP5 – Realizzazione del DAC – Documento sull'Acquacoltura in Calabria (Potenzialità – Innovazione Sostenibilità delle imprese – Normativa vigente - Piani di Gestione – Studi di fattibilità), modello di "progetto pilota" e redazione della cartografia. Comunicazione e disseminazione dei risultati

Il presente documento illustra le attività svolte nell'ambito del suddetto progetto nel periodo compreso tra il 30 marzo 2023 e il 30 novembre 2023.

WP1 – GESTIONE E COORDINAMENTO DEL PROGETTO

Personale coinvolto: prof. Emilio Sperone (prof. II fascia Unical), dott.ssa Rosalia Caruso (responsabile amministrativo)

Questo work-package ha previsto, da parte del soggetto beneficiario, la costante e continua pianificazione delle attività generali della progettazione operativa, ma anche il controllo e la verifica dell'avanzamento lavori e dei risultati prodotti. Ciò è avvenuto mediante frequenti riunioni, telematiche o in presenza, coi i soggetti partners ed i collaboratori del progetto. Inoltre, sono stati curati l'individuazione, il coordinamento ed il coinvolgimento dei soggetti sul territorio. Il responsabile scientifico del progetto si è spesso interfacciato e confrontato con gli uffici regionali sia per aggiornarli degli avanzamenti del progetto che per chiedere di volta in volta chiarimenti o informazioni. È stata, inoltre, curata la rendicontazione per la richiesta del SALDO.

WP2 – ATTIVITÀ DI IDENTIFICAZIONE DI VINCOLI ED USI DELLE AREE MARINO-COSTIERE

Personale coinvolto: prof. Rocco Dominici (prof. II fascia Unical), dott.ssa Patrizia Rima (borsista sul progetto), dott. Gianluca Mauro (contrattista sul progetto), dott. Fabio Antonio Morfea (contrattista sul progetto).

Questo work-package ha promosso azioni mirate all'individuazione delle aree utilizzabili per lo sviluppo dell'acquacoltura, attraverso un "processo di sottrazione", ovvero escludendo tutte le aree marine sottoposte a vincoli di varia natura o le zone assegnate ad altri pertinenti usi e attività. Nel dettaglio, si sono ottenute informazioni utili per i seguenti ambiti tematici:

• i confini amministrativi e i limiti territoriali delle aree interessate dal processo di pianificazione per l'acquacoltura

• i vincoli di difesa e sicurezza nazionale

• i vincoli di conservazione e tutela ambientale, paesaggistica e archeologica che limitano o interdicono lo svolgersi di attività in mare

• le componenti ambientali, le zone di tutela ambientale e biologica, lo stato della qualità dei corpi idrici marino costieri

• gli usi del mare e le infrastrutture che possono limitare l'accesso e/o l'uso di determinate zone marine.

I dati sono stati acquisiti attraverso i geoportali regionali e altri portali WebGis accessibili gratuitamente, che raccolgono informazioni di carattere ambientale, sociale, geologico, idrografico, infrastrutturale e offrono un'ampia gamma di prodotti cartografici di base ed elaborati. Si sono ottenute, quindi, delle valutazioni preliminari sulle possibili interazioni spaziali e ambientali degli impianti di acquacoltura con altri usi e attività economiche del mare. La relazione dettagliata, la definizione dei limiti ed i risultati sono contenuti nell'ALLEGATO I alla presente relazione. Inoltre, i dati GIS sono stati raccolti in un CD allegato, sono open source e possono, pertanto, essere sempre controllati ed implementati.

WP3 – VALUTAZIONI ECOLOGICHE ED AMBIENTALI

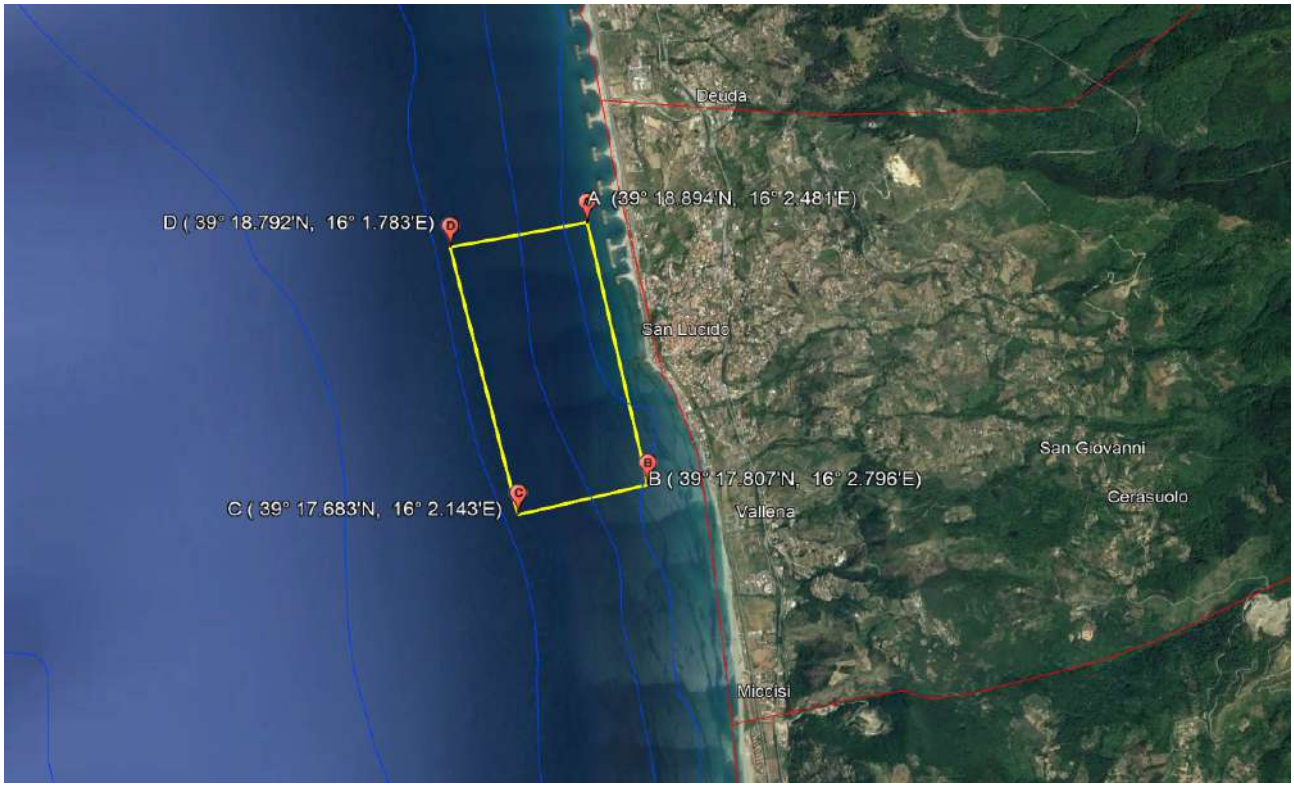
Personale coinvolto: prof. Emilio Sperone (prof. II fascia Unical), prof.ssa Sandra Imbrogno (prof. II fascia Unical), prof. Rocco Dominici (prof II fascia Unical), prof. Francesco Perri (prof II fascia Unical), prof.ssa Paola Donato (prof. II fascia Unical), prof. Sante Roperto (prof. II fascia Unina Federico II), dott.ssa Alfonsina Gattuso (RI Unical), dott.ssa Concetta Milazzo (RI Unical), dott. Marco Bocci (PTA Unical), dott.ssa Maria Antonella Cuscino (PTA Unical), dott. Mariano Davoli (PTA Unical), dott. Giancarlo Niceforo (PTA Unical), dott. Gianni Giglio (contrattista sul progetto), dott. Gianluca Mauro (contrattista sul progetto), dott. Fabio Antonio Morfea (contrattista sul progetto), dott. Pierluigi Rizzo (borsista sul progetto).

Il work-package ha promosso l'individuazione di un'area campione libera da vincoli su cui sperimentare e testare il protocollo scientifico di monitoraggio per la qualificazione dell'area come AZA. L'area di indagine è stata individuata di fronte il Comune di San Lucido (CS), tra le isobate -10m e -50m per una estensione di circa 2000 mq. Il tratto di costa del territorio comunale di San Lucido rappresenta un segmento del litorale tirrenico calabrese compreso nella provincia di Cosenza denominato Alto Tirreno. Il litorale si sviluppa in direzione N 170-160° con un piccolo segmento, di circa 200 m, in direzione N 130° che identifica il promontorio roccioso di San Lucido.

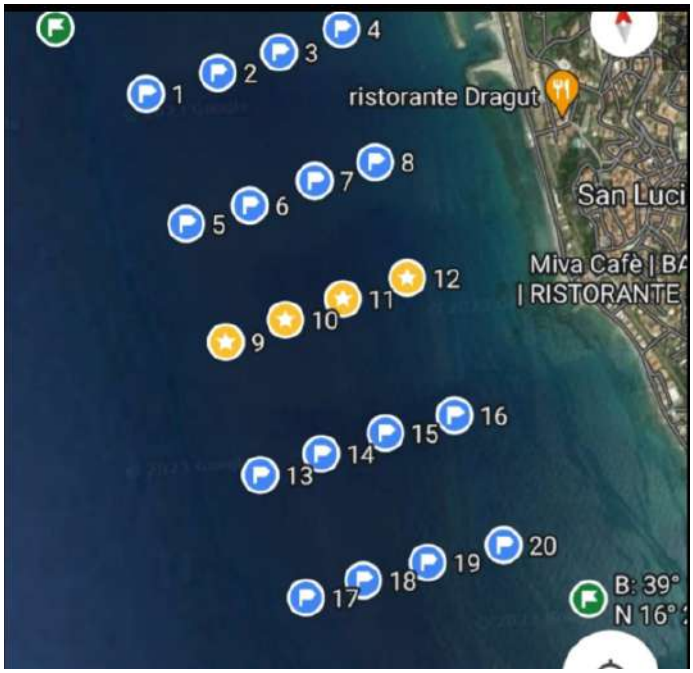
Le indagini condotte sono state di tipo:

- ecologico: caratterizzazione delle comunità ittiche del sito e individuazione di eventuali aree di nursery; studio in laboratorio dei fattori di stress su specie ittiche in allevamento;

- microbiologico; avvalendosi di una convenzione con il Dipartimento di Medicina Veterinaria e delle Produzioni Animali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (responsabile scientifico prof. Sante Roperto) è stata studiata la presenza di patogeni potenzialmente pericolosi per l'acquacoltura (*Nocardia*) nel sito di indagine;
- geologico/sedimentologico: sono stati caratterizzati il fondale ed i sedimenti marino-costieri del sito;
- oceanografico: è stato definito il meteo-marino dell'area di studio ed è stato realizzato uno studio sulle correnti; inoltre, attraverso sonda multiparametrica sono stati determinati i principali parametri chimico-fisici dell'area in esame.



Nella seguente carta sono indicati i punti dove sono avvenuti i prelievi per la realizzazione delle indagini precedentemente elencate.



ANALISI ECOLOGICHE

Il monitoraggio è avvenuto attraverso l'innovativa tecnica dell'utilizzo del BRUVS (baited remote underwater video), un sistema di videoregistrazione sottomarina che, attraverso un'esca, attira le specie ittiche dell'area e le filma. Sono state anche realizzate immersioni da parte di subacquei professionisti per realizzare monitoraggi secondo visual census. I punti di seguito descritti sono numerati considerando i punti riportati nella carta del paragrafo precedente.

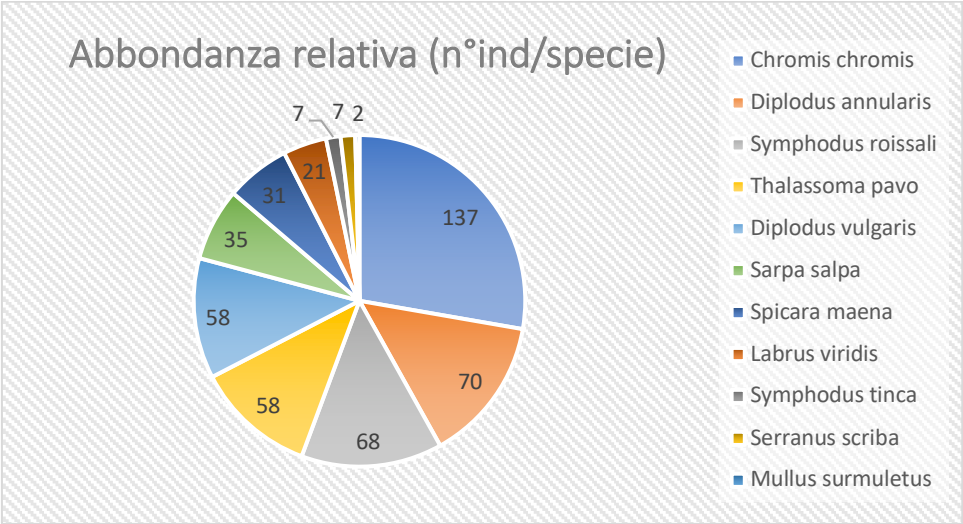
Sito 4

Il sito è caratterizzato da un fondale roccioso e misto, poco profondo, che si estende parallelamente alla costa, sulla quale l'attività umana, soprattutto nei periodi estivi, è molto frequente. In totale sono state realizzate 38 uscite: durante ciascuna uscita veniva realizzata una immersione in apnea per il monitoraggio

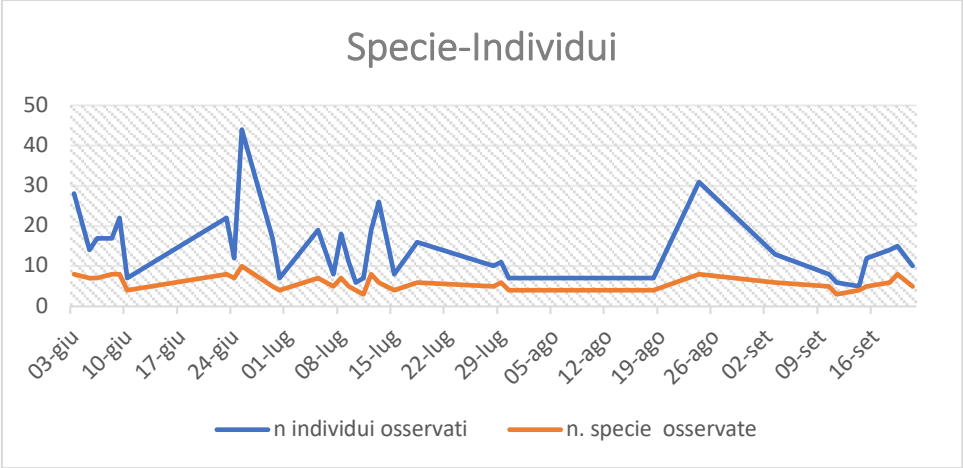
del tratto di posidonieto individuato. Durante le prime immersioni, ampio spazio è stato dato alla ricerca dei siti di annidamento del bivalve *Pinna rudis*. Un tempo anche *Pinna nobilis* era diffusa nell'area in esame, ma durante la raccolta dei dati per il presente elaborato questa specie non è stata mai rinvenuta. Ciò fa supporre come tale sito possa subire un impatto antropico notevole. L'unico esemplare in vita di Pinna rudis è stato trovato in mezzo ad un posidonieto affiorante, ad una profondità di circa 3 metri, fascia ben illuminata del mare. Grazie all'ausilio di una staffa artigianale, è stata posizionata la videocamera ActionCam Sony HDRAS20 senza recare danni alla posidonia circostante e creare disturbo all'ittiofauna locale. In totale sono stati realizzati 10 filmati della lunghezza di 2 ore ciascuno (totale 20 ore di riprese video) che sono stati poi impiegati per l'analisi delle interazioni tra ittiofauna presente e *Pinna rudis*.

Il Monitoraggio è stato effettuato mediante visual census nel periodo che va dal 03/06/2023 al 21/09/2023 per un totale di 34 uscite. La tecnica del visual census prevede l'osservazione in situ della fauna ittica, effettuata da un operatore subacqueo specializzato che seguendo un transetto di lunghezza prestabilita (25 metri), nuotando in maniera rettilinea, parallelamente al fondo e a velocità costante, tiene il conto del numero e della relativa specie degli organismi che sono visibili su entrambi i lati del transetto. In totale sono stati censiti 494 individui afferenti a 11 specie, tra cui 4 specie d'interesse commerciale (*Diplodus vulgaris, Diplodus annularis, Serranus scriba* e *Mullus surmuletus*) ed una specie d'interesse conservazionistico *Labrus viridis* (specie classificata come VULNERABILE secondo la IUCN).

Di seguito l'elenco delle specie rinvenute durante l'indagine: *Thalassoma pavo, Chromis chromis, Diplodus vulgaris, Diplodus annularis, Symphodus roissali, Symphodus tinca, Serranus scriba, Spicara maena, Mullus surmuletus, Sarpa salpa, Labrus viridis.* Da segnalare inoltre la presenza del bivalve *Pinna rudis*. Dallo studio effettuato, la specie più rappresentativa risulta essere *Chromis chromis* con 137 individui rilevati nel periodo di monitoraggio. Al contrario la specie con minore abbondanza nel sito indagato è *Mullus surmuletus* con solo 2 individui censiti. Nessuna specie aliena osservata.



Tab. Abbondanza relativa. Nel grafico sono riportati i numeri degli individui censiti per ogni singola specie rinvenuta.



Tab. Specie-individui per sessione di monitoraggio. Nel grafico sono riportati i numeri degli individui e delle specie osservate per ogni sessione di monitoraggio.

data	*n. specie osservate*	*T. pavo*	*C. chromis*	*D. vulgaris*	*D. annularis*	*S. roissali*	*S. tinca*	*S. scriba*	*S. maena*	*M. surmuletus*	*S. salpa*	*L. viridis*
25/05	5	3	10	2	3	3						
26/05	7	4	13	3	3	4	1	1				
27/05	6	3	12	2	2	3	1					
30/05	7	2	6	2	3	3			4	1		
03/06	8	3	5	3	2	3		1			10	1
05/06	7	2	4	1	2	2	1		2			
06/06	7	3	3	3	2	3					2	1

08/06	8	2	5	2	1	2	1		3			1
09/06	8	1	9	3	2	2		1			3	1
10/06	4			2	1	3						1
23/06	8	2	4	3	3	2			5	1	2	
24/06	7	2	3	2	1	2		1				1
25/06	10	4	18	4	4	3	1	1	4		4	1
29/06	5	3	4	3	4	3						
30/06	4	2		1	2	2						
05/07	7	3		2	3	3	1		4		3	
07/07	5	1		2	3	1						1
08/07	7		5	2	3	3		1	2		2	
09/07	5	3	2		3	2						1
10/07	4	2			2	1						1
11/07	3	3			2	2						
12/07	8	2	8	2	1	2	1				2	1
13/07	6	3	11	2	4	3			3			
15/07	4	2	4		1	1						
18/07	6		6	2	3	2					2	1
28/07	5		4	2	1	2						1
29/07	6	1	3	2	2	2						1
30/07	4		4			1		1				1
18/08	4	3			1	2						1
24/08	8	1	19	1	3	2	1	1	3			
03/09	6		6	2	1	2	1					1
10/09	5	2	1		3	1						1
11/09	3	1	3	2								
14/09	4			1	2	1				1		
15/09	5	2		4	3	2						1
18/09	6	1		2	3	2			3		3	
19/09	8	2	2	3	1	2			2		2	1
21/09/	5	2	4		1	2						1

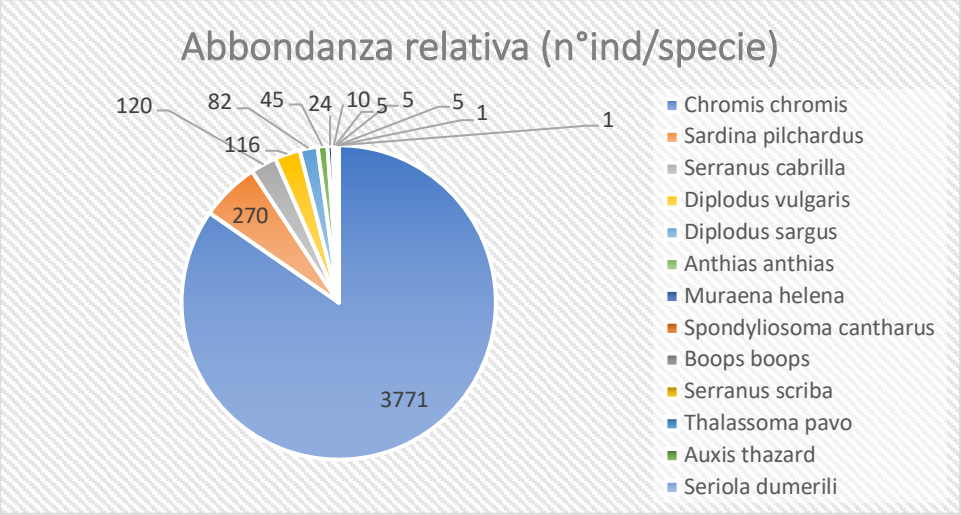
SITO 1

La metodologia BRUVs (Baited Remote Underwater Video system) è stata utilizzata come tecnica di raccolta dati relativi alla componente nectonica e bentonica, un sistema di monitoraggio non distruttivo che utilizza le registrazioni video subacquee.

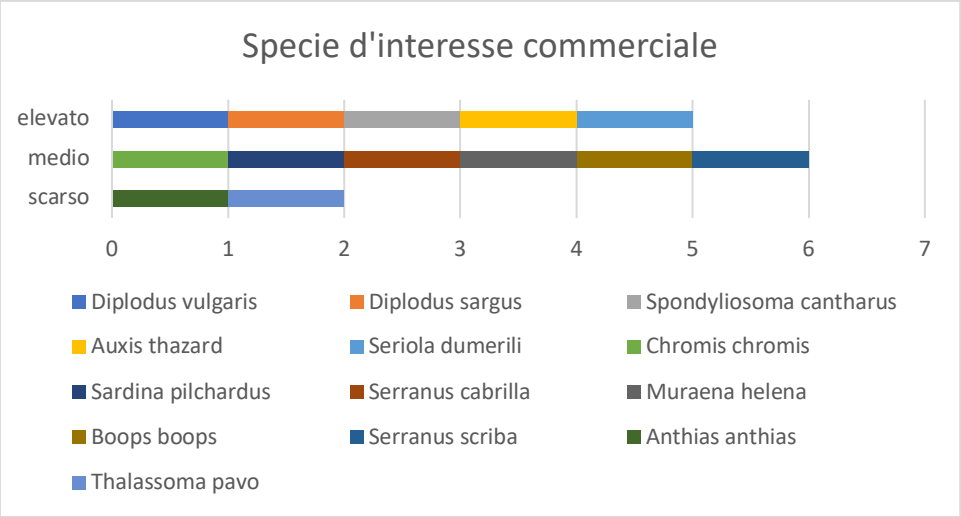
In totale sono stati censiti 4455 individui afferenti a 13 specie, tra cui 10 specie d'interesse commerciale ed una specie d'interesse conservazionistico (*Seriola dumerili*).

Di seguito l'elenco delle specie rinvenute durante l'indagine: *Chromis chromis, Sardina pilchardus, Serranus cabrilla, Diplodus vulgaris, Diplodus sargus, Anthias anthias, Muraena helena, Spondyliosoma cantharus, Boops boops, Serranus scriba, Thalassoma pavo, Auxis thazard, Seriola dumerili.*

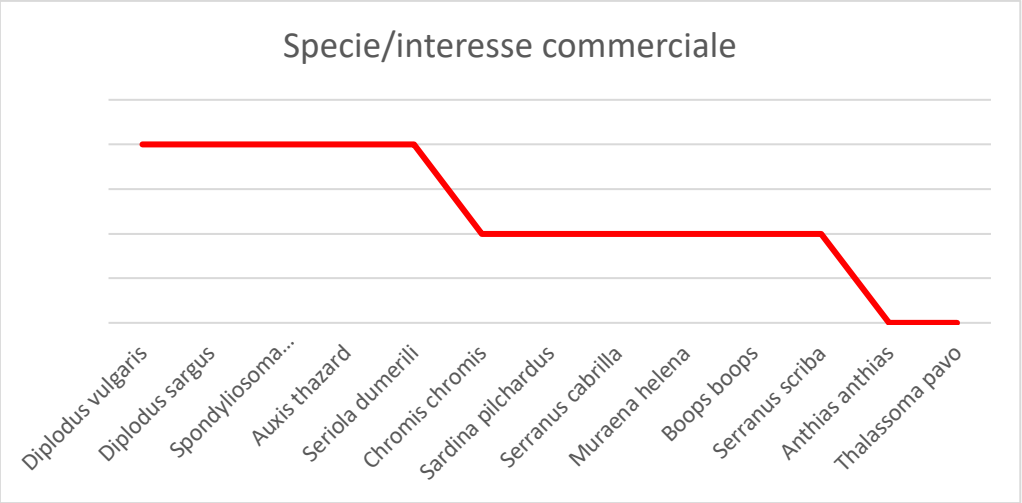
Le specie più rappresentative risultano essere *Chromis chromis* (3771 individui osservati) e *Sardina pilchardus* (270 individui osservati). Le specie meno abbondanti sono *Seriola dumerili* e *Auxis thazard,* osservate una sola volta nel periodo d'indagine. Nessuna specie aliena rinvenuta.



Tab. Abbondanza relativa. Nel grafico sono riportati i numeri degli individui censiti per ogni singola specie rinvenuta.



Tab. Interesse commerciale. Nel grafico sopra, l'elenco delle specie rinvenute ed il rispettivo interesse commerciale.



Tab. Interesse commerciale. Nel grafico sopra, l'elenco delle specie rinvenute ed il rispettivo interesse commerciale.

Specie	N	Specie di interesse commerciale	Specie di interesse conservazionistico	Nursery	Specie aliena
Chromis chromis	3771	-	-	SI	-
Sardina pilchardus	270	X	-		-
Serranus cabrilla	120	X	-		-
Diplodus vulgaris	116	XX	-	SI	-
Diplodus sargus	82	XX	-	SI	-
Anthias anthias	45	-	-		-
Muraena helena	24	X	-		-
Spondyliosoma cantharus	10	XX	-		-
Boops boops	5	X	-	SI	-
Serranus scriba	5	X	-	SI	-
Thalassoma pavo	5	-	-	SI	-
Auxis thazard	1	XX	-		-

Seriola dumerili	1	XX	SI	-

SITO 10

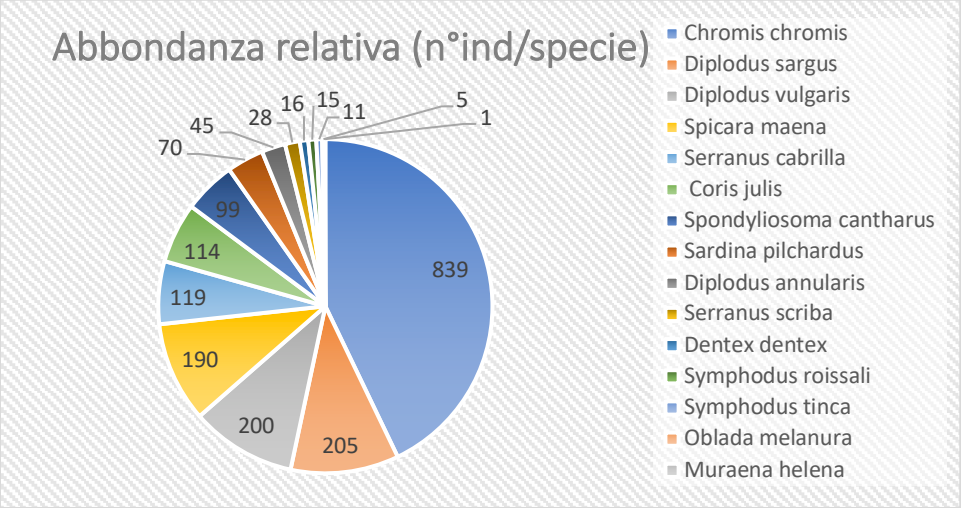
Anche per il sito 10, il censimento è stato effettuato mediante la tecnologia BRUVs.

In totale sono stati censiti 1957 individui afferenti a 15 specie, tra cui 10 specie d'interesse commerciale tra le quali menzioniamo *Diplodus sargus* e *D. vulgaris* ed una specie d'interesse conservazionistico, *Dentex dentex* (specie classificata come VULNERABILE secondo la IUCN)

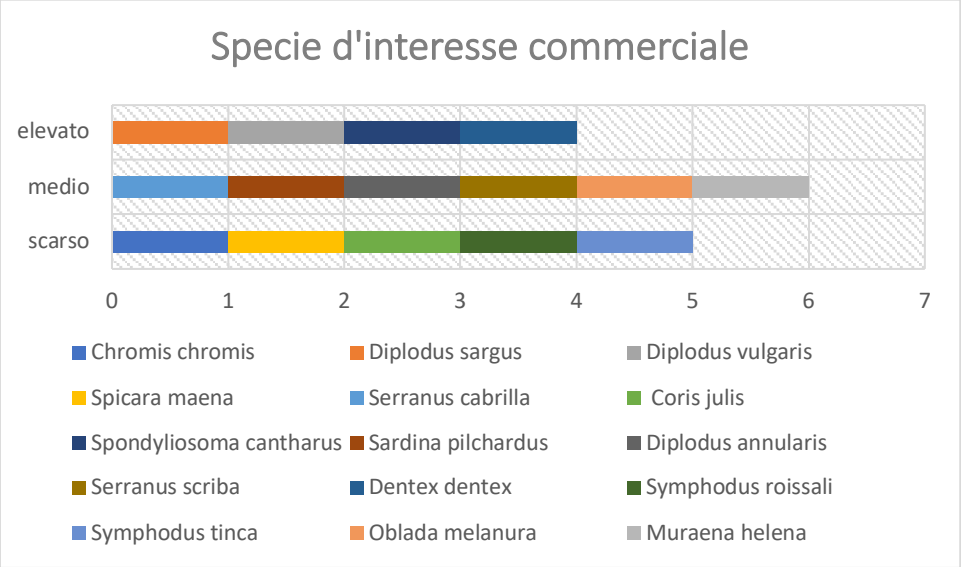
Di seguito l'elenco delle specie rinvenute durante l'indagine:

Chromis chromis, Diplodus sargus, Diplodus vulgaris, Spicara maena, Serranus cabrilla, Coris julis, Spondyliosoma cantharus, Sardina pilchardus, Diplodus annularis, Serranus scriba, Dentex dentex, Symphodus roissali, Symphodus tinca, Oblada melanura, Muraena helena.

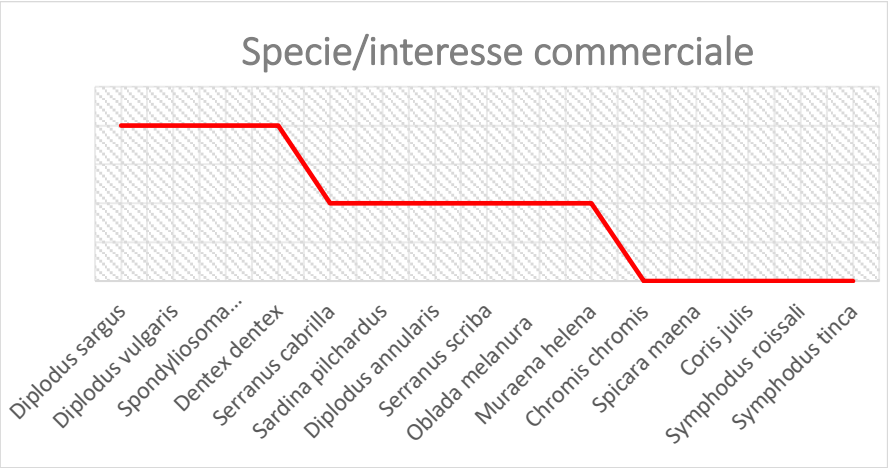
Le specie più abbondanti risultano essere Chromis chromis (839 individui), *Diplodus sargus* (205 individui), *Diplodus vulgaris* (200 individui) e *Spicara maena* (190 individui). Tra le specie meno rappresentate possiamo citare *Oblada melanura* e *Muraena helena*. Nessuna specie aliena rinvenuta.



Tab. Abbondanza relativa. Nel grafico sono riportati i numeri degli individui censiti per ogni singola specie rinvenuta.



Tab. Interesse commerciale. Nel grafico sopra, l'elenco delle specie rinvenute ed il rispettivo interesse commerciale.



Tab. Interesse commerciale. Nel grafico sopra, l'elenco delle specie rinvenute ed il rispettivo interesse commerciale.

Specie	N	Specie di interesse commerciale	Specie di interesse conservazionistico	Nursery	Specie aliena
Chromis chromis	839	-	-	SI	-
Diplodus sargus	205	XX	-		-
Diplodus vulgaris	200	XX	-	SI	-
Spicara maena	190	-	-		-
Serranus cabrilla	119	X	-		-
Coris julis	114	-	-	SI	-
Spondyliosoma cantharus	99	XX	-		-

Sardina pilchardus	70	X	-	SI	-
Diplodus annularis	45	X	-		-
Serranus scriba	28	X	-		-
Dentex dentex	16	XX	SI	SI	-
Symphodus roissali	15	-	-		-
Symphodus tinca	11	-	-		-
Oblada melanura	5	X	-	SI	-
Muraena helena	1	X	-		-

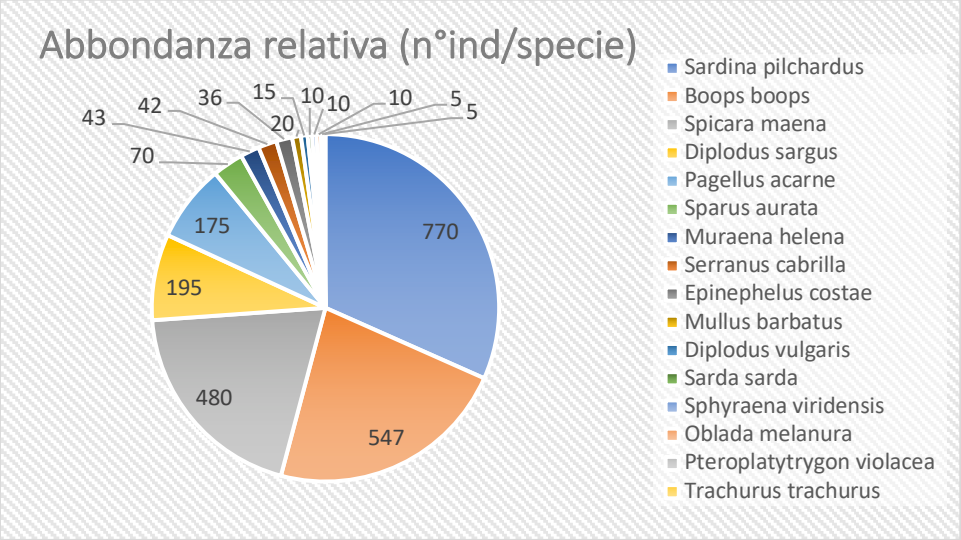
SITO 17

Monitoraggio effettuato mediante BRUVs.

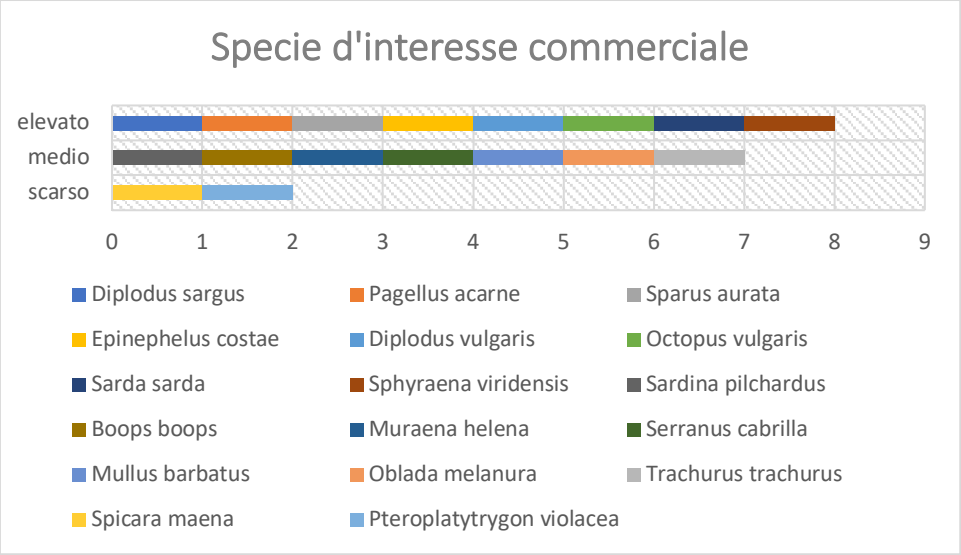
In totale sono stati censiti 2433 individui afferenti a 16 specie, tra cui 14 specie d'interesse commerciale tra le quali citiamo *Sardina pilchardus*, *Diplodus sargus* e *Sparus aurata,* due specie d'interesse conservazionistico *Epinephelus costae* e *Pteroplatytrygon violacea* ed una specie aliena *Sphyraena viridensis* di provenienza tropicale. Presente anche il mollusco cefalopode *Octopus vulgaris* con 15 individui registrati durante le riprese.

Di seguito l'elenco delle specie rinvenute durante l'indagine: *Sardina pilchardus, Boops boops, Spicara maena, Pagellus acarne, Sparus aurata, Serranus cabrilla, Mullus barbatus, Sarda sarda, Sphyraena viridensis, Pteroplatytrygon violacea, Trachurus trachurus, Diplodus sargus, Muraena helena, Epinephelus costae, Diplodus vulgaris, Oblada melanura.*

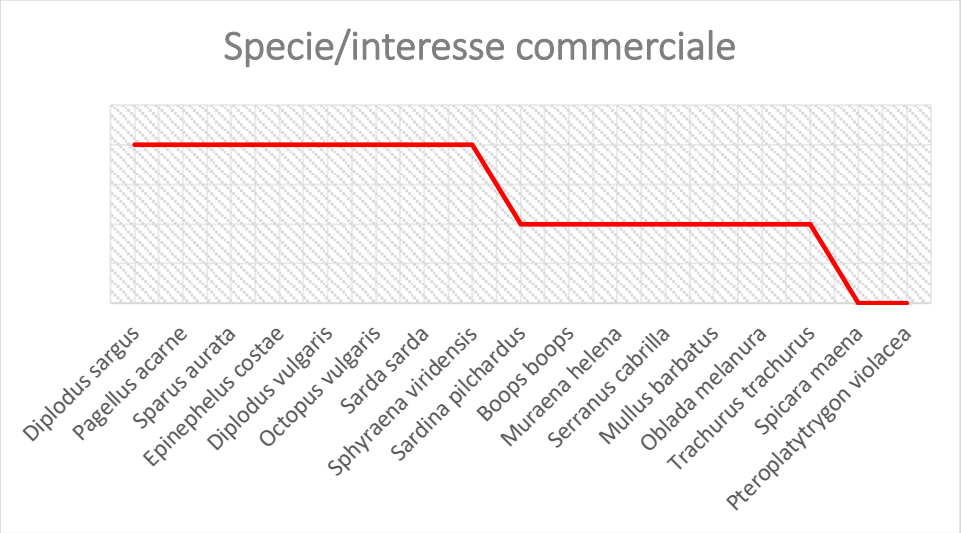
Le specie meglio rappresentate in termini numerici risultano essere *Sardina pilchardus, Boops boops, Spicara maena, Diplodus sargus* e *Pagellus acarne*. Tra le specie meno presenti possiamo citare *Trachurus trachurus* e *Pteroplatytrygon violacea*.



Tab. Abbondanza relativa. Nel grafico sono riportati i numeri degli individui censiti per ogni singola specie rinvenuta.



Tab. Interesse commerciale. Nel grafico sopra, l'elenco delle specie rinvenute ed il rispettivo interesse commerciale.



Tab. Interesse commerciale. Nel grafico sopra, l'elenco delle specie rinvenute ed il rispettivo interesse commerciale.

Specie	N	Specie di interesse commerciale	Specie di interesse conservazionistico	Nursery	Specie aliena
Sardina pilchardus	770	X	-		-
Boops boops	547	X	-	SI	-
Spicara maena	480	-	-		-
Pagellus acarne	175	XX	-		-
Sparus aurata	70	XX	-		-
Serranus cabrilla	42	X	-		
Mullus barbatus	20	X	-		-
Sarda sarda	10	XX	-		-
Sphyraena viridensis	10	X	-		T
Pteroplatytrygon violacea	5	-	SI		-
Trachurus trachurus	5	X	-		-
Diplodus sargus	195	XX	-		-
Muraena helena	43	X	-		-
Epinephelus costae	36	XX	SI	SI	-
Diplodus vulgaris	15	XX	-	SI	-
Octopus vulgaris	15	XX	-		-
Oblada melanura	10	X	-		-

ANALISI FISIOLOGICHE

La tutela del benessere animale è un tema molto sentito negli ultimi anni sia dall'opinione pubblica generale, che dalla comunità scientifica e dalle istituzioni, non solo per questioni etiche, ma anche per ragioni economiche e di mercato. Il benessere animale, infatti, strettamente correlato alla qualità dei prodotti, rappresenta oggi una sfida nell'ambito del mercato nazionale, in particolare nel contesto mediterraneo ed europeo, fortemente competitivo.

I pesci, così come gli altri animali acquatici, sono estremamente soggetti alle variazioni dei parametri ambientali, quali temperatura dell'acqua, quantità di ossigeno disciolto, salinità, presenza di contaminanti, oppure a fattori associati alla cattura, al trasporto, alla manipolazione e alla malnutrizione. Questi eventi possono determinare situazioni di stress, più o meno prolungate, con conseguenze significative sullo stato di salute degli animali, e di conseguenza, sui tassi di crescita e sulla qualità delle carni destinate al consumo.

Il benessere degli animali è un concetto apparentemente semplice, tuttavia, individuare i parametri e le misure più idonee per poterlo determinare è un obiettivo piuttosto complesso.

Il gruppo di Fisiologia d'Organo e dei Sistemi dell'Unical da anni svolge studi relativi agli effetti di *stressors* ambientali su modelli animali e possiede le competenze necessarie per la valutazione dello stato di benessere di specie ittiche.

In particolare, i ricercatori di Fisiologia dell'Unical utilizzano indicatori fisiopatologici considerati marker dello stato di salute animale per valutare:

- Le caratteristiche morfologiche e funzionali di organi, quali cuore e fegato, considerati di elezione per la valutazione dello stato di salute animale e della sua capacità di adattamento alle specifiche condizioni ambientali.
- La qualità del muscolo in termini di arrangiamento strutturale ed ultrastrutturale e la sua risposta a condizioni di stress, in particolare di stress ipossico.
- I parametri ematici, inclusi i marker endocrini di stress, quali cortisolo e catecolamine.

Un esempio, utile anche ai fini delle competenze a supporto del progetto, sono gli studi che il gruppo di ricerca ha condotto per analizzare, dal livello cellulare fino ai tessuti e all'organo, come l'esposizione ad inquinanti, a variazioni di temperatura o di ossigeno ambientale, o ancora l'utilizzo di mangimi sperimentali in acquacoltura intensiva, modifica la risposta di organi e apparati, con impatto sullo stato di salute dell'animale.

Nell'ambito del presente progetto, il gruppo di Fisiologia dell'Unical ha analizzato nel goldfish *Carassius auratus*, un modello animale di resistenza all'ipossia, gli effetti dell'esposizione ad una condizione di ipossia moderata sul cuore in termini di performance emodinamica e dinamica mitocondriale. Informazioni in tal senso sono particolarmente rilevanti in quanto, l'ingravescente cambiamento climatico con l'associato innalzamento delle temperature delle acque, sta riducendo la disponibilità di ossigeno per gli animali acquatici, con conseguenze severe per le specie e gli ecosistemi. Vista la naturale resistenza all'ipossia del goldfish, esso è stato utilizzato al fine acquisire informazioni circa i meccanismi che consentono a questa specie di sopravvivere anche in presenza di scarsa disponibilità di ossigeno, come quelle che, ad esempio, spesso si instaurano nelle acquacolture intensive a causa del sovraffollamento delle vasche di allevamento.

A tal proposito, esemplari di *C. auratus* (lunghezza = 12–16 cm; peso = 40,96 ± 2,07 g; medie ± sem) di entrambi i sessi sono stati acclimatati a 18–21 °C (ciclo luce/buio di 12 ore) in acqua filtrata e aerata, e quotidianamente alimentati con cibo commerciale. Dopo l'acclimatazione, gli animali sono stati divisi in due gruppi. Un gruppo è stato mantenuto ad una pressione parziale di ossigeno (PO_2) di circa 150 mmHg (gruppo normossico), mentre l'altro è stato esposto ad una PO_2 di circa 30 mmHg (gruppo ipossico), un valore vicino alla tensione critica di ossigeno della specie (Pcrit: Fry and Hart, The Biological Bulletin, 1948). L'esposizione all'ipossia è stata protratta per 4 e 20 giorni. Al termine di ciascun periodo di esposizione, gli animali sono stati sacrificati dopo anestesia con MS222. I cuori sono stati rimossi e processati per i protocolli specifici. I cuori sono stati incannulati e collegati ad un apparato di perfusione per valutare la performance cardiaca sia in termini di *endurance* che di risposta ad incrementi di precarico. Inoltre, campioni di cuori provenienti da animali esposti a ipossia e normossia sono stati raccolti e processati per analisi di espressione di marcatori di biogenesi mitocondriale e del contenuto di DNA mitocondriale.

Rispetto alle condizioni normossiche, cuori perfusi *ex vivo* di animali esposti a 4 e a 20 giorni di ipossia ambientale hanno mostrato un incremento della performance, come indicato dai parametri emodinamici (volume sistolico, gittata cardiaca, lavoro sistolico e potenza cardiaca) a partire dall'inizio e durante tutto il tempo di perfusione (90 min) (Fig.1). Rispetto ai cuori di animali esposti a normossia e ipossia a breve termine, i cuori di pesci acclimatati a 20 giorni di ipossia hanno mostrato una maggiore sensibilità agli aumenti del precarico, espressa da valori più elevati di volume sistolico e gittata cardiaca, suggerendo così una risposta all'ipossia dipendente dal tempo (Fig.2).

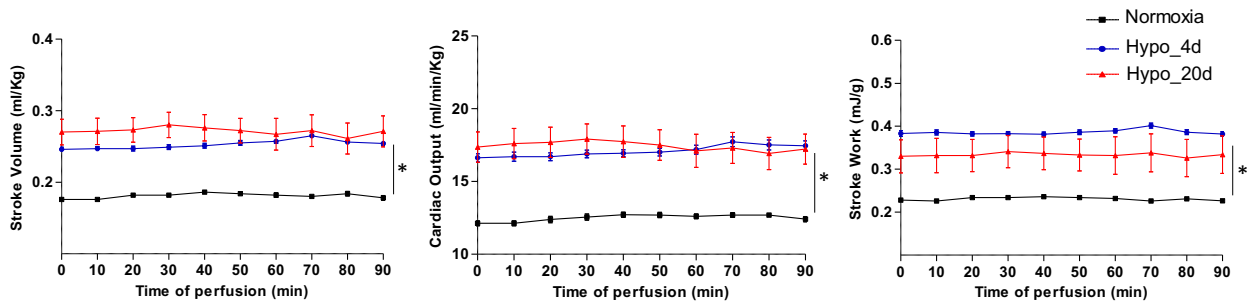


Figura 1: Curve time-course di SV, CO and SW di cuori isolati di *C. auratus*, stabulati e perfusi in condizioni di ipossia o normossia.

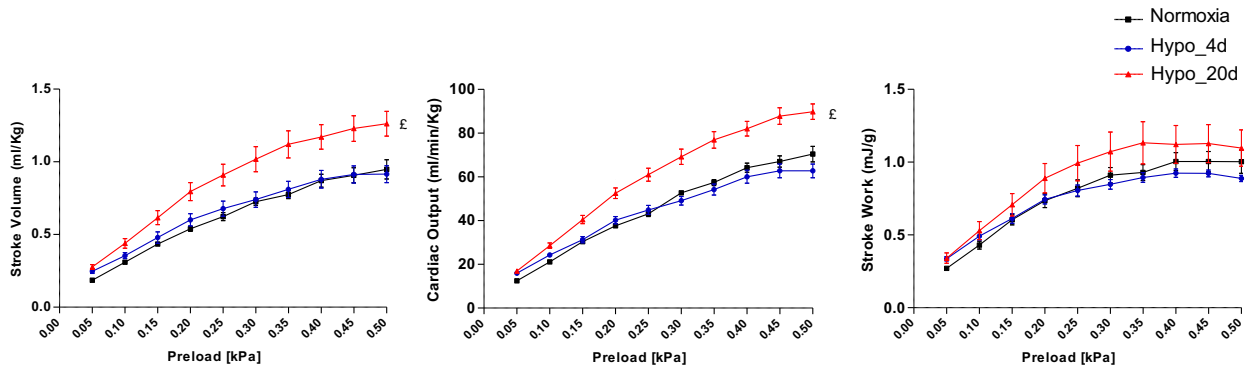


Figura 2: Effetto degli incrementi di precarico SV, CO and SW in cuori isolati di *C. auratus*, stabulati e perfusi in condizioni di ipossia o normossia

Analisi di western blotting hanno evidenziato che rispetto al gruppo di controllo, i cuori degli animali esposti ad ipossia breve e prolungata mostravano un aumento dei livelli di espressione dei fattori PGC-1α, NRF1, NRF2, TFAM, coinvolti nei processi di biogenesi mitocondriale. Inoltre, l'analisi del rapporto mtDNA/nDNA ha evidenziato un aumento del DNA mitocondriale nei cuori degli animali esposti ad ipossia, che è risultato significativo nell'esposizione prolungata (Fig.3).

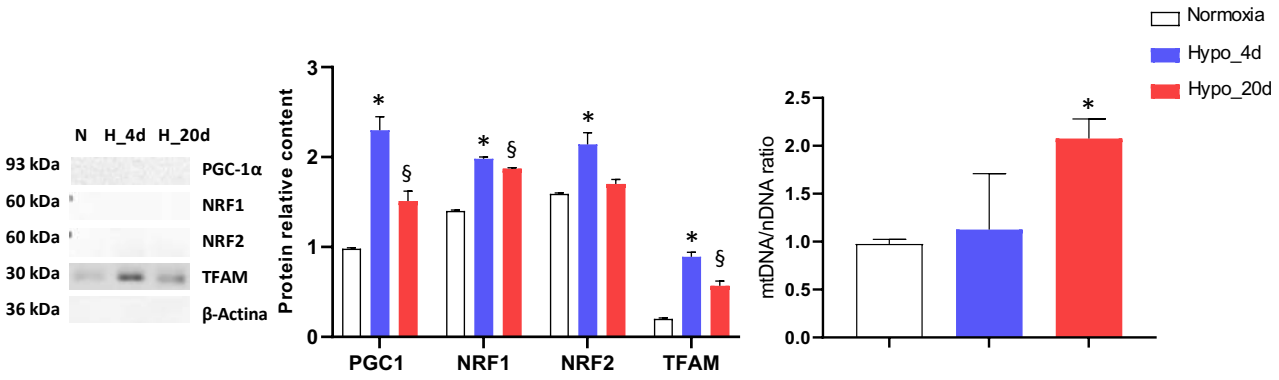


Figura 3: Livelli di espressione delle proteine PGC-1α, NRF1, NRF2 e TFAM e rapporto mtDNA/nDNA in campioni di muscolo scheletrico provenienti da animali esposti a 4 e 20 giorni di ipossia.

Più recentemente, il suddetto gruppo di ricerca ha anche analizzato gli effetti dell'esposizione a 4 e 20 giorni di ipossia moderata sullo stato ossidativo, sull'espressione di proteine da stress, e sulla dinamica mitocondriale del muscolo scheletrico di goldfish.

Esemplari di *C. auratus* (lunghezza = 16-18 cm; peso = 46,3 ± 2,55 g; medie ± SE) di entrambi i sessi sono stati acclimatati a 18–21 °C (12:12 luce-buio) in vasche contenenti acqua continuamente filtrata e areata. Dopo l'acclimatazione, gli animali sono stati divisi in due vasche in cui veniva gorgogliata aria o azoto per ottenere valori normossici (PO_2 di ~ 150 mmHg) o ipossici (PO_2 di ~ 30 mmHg), rispettivamente, e mantenuti in queste condizioni per un periodo di tempo pari a 4 e 20

giorni. Alla fine di ogni periodo di esposizione, gli animali sono stati sacrificati. Campioni di muscolo bianco sono stati raccolti e processati per la valutazione dello stato ossidativo, della dinamica mitocondriale e del contenuto di DNA mitocondriale.

In entrambi i gruppi sperimentali, l'esposizione all'ipossia non ha influenzato lo stato ossidativo del tessuto, valutato in termini di perossidazione lipidica e carbonilazione proteica (Fig.4).

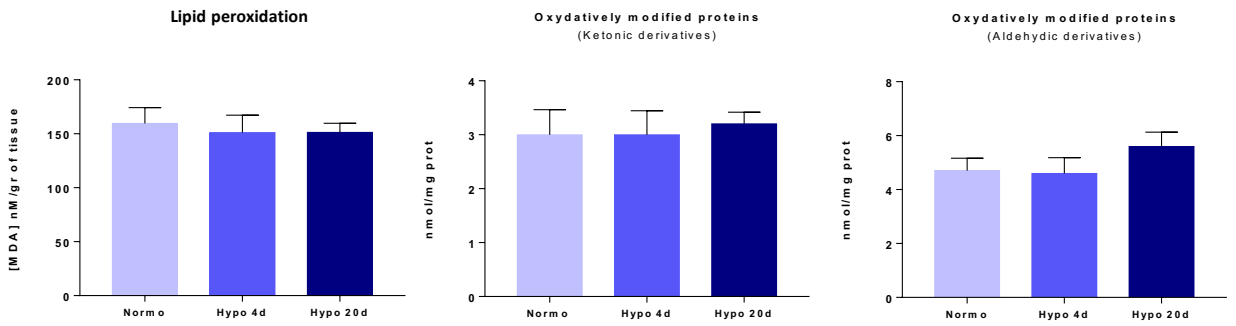


Figura 4: Livelli di prodotti di ossidazione (perossidazione lipidica e carbonilazione proteica) in campioni di muscolo scheletrico provenienti da animali esposti a 4 e 20 giorni di ipossia.

Tuttavia, dopo esposizione a 4 giorni di ipossia è stato osservato un significativo aumento dell'attività e dell'espressione dell'enzima antiossidante SOD (Fig.5). Ciò è stato accompagnato da una maggiore espressione del fattore di trascrizione Nrf2, un regolatore della risposta cellulare allo stress ossidativo, e di HSP70, una proteina che agisce come sensore redox (Fig.6).

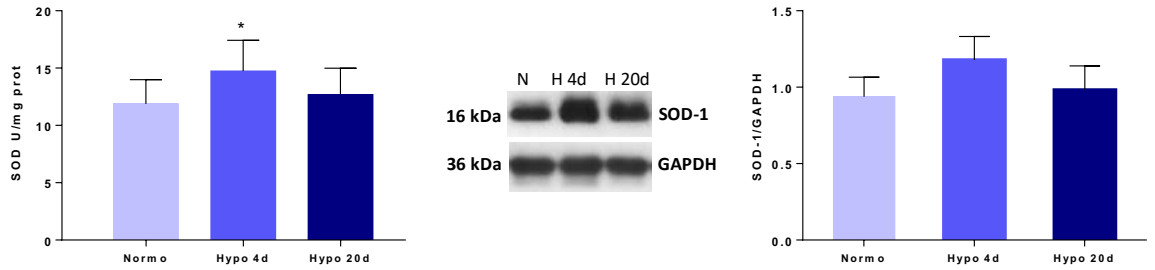


Figura 5: Livelli di attività ed espressione dell'enzima antiossidante SOD in campioni di muscolo scheletrico di goldfish esposti a 4 e 20 giorni di ipossia.

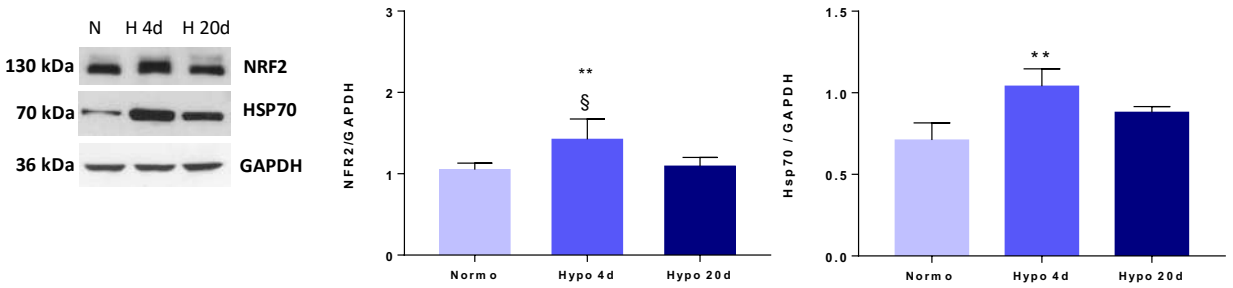


Figura 6: Livelli di espressione delle proteine NRF2 e HSP70 in campioni di muscolo scheletrico di goldfsih esposti a 4 e 20 giorni di ipossia.

In entrambi i gruppi esposti a 4 e 20 giorni di ipossia, analisi western blotting dei fattori che controllano la biogenesi (PGC-1α e TFAM) e l'abbondanza (VDAC) mitocondriale, così come la misurazione del rapporto mtDNA/nDNA, hanno escluso il coinvolgimento di una modificazione dell'apparato mitocondriale nella risposta del muscolo scheletrico di goldfish all'ipossia (Fig.7).

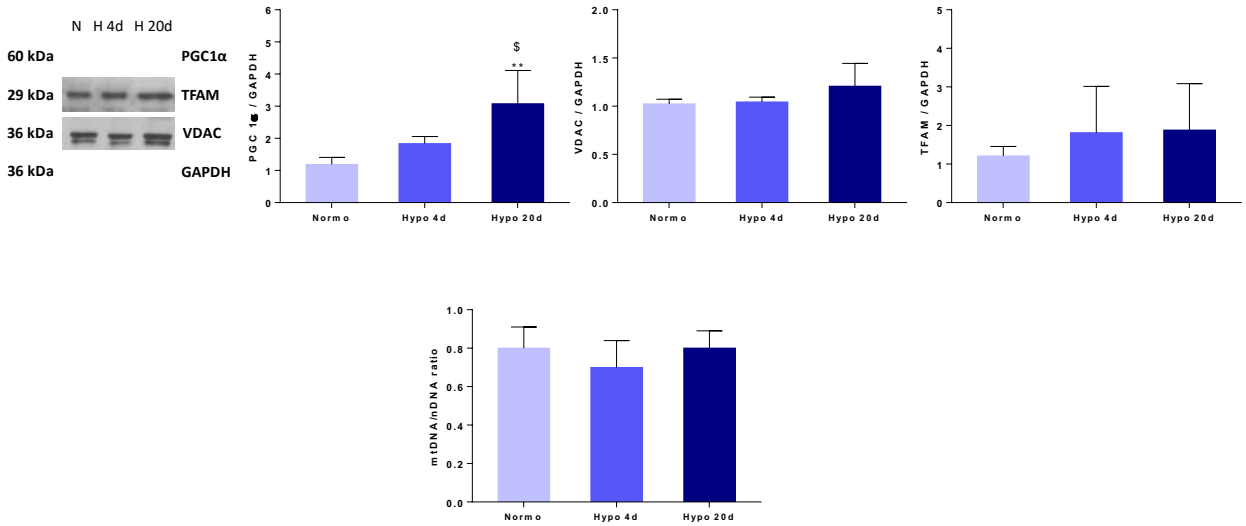


Figura 7: Livelli di espressione delle proteine PGC-1α, TFAM e VDAC e rapporto mtDNA/nDNA in campioni di muscolo scheletrico di goldfish esposti a 4 e 20 giorni di ipossia.

Nell'insieme, i risultati ottenuti hanno evidenziato l'elevata sensibilità sia del muscolo cardiaco che di quello scheletrico di goldfish a variazioni anche minime della disponibilità di ossigeno ambientale. Ciò rappresenta una fondamentale premessa per chiarire i meccanismi fisiologici di compensazione che si attivano in questi animali in presenza di *stressors* ambientali. Queste informazioni sono particolarmente utili in vista della necessità sempre crescente di individuare marker biologici e di specie che consentano di valutare gli effetti delle modificazioni ambientali sugli animali che popolano gli ambienti acquatici.

Queste informazioni rappresentano una base importante per mettere a punto strategie adeguate ed interventi *ad hoc* che consentano di elevare gli standard delle strutture preposte all'accrescimento di specie ittiche di interesse anche commerciale, così come per la messa a punto di sistemi di riproduzione artificiale e per la predisposizione di misure per il miglioramento della qualità delle acque.

ANALISI MICROBIOLOGICHE

Lo sviluppo scientifico degli ultimi cinquanta anni ha portato a migliorare le nostre conoscenze sul funzionamento degli ecosistemi acquatici. La produzione globale di pesci si pensa aver raggiunto circa 179 milioni di tonnellate nel 2018, 82 milioni delle quali, per un valore di circa 250 bilioni di dollari, provengono dalla attività produttiva dell'acquacoltura. Della produzione globale, 156 milioni di tonnellate sono state per il consumo umano, pari ad un supporto annuale pro-capite di 20.5 Kg. L'acquacoltura rappresenta circa il 46% della produzione totale e il 52% di pesci destinato al consumo umano. La Cina rappresenta il maggiore produttore di pesci. Il consumo globale alimentare di pesci è aumentato in una media annuale del 3.1% a partire dal 1961 fino al 2017. Nel 2017, il consumo di pesce ha rappresentato circa il 17% dell'introito di proteine animali e circa il 7% di tutte le proteine. Nel 2018, la produzione mondiale di pesci da acquacoltura ha raggiunto 82.1 di tonnellate, 54.3 milioni di tonnellate delle quali rappresentate da pesci a pinne, 17.7 milioni da molluschi, principalmente bivalvi, e 9.4 milioni di tonnellate da crostacei. Nel 2017, fra le "Major Fishing Areas" della FAO, il Mediterraneo e il Mar Nero avevano la più alta percentuale (62.5%) di stock pescato a livelli di non sostenibilità, seguito dal SudEst Pacifico (54.5%) e SudOvest Atlantico (53.3%). In contrasto, il Pacifico centro orientale, il NordEst Pacifico e il Pacifico centro occidentale hanno la più bassa proporzione di stock di pesce a livelli biologicamente non sostenibili. Nel 2018, anno in cui si hanno i dati scientifici certi forniti dalla FAO, circa l'88% (156 milioni di tonnellate) della produzione mondiale di pesce è stato destinato al consumo umano diretto. Tale proporzione è aumentata notevolmente se si pensa che negli anni '70 era di circa il 67%. Nel 2018, l'Unione Europea è stata il più importante mercato per l'importazione di pesce (circa il 34%), seguita dagli Stati Uniti di America (14%) e dal Giappone (9%). Il contributo dell'acquacoltura alla produzione mondiale di pesce è costantemente aumentato, raggiungendo il 46.0% nel 2016-2018 a partire dal 25.7% del 2000. Nel 2018, l'acquacoltura delle aree interne ha prodotto 51.3 milioni di tonnellate di animali acquatici, rappresentando circa il 62.5% della produzione mondiale di pesce destinato al consumo umano. La maricoltura e l'acquacoltura costale collettivamente ha prodotto circa 30.8 milioni di tonnellate di animali acquatici. Il dominio dell'acquacoltura nel mercato globale del pesce ha significative implicazioni per la distribuzione e consumo del pesce. L'allevamento del pesce permette un controllo più attento lungo tutto il processo della produzione. Pertanto, l'acquacoltura ha permesso di avere disponibilità di pesce a regioni e nazioni altrimenti con limitate specie in

coltura, il che ha comportato un migliore valore nutritivo e una maggiore sicurezza alimentare. La forte espansione della produzione d'acquacoltura, specialmente per specie quali salmone, bivalvi, carpe, pesce gatto, gamberetti in un costante aumento del consumo pro-capite di queste specie in anni più recenti. Il mercato globale dei molluschi bivalvi è costituito principalmente da cozze, vongole, ostriche e capasanta. Oggi, l'acquacoltura è ritenuta di gran lunga la fonte dominante di molluschi bivalvi. La richiesta di animali bivalvi è sostanzialmente incrementata lungo gli anni principalmente come conseguenza delle caratteristiche favorevoli delle specie bivalve dalla prospettiva del consumatore. La produzione in acquacoltura dei bivalvi ha positivi impatti ambientali e significativi benefici nutrizionali, in particolare nel fornire micronutrienti. Sulla base di dati presuntivi, la produzione totale di pesce si presume si possa espandere da 179 milioni di tonnellate del 2018 a 204 milioni di tonnellate del 2030. La produzione d'acquacoltura è proiettata a raggiungere 109 milioni di tonnellate nel 2030, cioè un incremento del 32% pari a 26 milioni di tonnellate rispetto al 2018.

Intrinseca a tutte le attività umane, incluse le attività correlate alla produzione del cibo, i prodotti dell'acquacoltura possono rappresentare un pericolo biologico capace di determinare effetti dannosi sulla salute umana.

Tra gli agenti biologici che rappresentano un rischio per la salute dell'uomo, un ruolo cruciale viene svolto dai batteri. I batteri tipici dell'acquacoltura possono essere raggruppati in due gruppi:

a) Batteri naturalmente presenti nell'ambiente acquatico, identificati come batteri indigeni e
b) Batteri presenti come conseguenza della contaminazione con feci animali o da attività antropiche.

Naturalmente, i pericoli biologici possono derivare anche dall'introduzione di batteri durante la manipolazione e processazione dopo la raccolta. Sebbene la prevalenza di batteri patogeni appaia essere più alta in ambienti costali o interni destinati all'acquacoltura rispetto agli ambienti rappresentati dal mare aperto, rimane da definire se queste differenze si ripercuotono sulla sicurezza dei prodotti che originano da differenti aree.

Salmonella spp. sono tra le più importanti cause di malattie gastrointestinali nell'uomo e molte nazioni che importano prodotti dell'acquacoltura non accettano prodotti contenenti questi batteri.

Escherichia coli è spesso usato come un indicatore della contaminazione fecale. Molti ceppi di *E. coli* sono capaci di causare malattie trasmissibili con il cibo (foodborne diseases) che variano da enteriti di media gravità a malattie severe fino alla morte. Un numero di altri enterobatteri umani altamente patogeni, incluso Shigella spp. sono state occasionalmente isolate nei sistemi di acquacoltura e nei prodotti.

Campylobacter spp. sono molto comuni ed importanti cause di malattie diarroiche nell'uomo. Altri germi storicamente isolabili o isolati da prodotti dell'acquacoltura sono rappresentati da *Vibrio,* 12 ceppi dei quali sono conosciuti essere potenzialmente patogeni per l'uomo; *Clostridrium botulinum, Aeromonas, Listeria monocytogenes, Erysipelothrix rusiopatiae, Leptospira interrogans, Yersinia enterocolitica, Pseudomonas spp., Mycobacterium spp, Streptococcus iniae.* In anni più recenti, altri batteri stanno emergendo come possibili patogeni responsabili di zoonosi (malattie trasmissibili dagli animali all'uomo e viceversa); in particolare Nocardia spp.

Il genere *Nocardia* raggruppa numerosi batteri filamentosi Gram-positivi responsabili di malattie clinicamente manifeste negli animali, uomo compreso. Ad oggi sono state

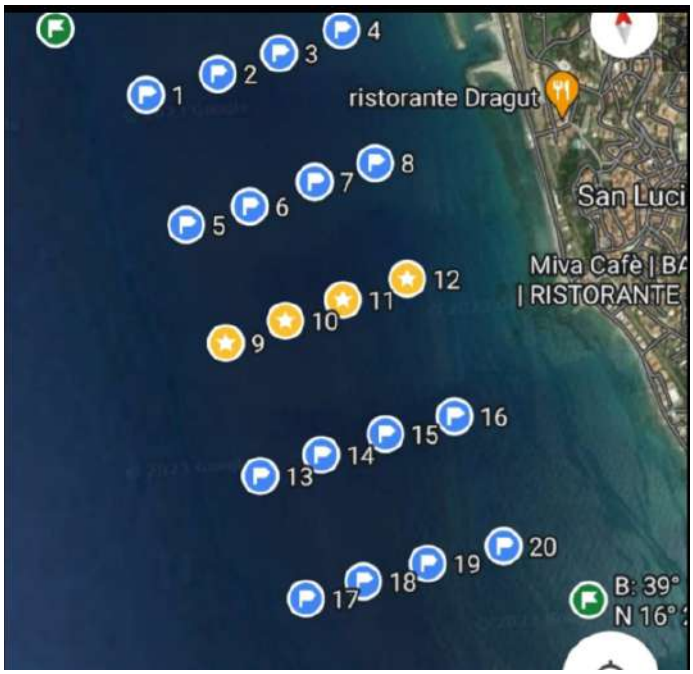
riconosciute 115 specie di Nocardia. Potenzialmente, altre ulteriori 28 specie sono state identificate. Nocardia spp. sono organismi ubiquitari ampiamente distribuiti nell'ambiente come componenti saprofiti di acqua dolce e salata, suolo, polvere, vegetazione in decomposizione, depositi fecali di animali. Alcune specie sono presenti in aree con determinate condizioni climatiche. La Nocardiosi, malattia infettiva grave, si può

presentare come malattia cutanea, quando il batterio è introdotto nella cute, preferibilmente attraverso le ferite, polmonare quando l'infezione avviene per via aerogena o malattia sistemica quando la malattia da un focus infettante si diffonde in tutto l'organismo. Benchè, la nocardiosi si manifesti principalmente in individue immunocompromessi, tuttavia, circa un terzo dei casi si manifesta in individui immunocompetenti. Sebbene l'assenza di dati clinici e di laboratorio non permetta di capire completamente i meccanismi patogenetici di incidenza della malattia, *Nocardia cyrageorgica e Nocardia crassostreae* sono considerati veri patogeni emergenti.

Per quanto concerne l'acquacoltura, nel 1998 *Nocardia crassostreae* è stata identificata come agente infettivo responsabile della Nocardiosi nelle ostriche del Pacifico (Crassostrea gigas) in diverse località del Pacifico negli Stati Uniti e nella British Columbia, Canada. Pertanto, la malattia è stata identificata come *Nocardiosi delle ostriche del Pacifico* (PON). Nel 2008, la *Nocardia crassostreae* è stata isolata in Olanda nel lago Grevelingen. Più recentemente, *Nocardia crassostreae* è stata identificata in Ostrea edulis e, per la prima volta, nelle cozze *Mytilus galloprovincialis* allevate nel Golfo di Napoli e, pertanto, ritenuta, così, essere un nuovo ospite nel Mare Mediterraneo.

Campionamento ed estrazione del DNA

Sono stati analizzati 20 campioni di acqua di mare il cui prelievo è avvenuto in tutti i punti di campionamento riportati nella seguente mappa.



Il DNA è stato estratto dalle acque utilizzando il kit Allprep PowerViral DNA/RNA (Qiagen, Wilmington, DE, USA). Questo kit è stato progettato per la purificazione rapida e semplice di acidi nucleici virali e batterici anche da campioni ad alto contenuto di inibitori della PCR, tra cui le acque. Gli acidi nucleici sono eluiti in acqua priva di RNasi e pronti all'uso per la PCR, la sintesi del cDNA, RT-qPCR, sequenziamento di Sanger o NGS.

Droplet Digital PCR (ddPCR)

La Droplet Digital PCR (ddPCR) è una tecnica che conta direttamente il numero assoluto di molecole di DNA bersaglio e di riferimento in un campione. Nella ddPCR, la mix di reazione, contenente il campione d' interesse è suddivisa in goccioline e amplificata in endpoint con sonde TaqMan come nella qPCR e la concentrazione è determinata in base al numero di goccioline fluorescenti positive e negative presenti in ciascun pozzetto. Pertanto, il segnale di fluorescenza della qPCR viene convertito da un segnale analogico ad uno digitale, eliminando così il requisito delle curve standard e consentendo la determinazione di copie target su scala assoluta con alta precisione (Hindson et al. 2011). Per verificare nei campioni di acqua di mare l'eventuale presenza della Nocardia crassostreae, sono stati disegnati gli oligo e la sonda nella regione di DNA presente tra i geni codificanti per le subunità dell'RNA ribosomiale 16S e 23S (ITS). Utilizzando l'interfaccia on line 'Realtime qPCR Assay Entry' del sito web IDT (https://eu.idtdna.com/scitools/Applications/RealTimePCR), sono stati progettati per la Nocardia crassostreae (GenBank: AF536419.1) i seguenti primer e sonde: forward, 5'ACCGTTTGAGTCCTCGAATG-3'; reverse, 5'-TGCCTGGAAAGAACGTG-3'; sonda

(FAM): AGTGTTCCACCCATGAGCGTCC (lunghezza dell'amplificato: 126 paia di basi (bp)). Primer e sonde sono stati ordinati come miscela, con un rapporto tra di loro di 3,6 (concentrazione finale 900 nm di ogni primer e 250 nm della sonda). Per verificare l'efficienza e la specificità dei primer e del probe, e quindi impostare la ddPCR, è stato utilizzato un controllo positivo acquistato dal laboratorio nazionale di riferimento (NRL) per pesci e crostacei (Paesi Bassi).

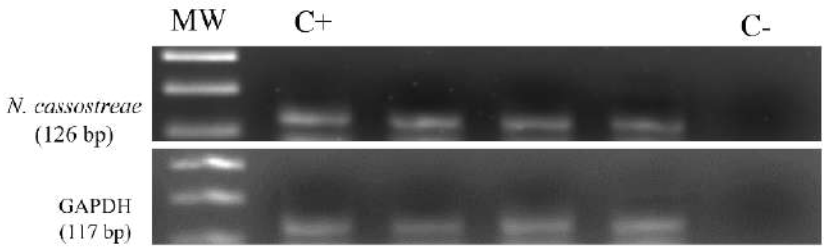
Per la ddPCR, è stato utilizzato il sistema ddPCR QX100 di Bio-Rad secondo le istruzioni consigliate dal produttore. I dettagli di questa procedura sono stati descritti in precedenza (rif). In breve, la reazione è stata condotta in un volume finale di 22 µL, contenente 11 µL di supermix di probe ddPCR (2X; Bio-Rad), la miscela di primer/probe descritta in

precedenza con 7 µL di campione di DNA, corrispondenti a 100 ng. La miscela di ddPCR è stata posizionata in un piastra di 96 pozzetti che è stata poi trasferita su un generatore di droplet automatico (AutoDG, Bio- Rad Laboratories, Hercules, CA, USA). L'AutoDG ha aggiunto 70 µL di goccioline di olio in ogni pozzetto e ciascun campione è stato diviso in circa 20.000 nanodroplet stabili. Le emulsioni di goccioline, di 40 µL, sono state trasferite su una nuova piastra di PCR da 96 pozzetti che è stata rivestita con un foglio di alluminio sigillato a caldo usando il PX1 PCR (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA). L'amplificazione per la PCR è stata eseguita in un termociclatore -T100 Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA) con il seguente profilo termico: 95°C x 10 min, 40 cicli di 94°C x 30 s e 60°C x 1 min, 1 ciclo a 98°C x 10 min e un ciclo finale a 4°C. Dopo l'amplificazione, la pistra è stata posta in un lettore che ha separato e letto automaticamente in ogni singolo pozzetto ciascuna gocciolina. I dati sono stati analizzati usando il software quantasoft (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA). I campioni con poche goccioline positive sono stati analizzati nuovamente per avere la certezza che il basso numero di copie non fosse dovuto a una contaminazione crociata.

Risultati

Su dieci campioni di acqua la ddPCR ha evidenziato la presenza di DNA di *Nocardia crassostreae* con un numero di copie oscillanti da 0.3 a 1.4 copie per microL. Con indagini metodologiche convenzionali, il DNA del batterio è stato riscontrato solo in tre campioni a cicli soglia molto elevati (35 CT = cycle treshold), il che dimostra la sensibilità e l'accuratezza diagnostica della PCR digitale.

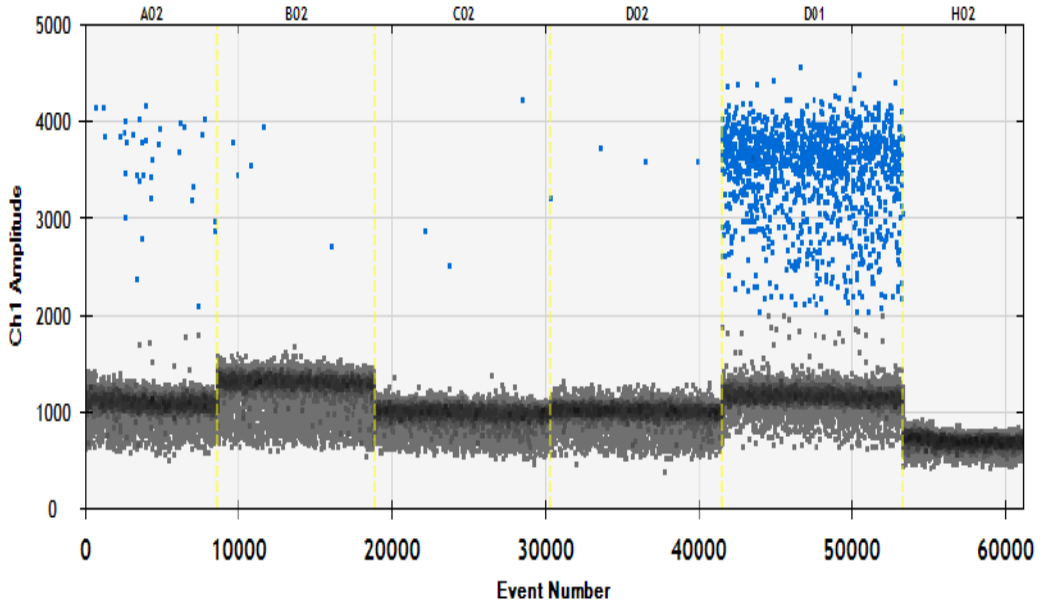
Per corroborare le osservazioni molecolari e quelle morfologiche riportate e al fine di assicurare la reale presenza di *Nocardia crassostreae* nei tessuti esaminati, sono state eseguite indagini molecolari con la PCR che hanno evidenziato ampliconi, il cui sequenziamento ha mostrato il 100% di identità con l'ITS 16S-23S rRNA depositato in GenBank della *Nocardia crassostreae* (Numero di accesso AF536419.1).




```
AF536419.1    ACCGTTTGAGTCCTCGAATGTAGGACCACGGACGCTCATGGGTGGAACACTGACATGTGC  112
              ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Nocardia seq  ACCGTTTGAGTCCTCGAATGTAGGACCACGGACGCTCATGGGTGGAACACTGACATGTGC  60

AF536419.1    CGAGCAATGCTCGGATGTAATCGACTCACTATTGGGTCCTGAAAGAACAGACGTTCTTTC  172
              ||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
Nocardia seq  CGAGCAATGCTCGGATGTAATCGACTCACTATTGGGTCCTGAAAGAACAGACGTTCTTTC  120

AF536419.1    CAGGCA  178
              ||||||
Nocardia seq  CAGGCA  126
```



Visualizzazione del DNA di *Nocardia crassostreae* in campioni mediante esame di ddPCR. Le goccioline blu sono positive, mentre quelle grigie sono negative. L'amplitudine della fluorescenza emessa varia da 1.500 a 7.500.

Considerazioni conclusive

Questo studio è il primo che utilizza la ddPCR come metodologia diagnostica nella identificazione e quantificazione della epidemiologia molecolare della *Nocardia crassostreae*.

La ddPCR ha evidenziato il DNA di *Nocardia crassostreae* ad una percentuale molto alta, statisticamente significativa, se comparata con quella riscontrata attraverso la qPCR. Le nostre osservazioni molecolari mostrano che questa nuova tecnologia, non ancora utilizzata per lo studio epidemiologico della *Nocardia*, risulta essere di cruciale utilità per evidenziarne accuratamente le infezioni con alta specificità e sensibilità. La qPCR, nonostante sia considerata il "gold standard" come procedura molecolare per la diagnosi delle infezioni da *Nocardia* si è mostrata, invece, meno sensibile dal momento che non è riuscita a evidenziare il DNA batterico in un notevole numero di campioni positivi alla ddPCR. Questa osservazione suggerisce che i livelli di DNA possono essere troppo bassi e i metodi convenzionali, inclusa la qPCR, potrebbero non essere così efficaci per la loro evidenziazione. Pertanto, la ddPCR appare superare di gran lunga la real time qPCR come metodica per l'evidenziazione di DNA di *Nocardia crassostreae*, confermando, così, che la tecnologia digitale della ddPCR è capace di identificare patogeni, altrimenti non identificabili, in molte malattie infettive, soprattutto quelle sostenute da agenti batterici e virali. Queste indagini mostrano che la *Nocardia crassostreae*, patogeno emergente, essendo stato riscontrato piuttosto frequentemente, può, effettivamente, rappresentare un reale pericolo biologico per la salute umana. I batteri patogeni pericolosi per l'uomo, nei prodotti provenienti dall'acquacoltura, possono essere suddivisi in due gruppi: batteri presenti naturalmente nell'ambiente acquatico, conosciuti anche come batteri indigeni e batteri presenti come conseguenza della contaminazione antropica dell'ambiente acquatico. La presenza del DNA batterico in acque marine ci permette di fare alcune considerazioni. La presenza può essere la conseguenza di una contaminazione o di attività antropiche. Ma la sua presenza potrebbe anche essere conseguenza di flussi marini che trasportano a distanza patogeni biologici. È necessario, continuare le indagini analitiche, ad intervalli di tempo ripetuti e costanti al fine di meglio identificare le fonti di contaminazione batterica.

INDAGINI GEOLOGICHE/SEDIMENTOLOGICHE

I rilievi marini sono stati eseguiti con l'ausilio dell'imbarcazione denominata JACK, uno AZIMUTH 58 (17.5m), di proprietà del DiBEST. Il mezzo è attrezzato per indagini geofisiche marine e ambientali ed ha base nel porto di Cetraro.

Figura 1. Il mezzo navale "JACK". A dx particolare del palo per l'installazione dei trasduttori in acqua

Le attrezzature utilizzate per i rilievi geofisici sono elencate di seguito:

Strumentazione	
Sistema di Navigazione Inerziale (INS)	APPLANIX POS MV Surfmaster ONE
Ecoscandaglio Multibeam (MBES)	NORBIT iWBMS (400 kHz)
Sensore per la misura della velocità del suono (SVS) al trasduttore	AML
Sonda profilatrice della velocità del suono (SVP)	IDRONAUT OCEAN 316 plus
Software di navigazione e acquisizione/elaborazione dati batimetrici	QPS QiNCY

Tabella 1. Elenco attrezzature per i rilievi geofisici

Ecoscandaglio Multibeam NORBIT iWBMS

Il NORBIT iWBMS è un ecoscandaglio Multibeam ad altissima risoluzione, compatto che ingloba anche la sonda per la misura della velocità del suono. Il sonar è di tipo broadband con impulso di modulato in frequenza (nominale 400 kHz, con una banda di 80kHz ed una *frequency agility* da 200 a 700 kHz) con un fascio composto da 512 *beams* (0.9° × 0.9°) e con apertura da 5 a 210°.

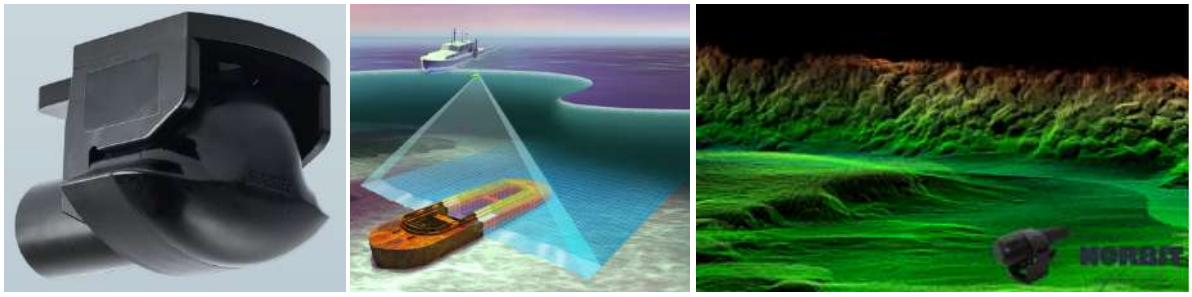


Figura 2. Multibeam NORBIT iWBMS (Trasduttore e modalità di funzionamento)

Sensore di Navigazione Inerziale APPLANIX POS MV SURFAMSTER

Il sensore di navigazione inerziale, APPLANIX POSMV SURFAMSTER misura con estrema precisione la posizione, i movimenti angolari (Rollio, Beccheggio) le accelerazioni nei tre assi fornendo una soluzione a 6 gradi di libertà del mezzo in movimento. Il sensore è costituto da una coppia di antenne con funzione di posizionamento e GAMS (*GPS Azimuth Measurement Subsystem*) per la misura dell'angolo rispetto al Nord, un sensore di moto (IMU), integrato nel trasduttore MBES, dotato di accelerometri allo stato solido per la misura delle accelerazioni angolare ed orizzontali e di una unità di elaborazione dati, la quale viene interfacciata con il software di acquisizione dati e il Multibeam. Il sistema funge anche da orologio di sincronizzazione dei dati con il tempo UTC in maniera rigorosa e precisa.

Il sistema è specificamente indicato per imbarcazioni incorporando la funzione True Heave per la misura del movimento verticale (*heave*) dell'imbarcazione dovuto all'onda.

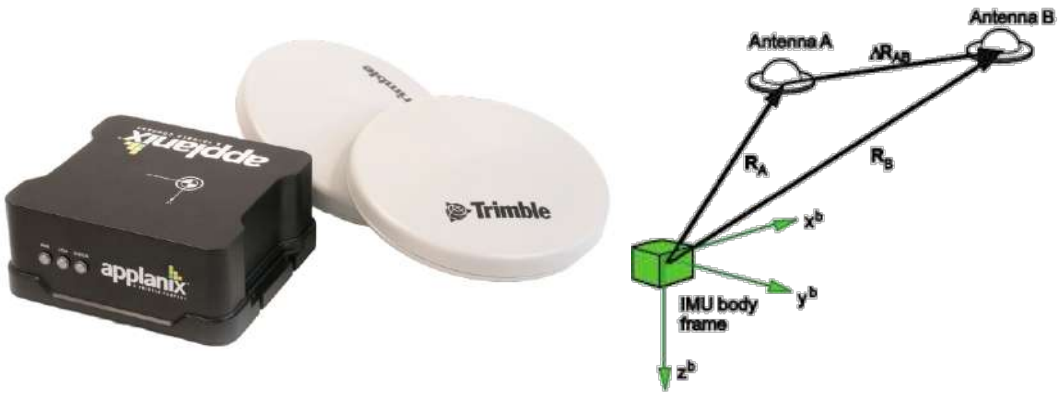


Figura 3.Applanix Surfmaster

Metodologie d'indagine

Datum geodetico e sistema di riferimento

I dati del rilievo sono stato inquadrati nel sistema di riferimento geodetico nazionale ETRF2000 (D.M. 10.11.2011). Tale sistema è basato su una rete di stazioni permanenti, denominata RDN (Rete Dinamica Nazionale) facente parte del riferimento geodetico europeo ETRS89 e che ne rappresenta la materializzazione (cioè, la determinazione delle coordinate) all'anno 2008 ma riferita al 2000 da cui ETRF2000(2008). Hai fini cartografici della scala del rilievo l'indicazione ETRS89 e ETRF2000 sono equivalenti. Le coordinate geografiche sono state convertite in coordinate piane con proiezione nel sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*) fuso 33 i cui parametri sono riassunti nella tabella che segue.

Parametri Geodetici

Datum	ETRF89
Ellissoide:	WGS84 Semiasse maggiore: a = 6 378 137 m Semiasse minore: c = 6 356 752,3142 m Schiacciamento: f = 1/298,257223563
Proiezione:	UTM fuso 33 (Universal Transverse of Mercator)
Origine Longitudine:	15°00'00"
Falso Est:	500 000
Falso Nord:	0
Fattore di scala	0.9996

Tabella 2. Parametri geodetici e cartografici.

Rilievo batimetrico-morfologico (MBES)

La mobilitazione delle attrezzature è avvenuta presso il porto di Cetraro, sede dell'imbarcazione. Dopo l'installazione sono stati fatti tutti i test di funzionamento prima di avviarsi in area lavoro.

Geometria e configurazione strumenti a bordo

La motobarca JACK ha una configurazione fissa degli strumenti, con offset misurati per via topografica in cantiere a secco e pertanto non necessita di ulteriori misure in fase di installazione. Questo consente una maggiore rapidità di setup iniziale e migliora la qualità delle misure, con l'installazione degli strumenti secondo lo schema e gli interfacciamenti mostrati in Figura 4.

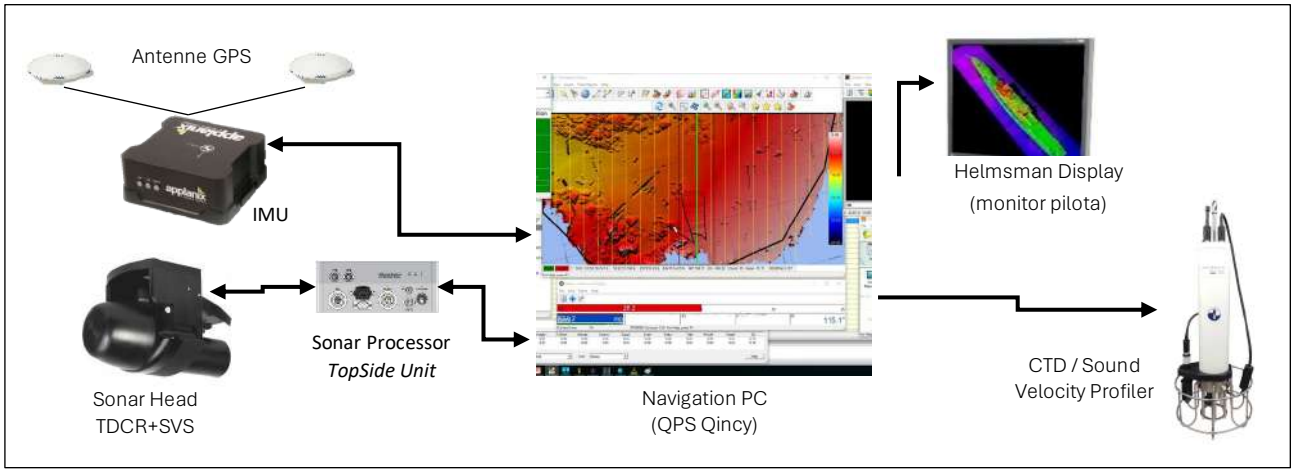


Figura 4. Layout delle connessioni strumentali

Il trasduttore del Multibeam (*Sonar Head*) è stato montato al termine di un apposito palo flangiato lungo la fiancata sinistra (Figura 1, dx). Il sistema è gestito da una consolle (*TopSide Unit*) collegata via ethernet con il PC di navigazione. Un apposito software di interfaccia gestisce le impostazioni del sonar.

Il sistema di navigazione inerziale (INS), anch'esso connesso via ethernet al PC di navigazione e gestito da software dedicato, è costituito da due antenne GNSS che sono installate sul tetto

dell'imbarcazione su appositi alloggiamenti, allineate trasversalmente ad una distanza reciproca di circa 2m, tale da permettere l'accuratezza strumentale necessaria al corretto calcolo della direzione geografica. Il sensore di moto (IMU) è alloggiato all'interno della barca approssimativamente al suo centro di rotazione.

Il software di navigazione riceve i dati provenienti da tutti i sensori e li georiferisce in accordo alla posizione determinata dal sistema di navigazione inerziale, il quale fornisce anche l'informazione temporale (*Timestamp*) attraverso il segnale 1PPS per la necessaria sincronizzazione dei dati.

Prima di procedere al rilievo sono stati verificati gli strumenti, gli interfacciamenti e la configurazione software (offset, piano di rotte ecc.), sono stati eseguiti quindi tutti i test di corretto funzionamento *(Quality check e Pre-survey check).*

Posizionamento e riferimento altimetrico

Il posizionamento dell'imbarcazione è stato attuato mediante il sistema di navigazione inerziale Applanix POS MV Surmaster ONE (cfr § 0), dotato doppia antenna GNSS per la misura di Posizione, Heading con tecnica IARTK – *Inertial Aided Real Time Kinematic*: L'accuratezza massima è stata raggiunta attraverso le correzioni differenziali via protocollo NTRIP dalla rete di Stazioni Permanenti **ITALPOS** (certificata dall'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE) operata da LEICA GEOSYSTEM. Il sistema raggiunge una precisione centimetrica sia in planimetria che in quota. Come riferimento verticale in campo è stato utilizzato il livello del mare al quale sarà poi applicata la correzione di marea derivata dai dati del mareografo di Cetraro (Rete Mareografica Nazionale – ISPRA).

Calibrazioni

La prima operazione di calibrazione è stata la ***procedura di alignment dell'INS***, che si esegue percorrendo una serie successiva di rotte curvilinee a forma di otto al fine di verificare/raggiungere la massima accuratezza da parte dell'IMU; tale operazione è stata effettuata durante il tragitto di avvicninamento all'area di San Lucido.

Successivamente è stato acquisito un profilo della velocità del suono lungo la colonna d'acqua tramite sonda CTD. Per quanto riguarda la calibrazione del MBES, sono state acquisite alcune linee nell'ambito del piano di rotte generali, ed in fase di processing sono stati applicati i parametri a posteriori.

Esecuzione dei rilievi

L'esecuzione del rilievo è avvenuta in modo da coprire l'area d'indagine, secondo linee circa parallele alla costa (Figura 5). Il trasduttore ha una apertura angolare elevata (fino a 210°) ed ha permesso un livello di coperture nelle sovrapposizioni tra una linea e l'altra mediamente del 20%

Durante l'acquisizione dei dati batimetrici on sono stati applicati filtri nel software di acquisizione ma solo i filtri di qualità a livello sonar (Norbit) per eliminare singoli dati spuri o che non raggiungono la soglia di qualità della risposta acustica attribuita dal sistema.

Figura 5. Tracce delle rotte navigate con il Multibeam nell'area di Corigliano-Crisa (sopra9) e Trebiacce (sotto).

Elaborazione e restituzione dati

L'elaborazione dei dati MBES è stata eseguita con il Software dedicato QPS Qimera ® che segue un procedimento logico in cui ai dati grezzi vengono applicati il profilo di velocità del suono, la correzione di marea e i parametri di calibrazione; e cui segue una procedura di eliminazione dei dati spuri attraverso un modulo di *Swat Editor,* il tutto in un ambiente di lavoro integrato.

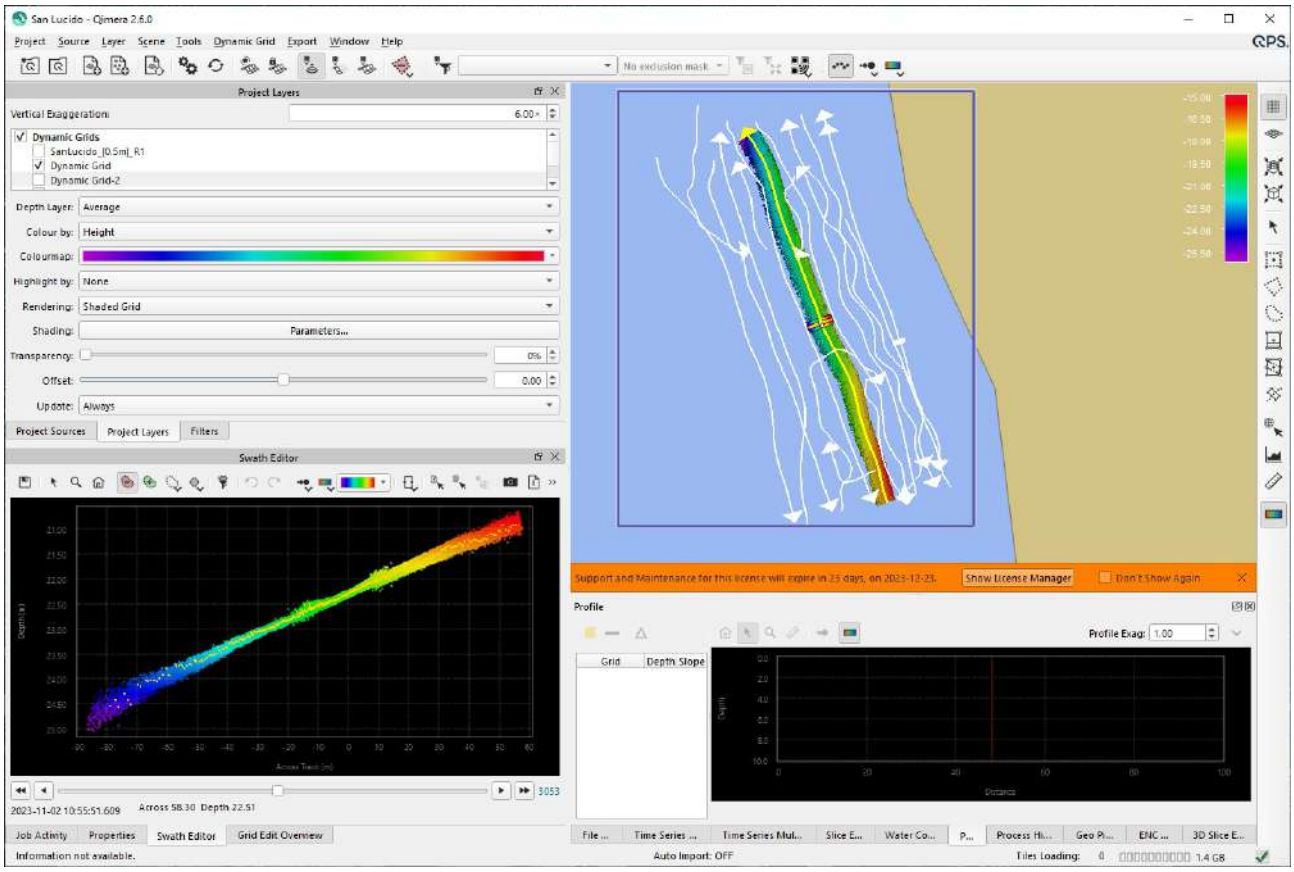


Figura 6. Software Qimera con modulo di pulizia dati (Swath Editor)

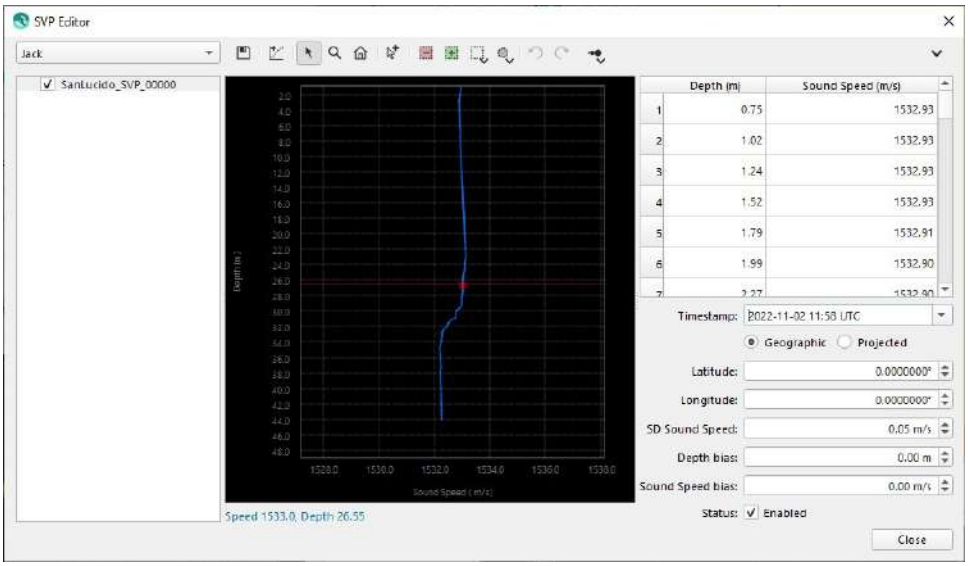


Figura 7. Profilo di velocità del suono

Successivamente, si procede alla generazione di un modello digitale del terreno (DTM = Grid) sia di tipo dinamico (in fase di pulizia dei dati) che statico, cioè definitivo che viene esportato quale prodotto finito.

Dal DTM vengono generate immagini di tipo *shaded relief* (rilievo ombreggiato) e le c*ontour lines* (isobate) attraverso le quali viene redatta una carta batimetrico morfologica.

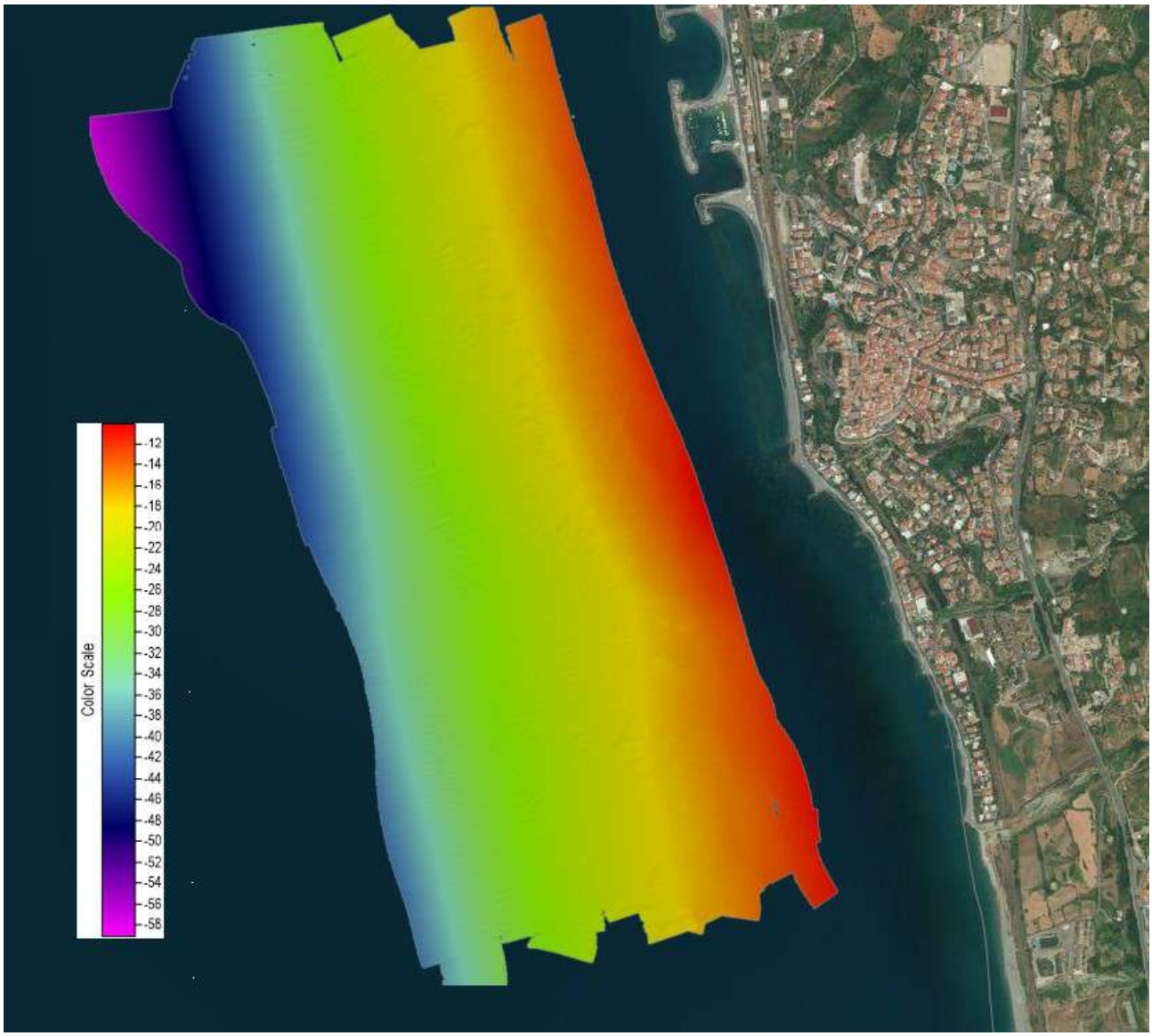


Figura 8. Mappa in rilievo ombreggiato (shaded relief).

Risultati indagini geofisiche

L'indagine batimetrica finalizzata alla caratterizzazione dei fondali interessati dalle attività di progetto ha permesso di ricostruire l'assetto morfo-batimetrico dell'area di indagine con elevato dettaglio.

Il fondale è risultato con morfologia regolare e degradante da circa -10m fino a -50m senza gradini o cambi di pendenza. Non sono state rilevati affioramenti rocciosi ad esclusione di un masso isolato nel settore centrale della fascia più prossima alla riva.

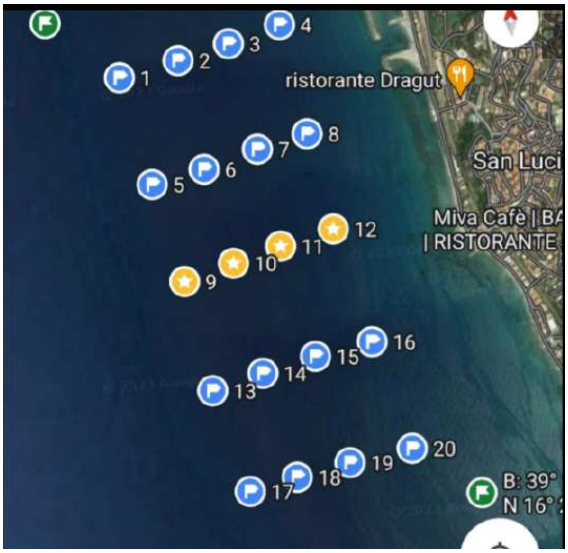
Non sono stati evidenziati pattern tipici di biocenosi *a Posidonia oceanica* (né su sabbia né su matte).

La conformazione è idonea alla collocazione di manufatti utili all'acquacoltura marina.

Risultati indagini sedimentologiche

Nell'ambito dello studio sono state realizzate delle analisi granulometriche di una serie di campioni prelevati lungo un transetto orientato perpendicolarmente all'area oggetto studio. La scelta del transetto è stata eseguita previa analisi delle caratteristiche morfobatimetriche e delle biocenosi presenti con l'obiettivo di evidenziare possibili relazioni tra variazioni tessiturali, morfologia, ecosistemi e processi morfodinamici (correnti e onde).

I punti di campionamento per le analisi granulometriche coincidono con i prelievi di alcuni dei campioni utilizzati per le analisi delle biocenosi bentoniche.



I campioni sono stati prelevati da personale tecnico specializzato mediante il prelievo sedimenti dalla porzione superficiale del fondale (profondità 10 cm) di un quantitativo sufficientemente rappresentativo (> 0,5 l) ed idoneo per le analisi.

Tutti i campioni rientrano nella classe delle sabbie fini unimodali ad eccezione del campione 9 bimodale. Il campione 9 presenta la Moda-1 a 215 micron nel campo delle sabbie fini e la Moda-2 a 76 micron nel campo delle sabbie molto fini. La percentuale di sabbia molto fine raggiunge il valore del 31,4% mentre nei campioni 10 e 11 si attesta al 20% circa e si riduce drasticamente nel campione 12 che registra un valore del 5%..

I campioni 10, 11, e 12 hanno un valore di moda compreso tra 215 micron (campione 10 e 11) e 306 micro (campione 12). L'incremento del valore della moda si registra anche nel valore della Media che passa dai 248 e 228 micron dei campioni 10 e 11 a 406 micron per il campione 12.

L'incremento delle dimensioni dei clasti si evidenzia dal nome del sedimento Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand per i campioni 9, 10, 11 che diventa Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand nel campione 12.

La presenza di sedimenti sabbiosi molto fini, con valori che superano il 20% e la presenza di una Moda-2 su sabbie molto fini, rappresenta uno dei parametri più importanti per la caratterizzazione idrodinamica dei fondali. In dettaglio alla profondità del campione 9 potrebbe rappresentare il valore limite minimo per la sedimentazione per decantazione dalla colonna d'acqua. Alle profondità minori che individuano i punti di campionamento 10 e 11 i processi di decantazioni possono essere attivi ma non prevalenti. Alla profondità del campione 9 prevalgono i processi di trasporto per trazione connessa al moto ondoso e le correnti.

INDAGINI OCEANOGRAFICHE

Parametri chimico-fisici della colonna d'acqua

Il monitoraggio ambientale della colonna d'acqua comprende l'esecuzione di una serie di analisi sulla colonna d'acqua mediante l'impiego di una sonda multiparametrica. Le misurazioni multiparametriche sono state effettuate in un'unica una campagna condotta nel mese di novembre del 2023, realizzando due diverse misurazioni di seguito indicate come SM-1 e SM-2. I dati sono stati estratti dai punti di campionamento situati in prossimità dell'area oggetto di intervento. I punti di campionamento sono distribuiti in prossimità del sito di intervento (profondità compresa fra 20 e 25 m), localizzato lungo la costa antistante l'abitato sud di San Lucido. Le acquisizioni relative al monitoraggio della colonna d'acqua sono state effettuate mediante l'utilizzo di una sonda multiparametrica presso le stazioni SM-1 e SM-2 entrambe localizzate in prossimità dell'area di intervento.

Stazione	Data	Ora	Tipologia di analisi
SM-1	02/11/2023	11:57	Analisi colonna d'acqua
SM-2	02/11/2023	15:10	Analisi colonna d'acqua

I principali parametri analizzati in questa fase sono riportati di seguito (*Tabella 3*).

Tabella 3 - Parametri analizzati

Parametri analizzati mediante sonda multiparametrica:
Temperatura
Torbidità
Ph
ossigeno disciolto
salinità
Densità
Pressione
trasparenza
fluorescenza
solidi sospesi
Chlorophyll a
Phycocyanin
Phycoerythrin

Le misurazioni sulla torbidità sono state effettuate seguendo protocolli stabiliti e consolidati.

Attraverso l'impiego della sonda multiparametrica "modello OCEAN SEVEN 316Plus " fornita dalla società IDRONAUT, opportunamente equipaggiata con specifici sensori, sono state condotte misurazioni dei seguenti parametri ambientali: temperatura, pH, torbidità, concentrazione di ossigeno disciolto, salinità, densità, trasparenza, fluorescenza e solidi sospesi.

Di seguito, vengono fornite informazioni dettagliate riguardo ai sensori montati sulla suddetta sonda (*Tabella 4*) comprese le relative specifiche dei campi di misura, della precisione e della risoluzione con le ulteriori specifiche tecniche di due sensori aggiuntivi, *Seapoint Turbidity Meter* (*Figura 9*) e *TriLux 2000* (*Tabella 6*) utilizzati per il monitoraggio dei parametri richiamati nel precedente paragrafo.

Tabella 4 - Principali specifiche relative alla sonda multiparametrica " OCEAN SEVEN 316Plus "

Sensore	Campo di misura	Accuratezza	Risoluzione
Ossigeno (Optical)	0-250% / 0÷45 mg/L	0-200%: ± 1% lettura 200-500%: ± 10%	0,1% / 0,01 mg/L
Ossigeno (Polarographic)	0 – 50 ppm/ 0-500% sat.	0.1 ppm/1% sat.	0.01 ppm/0.1% sat.
Temperatura	-3÷50°C	± 0,002 °C	0,0002 °C
pH	1÷13 pH	± 0,01 pH	0,001 pH
Redox	-1000 + 1000 mV	1 mV	0,1 mV
Conducibilità	0 – 70 mS/cm	0.003mS/cm	0.0003mS/cm
Pressione	0-1000 dbar	0.05%	0.002%

Tabella 5 - Principali specifiche relative al sensore " Seapoint Turbidity Meter"

Sensore	Campo di misura	Sensibilità	Profondità
Torbidità	25/125/500/4000 FTU	200/40/10/2 mV/FTU	6000 m

Tabella 6 - Principali specifiche relative al sensore " TriLux 2000"

Sensore	Campo di misura	Risoluzione	Profondità
Chlorophyll a	0-100 µg/L	0,1%	2000 m
Phycocyanin	0-100 µg/L	0,1%	2000 m
Phycoerythrin	0-100 µg/L	0,1%	2000 m

I dati relativi ai parametri registrati dalla sonda (ossigeno disciolto, temperatura, pH, salinità, conducibilità e clorofilla “a”) vengono validati eliminando eventuali picchi (spikes) dovuti a cause elettroniche. Inoltre, i dati vengono “puliti” da eventuali valori non attendibili dovuti ad anomalie strumentali.

Risultati

L'esame dei parametri fisici e chimici è essenziale per valutare lo stato di qualità ambientale, nonché per acquisire una conoscenza cruciale sul modo in cui gli inquinanti influenzano l'ecosistema e per regolare i loro impatti.

I principali parametri caratteristici della colonna d'acqua sono stati misurati ad intervalli regolari di 25 cm dalla superficie al fondo tramite sonda multiparametrica ocean seven 316.

Di seguito sono rappresentati i profili dei parametri misurati alle diverse profondità nelle diverse stazioni di campionamento suddividendole in funzione del periodo di acquisizione.

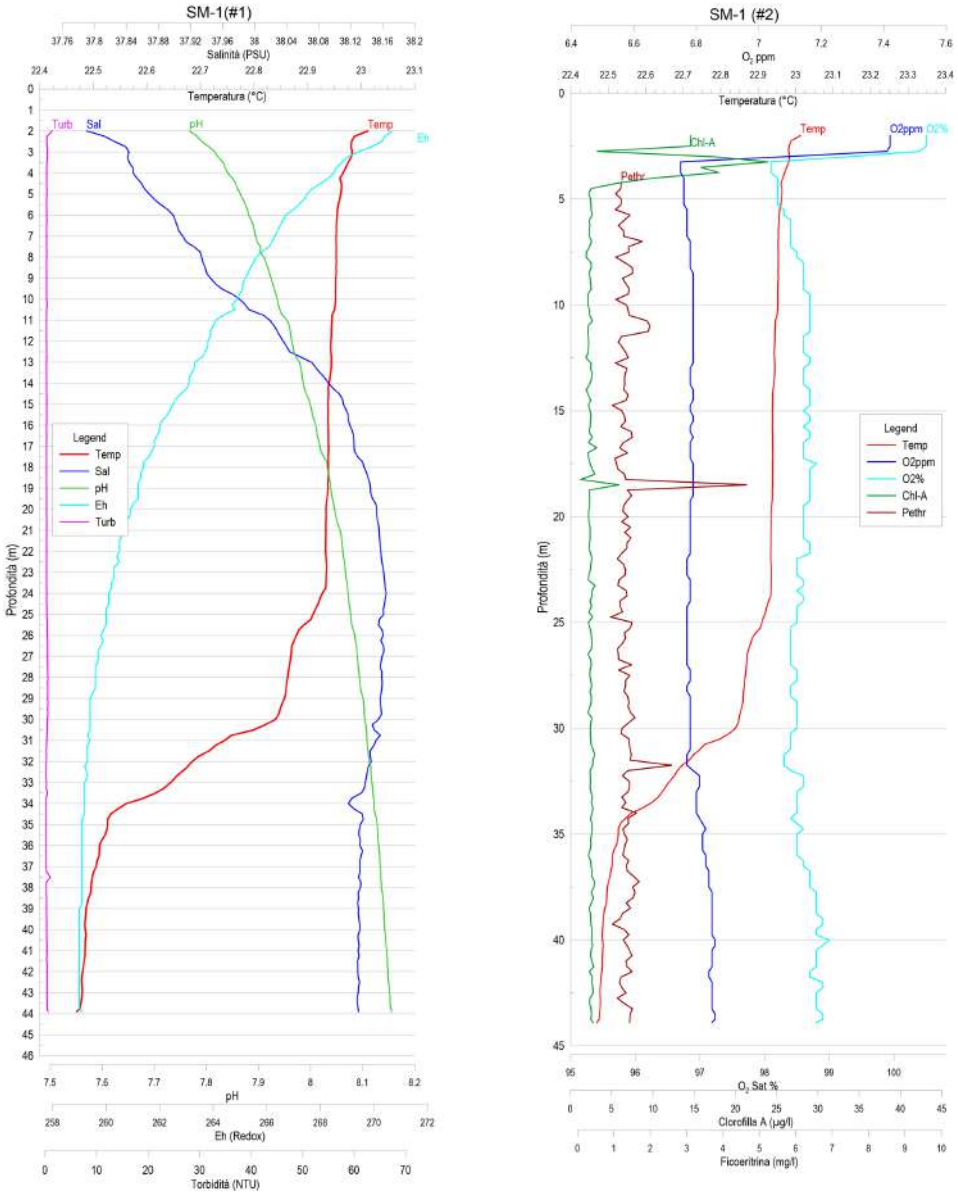


Figura 9 - Rappresentazione grafica dei parametri analizzati nella stazione SM1

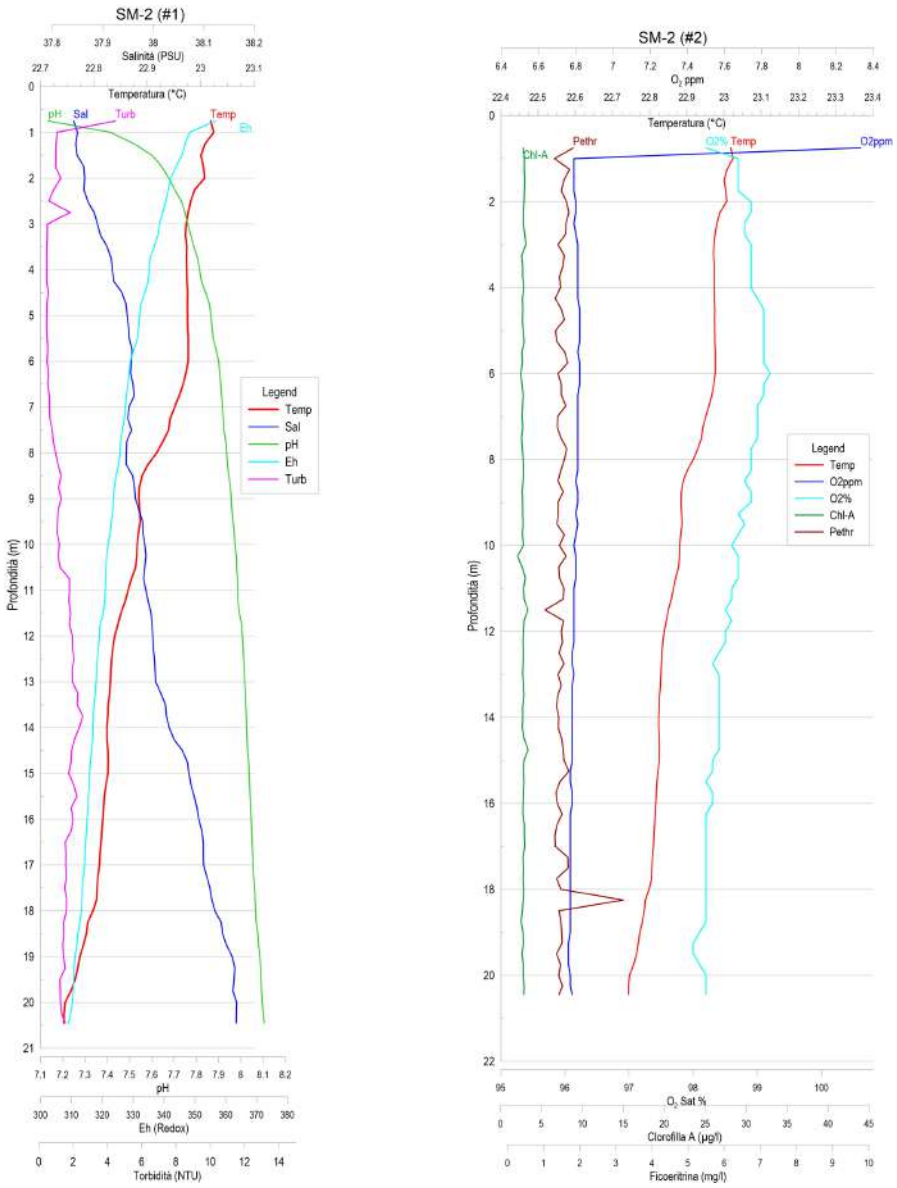


Figura 10 -Rappresentazione grafica dei parametri analizzati nella stazione SM2

I profili dell'ossigeno disciolto rilevati all'interno delle stazioni SM1 e SM2 hanno mostrato valori tendenzialmente costanti dalla superficie al fondo.

Per quanto riguarda la temperatura si nota un andamento omogeneo e costante tra le due misure con l'unica differenza relativa alla profondità a cui sono state condotte. In SM-1 (profondità maggiore) si nota un netto decremento nel valore di temperatura in corrispondenza di circa 25 m di profondità.

Il pH, in quasi tutti i profili ha un andamento leggermente crescente dalla superficie al fondo in tutte le stazioni con valori iniziali leggermente diversi tra le due stazioni misurate.

I risultati relativi a valori di torbidità mostrano un generale omogeneità, si notano infatti valori tendenzialmente nulli o quasi con leggeri incrementi nella stazione SM-1.

Variazioni simili sono state riscontrate per i parametri relativi alla clorofilla e alla ficoeritrina che mostrano un trend omogeneo con variazioni minime con l'aumento della profondità, soprattutto nella stazione SM-2, con variazioni localizzate nella stazione SM-2.

L'analisi dei dati delle stazioni SM-1 e SM-2 rivela una generale omogeneità dei parametri monitorati. Il pH, come la salinità, aumenta generalmente e in modo costante in relazione alla profondità. La temperatura decresce linearmente dalla superfice al fondo. Gli altri parametri, al netto di locali variazioni, mostrano valori tendenzialmente costanti.

Studio meteomarino e correntometrico

Lo studio meteomarino del sito di San Lucido è stato redatto sulla base dei dati bibliografici del master plan delle Coste (ABR) e da studi specialistici meteomarini.
Il tratto costiero di San Lucido ricade all'interno della cosiddetta Area 18 del Master Plan delle Coste della Regione Calabria (Autorità di Bacino) che si estende per circa circa 188 km dal limite nord è Castrocucco a Capo Vaticano.
L'unità fisiografica è delimitata da Capo Bonifati a nord e Capo Suvero a sud. Le spiagge sono costituite da sabbie e ghiaie anche grossolane alimentate dall'apporto di corsi d'acqua di breve percorso e di elevata pendenza. In corrispondenza del promontorio roccioso carbonatico di San Lucido la spiaggia ha un'ampiezza di pochi metri che si amplia verso nord (Paola) grazie alla presenza di imponenti opere di difesa denominate "Pennelli a T" costruite a difesa della linea ferroviaria tra il 1989 ed il 1995.
Nel tratto costiero compreso tra i Comuni di Falconara e Paola, il D50 si riduce a valori dell'ordine dei 10 mm nella spiaggia emergente. Il tratto costiero di che trattasi, negli ultimi 30 anni, è stato soggetto a mareggiate significative piuttosto intense e persistenti, quale quella del gennaio del 1987, del dicembre 1999 e del gennaio 2010: quella del dicembre 2010 che ha colpito in particolare il litorale di Amantea ha fatto registrare valori di altezza d'onda fino a 7,8 m con associato periodi di picco dell'ordine dei 17 s. In linea generale il tratto in esame è caratterizzato da un'esposizione costiera del settore compreso tra Nord–Ovest e Sud–Ovest. Il settore di traversia principale è di 270°N. L'esposizione della costa determina un trasporto longshore netto di circa 30.000 mc annui (Fig. 4). In dettaglio la costa del territorio comunale di San Lucido si sviluppa su circa 4,8 km tra il torrente Malpertuso ed il torrente Deuda ed è caratterizzata da un valore medio del trasporto solido longitudinale, diretto da Nord verso Sud stimato in 15.000 mc/annui. Il profilo medio della spiaggia emersa e sommersa è caratterizzato da una pendenza dello 0,07% tra 0 e + 2,0 m ; 0,05% tra 0 e -5,0 m ; 0,025% tra -5,0 e -10 m; 0,03% tra - 10,0 e -15,0 m. Il D50 della composizione granulometrica associato al profilo risulta essere mediamente il seguente: 5 mm - tra le profondità 0 e -3,0 m; 84 mm tra le profondità -3 e -5,00 m: 27 mm, oltre la profondità di - 5,0 m.

L'arretramento della linea di riva nel periodo tra il 1955 ed il 1986 ha raggiunto un valore massimo di 30 metri per poi ridursi nell'intervallo dal 1994 al 1995 a 2 metri.

Descrizione delle caratteristiche meteomarine del paraggio di san lucido

L'area oggetto di intervento è caratterizzata è esposta ai mari provenienti dal 3° e 4° quadrante.

Per lo studio delle forzanti meteomarine, non essendo disponibili boe ondametriche o altri punti di misura in un intorno significativo (i dati di boa esistenti sono riferiti a Cetraro e coprono un arco temporale compreso fra il 1999 e il 2008), si è fatto riferimento ai dati di moto ondoso ricavati dal progetto europeo "Copernicus", pubblicati sul sito internet https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home. Si tratta di una fonte di dati attendibile e pienamente riconosciuta dalla Comunità Scientifica. Il portale è certificato dall'Unione Europea per quanto concerne la validità dei dati ambientali, ed è frutto della collaborazione dei principali istituti di ricerca dei paesi della Comunità Europea.

Il portale in parola condivide i dati del database ERA5, popolato da dati frutto di rianalisi di quinta generazione per il clima negli ultimi 4 -7 decenni effettuata dal European Center for Medium Weather Forecast (ECMWF), aggiornato "quasi" in tempo reale (in realtà qualche giorno di ritardo), il che consente un'osservazione dei fenomeni praticamente contestuale alle necessità di interpretazione.

I dati di moto ondoso e di vento sono disponibili dal 1950. La tecnica di rianalisi sui dati combina le osservazioni in campo complete a livello globale usando le leggi della fisica con un metodo raffinato di assimilazione dei dati (il metodo "4D-Var" nel caso di ERA5).

ERA5 fornisce stime orarie per un gran numero di quantità atmosferiche, di onde oceaniche e di superficie terrestre. La stima dell'incertezza del dato viene campionata da un "ensemble" di 10 parametri di rilevazione a intervalli di tre ore. Media e diffusione dell'"ensemble" sono state pre-calcolate per comodità. Tali stime di incertezza sono strettamente correlate al contenuto informativo del sistema di osservazione disponibile che si è evoluto notevolmente nel tempo ed è in grado di indicare anche aree sensibili dipendenti dal flusso di energia dell'evento atmosferico ed oceanico osservato.

I dati metereologici dai quali sono ricavati i dati d'onda hanno una distribuzione spaziale a maglia quadrata con distanza pari a 0.25° di Latitudine e Longitudine (Figura 11). Attraverso le operazioni

di modellazione matematica, poi, è possibile ricavare dati uniformi nello spazio su griglie più raffinate.

Entrando nel dettaglio dell'area oggetto di interesse, è stato possibile ricavare i dati di onde al largo e di vento, per il paraggio costiero oggetto di interesse.

Nella successiva Figura 12 è riportata la situazione del vento alle ore 20:00 del 05/06/2020, visualizzata attraverso l'applicativo Mesh del software QGIS.

Figura 11: Ubicazione dei nodi di rianalisi dei dati metereologici.

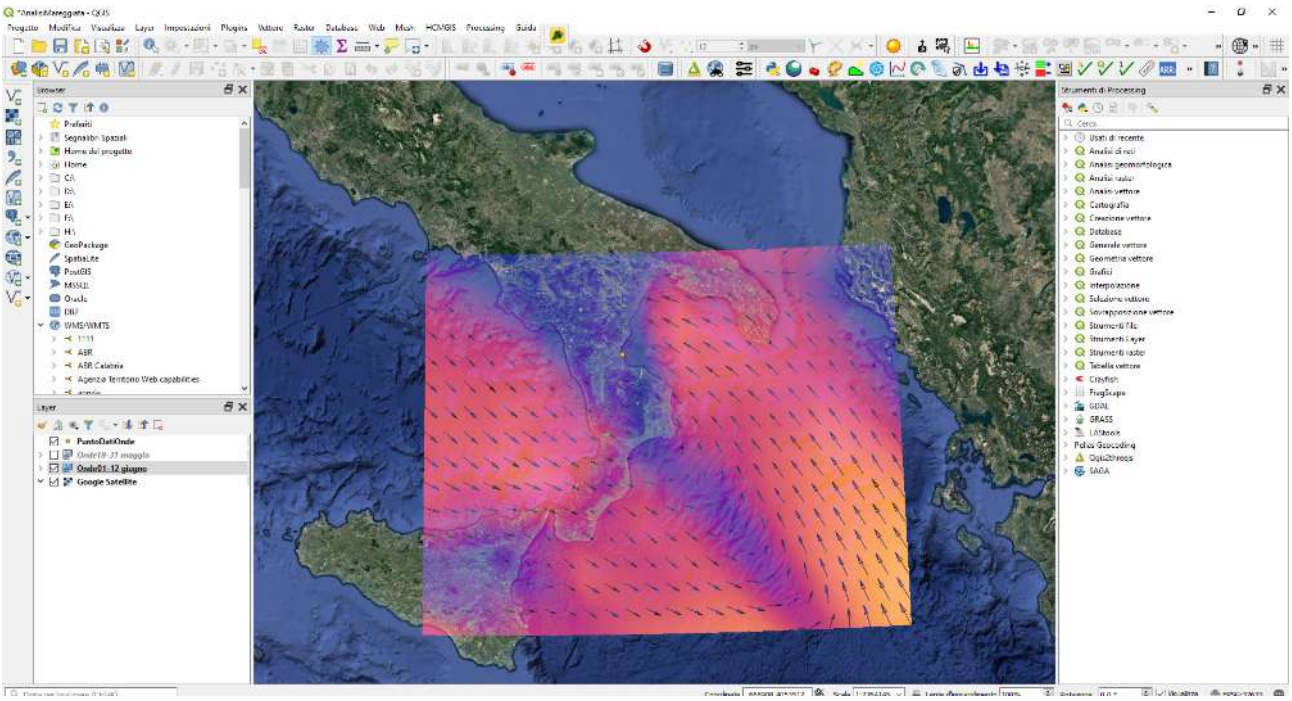


Figura 12: Esempio di visualizzazione locale degli eventi - situazione alle ore 20:00 del 05/06/2020.

Questi dati, direttamente scaricabili dal portale (Figura 13), in formato GRIB o NetCDF, necessitano di un software di decriptazione specifico.

Una volta caricati su QGIS, attraverso l'applicativo Mesh è possibile estrapolare i dati di interesse in formato ".csv" (Figura 14), leggibile da un qualunque foglio elettronico, nelle coordinate prescelte.

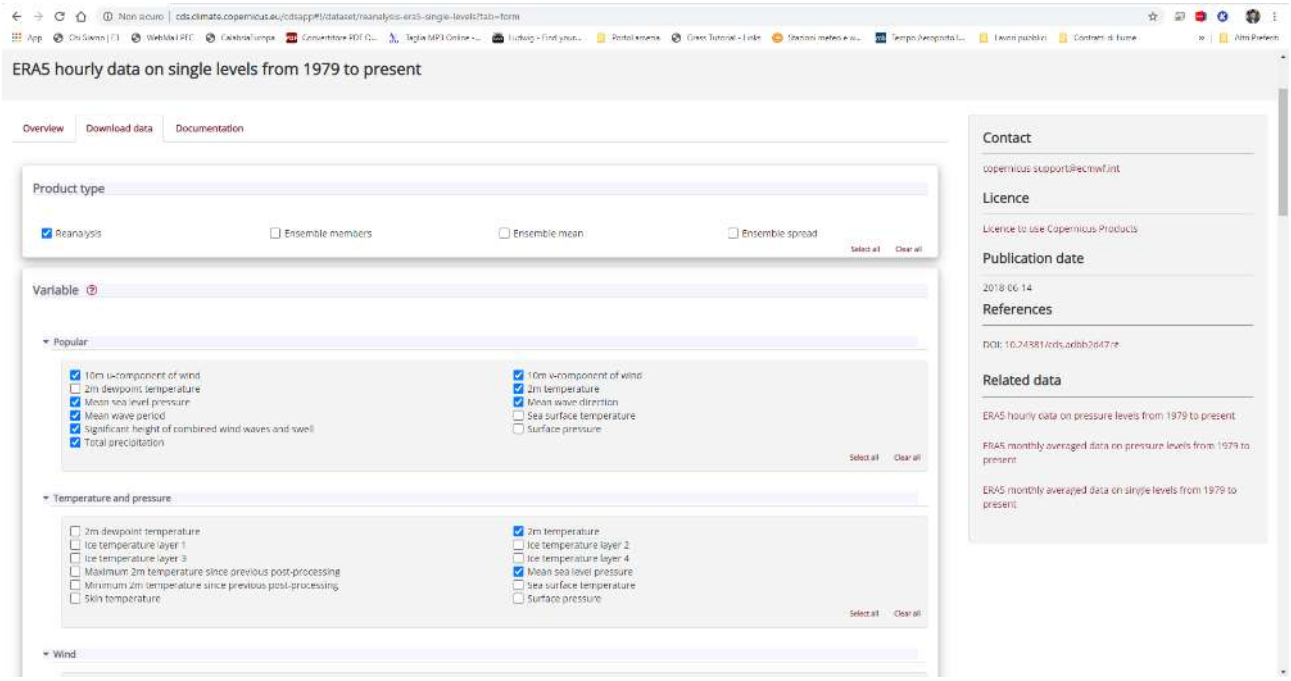


Figura 13: Schermata per il download dei dati.

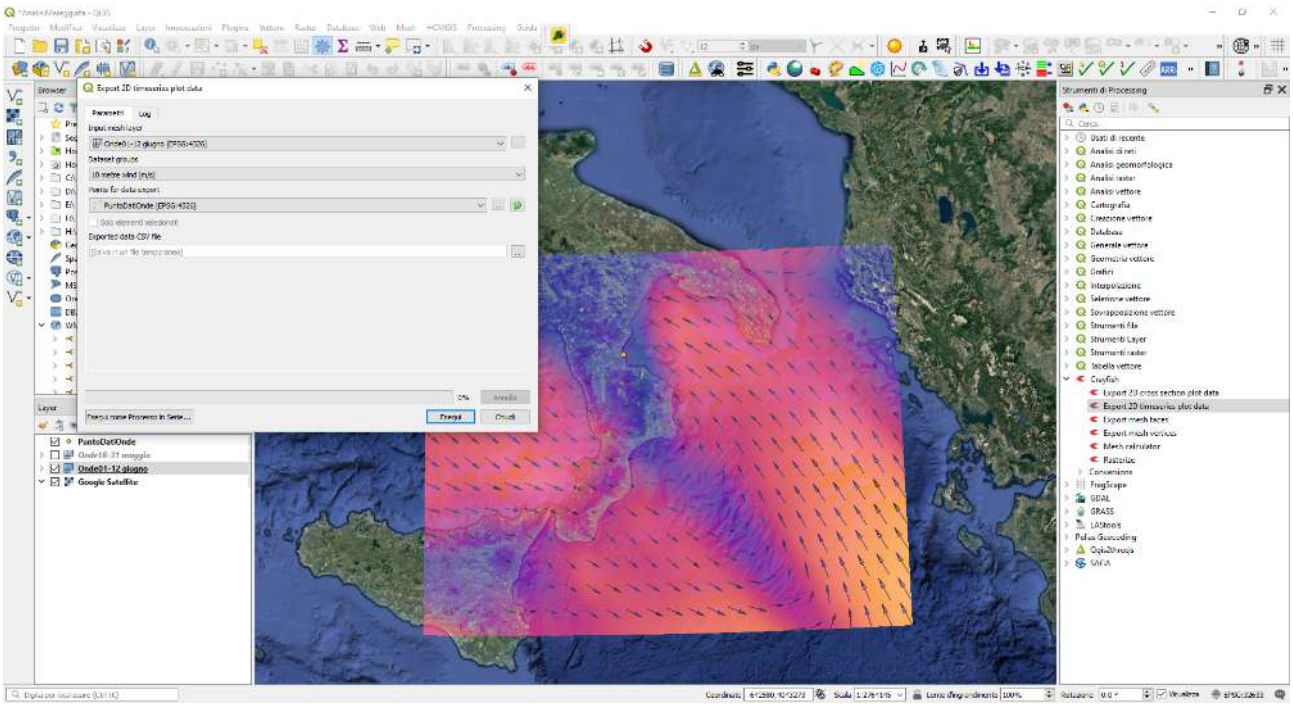


Figura 14: Esempio di download dei dati in formato ".csv".

Sono stati acquisiti, dunque, i seguenti dati: altezza, periodo medio, periodo di picco e direzione dell'onda significativa nel periodo compreso fra il 01/01/1950 e il 31/12/2022.

Al fine di scegliere e classificare in modo opportuno le onde acquisite dal portale del progetto "Copernicus" con l'obbiettivo di ricostruire correttamente le onde a largo e, successivamente, le onde sottocosta, sono stati determinati per il paraggio oggetto di interesse il fetch geografico e il fetch efficace.

E' stato, inoltre, verificato quale fosse il tratto di mare meglio coperto dalle elaborazioni effettuate, al fine di acquisire i dati migliori per il sito in esame.

Nel caso in esame il punto preso in considerazione è rappresentato in Figura 15.

Figura 15: Individuazione del punto sorgente del moto ondoso

Per completezza di trattazione sono riportati i Fetch geografici ed efficaci del punto preso in considerazione. Il fetch geografico (Figura 16) è limitato dalla curvatura della costa centro-meridionale italiana a Nord, dalla Sicilia a Sud e dalle coste Sarde ad Ovst, fino ad un massimo di 600 km.

Il fetch efficace per entrambi i punti (Figura 17) è stato determinato sulla base della formula di Saville:

- $F_{eff} = (\Sigma F_i \cos^2\alpha_i) / \Sigma \cos^2\alpha_i$

dove

- F_i è il fetch geografico della i-esima direzione (in Km),
- α_i è l'angolo che la direzione i-esima forma con quella in cui spira il vento.

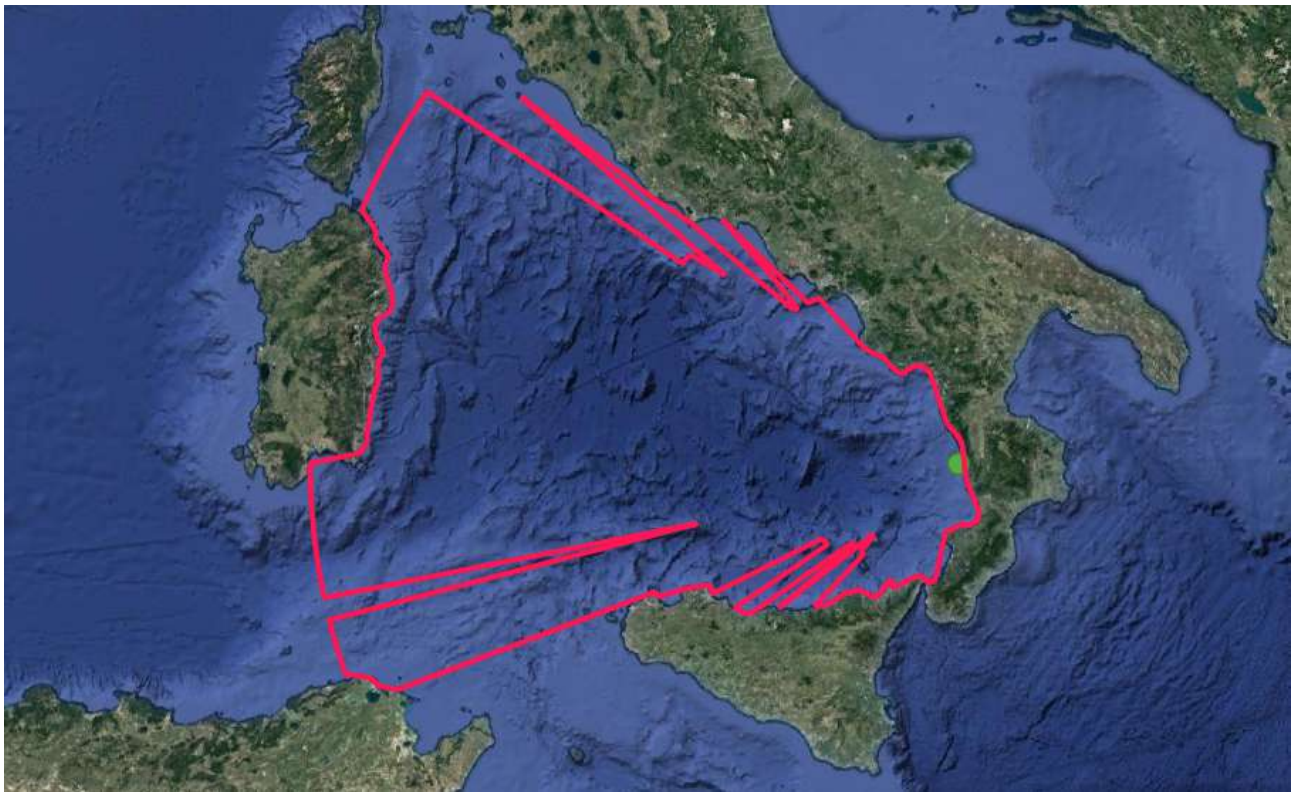


Figura 16: Fetch geografico del paraggio di San Lucido

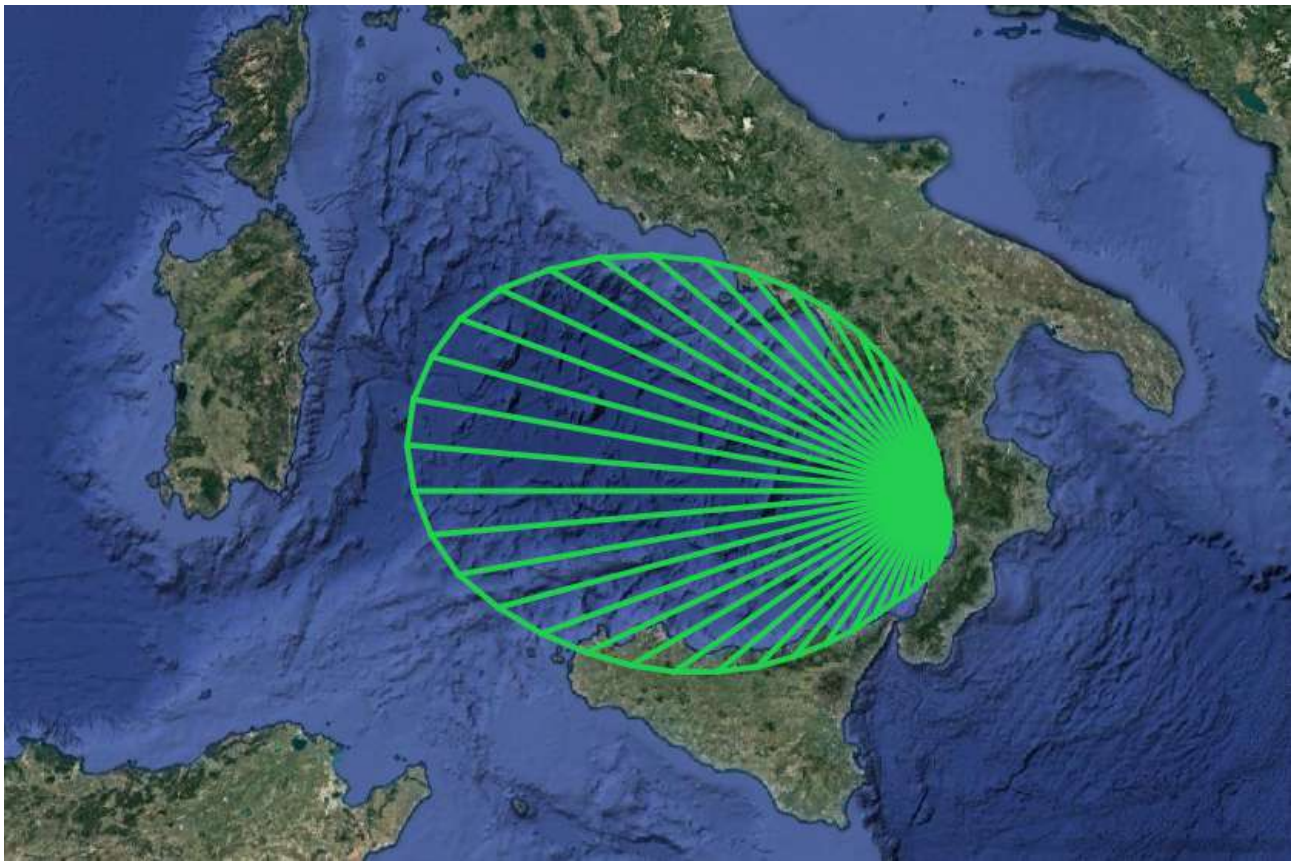


Figura 17: Fetch efficace del paraggio di San Lucido.

Analisi dei dati ondametrici

L'elaborazione dei dati del sito oggetto di interesse, limitato al settore di traversia indagato, ha visto l'analisi complessiva di 546774 onde e 161966 calme (circa il 29.62% dei dati analizzati).

Le onde sono state classificate in funzione dell'altezza (con classi d'altezza di 50 cm) e direzione (intervallo di 30 gradi) e sono riportate in Tabella 7 ed esplicitate nei grafici in Figura 18 e Figura 19, nei quali sono riportate il numero e le percentuali di apparizione delle onde, confrontate con le energie associate alle onde stesse. Non è detto, infatti, che la direzione di provenienza del maggior numero di onde coincida con la direzione di provenienza della maggiore energia associata al moto ondoso in quanto l'energia dipende certamente del numero di onde che appaiono ma anche dalle caratteristiche, quali altezza e periodo. A tal riguardo l'energia del moto ondoso (W) si calcola secondo la seguente relazione:

$$W = \frac{\rho * g^2}{64 * \pi} H_S^2 * T_p \text{ (W)}.$$

Tabella 7: Tabella di apparizione delle onde per il paraggio di San Lucido

Dir		345-15	15-45	45-75	75-105	105-135	135-165	165-195	195-225	225-255	255-285	285-315	315-345	TOTALE	
Dir media		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330		
H	H media														
0.25-0.75	0.5	0	0	0	0	0	0	603	11788	31681	149100	55311	5274	253757	65.94%
0.75-1.25	1	0	0	0	0	0	0	123	2276	10343	53589	11158	1492	78981	20.52%
1.25-1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	18	400	4204	21484	2661	305	29072	7.55%
1.75-2.25	2	0	0	0	0	0	0	1	27	1562	10116	880	20	12606	3.28%
2.25-2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	1	699	4777	347	1	5825	1.51%
2.75-3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	3	285	2308	167	0	2763	0.72%
3.25-3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	72	972	56	0	1100	0.29%
3.75-4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	23	360	14	0	397	0.10%
4.25-4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	9	187	9	0	205	0.05%
4.75-5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	56	1	0	59	0.02%
5.25-5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	4	23	1	0	28	0.01%
5.75-6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	0	9	0.00%
6.25-6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	0.00%
6.75-7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	0.00%
7.25-7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
7.75-8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
8.25-8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
8.75-9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
9.25-9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
TOTALE		0	0	0	0	0	0	745	14495	48884	242983	70610	7092	384809	
% TOTALE		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.19%	3.77%	12.70%	63.14%	18.35%	1.84%	100.00%	

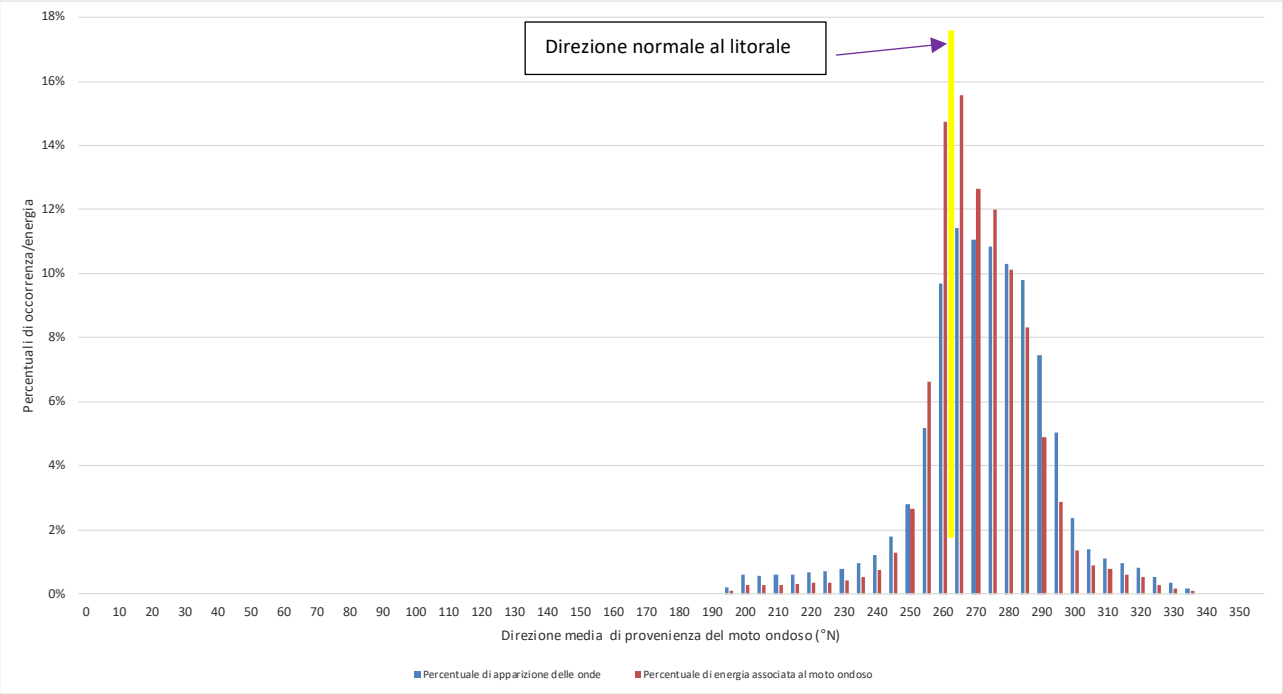


Figura 18: Grafico di apparizione delle onde per il sito di San Lucido

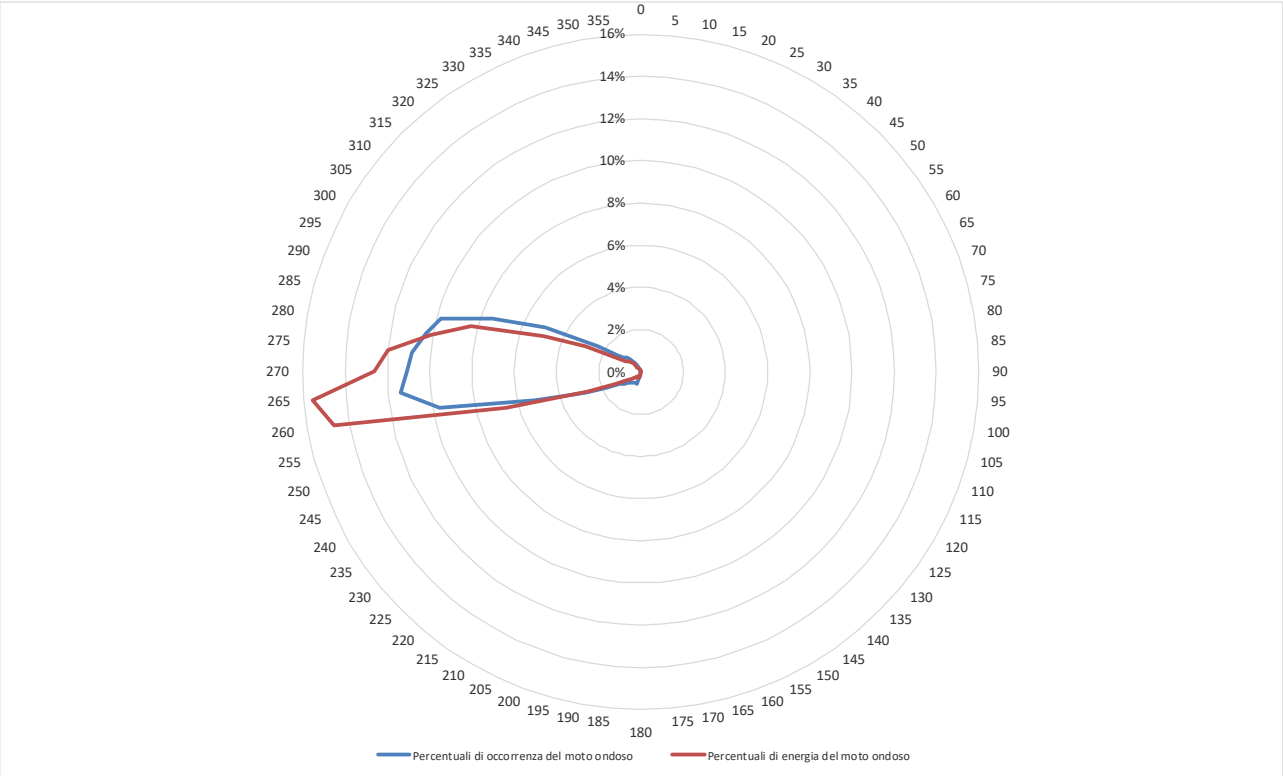


Figura 19: Grafico dell'energia del moto ondoso rispetto alla provenienza delle onde.

Dalla Tabella 7 e dalla rosa delle onde si evince che:

- La gran parte delle onde che si abbattono sul litorale hanno un'altezza inferiore a 1 m;
- L'altezza significativa massima che si manifesta al largo del litorale è pari a 7 m;
- La provenienza media della maggior percentuale di energia proviene da Ovest.

L'analisi dei dati ha consentito anche di stabilire la correlazione altezza-periodo di picco dell'onda e periodo medio-periodo di picco, rappresentanti nelle Figura 20 e Figura 21 e i cui valori sono:

$$T_p = 6.93 H_S^{0.29} \quad \text{e} \quad T_m = 0.72 T_p^{1.08}$$

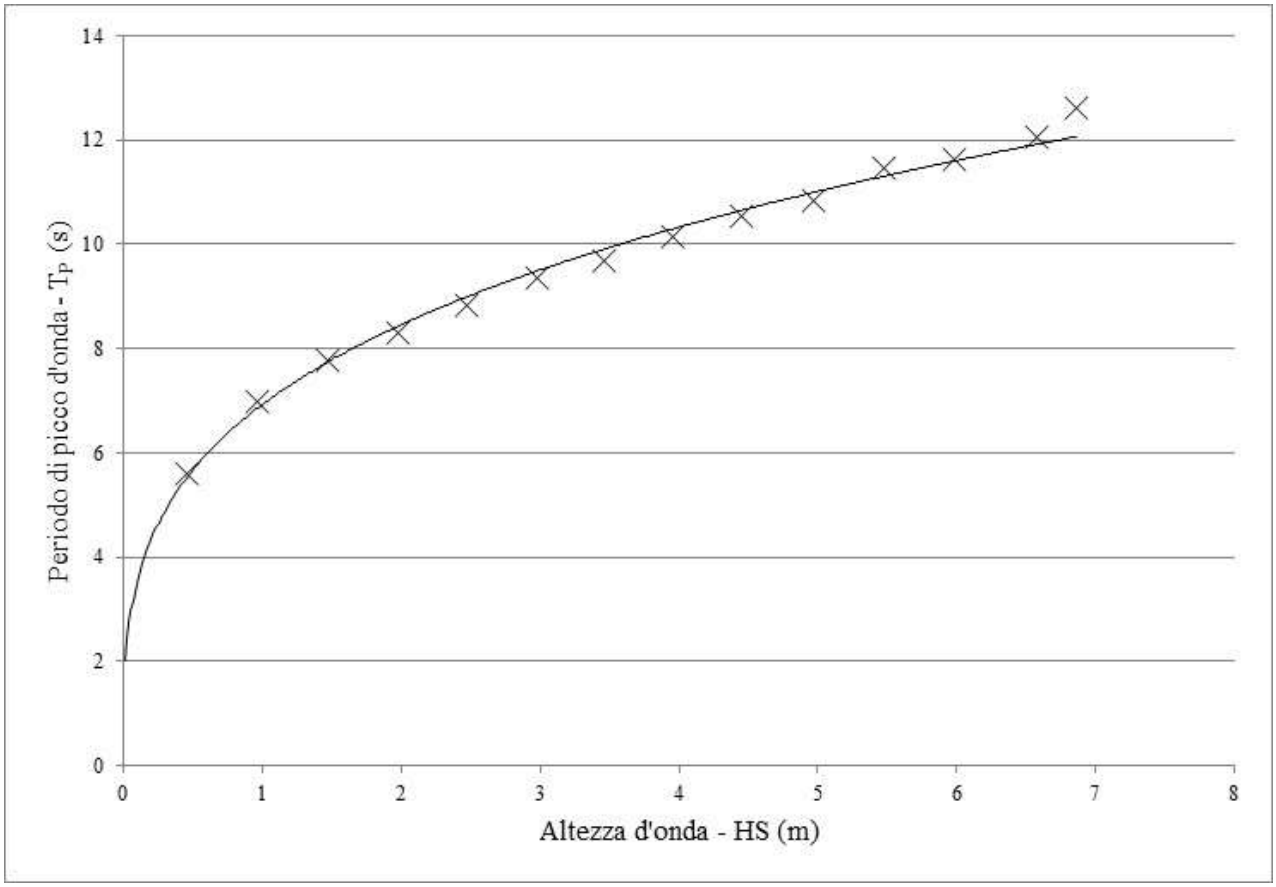


Figura 20: Andamento del periodo di picco in funzione dell'altezza d'onda

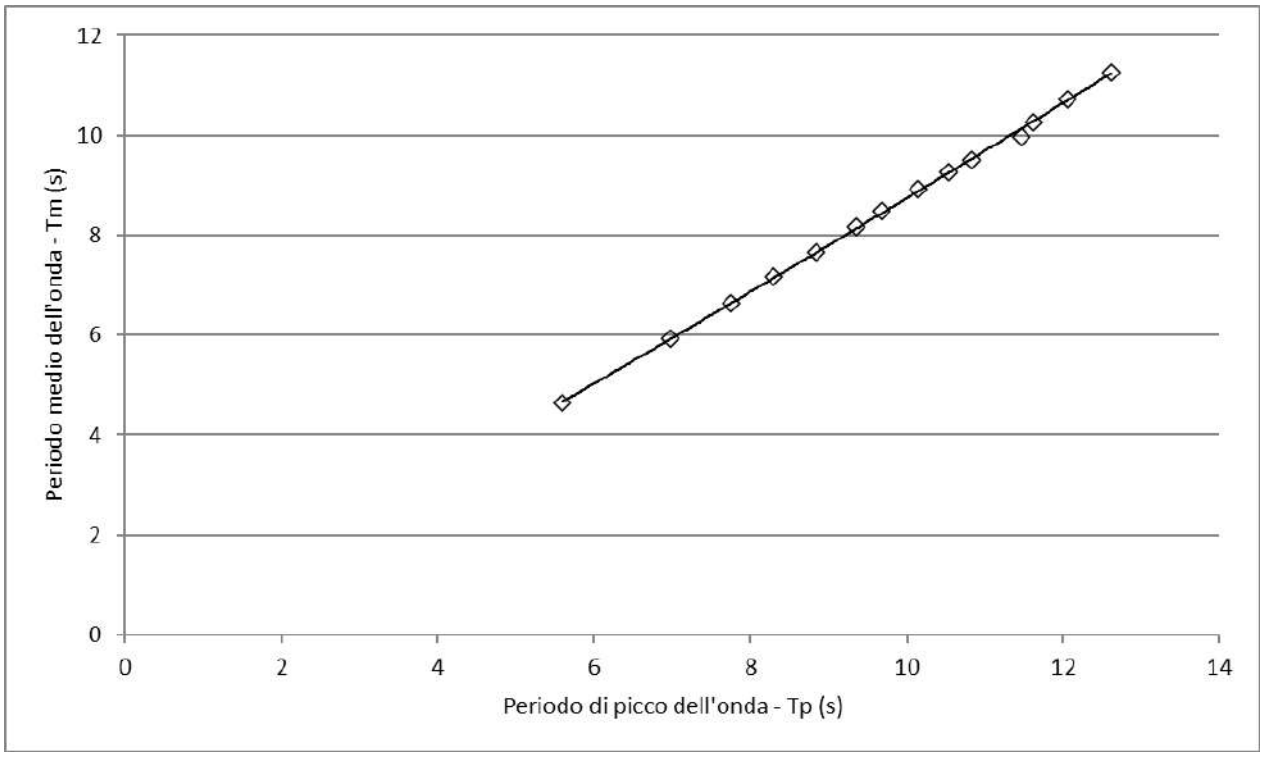


Figura 21: Andamento del periodo medio rispetto al periodo di picco delle onde

Analisi morfodinamica della spiaggia

Dallo studio meteomarino è possibile trarre importanti informazioni circa l'evoluzione dei fondali. I risultati degli studi delle correnti, infatti, accoppiati ai risultati delle evoluzioni morfologiche consentono di interpretare correttamente i fenomeni costieri che si manifestano e di prevedere l'impatto che le opere in progetto possono determinare sull'evoluzione costiera.

Calcolo dell'onda morfologica

Dall'elaborazione dei dati di onda si può calcolare il valore dell'onda morfologica ovvero l'onda che riassume le caratteristiche energetiche equivalenti a quelli indotte, in un anno statistico medio, da tutte le onde provenienti da un settore di traversia. Il calcolo è effettuato su tutte le onde del settore di traversia, l'altezza He (m) e il periodo Te (s) sono così determinati:

$$He = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} H_{si}^2 * T_{pi} * t_i}{\sum_{i=1}^{N} T_{pi} * t_i}} \text{ (m)}$$

$$Te = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_{pi} * t_i}{\sum_{i=1}^{N} t_i} \text{ (s)}$$

La direzione di provenienza dell'onda morfologica θe (°N) è calcolata in riferimento al flusso di energia associato agli eventi di mareggiata, attraverso la seguente relazione:

$$\theta e = arctan \frac{\sum_{i=1}^{N} H_{si}^2 * T_{pi} * t_i * sen(\vartheta_i)}{\sum_{i=1}^{N} H_{si}^2 * T_{pi} * t_i * cos(\vartheta_i)} \text{ (°N)}$$

I valori delle grandezze così calcolate sono: He=0.93 m, Te=5.47 e θe = 270.38 °N.

Il calcolo della potenza long-shore delle onde

Un altro importante parametro ricavabile dall'analisi delle onde è la potenza delle onde che ha la componente parallela al litorale (P_{LS}). Questo parametro consente di capire quanta dell'energia delle onde induce la formazione di correnti costiere.

Date le caratteristiche a largo dell'onda (altezza, periodo e direzione) e la direzione normale al litorale, per ciascuna onda, la potenza long shore si determina con la seguente relazione:

$$P_{LS} = \frac{\rho * g^2}{16} H_S^2 * C_g * sen(2\alpha) \text{ (W)},$$

dove Cg (m/s) è la celerità del gruppo d'onde associate all'onda di altezza Hs (m).

Per convenzione si è scelto di considerare positivi i valori provenienti da destra e negativi i valori provenienti da sinistra. Sommando tutti i valori (positivi e negativi) si ottiene la potenza long shore netta per l'anno medio. In definitiva $P_{LS>0}$= 1940875.39 kW/m, $P_{LS<0}$= 884046.97 kW/m che determina un valore del $P_{LS\ netto}$ = 1056828.43 kW/m, pari a circa il 95 % della potenza complessiva, con verso da destra verso sinistra, ovvero da Nord verso Sud.

Determinazione della profondità di chiusura

La profondità di chiusura è la massima profondità del fondale in cui un'onda fa sentire i suoi effetti ai fini del trasporto solido litoraneo.

Il calcolo del suo valore può avvenire tramite la comparazione dei rilievi batimetrici delle medesime sezioni effettuate in anni diversi. In mancanza di queste informazioni si può usare una delle relazioni semiempiriche riconosciute in letteratura, per esempio la relazione di Hellermeier, secondo cui $H_c = 1.6H_{0,12}$, dove:

- H_c è la profondità di chiusura, espressa in m;
- $H_{0,12}$ è l'altezza d'onda a largo che compare per 12 ore l'anno, nel settore di traversia considerato.

Il valore di $H_{0,12}$ si ricava dall'analisi statistica effettuata sui dati d'onda disponibili, calcolando preliminarmente la percentuale di apparizione delle onde relative a tutti gli eventi registrati, *n*, pari a:

$$n = \frac{n_{H\alpha}}{NT} = 0.817$$

dove NT (numero totale di onde, escluse le calme) e $n_{H\alpha}$ rappresenta il numero di apparizioni che compete all'onda di altezza H_s e direzione α negli anni di osservazione.

Noto il valore di n, si ricava il tempo $t_{H\alpha}$:

$$t_{H\alpha} = n_{oreanno} \cdot n$$

essendo $n_{oreanno}$ (numero di ore in un anno) = 8760 ore.

Quindi, si contano tutte le classi d'altezza d'onda significativa determinate al largo, prescindendo dalla direzione e si sommano per tutte le direzioni considerate, determinando il tempo di apparizione totale della singola onda per tutto il settore di traversia, t_H:

$$t_H = \sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_2} t_{H\alpha}$$

dove α_1 e α_2 sono le direzioni estreme del settore di traversia.

Noto il valore di t_H è possibile ricavare una relazione fra H e t_H costruendo una curva che restituisce i tempi di apparizione di ogni singola onda.

Il valore di $H_{0,12}$ è immediatamente determinato intersecando la curva di apparizione con la retta parallela all'asse delle ascisse e passante per il punto di ordinata t = 12 ore

Il valore calcolato dalla formulazione appena descritta è pari a 3.66 m, la profondità di chiusura, quindi, è paria 5.86 m.

Studio degli eventi estremi del paraggio

L'analisi delle onde che si abbattono sul litorale oggetto di interesse è importante per determinare le forzanti meteomarine che determinano i fenomeni di run-up.

La valutazione delle caratteristiche dell'onda (altezza, periodo e direzione), fondamentale nella progettazione di una qualunque opera marittima e per il calcolo dei run-up, si effettua attraverso un approccio statistico e l'analisi prende il nome di analisi delle onde estreme. Il problema è ricondotto alla determinazione dell'altezza d'onda H_s di assegnato tempo di ritorno T. Si definisce come tempo di ritorno (espresso in anni), di un'onda di assegnata altezza significativa, il numero di anni in cui tale altezza viene mediamente raggiunta o superata una sola volta. Attraverso le correlazioni tra altezza significativa e periodo medio o di picco, si attribuisce il valore del periodo all'onda con assegnato tempo di ritorno. L'approccio che si utilizza consiste nel ricostruire, mediante processi di *hindcasting* (cioè di confronto con dati storici), le tempeste più significative verificatesi in un qualunque punto di interesse.

Metodo di Goda

Il metodo proposto da GODA, prevede l'estrazione delle mareggiate su tutto il campione di dati delle onde registrate che, quindi, può essere superiore al numero di anni considerati. Una volta estratti, dalla popolazione considerata, i dati di altezza d'onda, si applicano a questi le distribuzioni di Weibull e di Gumbel per riconoscere la distribuzione che meglio si adatta ai dati presenti.

Questo metodo, detto della serie di durata parziale sopra soglia o metodo POT (Peaks Over Threshold, come già anticipato), è applicabile direttamente ai dati di altezza significativa rilevati in situ. La metodologia POT è lo schema di analisi più efficiente ed accurato (Goda, 1988). Nonostante le misure sperimentali siano relative a serie temporali di limitate dimensioni e presentino incertezza molto più alta rispetto alle misure dirette si è verificato che le stime ottenute sulla base delle misure ondametriche sono da considerarsi sicuramente più affidabili delle altre (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2005).

La stima dell'altezza d'onda di progetto di un'opera marittima si basa sull'analisi probabilistica a lungo termine dei valori di altezza d'onda direttamente misurati. Assegnato un valore "x" d'altezza d'onda, la probabilità che questo sia superato in un anno è pari a:

$$1 - F(x) = \frac{1}{T_r}$$

Fissato un periodo di ritorno di n anni si ha che:

$$F(x) = \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

Se indichiamo con L la vita presunta di un'opera (numero di anni in cui mantiene inalterate le proprie caratteristiche costruttive), la probabilità p, che x sia superata una sola volta in L anni, risulta:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^L$$

Questa equazione ci permette di stimare l'altezza d'onda di progetto H_D, altezza che viene superata una volta in L anni con una probabilità p. Requisiti fondamentali, affinché il valore elaborato dall'analisi risulti affidabile, sono la disponibilità di un campione di dati riferito allo stesso paraggio costiero (omogeneo), la disponibilità di un campione di dati riferiti ad eventi diversi tra loro (indipendenti) e che gli stessi dati siano riferiti ad un arco temporale sufficientemente lungo (se K è il numero di anni di osservazioni, $T_r = 3K$).

Il metodo POT modificato da Goda si applica estrapolando dal campione di dati forniti dalla boa i valori che superano un prefissato valore di partenza chiamato H_{0GODA} (per i mari italiani H_{0GODA} viene posto pari a 2 metri). Il campione di dati estrapolato viene successivamente sottoposto ad una ulteriore schermatura estrapolando i valori superiori ad un secondo valore soglia H_c (con $H_c \geq H_{0GODA}$). Il valore di H_c deve essere

opportunamente scelto affinché il campione di dati su cui si andrà a fare l'analisi probabilistica risulti compreso tra 30 e 50 valori. Le distribuzioni usate per l'analisi probabilistica sono la distribuzione di Gumbel e la distribuzione di Weibull che hanno le seguenti espressioni:

Gumbel: $$F(x) = exp\left\{-exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)\right]\right\}$$

Weibull: $$F(x) = 1 - exp\left[-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right]$$

con A e B parametri rispettivamente di scala e di posizione e k parametro di forma.

In particolare, il parametro k può assumere valori pari a 0.75, 1.0, 1.4, 2.02 per la distribuzione di Weibull. Introducendo il concetto di variabile ridotta

$$y_m = \frac{H_s - B}{A}$$

da cui:

$$H_s = Ay_m + B$$

e rappresentando i punti campionari attraverso la formula di *plotting position*

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N_T + \beta}$$

con m, indice di posizione dell'i-esimo dato ordinato in modo decrescente, N_T, numero di dati aventi $H_s \geq H_{0GODA}$, a e b coefficienti caratteristici per il tipo di distribuzione utilizzata, noto F_m, attraverso la relazione inversa si stima y_m:

Gumbel $$y_m = -ln(-lnF_m)$$

Weibull $$y_m = [-ln(1 - F_m)]^{\frac{1}{k}}$$

Noto y_m si perviene alla stima dei parametri A e B; dunque, della distribuzione che meglio si adatta a rappresentare il campione di dati, attraverso il Metodo dei Minimi Quadrati tra i valori di altezza d'onda misurati e quelli forniti dalla variabile ridotta, valutandone il coefficiente di correlazione. Fatto ciò, si stima il valore d'altezza d'onda per fissati valori del tempo di ritorno attraverso la relazione lineare:

$$H_{T_r} = Ay_{T_r} + B$$

Con A e B parametri della distribuzione rappresentativa del campione e y_{Tr} stimato con le seguenti relazioni in funzione della distribuzione utilizzata:

Gumbel: $$y_{T_r} = -ln\left[-ln\left(1 - \frac{1}{\lambda T_r}\right)\right]$$

Weibull: $$y_{T_r} = [-ln(\lambda T_r)]^{\frac{1}{k}}$$

y_{Tr} è il valore della variabile ridotta corrispondente a quel fissato tempo di ritorno T_r e λ rappresenta il numero medio di mareggiate in un anno, che si ottiene come rapporto tra N_T e il numero di anni di osservazioni disponibili.

Per quanto concerne l'analisi effettuata sui dati annuali sono stati utilizzati i seguenti valori:

- per l'altezza della soglia per la determinazione della mareggiata sono stati assunti due valori pari rispettivamente a Hs=3 m e a Hs=3.5 m;
- il numero di onde superiori a 3 m è 257;
- il numero di onde superiori a 3.5 m è 103.

La distribuzione che meglio approssima i dati è la distribuzione di Weibull con k=1 (Tabella 8).

Nella successiva Tabella 9 sono riportati i valori di Hs per i vari tempi di ritorno considerati, esplicitati nel grafico in Figura 22.

Tabella 8: Analisi delle distribuzioni statistiche per tutti i dati del paraggio.

k	N	R^2	n	A
1	1	0.988	0.599928	2.98077
0	2	0.988	0.56671	3.110613
1.4	3	0.982	1.08498	2.443629
0.75	4	0.979	0.321312	3.324075
2	5	0.970	1.843312	1.649462

Tabella 9: Distribuzione degli eventi ondosi per ciascun tempo di ritorno e tutto il settore di traversia.

TR	H
1	3.74
5	4.70
10	5.12
25	5.67
50	6.00
100	6.50

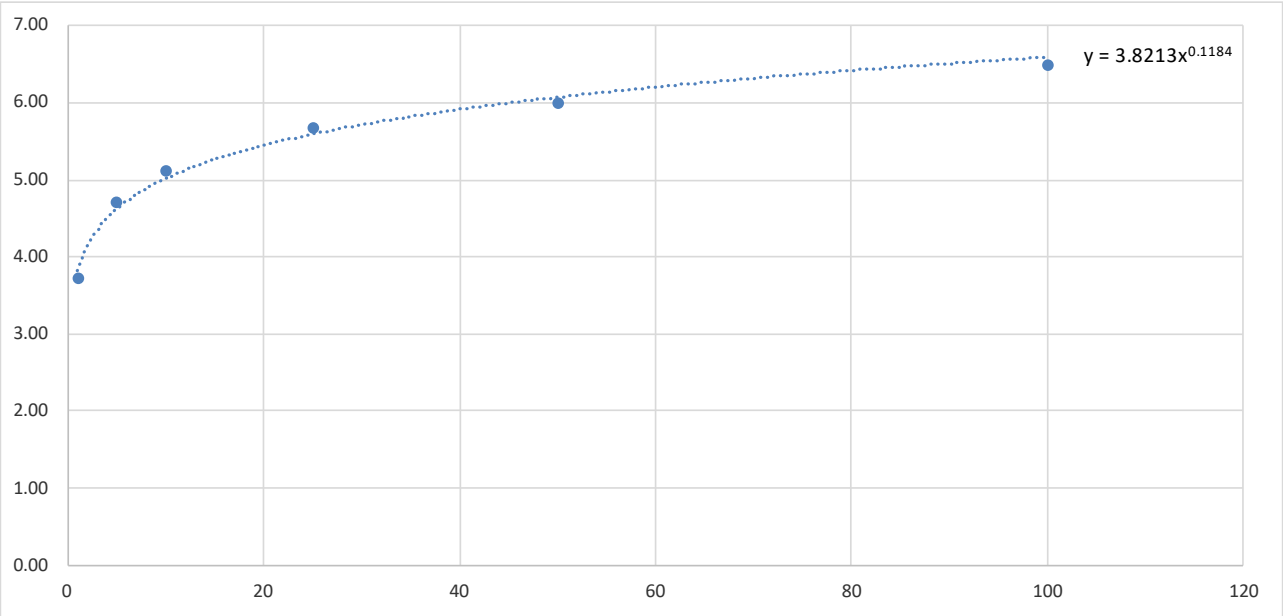


Figura 22: Andamento del valore di altezza d'onda rispetto al tempo di ritorno considerato per tutto il settore di traversia

Propagazione delle onde da largo a sottocosta

Una volta determinato il clima ondoso a largo del sito in esame e gli eventi ondosi estremi, si è proceduto alla propagazione delle onde (altezza, direzione e periodo) delle onde individuate per l'analisi del RUN-UP fino a un punto significativo sottocosta, per poter valutare l'impatto dei fenomeni di trasformazione di moto ondoso dovuti, principalmente, a shoaling e rifrazione.

La propagazione del clima ondoso da largo verso riva per il paraggio oggetto di interesse è stata effettuata con il modello numerico SWAN, acronimo di Simulating WAves Nearshore, la cui implementazione è stata sviluppata dal Dipartimento di Meccanica dei Fluidi dell'Università di Delft. Lo SWAN permette di ottenere stime reali dei parametri d'onda in aree costiere, laghi ed estuari una volta note le condizioni del fondo, del vento e delle correnti. In particolare, il modello simula lo sviluppo degli spettri d'onda che viaggiano da acque profonde verso acque poco profonde, come nel caso del moto ondoso che si propaga verso riva.

Nel modello SWAN sono rappresentati i seguenti processi di propagazione d'onda:

- Propagazione lungo lo spazio geografico;
- Rifrazione dovuta a variazioni del fondale marino e della corrente;
- Shoaling dovuto a variazioni del fondale marino e della corrente;
- Bloccaggio e riflessione da parte di correnti in direzione opposta;
- Trasmissione, bloccaggio o riflessione da parte di ostacoli.

Inoltre, nello SWAN vengono rappresentati i seguenti processi di generazione e dissipazione d'onda:

- Generazione dovuta al vento;
- Dissipazione dovuta alla rottura in cresta (whitecapping);
- Dissipazione dovuta alla rottura d'onda indotta dalla profondità;
- Dissipazione dovuta all'attrito sul fondo;
- Interazioni onda-onda (quadruple e triple);
- Diffrazione a tergo di ostacoli.

Tale modello può essere utilizzato in condizioni sia stazionarie sia non stazionarie, considerando coordinate sia cartesiane (nel caso di piccole scale) sia sferiche (nel caso di piccole e grandi scale).

Nel modello SWAN le onde sono descritte attraverso la densità d'azione spettrale dell'onda bidimensionale anche quando sono presenti fenomeni non lineari (ad esempio nella zona dei frangenti). La ragione fondamentale per l'utilizzo dello spettro anche in condizioni fortemente non lineari è che, anche in tali condizioni, è possibile definire con buona accuratezza la distribuzione spettrale del momento del secondo ordine delle onde (sebbene esso non è sufficiente per descrivere le onde da un punto di vista statistico). Lo spettro utilizzato in SWAN è la densità d'azione spettrale $N(\sigma, \theta)$ anziché la densità di energia spettrale $E(\sigma, \theta)$ poiché, in presenza di correnti, la densità d'azione spettrale viene conservata mentre non lo è la densità d'energia.

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ e la direzione d'onda θ (la direzione normale alla cresta dell'onda di ogni componente spettrale). La densità d'azione è funzione della densità d'energia e della frequenza relativa:

$$N(\sigma,\theta) = \frac{E(\sigma,\theta)}{\sigma}$$

Nella presente modellazione, l'evoluzione dello spettro d'onda è descritta attraverso la seguente equazione del bilancio d'azione spettrale valida per coordinate cartesiane, che rappresenta l'equazione fondamentale di tutta la teoria dello SWAN:

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial x}c_x N + \frac{\partial}{\partial y}c_y N + \frac{\partial}{\partial z}c_z N + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

In tale equazione il primo termine di sinistra rappresenta la variazione della densità d'azione spettrale rispetto al tempo; il secondo, il terzo e il quarto termine rappresentano la propagazione dell'azione nello spazio geografico (con le velocità di propagazione c_x, c_y e c_z riferite, rispettivamente, alle direzioni x, y e z); il quinto termine rappresenta la variazione della frequenza relativa dovuta alle variazioni di profondità e delle correnti (con la velocità di propagazione c_σ riferita allo spazio delle frequenze σ); il sesto termine, l'ultimo dei termini di sinistra dell'equazione, rappresenta la rifrazione indotta dalla profondità e dalla corrente (con la velocità di propagazione c_θ riferita allo spazio delle direzioni d'onda θ). Le espressioni per descrivere tali

velocità di propagazione sono date dalla teoria dell'onda lineare di Stokes al 1° ordine. Il termine *S*, che è comunque funzione della frequenza e delle direzioni d'onda ($S = f(\sigma,\theta)$), presente nei termini a destra dell'equazione del bilancio d'azione spettrale, rappresenta il termine sorgente rispetto agli effetti della generazione, della dissipazione e delle interazioni non lineari onda-onda.

Il primo passo nello studio di propagazione del clima ondoso da largo verso riva con il modello SWAN ha riguardato la preparazione di una griglia di calcolo innestata sulla batimetria in corrispondenza del paraggio. La modellazione del fondale marino è stata effettuata attraverso l'utilizzo dei dati GEBCO (https://download.gebco.net/), confrontate con la carta nautica della marina militare italiana. Al fine di coprire in maniera significativa tutta l'area interessata allo studio meteomarino, è stata utilizzata una prima serie di simulazioni utilizzando una griglia di calcolo rettangolare avente dimensioni 12.7 km in larghezza (Est-Ovest) e di 22.9 km in altezza (Sud-Nord), avente un numero pari rispettivamente a 508 maglie e 916 maglie, aventi ciascuna dimensioni 25 m x 25 m, che si estendono a partire da profondità di circa 600 m, nella condizione di acque profonde ($d/L > 0.5$) per tutti gli attacchi ondosi, fino a terra.
In Figura 23 sono evidenziate le linee batimetriche determinate attraverso l'interpolazione del DTM ricavato dal portale GEBCO.

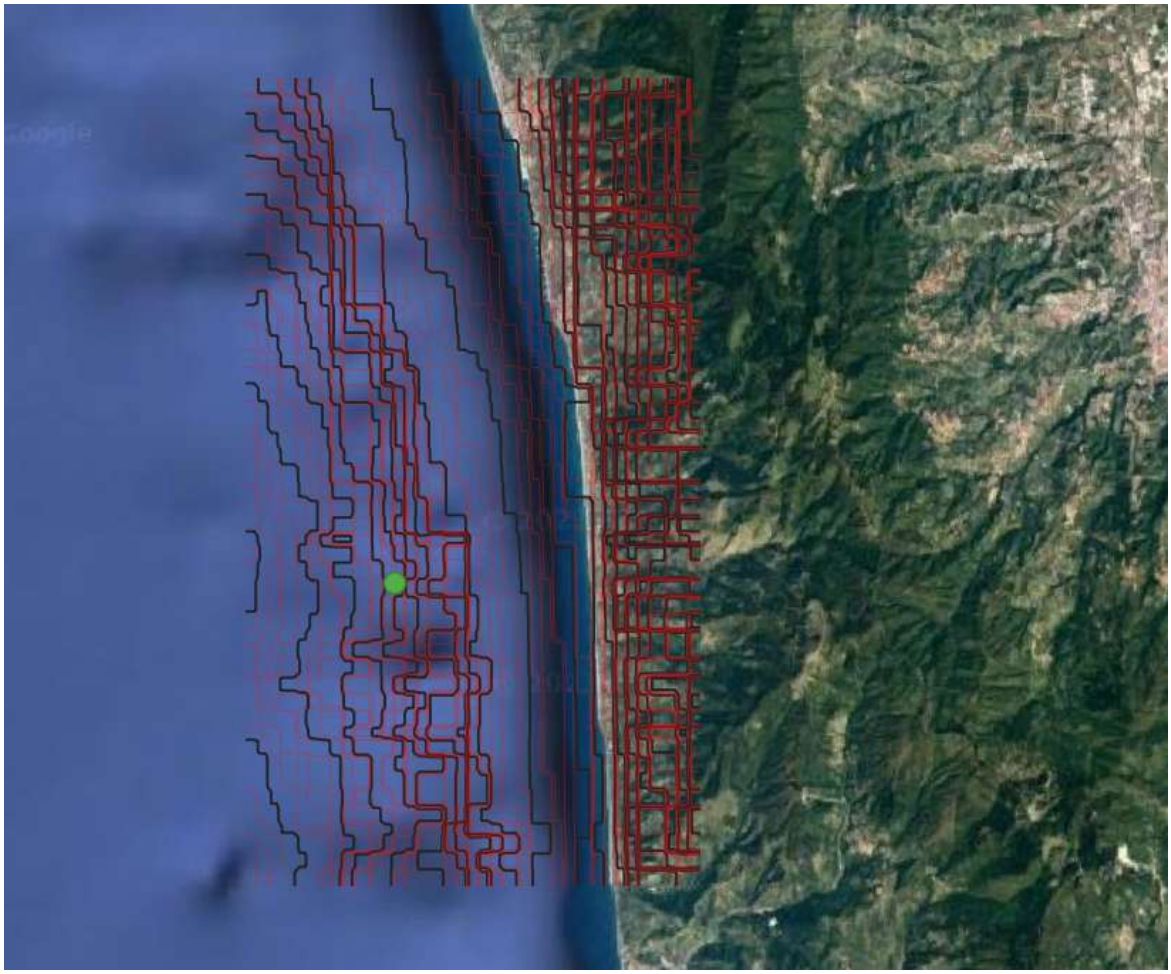


Figura 23: Evidenziazione della griglia di calcolo generale

Sui limiti della griglia di calcolo lato mare (Nord, Est e Sud) sono state effettuate le propagazioni del moto ondoso da largo a sottocosta, con particolare attenzione al clima ondoso in corrispondenza della batimetrica posta a -10 m, considerata significative come input per la modellazione della successiva dinamica evolutiva di un litorale. Le onde propagate con lo SWAN vengono definite da un valore di altezza d'onda, H_s, di periodo di picco, T_p, e di direzione di provenienza rispetto al Nord Cartografico ricadenti nel settore di traversia considerato. Nelle propagazioni effettuate con lo SWAN è stato utilizzato uno spettro di tipo Jonswap con γ (coefficiente di picco dello spettro) = 3.3, assumendo un range di direzioni spettrali pari a 180°, una frequenza minima dello spettro, f_1 = 0.01 Hz, e una frequenza massima, f_2 = 0.5 Hz. Il frangimento del moto ondoso per raggiunto limite di profondità è stato definito nell'input del programma in base al rapporto limite H_s/d = 0.78, in cui d è la profondità. Al fine di determinare i livelli massimi di risalita dell'onda sulla spiaggia sono state considerate le onde del settore di traversia, scegliendo e propagando quelle più alte, sia presenti nel clima ondoso che nella determinazione degli eventi estremi.

Sono state propagate, quindi, le seguenti 4 onde:

1) HS= 7 m; TP=12.13; DIR=290°N
2) HS= 7 m; TP=12.13; DIR=285°N
3) HS=6.5 m; TP=11.87; DIR=275°N
4) HS= 6 m; TP=11.6; DIR=270°N

L'onda che è risultata essere quella più gravosa ai fini della risalita è l'onda n° 2 che sottocosta ha riportato le seguenti caratteristiche:

1) Hs=6.64 m, TP=12.73 sec, TM=11.22 sec ; DIR=278.4 °N sec, d=9.5 m;

dove si è indicato con:

- Hs (m): l'altezza dignificativa d'onda al frangimento;
- DIR (gradi): la direzione dell'onda al frangimento;
- Tp(s): il periodo di picco dell'onda;
- TM(s): il periodo medio dell'onda al frangimento;
- d(m): profondità di calcolo.

Nella successiva Figura 24 è riportata la mappa dell'andamento dell'altezza d'onda nel dominio di calcolo, invece in Figura 25 l'andamento dell'altezza d'onda prima del frangimento.

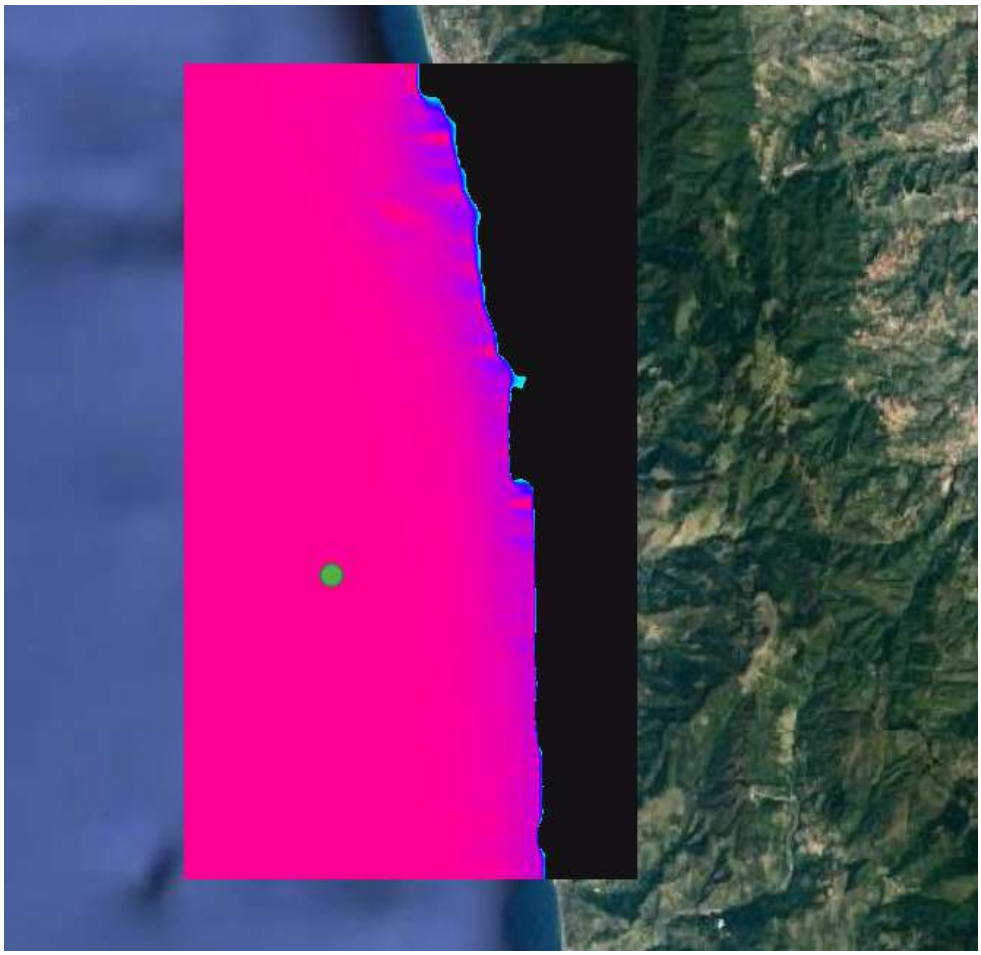


Figura 24: Mappa dell'andamento dell'altezza d'onda nel dominio di calcolo

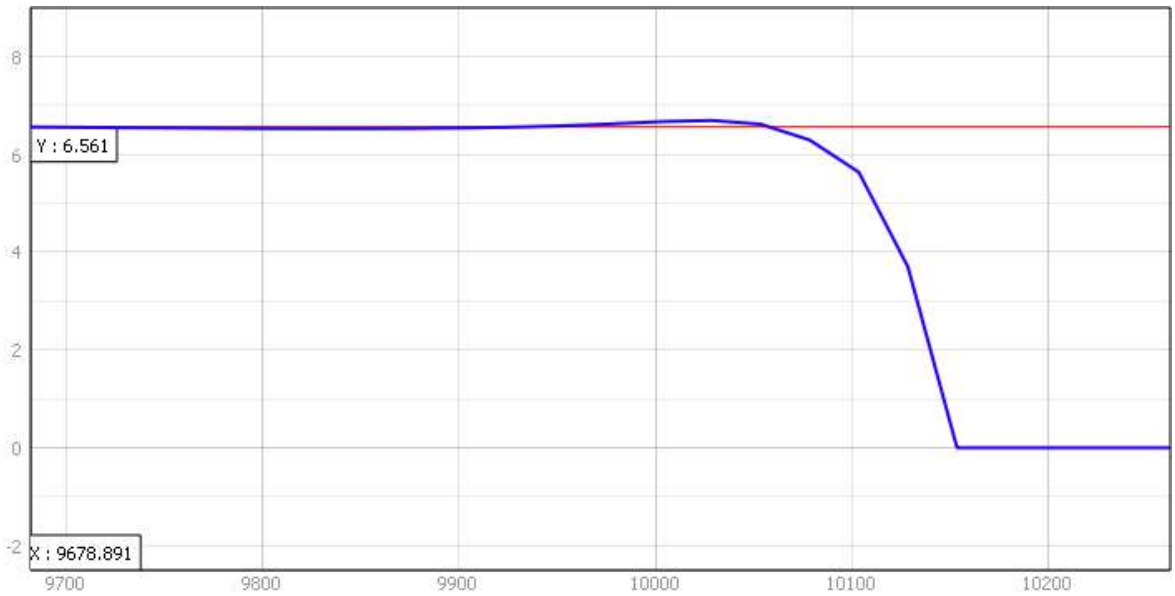


Figura 25: Andamento dell'altezza d'onda al frangimento

WP4 – VALUTAZIONE SCIENTIFICA E REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA RELATIVA

Personale coinvolto: prof. Emilio Sperone (prof. II fascia Unical), prof.ssa Sandra Imbrogno (prof. II fascia Unical), prof. Rocco Dominici (prof II fascia Unical), prof. Francesco Perri (prof II fascia Unical), dott. Fabio Antonio Morfea (contrattista sul progetto), dott. Pierluigi Rizzo (borsista sul progetto), dott.ssa Patrizi Rima (borsista sul progetto).

Una volta identificate le aree libere (non sottoposte a vincoli e usi) ed acquisite le raccomandazioni e le esigenze dai portatori di interesse coinvolti nel processo decisionale, l'idoneità di un'area marina ad ospitare siti d'acquacoltura si valuta sulla base delle caratteristiche dell'area di indagine e considera:

• Parametri oceanografici - la batimetria, le correnti e l'altezza delle onde influenzano l'entità degli impatti, la resistenza delle strutture, gli aspetti gestionali ed operativi

• Parametri ambientali - chimici, chimico-fisici, biogeochimici, determinano la qualità delle aree di allevamento, la crescita e la salute degli organismi allevati

• Parametri logistici - distanza dalla costa e da strutture portuali, logistica a terra e comunicazioni sono importanti ai fini di un'ottimizzazione delle operazioni, dell'efficienza energetica e per la riduzione dei costi di gestione.

Nel presente progetto sono stati anche rilevati e valutati parametri ecologici (diversità di specie ittiche, rilevanza conservazionistica ed economica, presenza di zone di nursery) che microbiologici (soprattutto la presenza di *Nocardia* sp.).

I parametri più rilevanti che influiscono sull'idoneità di una zona marina per attività d'acquacoltura sono elencati nelle seguenti tabelle sia per gli allevamenti di piscicoltura marina che per gli allevamenti di molluschi bivalvi. Per ogni parametro sono indicati i valori ottimali, idonei e critici da considerare nella fase di caratterizzazione ambientale dell'area marina, in funzione alla destinazione d'uso. I valori, indicati come intervalli e valori soglia, sono il risultato di un lungo processo di consultazione con i portatori d'interesse e di sintesi scientifica di dati bibliografici, elaborati secondo giudizio esperto.

Parametri per l'analisi di idoneità di zone marine per la piscicoltura

Piscicoltura in gabbia				
Criteri	Parametri	Intervalli di valori		
		Ottimale	Idoneo	Critico
Oceanografici	Batimetria (m)*	40-50	25-80	<25 - >80
	Tipologia fondali	Sabbia	Altri	Roccioso, Limo, Argilla
	Pendenza fondali (%)	10-20	0-30	>30
	Altezza onda (Hs in m)	<0,7	0-2,5	>2,5
	Corrente media (m/s)	0,03-0,1	0,02-0,5	<0,02 - >0,5
Ambientali	O_2 disciolto (mg/l)	>6,5	5-6,5	<5
	O_2 disciolto (%Sat)	90-100	65-100	<65%
	T superficiale (°C)	18-26	11-30	<11 - >30
Logistici	Distanza dai porti (km)	1-4	1-15	>15

I valori in tabella riportano gli intervalli ottimali, idonei e critici dei parametri oceanografici, ambientali e logistici per la produzione di spigole (*D. labrax*) e orate (*S. aurata*).
* Gli intervalli dei valori indicati come idonei o critici possono essere rimodulati in funzione della velocità della corrente e della dimensione della gabbia (Figure 5-1, 5-2).

Parametri per l'analisi di idoneità di zone marine per la molluschicoltura

Molluschicoltura				
Criteri	Parametri	Intervalli di valori		
		Ottimale	Idoneo	Critico
Oceanografici	Batimetria (m)*	10-30	8-40	<8 - >40
	Tipologia fondali	Sabbia	Altri	Roccioso, Limo, Argilla
	Pendenza fondali (%)	<10	0-20	>20
	Altezza onda (Hs in m)	<0,2	0-3	>3
	Corrente media (m/s)	0,03-0,1	0,02-0,5	<0,02 - >0,5
Ambientali	O_2 disciolto (mg/l)	>7	5-7	<5
	O_2 disciolto (%Sat)[1]	≥80	≥70	<70
	T superficiale (°C)	10-24	5-28	>28
	Salinità (‰)[1]		12-38	<12 - >40
	pH (Unità)[1]		7-9	<7 - >9
	Clorofilla a (µg/l)**	10-20	0,5-50	<0,5
	Materiali in sospensione[1]		Influenza scarico <30%	Influenza scarico >30%
Logistici	Distanza dai porti (Km)[2]	0,5-4	0,5-18	>18

[1] D.Lgs. 152/2006. Tab.1C, All.2, Parte III.
[2] Distanza dai porti: 500 m per Cat. III; 1000 m per Cat. I. II (D.Lgs. 169/2016)
* Gli intervalli dei valori indicati come idonei o critici possono essere rimodulati in funzione della velocità della corrente e della dimensione dei filari.
**Gli intervalli dei valori di clorofilla a indicati come idonei o critici possono essere rimodulati in funzione della variabilità del parametro e della biomassa allevata

Sulla base dei dati rilevati e sulla base dei valori indicati nelle precedenti tabelle, l'area in esame si configura per come segue nella seguente tabella.

Piscicoltura in gabbia				
		Intervalli di valori		
Criteri	Parametri	Ottimale	Idoneo	Critico
Oceanografici	Batimetria		25	
	Tipologia fondali	Sabbia		
	Pendenza fondali (%)		0,3-0,5	
	Altezza onda (Hs in m)		1,5	
	Corrente media (m/s)	0,1		
Ambientali	O_2 disciolto (mg/l)	7,4		
	O_2 disciolto (% Sat)	100		
	T superficiale (°C)	23		
Logistici	Distanza dai porti (km)	3		

Molluschicoltura				
		Intervalli di valori		
Criteri	Parametri	Ottimale	Idoneo	Critico
Oceanografici	Batimetria		20-25	
	Tipologia fondali	Sabbia		
	Pendenza fondali (%)		0,3-0,5	
	Altezza onda (Hs in m)		1,5	
	Corrente media (m/s)	0,1		
Ambientali	O_2 disciolto (mg/l)	7,4		
	O_2 disciolto (% Sat)	100		
	T superficiale (°C)	23		
	Salinità (‰)		37,8	
	pH (Unità)		7,8	
	Clorofilla a (µg/l)	15		
	Materiali in sospensione		2%	
Logistici	Distanza dai porti (km)	3		

Pertanto, sulla base dei risultati ottenuti, l'area in esame può essere considerata un'AZA di tipo 1 e pertanto idonea alla realizzazione di impianti di piscicoltura e molluschicoltura in mare.

WP5 – Realizzazione del DAC – Documento sull'Acquacoltura in Calabria (Potenzialità – Innovazione Sostenibilità delle imprese – Normativa vigente - Piani di Gestione – Studi di fattibilità), modello di "progetto pilota" e redazione della cartografia. Comunicazione e disseminazione dei risultati

Personale coinvolto: prof. Emilio Sperone (prof. II fascia Unical), dott.ssa Annamaria Mele (presidente A.N.A.P.I. pesca)

Le azioni di comunicazione e disseminazione dei risultati sono state costantemente promosse durante tutte le azioni di questa prima fase progettuale. Nel dettaglio, le attività realizzate sono state condotte in sinergia con l'Associazione di categoria A.N.A.P.I. pesca ed hanno riguardato:

1. realizzazione del logo del progetto
2. organizzazione e realizzazione conferenza stampa di presentazione del progetto
3. redazione del DAC (Documento dell'Acquacoltura in Calabria)
4. partecipazione a congressi nazionali ed internazionali per la presentazione dei risultati del progetto
5. organizzazione e realizzazione della conferenza finale del progetto.

Nell'ambito del progetto, ANAPI ha apportato il proprio knowhow, mettendo a disposizione del medesimo la propria struttura tecnica redigendo un corposo lavoro di sintesi e integrazione di indagini di natura tecnico-scientifica, mediante indagini di citizen science, raccogliendo gli aspetti normativi e fornendo un approccio socio-economico completo, che ci ha consentito la stesura del DAC – Documento sull'Acquacoltura in Calabria.

Nella redazione del Documento sull'Acquacoltura in Calabria abbiamo condotto una ricerca bibliografica della normativa sull'acquacoltura, europea, nazionale e regionale. Abbiamo analizzato ed enunciato i metodi innovativi dell'acquacoltura e della maricoltura, trattando anche le pratiche maggiormente sviluppate.

L'unica criticità riscontrata, invece, è correlata alla valutazione dello stato dell'arte della pratica in Calabria: sono assenti o quasi, i dati relativi alle concessioni esistenti e agli impianti di acquacoltura attivi, verosimilmente perché quasi tutti, impianti off shore.

Abbiamo prodotto una guida all'acquacoltura, tecniche in uso e innovative, sia per maricoltura che per acque dolci. Abbiamo contribuito, fornendo dati statistici di carattere socio economico, a dedurre le conclusioni su quali possano potenzialmente essere definiti Poli per l'Industria produttiva Ittica.

La nostra attività si è inoltre concentrata sulla redazione di un businessplan pro-tipo e, soprattutto, sull'adattamento all'area indagata, di un progetto pilota per la realizzazione di un sistema di policoltura (IMTA).

Ci siamo inoltre occupati delle Azioni di Comunicazione e Disseminazione:

- realizzazione del logo del progetto;
- diffusione e comunicazione dei dati raccolti e dei risultati ottenuti mediante comunicati stampa, incontri con la cittadinanza, coinvolgimento dei media
- Analisi delle attività produttive presenti lungo la costa
- Analisi delle criticità logistiche per il trasporto delle merci e della viabilità che afferisce ai luoghi di attracco o di sbarco

ALLEGATI TECNICI (Allegato II):

- Modello di Busnessplan: prodotti e mercati di riferimento;
- Best Practices;
- Adempimenti normativi richiesti per avvio attività.

2. ***Organizzazione e realizzazione conferenza stampa di presentazione del progetto.***

E' stata organizzata una conferenza stampa di presentazione del progetto tenutasi il 02 agosto 2023 alle ore 11.00, presso la Cittadella Regionale di Catanzaro.

4. Partecipazione a congressi nazionali (SIBM, UZI) ed internazionali (EEA) per la presentazione dei dati scientifici del monitoraggio

Visto l'elevato valore scientifico del progetto, è stato fondamentale presentare i risultati in consessi di ricercatori ed esperti di fama nazionale ed internazionale. Il personale coinvolto ha partecipato ai seguenti congressi scientifici:

- SEB CENTENARY CONFERENCE 2023, tenutosi ad Edinburgo dal 4 al 7 luglio 2023 (congresso internazionale)
- SIRC congresso annuale, tenutosi ad Imola dal 18 al 20 ottobre 2023 (congresso nazionale)
- UZI congresso annuale, tenutosi a Palermo dal 19 al 22 settembre 2023 (congresso nazionale)

Gli Allegati III, IV, V, VI, VII e VIIIriportano i contributi scientifici presentati.

5. Organizzazione e realizzazione della conferenza finale del progetto

La conferenza stampa di chiusura sarà organizzata nel mese di gennaio 2024.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Dipartimento Medicina Veterinaria Produzioni Animali

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA, ECOLOGIA E SCIENZE DELLA TERRA
DIBEST

INDIVIDUAZIONE PRELIMINARE DI **A**REE A **V**OCAZIONE PER IMPIANTI DI **A**CQUACOLTURA **M**ARINA - AZA

In acronimo AVAM-AZA

Ente Capofila

Dipartimento DiBEST – Università della Calabria

Responsabile Scientifico Prof. Emilio Sperone

Partenariato

Dipartimento di Medicina Veterinaria e delle Produzioni Animali

Università degli Studi di Napoli Federico II

Associazione Nazionale Autonoma Piccoli Imprenditori della pesca

(A.N.A.P.I. Pesca) - Associazione di Categoria

Collaborazione scientifica

Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, c'è stata una crescente necessità di ridurre lo sforzo di pesca sulle risorse marine, spingendo verso l'implementazione di politiche volte a preservare l'ambiente e promuovere la crescita economica nel settore della pesca. Questo implica lo sviluppo sostenibile dell'attività di pesca, con un'attenzione particolare all'acquacoltura come metodo di produzione rispettoso dell'ambiente. L'obiettivo è mitigare gli impatti sociali ed economici derivanti dalle restrizioni legate alla diminuzione delle catture.

L'acquacoltura viene considerata come un'opportunità per integrare o convertire l'industria della pesca, contribuendo positivamente alla riduzione complessiva dello sforzo di pesca. La politica comune della pesca incoraggia il progresso di un'acquacoltura sostenibile, che crea nuove opportunità di lavoro e bilancia gli aspetti ambientali ed economici, assicurando la produzione di alimenti acquatici in armonia con l'ambiente.

L'acquacoltura non mira a sostituire la pesca tradizionale, bensì a rispondere alle nuove esigenze del mercato, preservando al contempo le risorse marine dall'eccessivo sfruttamento. Inoltre, può offrire benefici economici in un contesto in cui l'aumento dei costi di produzione nella pesca tradizionale mette a rischio i margini di profitto delle imprese.

Se da un lato, l'offerta abbondante di alcune specie provenienti dall'acquacoltura ha comportato una significativa riduzione dei prezzi, dall'altro si è verificata una saturazione temporanea del mercato. Questo fenomeno è stato amplificato dalla concorrenza con prodotti importati da paesi esteri, caratterizzati da costi di produzione più bassi.

La moderna acquacoltura deve fondarsi su requisiti chiave come la qualità del prodotto, la diversità e il rispetto dell'ambiente. Garantire la sicurezza alimentare, diversificare i prodotti e preservare l'ambiente sono aspetti fondamentali per lo sviluppo di un'acquacoltura responsabile che aggiunga valore al prodotto e stimoli la sua vendita. Tuttavia, la diffidenza nei confronti dell'acquacoltura può limitare il suo sviluppo. È fondamentale applicare il principio di precauzione, valutare attentamente le aree per la localizzazione degli impianti e adottare misure che riducano al minimo l'impatto sull'ambiente. L'interdipendenza tra ambiente e acquacoltura richiede una valutazione accurata delle aree idonee all'allevamento ittico. Lo studio che ne segue, mira a identificare criteri per individuare le aree marine potenzialmente adatte all'acquacoltura in Calabria.

OBIETTIVI DEL PROGETTO

L'obiettivo del presente rapporto è presentare i risultati di un'indagine preliminare condotta nell'ambito del progetto "AREE A VOCAZIONE PER IMPIANTI DI ACQUACOLTURA MARINA - AZA" (AVAM-AZA), lungo le coste della Calabria.
Questa iniziativa mira a fornire un solido punto di partenza per l'identificazione delle aree potenzialmente idonee per lo sviluppo di impianti di acquacoltura marina, che comprendono sia la piscicoltura che la molluschicoltura.
L'obiettivo finale è di far sì che queste aree siano riconosciute e inserite nell'elenco delle "Zone marine assegnate per l'acquacoltura" (AZA) a livello regionale.
In questo contesto, il presente rapporto si propone di fornire una panoramica dettagliata di questa iniziativa, inclusi i dati raccolti, le analisi effettuate e le raccomandazioni per le future fasi del progetto.
Attraverso un'approfondita esplorazione delle potenzialità delle coste calabresi per l'acquacoltura marina, il progetto AVAM-AZA mira a contribuire allo sviluppo sostenibile dell'industria ittica nella regione e a promuovere la conservazione degli ecosistemi marini locali, con l'obiettivo di limitare fenomeni di sovra sfruttamento e di impoverimento delle risorse ittiche e costituire, altresì, un valido modello di sviluppo dal punto di vista economico del territorio.
I dati raccolti, grazie alla collaborazione di vari enti, sono resi disponibili in questa pubblicazione tematica, che li riporta, in forma aggregata e georeferenziata, all'interno di un GIS (Geographical Information System), una composizione di software che consente l'archiviazione, l'analisi, la rappresentazione e l'interrogazione di entità o eventi legati al territorio.
Oltre alle normali operazioni svolte con un database, come ricerche, report o grafici, l'utilizzo di sistemi GIS permette la rappresentazione intuitiva delle informazioni attraverso cartogrammi, integrando dati per sviluppare soluzioni complete con una visione a 360 gradi.
Il GIS, sempre più diffuso in diversi settori applicativi, è uno strumento fondamentale in ambito di programmazione e gestione, capace di rispondere alle più svariate esigenze, in particolare nei settori della ricerca, delle politiche ambientali, della pianificazione e del monitoraggio socio economico di un territorio.
Negli ultimi anni, c'è stata una crescente consapevolezza dell'importanza dei dati georeferiti, poiché la pianificazione dello spazio è diventata un tema cruciale a ogni livello decisionale.
La competizione per lo spazio marittimo, derivante da settori produttivi e non, come pesca, maricoltura, energie rinnovabili, porti e rotte, può generare conflitti di interesse di varia natura ed entità.
Pertanto, è essenziale avere una banca dati geografica che tenga traccia delle attività legate al mare o alla costa per favorire lo sviluppo di sinergie tra settori diversi, garantendo efficienza e sostenibilità.
La pubblicazione è suddivisa in un documento di testo e in un DVD: nel documento di testo sono descritti i principali argomenti sviluppati da Unical nei diversi moduli di assistenza tecnica, dove sono presentati e descritti singolarmente i diversi ambiti tematici considerati.
Nel DVD sono contenuti i tematismi in formato digitale, utilizzando un software a distribuzione gratuita, attraverso il quale gli utenti potranno interrogare i singoli strati, ricavare informazioni e generare le mappe tematiche a loro più congeniali.
Cliccando sulle singole aree georeferenziate di indagine sarà possibile accedere alle informazioni e il sistema consentirà di avere una immediata visione d'insieme, fondamentale soprattutto nelle

attività di monitoraggio e pianificazione. Tutti i dati resi disponibili potranno essere selezionati e caricati contemporaneamente, così da ottenere una visualizzazione del maggior numero di informazioni possibili.
La visualizzazione delle informazioni su una mappa fornisce una visione d'insieme immediata, cruciale soprattutto nelle attività di monitoraggio, evitando la perdita di informazioni cruciali nel processo decisionale.

1- LE AREE PROTETTE
1.1 LE AREE MARINE PROTETTE

Fig.1 AMP di Capo Rizzuto

Aree costituite da ambienti marini che presentano un rilevante interesse per le caratteristiche naturali, geomorfologiche, fisiche, biochimiche con particolare riguardo alla flora e alla fauna marine e costiere e per l'importanza scientifica, ecologica, culturale, archeologica, educativa ed economica che rivestono.

Sono istituite con decreto del MATTM contenente la denominazione e la delimitazione dell'area, gli obiettivi e la disciplina di tutela a cui è finalizzata la protezione. Ogni AMP è suddivisa in tre tipologie di zone con diversi gradi di tutela: zona A (riserva integrale), zona B (riserva generale), zona C (riserva parziale). Le attività di acquacoltura non sono di norma consentite nelle AMP, salvo casi particolari. Nuovi allevamenti dovranno essere situati ad una distanza tale da non provocare impatti significativi sulle AMP. Negli ultimi decenni, le Aree Marine Protette (AMP) hanno acquisito sempre maggiore importanza nella gestione del mare, poiché si sono delineati numerosi obiettivi legati sia alla conservazione della biodiversità che alla gestione della pesca. La presenza di molteplici obiettivi in politiche di gestione delle risorse naturali spesso genera crescenti difficoltà, poiché cerca di bilanciare, nell'ottica della sostenibilità, gli interessi specifici legati alla conservazione con quelli economici derivanti da attività produttive specifiche. Nel contesto della pesca, il possibile strumento di mediazione tra gli interessi legati alla conservazione della biodiversità e quelli economici del settore produttivo risiede nella necessità di preservare le risorse biologiche di interesse economico.

In pratica, sia il comparto della pesca che quello della salvaguardia dell'ambiente marino condividono l'obiettivo di promuovere un'ulteriore integrazione tra le dinamiche produttive e quelle ambientali, lavorando per ottenere un equilibrio sempre più sostenibile.
Non è possibile effettuare attività di acquacoltura nelle Zone A e B delle Aree Marine Protette istituite (Legge Quadro sulle aree protette 394/91; L. 979/82, Disposizione per la difesa del mare) ai sensi dei decreti istitutivi delle stesse e nelle zone C se espressamente interdetto dai decreti istitutivi o dal regolamento di Riserva.
Si fa presente che, ai fini della tutela delle caratteristiche per cui sono state istituite le Aree Marine Protette (AMP), non si ritiene opportuno realizzare impianti di acquacoltura ad una distanza inferiore a 5 km dalla perimetrazione delle zone A delle AMP e ad una distanza inferiore a 3 Km dalla perimetrazione delle zone B.
L'Area Marina Protetta "Capo Rizzuto" (Fig.1), Istituita ufficialmente con D.M. del 27 dicembre 1991 e successivo D.M. del 19 febbraio 2002, ricopre una superficie di circa 14.721 ettari e si sviluppa su un territorio di ben 42 km di costa, coinvolgendo due comuni: Crotone ed Isola Capo Rizzuto.
L'istituzione dell'area protetta consegue un duplice obiettivo: la preservazione di un tratto di costa unico dal punto di vista ambientale, contraddistinto per oltre 42 km da una lunga teoria di piccole insenature, e la tutela del vasto e ricco patrimonio archeologico, presente sui fondali marini.

1.2 ALTRE AREE PROTETTE E SITI DI INTERESSE

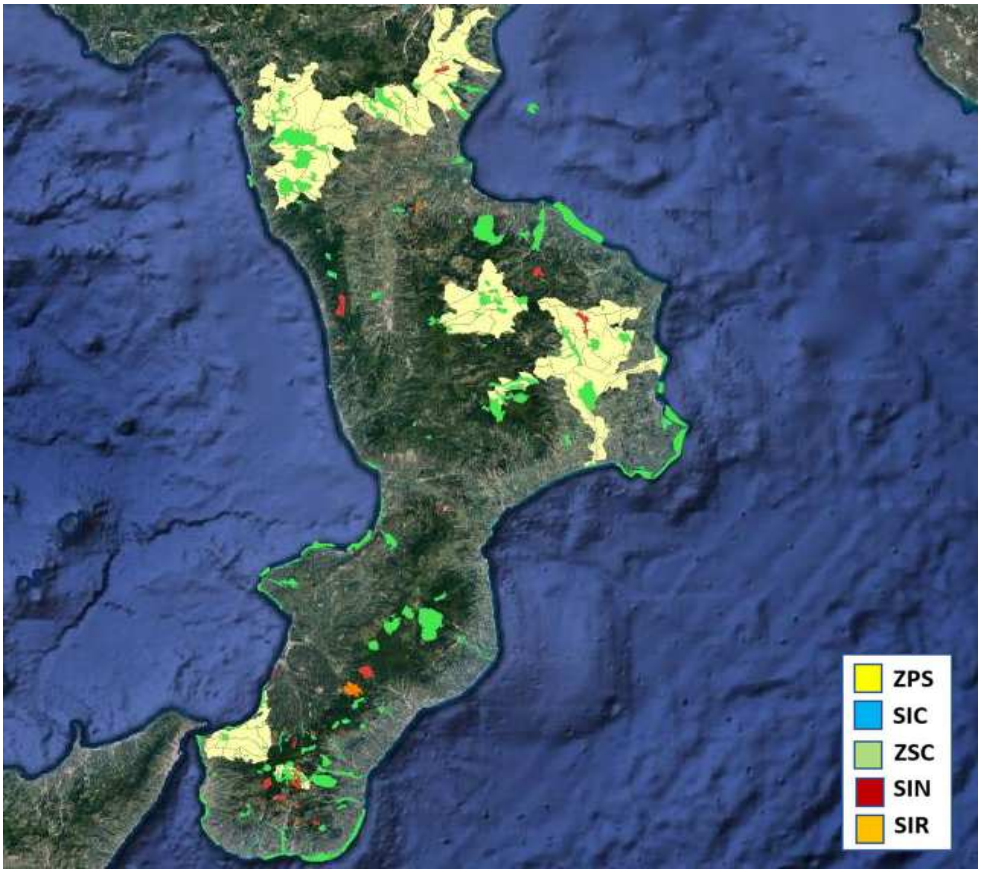


Fig.2 Siti Natura 2000 e Siti di Interesse

I siti appartenenti alla rete Natura 2000 sono individuati ai sensi della Dir.92/43/CEE, conosciuta come Direttiva "Habitat", recepita nella nostra legislazione con il DPR n. 357/97, che ha lo scopo principale di promuovere il mantenimento della biodiversità e la protezione degli habitat naturali, attraverso la designazione di Zone Speciali di Conservazione (ZSC).
A livello comunitario viene dunque prevista la costituzione di una rete ecologica, che comprenda anche le zone di protezione speciale (ZPS) classificate dagli Stati membri a norma della Dir. 79/409/CEE del Consiglio (la cosiddetta Direttiva Uccelli), concernente la conservazione degli uccelli selvatici. Il primo passo per la costruzione della rete è stata la designazione di Siti di Importanza Comunitaria (SIC), a partire dai quali si arriva poi all'effettiva istituzione delle ZSC.
Questi siti sono individuati facendo riferimento agli habitat elencati nell'allegato A ed alle specie dell'allegato B della Dir. 92/43, mentre le ZPS sono individuate facendo riferimento all'allegato I della Dir. 79/409/CEE. Le aree che compongono la rete Natura 2000 non sono riserve rigidamente protette dove le attività umane sono escluse: la Direttiva Habitat garantisce infatti la protezione della natura tenendo anche "conto delle esigenze economiche, sociali e culturali, nonché delle particolarità regionali e locali" (art. 2).
La regolamentazione di queste aree deve essere finalizzata all'adeguata conservazione degli elementi biologici caratterizzanti il sito, e alla messa in rete nel sistema ecologico europeo. Molto spesso in Italia i siti Natura 2000 ricadono in aree protette nazionali o regionali, per cui presentano

un’adeguata regolamentazione normativa e gestionale. È possibile però prevedere la stesura di specifici Piani di gestione dei siti Natura 2000 che, insieme agli altri strumenti di governo del territorio, contribuiscono a garantire la tutela e la valorizzazione dei sistemi ambientali.
I siti d’interesse nazionale (SIN) sono stati definiti dal decreto legislativo 22/97 (decreto Ronchi) e nel decreto ministeriale 471/99 e ripresi dal decreto 152/2006 che stabilisce che essi sono individuabili in relazione alle caratteristiche del sito, alla quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, al rilievo dell'impatto sull'ambiente circostante in termini sanitari ed ecologici nonché di pregiudizio per i beni culturali e ambientali.
Non è possibile realizzare impianti di maricoltura ad una distanza inferiore a 10 km dai Siti di Interesse Nazionale (SIN). All’individuazione dei SIN si provvede con decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), d’intesa con le regioni interessate.
Si tratta di una misura precauzionale, in riferimento alle norme igienico-sanitarie, ai sensi della direttiva 2006/88/CE, che tratta disposizioni per le specie animali d’acquacoltura laddove le condizioni ambientali possono pregiudicare lo stato sanitario di tali specie.
Tali misure consentirebbero di evitare la possibilità di contaminazione del prodotto allevato da agenti chimici.
Allo stesso tempo si tutela l’ambiente al fine di evitare un effetto cumulativo. Tale distanza potrà essere aumentata in casi di inquinamento grave e conclamato e in dipendenza delle correnti.
I Siti di importanza regionale, anche noti come Siti di interesse regionale e spesso abbreviati con la sigla SIR, sono delle aree ecologicamente rilevanti che tutelano gli habitat e le specie, animali e vegetali, non inquadrate all'interno delle direttive comunitarie.
Non è opportuno effettuare acquacoltura nei Siti di Importanza Comunitaria (SIC), designati ai sensi delle Direttiva “Habitat” 92/43/CE, recepita con D.P.R. n. 357/97, modificato e integrato dal DPR n. 120/2003. I SIC sono siti che, nella o nelle regioni biogeografiche cui appartengono, contribuiscono significativamente a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat o di specie in uno stato di conservazione soddisfacente e che possono contribuire in modo significativo al mantenimento della diversità biologica nella regione biogeografia in questione.
Al di là degli adempimenti regionali relativi alla legge in oggetto si ritiene che i dettami stessi sulle misure di conservazione non possano fare ritenere l’acquacoltura compatibile con essi (art. 4, DPR 357/97).
Analoghe considerazioni valgono per le Zone di Protezione Speciale (ZPS), designate ai sensi della Direttiva “Uccelli” 79/409/CEE, che coincidono con alcuni S.I.C. la Direttiva Uccelli è regolamentata mediante la L. 11/02/1992 n. 157 “Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterma e per il prelievo venatorio” che è stata integrata con la L. 03/10/2002 n. 221.
Considerate le finalità di conservazione degli habitat, come dettato dalla normativa, si deve osservare una distanza di rispetto dai SIC.
Per tale motivo, non si ritiene opportuno realizzare impianti di acquacoltura ad una distanza inferiore a 3 km dalla perimetrazione dei S.I.C. marini e ad una distanza inferiore a 2 km per quelli prospicienti il mare.

1.3 ZONA DI TUTELA BIOLOGICA (ZTB)

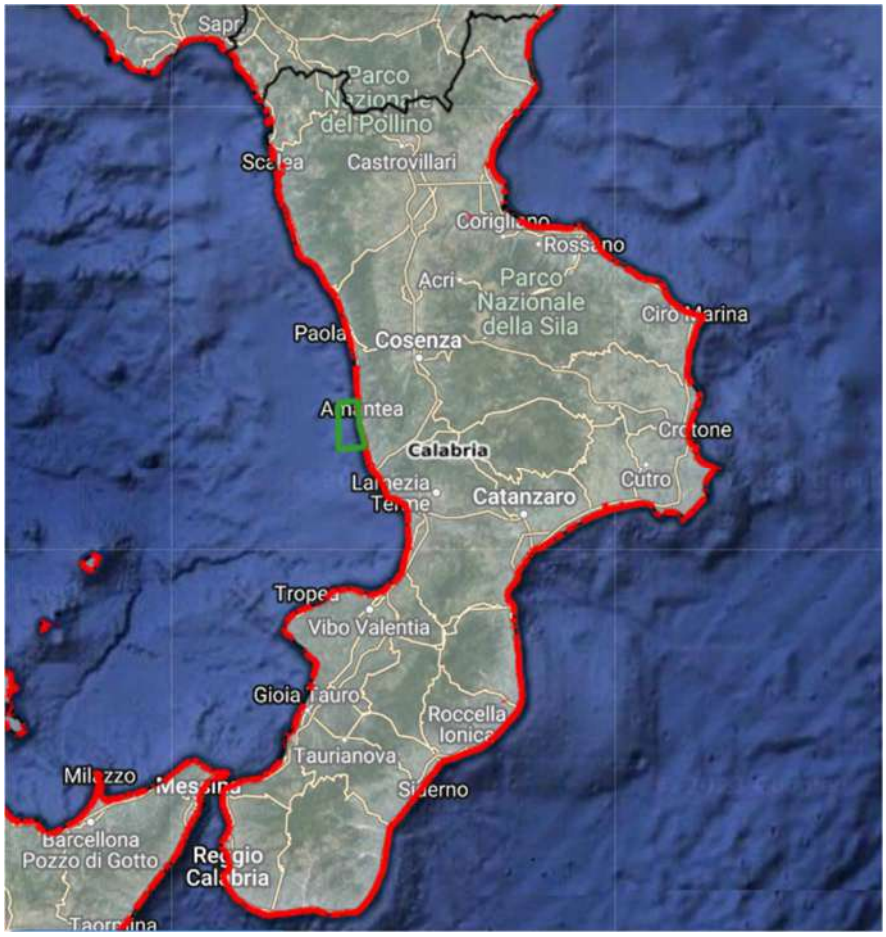


Fig.3 Area ZTB di Amantea

La ZTB denominata "Area prospiciente Amantea" si trova lungo la costa tirrenica calabrese compresa tra il Golfo di Santa Eufemia a Sud e il Comune di Belmonte Calabro a Nord. Si sviluppa per una superficie complessiva di 75 Kmq dalla costa fino ad una distanza massima di circa 4 miglia nautiche. Raggiunge approssimativamente la batimetria dei 300 m. All'interno della ZTB ricade inoltre il SIC "Fondali Scogli di Isca" (cod. ITA9310039) e al suo interno circa 6 ha immediatamente intorno allo Scoglio Grande e allo Scoglio Piccolo di Isca, costituisce l'Oasi Blu di Isca. L'area individua un "sito ristretto di *Posidonia* climax, ad alta biodiversità, importante nursery per pesci anche di interesse economico, e per la salvaguardia delle coste dall'erosione". In Calabria, la zona di tutela biologica denominata «Area prospiciente Amantea», è stata istituita, in via sperimentale, con decreto ministeriale 18 febbraio 2004. Successivamente con Decreto ministeriale 22 gennaio 2009, la ZTB prospiciente Amantea diventa permanente.

La zona di tutela biologica "Area prospiciente Amantea" è delimitata a terra: dalla linea di costa; a mare: dalla congiungente i punti A e B individuati dalle seguenti coordinate geografiche:

A: lat. 39° 04' 55" N - long. 16° 00' 00" E; B: lat. 39° 11' 40" N - long. 16° 00' 00" E; C: lat. 39° 19' 45" N - long. 16° 06' 17" E; D: lat. 39° 08' 15" N - long. 16° 08' 60" E.

Nella zona di tutela biologica "Area prospiciente Amantea" è fatto divieto assoluto di esercitare la pesca del novellame di qualsiasi specie ed è altresì interdetta la pesca con il sistema a strascico.

2 – ATTIVITA' ANTROPICHE

Con lo scopo di fornire un quadro più aggiornato dei dati riguardanti impedimenti di varia natura, concernenti le zone di mare, si è proceduto ad un'indagine territoriale, finalizzata alla rilevazione dei dati delle ordinanze locali delle Capitanerie di Porto/Guardia Costiera della Regione emanate negli ultimi due anni. Le informazioni contenute nelle ordinanze, relative alla posizione geografica delle aree di interesse per tipologia di impedimento, sono state integrate nel GIS con gli altri tematismi, per arricchire l'assortimento di informazioni rese disponibili dall'applicazione. Nella seguente tabella si elencano i dati integrati, per creare una cartografia tematica con gli strati informativi utili per l'identificazione delle AZA:

AMBITI	CARTOGRAFIA TEMATICA	STRATI INFORMATIVI
Giuridico-amministrativi	Confini amministrativi e zone marittime	• Linea di costa • Limiti Regioni, Province, Comuni • Batimetrie • Zona traffico costiero
Difesa e sicurezza nazionale	Servitù militari e sicurezza della navigazione	• Zone di esercitazione militare • Relitti • Boe
Tutela, conservazione e servizi ecosistemici	Patrimonio culturale e paesaggistico	• Zona di interesse archeologico • Fanerogame • Coralligeno • Tipologia di substrato
Ambiente e territorio	Sviluppo costiero	• Unità geomorfologia dei litorali • Aree a rischio erosione • Territori costieri • Depositi sabbie relitte per ripascimenti • Bacini di carenaggio
	Rete idrografica	• Principali fiumi e corsi d'acqua • Lagune e stagni costieri • Estuari e delta
	Demografia	• Grado di urbanizzazione dei comuni costieri
Qualità dell'ambiente marino	Sorveglianza e prevenzione inquinamento	• Insediamenti industriali commerciali e grandi imprese di servizio pubblico e privato • SIN • Discariche e depositi di rottami
Usi del mare e attività economiche	Energia e industria	• Piattaforme MISE (Eni gas) • Condotte sottomarine • Cavi sottomarini • Insediamenti industriali
	Infrastrutture logistiche e reti di trasporto	• Aree portuali commerciali e da diporto • Aree aeroportuali ed eliporti
	Acquacoltura	• Concessioni (attive, in fase di rilascio e inattive)
	Barriere antistrascico e isole di ripopolamento	• Dissuasori • Tecnoreef
	Ricerca scientifica	• Aree marine utilizzate per attività tecnico-scientifiche e sperimentali

3 – INTERAZIONI DELL'ACQUACOLTURA CON ALTRI VINCOLI E USI DEL MARE

La potenzialità di adattamento degli impianti di acquacoltura è conseguente alla capacità di selezionare e attribuirvi le appropriate dimensioni e una corretta pianificazione nel tempo, al fine di allevare rispettando i regolamenti e le norme di conservazione, evitando o mitigando i conflitti generati dalla presenza delle numerose attività presenti in mare.
Le attività d'acquacoltura hanno interazioni spaziali e ambientali con altri usi e attività economiche del mare e possono generare esternalità negative o positive in modo diretto o indiretto. Tali interazioni possono essere:

• **Non compatibili**: per presenza di vincoli amministrativi (es. ordinanze, vincoli archeologici, etc.), vincoli ambientali (es. aree marine protette, praterie di fanerogame, habitat sensibili, etc.) e/o usi riservati (es. esercitazioni militari, zone portuali, etc.).

• **Potenzialmente compatibili**: per presenza di usi prioritari preesistenti (es. turistico-ricreativo, pesca professionale) e/o aree di interesse naturalistico e paesaggistico che possono coesistere con l'acquacoltura.
Ad esempio i sistemi di allevamento a basso impatto ambientale (es. molluschicoltura, acquacoltura multitrofica, piscicoltura estensiva) possono essere ospitati anche in aree naturali protette (es. Siti Natura 2000).

• **Compatibili:** per assenza di vincoli e altri usi. Le caratteristiche ambientali e gli usi del mare che già insistono nell'area sono compatibili con le attività di acquacoltura e possono coesistere e generare esternalità positive e benefici ambientali.
È inoltre previsto che ad ogni vincolo e uso sia associata una distanza di rispetto da considerare come area buffer, per ridurre i potenziali impatti negativi di un sito d'acquacoltura sull'ambiente e viceversa.
La distanza di rispetto dipende dal tipo di vincolo e di uso. In alcuni casi le interazioni sono solo di tipo spaziale, in altri casi devono essere considerate altre possibili interazioni ambientali dirette e indirette.
Ad esempio le distanze di rispetto da foci fluviali, scarichi urbani, porti e aree industrializzate, sono da considerare come "distanze di sicurezza" ai fini della qualità ambientale e igienico sanitaria delle aree di produzione e dei prodotti d'acquacoltura.
Le distanze di rispetto sono generalmente stabilite sulla base di ordinanze specifiche o, in assenza di normativa, secondo un approccio precauzionale basato su studi scientifici e il giudizio esperto.
Nella seguente tabella si riportano i principali vincoli e usi non compatibili con attività d'acquacoltura e relative distanze di rispetto:

VINCOLI E USI NON COMPATIBILI	DISTANZE DI RISPETTO (m)	
	Piscicoltura	Molluschicoltura
Linea di costa	1000	500
Aree Marine Protette (AMP)*	1000	500
Habitat e specie protette (es. fanerogame/coralligeno) **	1000	500
Foci fiumi***	1000	1000
Reflui urbani	500	500
Aree ad elevato rischio ambientale	1000	1000
Siti di interesse Nazionale (SIN)	1000	1000
Insediamenti industriali	1000	1000
Piattaforme estrattive in uso	500	500
Porti	500	1000
Servitù militari	500	500
Rotte marittime	200	200
Condotte e cavi sottomarini	500	500
Relitti	500	500
Siti archeologici	500	500
Campi boe	500	500
Ordigni inesplosi	500	500
Unità dissuasive pesca a strascico	500	500
Barriere costiere	500	500
Aree prelievo acque per spegnimento incendi	500	500
Zone scarico materiali (dumping area)	1000	1000
Depositi sabbie relitte per ripascimenti	500	500

* Dal confine esterno della "zona C" di un'Area Marina Protetta
** Da valutare caso per caso in funzione della biomassa allevata e dell'idrodinamismo della zona
***Da valutare caso per caso in funzione della portata e dell'idrodinamismo della zona ^ Categorie di cui al D.Lgs. 169/2016

Le distanze di rispetto sono generalmente stabilite sulla base di ordinanze specifiche o, in assenza di normativa, secondo un approccio precauzionale basato su studi scientifici e il giudizio esperto, in fase di selezione del sito. Per determinati vincoli e usi, sono stati già stabiliti dei limiti (es. spazi di restrizione, aree di rispetto), inseriti come prescrizioni nelle delibere di concessioni di aree demaniali marittime per la realizzazione di nuovi impianti di acquacoltura, dove le distanze di rispetto possono essere adattate a seguito del parere di VIA o di VIncA o altri fattori sito-specifici.

4 – ZONE E USI POTENZIALMENTE COMPATIBILI CON LE ATTIVITA' DI ACQUACOLTURA

Come evidenziato nel paragrafo 3, molteplici sono gli aspetti da considerare nel percorso per l'identificazione delle zone più idonee per lo sviluppo dell'acquacoltura.
Nell'individuazione delle zone devono essere valutati l'uso complementare e competitivo di spazi e risorse ambientali con altri utilizzatori nel mare e nelle acque interne e l'individuazione di eventuali conflitti.
Dal punto di vista economico, devono essere considerati i possibili usi alternativi dello spazio e dell'acqua rispetto all'uso per l'acquacoltura, i servizi ecosistemici resi, e la disponibilità di servizi e logistica per lo sviluppo di attività d'acquacoltura a livello locale.
Lo sforzo di raggiungere obiettivi multipli simultaneamente e di integrare i diversi settori che operano in un'area e/o gestiscono un'area richiede l'adozione di un approccio integrato che include le diverse componenti della sostenibilità, ovvero un approccio ecosistemico per lo sviluppo dell'acquacoltura (EAA).
Il prodotto atteso della fase di analisi iniziale consiste nelle mappe dei vincoli, degli usi potenzialmente compatibili con le attività di acquacoltura e delle aree marine libere che possono ospitare attività di acquacoltura nell'area di studio e riassunti nella seguente tabella:

ZONE E USI POTENZIALMENTE COMPATIBILI
Siti Natura 2000 (SIC, ZSC, ZPS)
Aree Ramsar - Zone Umide di Importanza Internazionale
Zone di tutela biologica (ZTB)
Aree importanti per l'avifauna (IBA)
Altre zone militari
Piattaforme estrattive dismesse
Aree di ricerca in concessione per estrazione energetica
Impianti eolici off-shore
Nautica da diporto e pesca sportiva
Aree di pesca professionale
Banchi naturali di molluschi bivalvi, echinodermi, tunicati e gasteropodi
Zone di sosta
Insediamenti turistico ricreativi
Altre zone di acquacoltura

Le aree destinate allo sviluppo dell'acquacoltura (AZA) saranno designate considerando le caratteristiche di idoneità spaziale e ambientale, nonché i vincoli e gli utilizzi rilevanti. Si terrà conto di ulteriori informazioni che potrebbero determinare l'esclusione di determinate zone marine, mentre altre saranno classificate come "idonee" in base alle loro caratteristiche ambientali, logistiche e amministrative, in particolar modo considera:

• **Parametri oceanografici**: la batimetria, le correnti e l'altezza delle onde influenzano l'entità degli impatti, la resistenza delle strutture, gli aspetti gestionali ed operativi.

• **Parametri ambientali**: quelli chimici, chimico-fisici, biogeochimici, determinano la qualità delle aree di allevamento, la crescita e la salute degli organismi allevati.

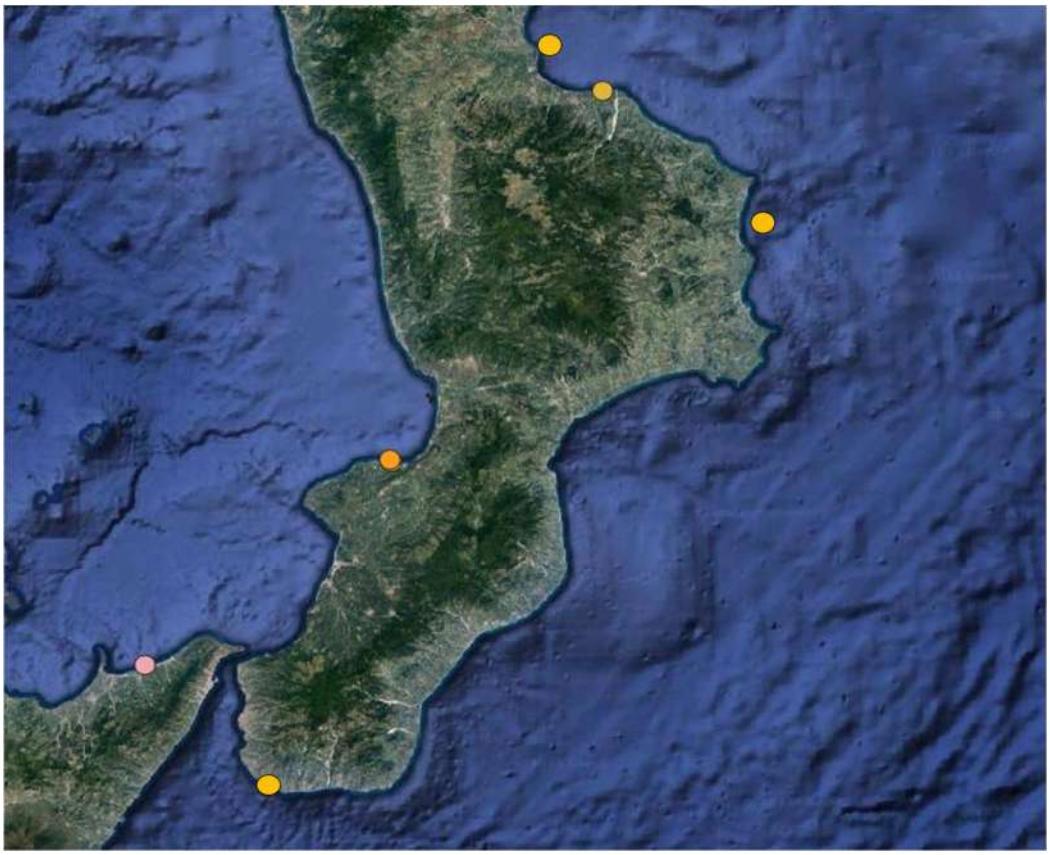
• **Parametri logistici:** la distanza dalla costa e da strutture portuali, logistica a terra e comunicazioni sono importanti ai fini di un'ottimizzazione delle operazioni, dell'efficienza energetica e per la riduzione dei costi di gestione.

5 – INDICAZIONE DI MASSIMA DELLE ZONE IN CUI L'ATTIVITA' DI ACQUACOLTURA INTENSIVA DEVE ESSERE ESCLUSA

A meno che la ricerca dimostri che le caratteristiche dello specchio d'acqua considerato possano garantire in generale una mitigazione dell'impatto, è necessario conformarsi alle seguenti condizioni:

- Impianti di acquacoltura: si deve evitare di collocare nuovi impianti di acquacoltura in specchi marini di fronte a spiagge o in altri luoghi di notevole importanza turistica a una distanza inferiore a 1 km dalla linea di costa. Inoltre, è opportuno evitare di posizionare impianti di piscicoltura a meno di 1 km da altri impianti di acquacoltura. Per quanto riguarda i nuovi impianti di molluschicoltura, è essenziale disporli a una distanza di almeno 300 metri da altri impianti simili e di almeno 1 km da impianti di piscicoltura.
- Nel contesto marino, i prati e le praterie delle fanerogame marine (come *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*), il coralligeno e i fondali di maërl sono estremamente sensibili alla torbidità dell'acqua, un fattore che interferisce con i processi fotosintetici e può causare regressione dell'habitat. Pertanto, è fondamentale evitare che attività di allevamento intensivo siano localizzate in siti che ospitano tali habitat. Questa attenzione è giustificata anche dal fatto che tali habitat sono protetti a livello comunitario dalla Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e sono classificati secondo la direttiva come segue: habitat 1120* (Praterie di *Posidonia oceanica*), 1110* (Banchi di sabbia a debole copertura permanente di acqua marina con *Cymodocea nodosa* e fondi di maërl) e 1170* (scogliere di coralligeno). È inoltre necessario stabilire una distanza di sicurezza da tali siti.
- In ambito lagunare si devono tenere in considerazione le possibili interferenze sull'habitat comunitario e prioritario 1150* "Lagune costiere" e altri eventuali habitat a causa del possibile manifestarsi di processi di eutrofizzazione che determinano alterazioni strutturali e funzionali nelle comunità biotiche dell'ecosistema.
- La presenza delle foci dei corsi d'acqua rappresenta un punto di attenzione per il posizionamento di impianti di acquacoltura a causa della portata d'acqua dolce, dell'interazione con le correnti marine e del materiale trasportato, nonché del possibile apporto di sostanze inquinanti.
- Presenza di condotte: gli impianti di acquacoltura (in particolare molluschicoltura) devono essere posizionati ad una distanza sufficiente da eventuali punti di scarico a mare, al fine di evitare che il prodotto ittico possa essere interessato da acque contaminate.
- Relitti storici: le zone limitrofe a relitti storici riportati nelle carte nautiche o segnalati dalle competenti autorità sono zone interdette al posizionamento di impianti di acquacoltura.
- Zona di esercitazione militare: le zone di esercitazione militare riportati nelle carte nautiche o segnalati dalle competenti autorità sono zone interdette al posizionamento di impianti di acquacoltura.

5.1 – IMPIANTI DI ACQUACOLTURA

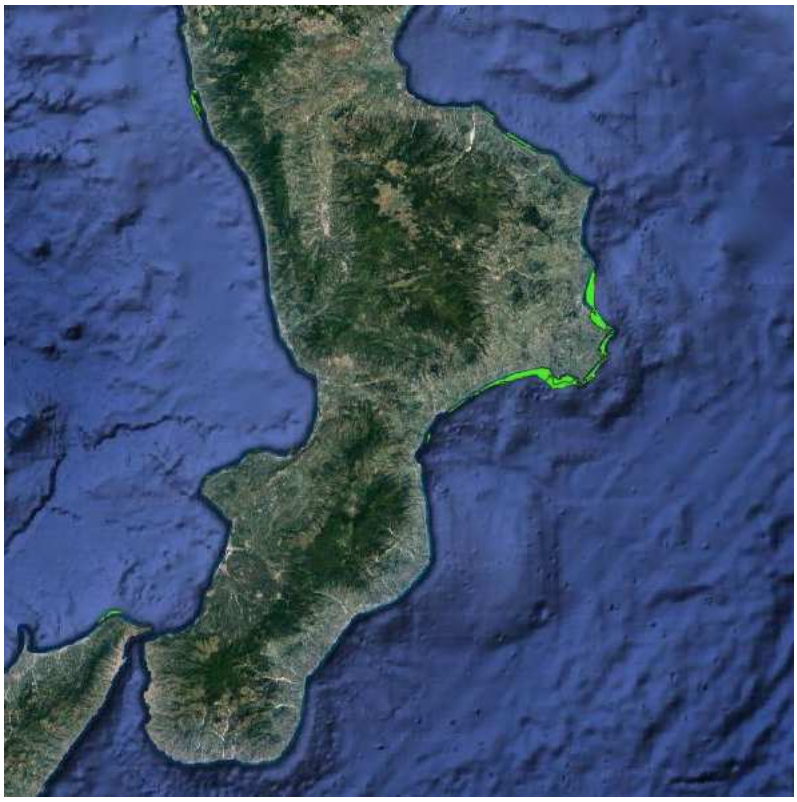


Nel processo di zonazione e identificazione di nuovi siti di acquacoltura, è necessario valutare la presenza di altri siti in concessione per l'acquacoltura (in mappa i siti di concessione presenti attualmente in Calabria), al fine di ricercare possibili sinergie (es. acquacoltura multitrofica) e ridurre le interazioni e i rischi di biosicurezza e di cumulo degli impatti ambientali, quando non sono rispettate le distanze di sicurezza tra i siti di produzione.

Si sconsiglia di realizzare impianti di acquacoltura ad una distanza inferiore ad 4 km da altre aree comprendenti impianti di allevamento ittico in gabbia o in mare. Tale divieto scaturisce dalla necessità di evitare un effetto cumulativo dell'impatto, quindi un'amplificazione dell'effetto finale; si considera ciò anche al fine di limitare il diffondersi di patologie, la trasmissione di epizoozie.

Si evidenzia che tale distanza può variare in base al livello di produzione degli impianti interessati e alla tipologia di specie trattate.

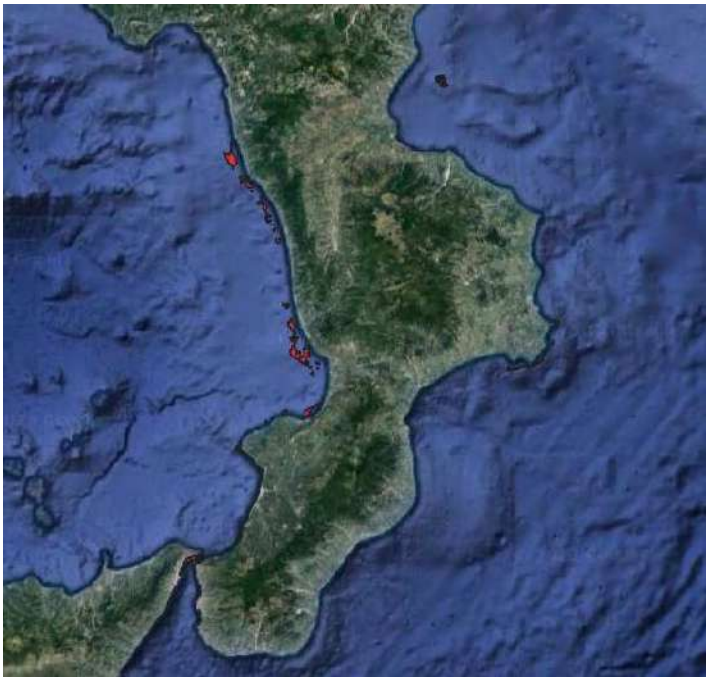
5.2 – FANEROGAME MARINE: LA *POSIDONIA OCEANICA*



La *Posidonia oceanica* rappresenta una fanerogama marina, una pianta superiore e non un'alga, che cresce lungo le coste del Mar Mediterraneo. Le praterie di *Posidonia oceanica*, con una biomassa vegetale media annuale di circa 38 tonnellate di peso secco per ettaro, costituiscono le concentrazioni più significative di materia vivente nel Mediterraneo. Queste praterie svolgono un ruolo cruciale nella stabilità dei fondali marini e delle coste, come dimostrato dagli effetti a catena che possono derivare dalla loro scomparsa, come l'instabilità e l'escavazione dei fondali, l'erosione o il deposito di sabbia sulle spiagge, e la sedimentazione nei porti.
La *Posidonia oceanica* è una specie protetta, essendo inserita nell'allegato IV della Direttiva Habitat 92/43/CEE, come habitat prioritario, (recepita in Italia con DPR 357/97) ed inclusa nell'Allegato 2 del "Protocollo sulle Aree Specialmente Protette e la Diversità Biologica del Mediterraneo" (Protocollo ASPIM23) adottato alla Convenzione di Barcellona, ratificato dall'Italia con la Legge 175, del 27/05/9924.
La *Posidonia oceanica* è un ecosistema particolarmente sensibile alla pressione antropica, al silting di sostanza organica ed alla torbidità dell'acqua e, ritenendo che un impianto di acquacoltura può avere un raggio medio di dispersione di materia organica di 500 metri, in applicazione del principio di precauzione, si ritiene opportuno che venga realizzata attività di acquacoltura ad una distanza di rispetto da insediamenti di *Posidonia* non inferiore ad 1 km; in alcuni casi può anche essere

necessario mantenersi ad una distanza di 2 km a seconda delle caratteristiche del posidonieto, correnti, etc.
Le cartografie prodotte dal "GIS Natura" (Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio, 2005) hanno evidenziato circa 30 praterie lungo la costa calabra, dalla batimetria di 1 metro fino a circa 30 metri di profondità. Per la provincia di Cosenza, sono state individuate 6 praterie lungo la costa tirrenica, in località come l'Isola di Dino, San Nicola Arcella, Isolotto di Cirella e Belvedere Marittima, mentre sulla costa ionica sono presenti 2 praterie presso Cariati e San Giacomo "La Torre".
Nella provincia di Vibo Valentia, sono state censite 4 praterie di *Posidonia oceanica*. Tre di queste si trovano nei pressi di Briatico, rispettivamente nei siti Torre Briatico, Torre Briatico Est e Torre Briatico Ovest, mentre una è localizzata vicino a Capo Vaticano. Tutte queste praterie presentano una distribuzione a chiazze.
La provincia di Crotone vanta complessivamente 7 praterie censite, situate nei pressi di Le Castella, Capo Rizzuto Sud e Nord, Capo Cimiti, Torre di Capo Colonna Sud e Nord. Tutte le praterie ricadono nell'Area Marina Protetta di Capo Rizzuto e, ad eccezione di quelle a Capo Colonna Sud e Nord, mostrano una distribuzione continua.
Nella provincia di Reggio Calabria, sono state localizzate 11 praterie di *Posidonia oceanica* a Scilla Nord, Scilla, Aeroporto Ravagnese, Capo dell'Armi Nord, Melito Porto Salvo Est ed Ovest, Palizzi, Capo Spartivento, Brancaleone Nord, Capo Bruzzano Sud e Capo Bruzzano Nord. Dallo studio macrostrutturale risulta che le uniche praterie che hanno mostrato una struttura continua sono quella di Scilla, Capo Spartivento e Nord Brancaleone.
Nuovi allevamenti dovranno essere situati ad una distanza tale da non provocare impatti significativi su tali habitat.

5.3 – CORALLIGENO



Tra gli ambienti considerati più vulnerabili del Mediterraneo ci sono i coralligeni e i letti di mäerl. Definiti anche "biocostruzioni" perché trattasi di paesaggi sottomarini, tipici del Mar Mediterraneo, che si originano grazie all'attività di costruzione di alghe e/o animali che sono in grado di creare strutture dure che forniscono, successivamente, substrato per numerose altre specie. La complessità e l'eterogeneità spaziale delle formazioni coralligene forniscono, inoltre, una rilevante disponibilità di anfratti riparati e siti per la deposizione delle uova, oltre che di cibo, che attirano diverse specie di pesci, molluschi e crostacei.

Per tale ragione, le formazioni coralligene rivestono un'enorme importanza ecologica essendo caratterizzati da diversificata ricchezza di habitat e un'elevata diversità in specie, tanto da essere considerati, con le praterie di *Posidonia*, l'hotspot di biodiversità più importante del Mediterraneo. Questi ambienti sono particolarmente vulnerabili alle attività umane: la pesca a strascico, in particolare, è causa del degrado di vaste aree di coralligeno. Questa attività provoca in maniera diretta un danno meccanico dovuto all'abbattimento della biostruttura, con conseguente danneggiamento sugli organismi che la colonizzano e in maniera indiretta sull'influenza negativa della produzione fotosintetica delle alghe erette e incrostanti, con conseguente aumento della torbidità e dei tassi di sedimentazione dovute alle attività di strascico.

5.4 – SITI ARCHEOLOGICI E STORICO-CULTURALI

Non è opportuno realizzare impianti di acquacoltura in siti archeologici e storico-culturali sommersi e ad una distanza inferiore ad 1 Km dai confini dell'area o del relitto. Tali siti sono consultabili sulle carte nautiche o segnalati dalle capitanerie di Porto. Questo tipo di interdizione si rende necessaria nell'interesse di salvaguardare il patrimonio archeologico e storico-culturale regionale. A tal fine si valuterebbero gli impatti diretti e indiretti dell'impianto. Secondo l'attuale tendenza, enfatizzata dalle raccomandazioni UNESCO in via di ratifica, si ritiene opportuno mantenere in situ i reperti archeologici sommersi e deve essere cura della collettività la loro tutela e la loro conservazione. Gli impianti di acquacoltura, attraverso l'apporto di nutrienti e silting di sostanza organica possono pregiudicare fortemente la conservazione dei relitti e dei reperti sia per azione diretta della sostanza organica che per azione indiretta attraverso arricchimento trofico del sedimento e dell'acqua. La distanza di 1 km si ritiene ottimale in applicazione dell'approccio precauzionale, anche se distanze maggiori possono essere valutate a seconda delle caratteristiche ambientali dell'area occupata dall'impianto (basso idrodinamismo, correnti, tipologia di fondale, etc.) o per aree archeologiche particolarmente estese e/o sensibili.

5.5 – DISTANZA DA INSEDIAMENTI URBANI E AREE A VOCAZIONE TURISTICA

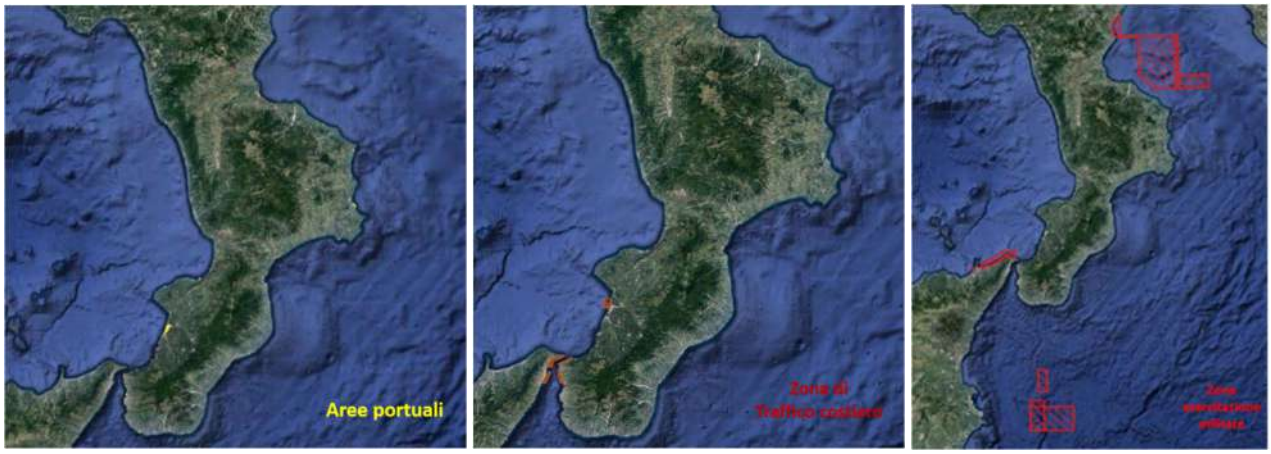
Gli impianti di acquacoltura non possono essere realizzati ad una distanza inferiore a 3 Km dagli insediamenti urbani e da aree a vocazione turistica. Tale disposizione, in riferimento alle norme igienico-sanitarie, ha lo scopo di evitare la possibilità di contaminazione del prodotto allevato e di bioaccumulo di contaminanti in traccia e, di evitare che nell'ambiente si produca un effetto cumulativo dovuto alle diverse tipologie di impatti (es. reflui urbani e sostanze dell'impianto di allevamento). Inoltre, in questo modo si prevede di tutelare i fruitori turistici dell'area, di contenere gli effetti sulla fruizione del litorale interessato e di ridurre i conflitti sulla fascia costiera.
Lo stesso vale per insediamenti agricoli e zootecnici per la presenza di inquinanti provenienti da questi. Riguardo le aree a vocazione turistica il proponente dovrà tenere conto, quindi, nella scelta della localizzazione dell'impianto, delle zone costiere di alta, media e bassa valenza turistica individuate ai sensi del D.A. n. 163/GAB del 23 ottobre 2008, emanato dall'Assessorato Territorio e Ambiente di concerto con l'Assessorato per il Turismo, le Comunicazioni e i Trasporti, in riferimento alla L.R. n.15/200527.

5.6 – INSEDIAMENTI INDUSTRIALI

Non è possibile realizzare impianti di maricoltura ad una distanza inferiore a 5 km dal perimetro di poli industriali (ASI, Aree di Sviluppo Industriale). Anche in questo caso si tratta di una misura precauzionale, in riferimento alle norme igienico-sanitarie, ai sensi della direttiva 2006/88/CE, che tratta disposizioni per le specie animali d'acquacoltura laddove le condizioni ambientali possono pregiudicare lo stato sanitario di tali specie. Tali misure consentirebbero di evitare la possibilità di contaminazione del prodotto allevato da agenti chimici. Allo stesso tempo si tutela l'ambiente al fine di evitare un effetto cumulativo tra impatto industriale ed impatto dell'allevamento. Tale distanza potrà essere aumentata in casi di inquinamento grave e conclamato e in dipendenza delle correnti.

Si ritiene opportuno inoltre, in via precauzionale, considerare una distanza di 5 km da centrali termoelettriche sulla costa, cave estrattive, metanodotti e piattaforme estrattive allo scopo di evitare, la contaminazione del prodotto ittico allevato ed evitare l'amplificazione degli effetti dell'impatto.

5.7 – NAVIGAZIONE MARITTIMA E AREE PORTUALI



È vietato il posizionamento di impianti di acquacoltura negli specchi acquei designati alle zone di esercitazione militare, nonché quelli designati per le rotte marittime, comprese le aree portuali ad ampio traffico e ad elevato livello di contaminazione, con il rispetto di una distanza non inferiore a 3 km. È necessario che gli impianti di acquacoltura rispettino una distanza minima dai porti per ragioni di sicurezza della navigazione e di consumi energetici. Particolari distanze di rispetto sono stabilite, caso per caso, dalle AC in considerazione della rilevanza e delle diverse categorie di porti:

• Porti finalizzati alla difesa militare e alla sicurezza dello Stato (Cat. I).

• Porti commerciali di rilevanza internazionale o nazionali costituenti nodi delle grandi reti dei trasporti e della navigazione (Cat. II).

• Porti di rilevanza interregionale e regionale nei quali le Regioni esercitano funzioni gestorie (Cat. III).

La presenza di porti nelle vicinanze delle zone d'allevamento assicura infrastrutture logistiche e di servizio (approdo, attrezzature, magazzinaggio, servizi associati) a supporto delle attività d'acquacoltura.

5.8 – FOCI

È opportuno considerare una distanza di rispetto del raggio di 3 km da foci di fiumi e fiumare a regime torrentizio e che costituiscono corpi recettori di reflui civili e industriali. Tale divieto scaturisce dalla necessità di evitare l'amplificazione degli effetti dell'impatto ed impedire, in via precauzionale, la contaminazione del prodotto ittico allevato.

La realizzazione di impianti di acquacoltura nelle vicinanze delle foci dei fiumi, infatti, può presentare diversi problemi, a causa di diversi fattori:

- **Variazioni della salinità:** Le foci dei fiumi sono caratterizzate da una significativa variazione della salinità a causa della mescolanza di acqua dolce proveniente dal fiume e acqua salmastra o salata proveniente dal mare. Queste fluttuazioni possono creare ambienti instabili per le specie acquatiche coltivate, che possono essere sensibili alle variazioni della salinità.
- **Presenza di inquinanti:** Le foci dei fiumi sono spesso soggette a scarichi di inquinanti provenienti da attività industriali, agricole e urbane. Questi inquinanti possono includere sostanze chimiche nocive come metalli pesanti, pesticidi e nutrienti in eccesso. L'accumulo di tali sostanze può danneggiare la salute delle specie acquatiche coltivate e influenzare negativamente la qualità dei prodotti.
- **Maree e correnti:** Le foci dei fiumi sono spesso soggette a forti maree e correnti che possono influenzare negativamente la stabilità degli impianti di acquacoltura. Le maree possono portare a variazioni significative nei livelli dell'acqua e nelle condizioni ambientali, creando sfide nella gestione e nel controllo dell'ambiente di coltivazione.

- **Sedimentazione:** La presenza di sedimenti nei fiumi può essere un problema per gli impianti di acquacoltura. La sedimentazione e la torbidità dell'acqua possono ostacolare la penetrazione della luce solare, compromettendo la fotosintesi nelle piante acquatiche e influenzando la crescita delle specie coltivate.
- **Concorrenza con le attività di pesca:** Le foci dei fiumi sono spesso aree di pesca importante per molte comunità. L'installazione di impianti di acquacoltura potrebbe creare conflitti con le attività di pesca tradizionali, portando a tensioni sociali e economiche.

5.9 – AREE SENSIBILI

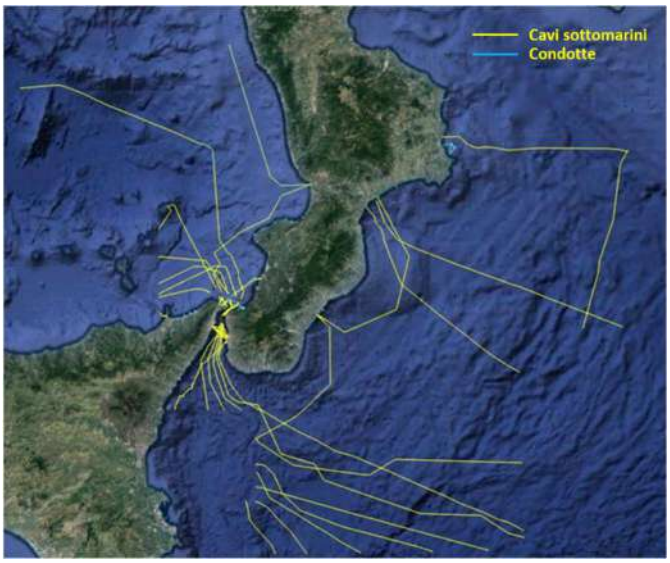
Dovrà essere rispettata l'eventuale regolamentazione esistente nell'area, che può comportare il divieto di posizionamento degli impianti, inerente la presenza di condotte di scarico (di impianti di depurazione e non (3 km dal pennello), condotte sottomarine, di aree interdette alla pesca, aree soggette a vincoli paesaggistici decretati, barriere artificiali per il ripopolamento, vicinanza con impianti eolici off-shore, etc.

In tal caso si dovrà rispettare la distanza di sicurezza opportuna, dipendente dalla tipologia dell'opera o del vincolo.

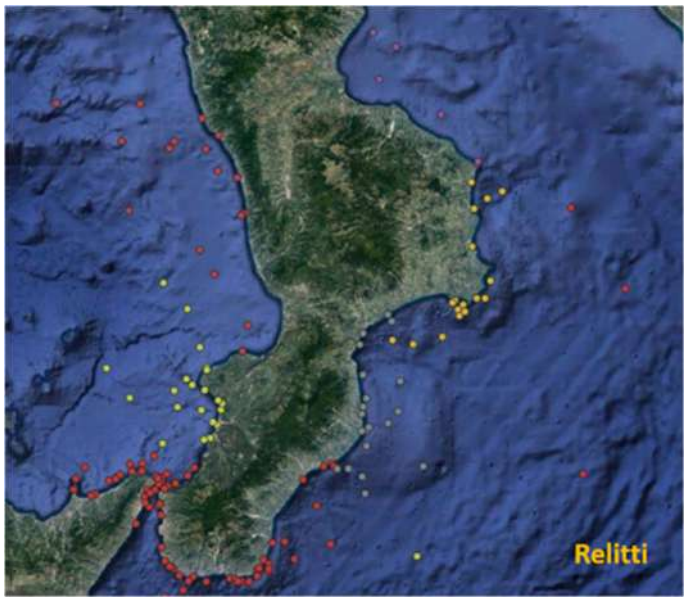
Dovranno essere considerate le biocenosi bentoniche interessate, il sedimento.

Queste componenti, infatti, possono risentire, non solo del materiale vario (cataboliti, resti alimentari, sostanze di rifiuto) che si deposita sui fondali, ma anche delle strutture di ancoraggio al fondo, modificando soprattutto le comunità del macrobenthos e del meiobenthos.

La tipologia e l'intensità dell'impatto è dipendente dalle caratteristiche tecniche delle strutture di ancoraggio e dalle specie bentoniche che popolano i fondali, per cui si deve evitare di arrecare un danno a specie di elevato pregio ecologico.



5.9.1 – RELITTI



La scelta di posizionare impianti di acquacoltura in prossimità di relitti marini può essere ostacolata da diverse ragioni, tra cui le seguenti:

- **Inquinamento residuo**: I relitti marini, specialmente quelli di navi affondate, possono contenere sostanze inquinanti come oli, metalli pesanti e altre sostanze chimiche dannose. La presenza di tali inquinanti può compromettere la qualità dell'acqua circostante e contaminare i pesci coltivati nell'acquacoltura, rendendo i prodotti non sicuri per il consumo umano.
- **Impatto sulla struttura dell'impianto**: I relitti possono costituire un ostacolo fisico per la costruzione e la gestione degli impianti di acquacoltura.
  Le strutture sommerse possono rappresentare un rischio di danni agli impianti, ai sistemi di ancoraggio e alle reti, aumentando i costi di manutenzione e diminuendo l'efficienza complessiva dell'acquacoltura.
- **Rischi di collisione**: La presenza di relitti potrebbe aumentare il rischio di collisioni con navi o attrezzature da pesca, causando danni sia agli impianti di acquacoltura che ai relitti stessi. Questo potrebbe comportare perdite economiche e danni ambientali significativi.
- **Alterazione degli habitat naturali**: I relitti marini spesso forniscono habitat unici e importanti per la vita marina. L'installazione di impianti di acquacoltura vicino a tali relitti potrebbe disturbare gli ecosistemi locali, influenzando negativamente la biodiversità e le dinamiche ambientali.
- **Rischi di sicurezza:** La presenza di relitti può rappresentare un rischio per la sicurezza delle operazioni di acquacoltura. La navigazione nelle vicinanze di relitti può essere pericolosa per le imbarcazioni coinvolte nelle operazioni di gestione degli impianti di acquacoltura.

6 – AREE POTENZIALMENTE IDONEE ALL'ATTIVITA' DI ACQUACOLTURA

❖ *Aree indicate per effettuare attività di acquicoltura*

Sono aree senza impedimenti normativi, senza ostacoli paesaggistici, ne caratterizzate da particolare sensibilità ambientale per cui è possibile localizzare gli impianti di acquacoltura senza particolari prescrizioni. In particolare, le aree ottimali per la localizzazione degli impianti, sono aree prive di vincoli e che presentano caratteristiche ambientali, socio-economiche e logistiche che possono favorire il successo di questa attività. Punti di forza sono rappresentati dalla vicinanza a porti di servizio (rispettato il limite di 3 km), a mercati ittici, a servizi veterinari e sanitari e a centri di ricerca. Si sottolinea, comunque, che la scelta di ogni sito dovrà essere sottoposta ad un'indagine e che il posizionamento dovrà considerare l'interazione tra le caratteristiche dell'impianto (tipologia di allevamento, specie allevata, dimensione dell'impianto) e le caratteristiche ecologiche, capacità di carico del sito interessato, ecc.

❖ *Aree dove l'attività di acquicoltura è possibile con particolari prescrizioni*

Sono aree senza impedimenti normativi che impediscano la realizzazione di impianti di acquacoltura, ma a causa di particolare sensibilità ambientale, caratteristiche idrologiche e rilevanza socio-economica per altre attività, richiedono specifiche prescrizioni per minimizzare gli impatti.

- In aree a flusso turistico moderato o con attività turistica in via di sviluppo è possibile realizzare esclusivamente impianti di acquacoltura a bassa produzione.
- In aree sensibili, per la presenza di specie a rischio, specie marine protette, specie o habitat sottoposti a conservazione, riportati nella direttiva Habitat (es. il coralligeno), specie sottoposte a protezione figuranti nell'elenco stilato dalla Convenzione sul commercio internazionale delle specie di flora e fauna selvatiche minacciate di estinzione (CITES), è possibile realizzare esclusivamente impianti di maricoltura a bassa produzione.
- In ambienti a basso idrodinamismo quali piccoli golfi, baie, insenature essendo ridotto il turnover di sostanze organiche nella colonna d'acqua e nel sedimento, allo scopo di ridurre gli accumuli e minimizzare gli impatti è possibile realizzare impianti di acquacoltura a bassa e media produzione in relazione alle singole specificità.

7 – CARTOGRAFIA - LOCALIZZAZIONE DELLE AREE ROSSE

L'organizzazione e l'elaborazione dei vari strati informativi tematici ha permesso di predisporre la cartografia opportuna, riportante le aree non idonee per l'acquacoltura, che permettono di evidenziare le aree potenzialmente idonee.
Si sottolinea che la cartografia deve essere considerata un riferimento, riportando le informazioni a livello regionale, basandosi su studi bibliografici, dati raccolti a differenti scale, elementi attualmente cartografabili e, considerando la dinamicità dell'ambiente e delle attività antropiche, per cui si sottolinea la necessità di effettuare, per ciascun caso, studi di maggiore dettaglio inerenti il sito dell'impianto. Ciò vale per tutti i tematismi e criteri trattati.
Il procedimento di raccolta e messa a sistema dei dati ha coinvolto l'esplorazione dei database spaziali già esistenti e liberamente accessibili, altri dati sono stati concessi da enti di ricerca e alcuni dalle Capitanerie di Porto/Guardia Costiera presenti sulla costa calabrese.
L'elaborazione è stata effettuata mediante l'utilizzo di un Sistema Informativo Geografico (GIS, Geographical Information System), grazie all'utilizzo del software QGIS 3.32 (© Lima), con il quale sono stati creati dei file vettoriali con sistema di riferimento WGS84/UTM Zone 33N.
Il processing dei layers e la creazione dei buffers intorno ai layers, di natura vettoriale, sono stati creati con lo strumento di Geoprocessing denominato "Buffer".
In primo luogo è stata proposta una distanza di rispetto (buffer) dalla linea di costa di 500 m, per la molluschicoltura e di 1000 m per la piscicoltura.
Successivamente, sono state identificare tutte le aree protette (totalmente marini, parzialmente marini e costieri) e le biocenosi di interesse conservazionistico, quali le biocenosi di coralligeno e le praterie di fanerogame. Considerando che questi habitat sono ecosistemi particolarmente sensibili alla pressione antropica, al silting di sostanza organica e alla torbidità dell'acqua, in applicazione del principio di precauzione, si è ritenuto opportuno prevedere l'attività di acquacoltura ad una distanza di rispetto non inferiore a 500 m per la molluschicoltura e di 1000 m per la pescicoltura.
In alcuni casi può anche essere necessario mantenersi ad una distanza maggiore a seconda delle caratteristiche intrinseche del sito (come ad esempio nelle AMP).
Per tutte le aree di interesse archeologico e turistico (siti archeologici, relitti e siti d'immersione), è stata utilizzata una distanza di rispetto di almeno 500 m, sia per la piscicoltura che per la molluschicoltura, ritenuta ottimale in applicazione dell'approccio precauzionale, anche se distanze maggiori possono essere valutate a seconda delle caratteristiche ambientali dell'area occupata dall'impianto (basso idrodinamismo, correnti, tipologia di fondale, ecc.) o per aree archeologiche particolarmente estese e/o sensibili.
Nei Siti di Interesse Nazionale (SIN), nelle aree delle foci dei fiumi e degli insediamenti industriali è stata considerata una distanza di rispetto di almeno 1000 m, sia per la piscicoltura che la molluschicoltura.
Per le aree interessate dalla presenza di traffico costiero (turistiche e/o commerciali), è stato preso in considerazione un buffer di 500 m, sia per la piscicoltura che per la molluschicoltura.
Anche per le zone prossime ad aree regolamentate (es. le aree di esercitazione militare e le aree con divieti), infrastrutture (es. barriere costiere, siti di ormeggio e ancoraggio, unità dissuasive, tecnoreef, campi boe) e aree dove il fondale viene utilizzato per impianti sottomarini (es. condotte

e cavi sottomarini e piattaforme estrattive in uso (MISE), è stata utilizzata una distanza di rispetto di 500 m.
Sono stati inoltre individuati i porti, con una superficie maggiore di 2 ha, ai quali è stato applicato un buffer di 500 m per la molluschicoltura e 1000 m per la piscicoltura.
Sebbene la prossimità ad un porto sia un fattore favorevole per il funzionamento di un impianto, si deve considerare l'intralcio che questo potrebbe comportare alle attività portuali come ad esempio il traffico marittimo.
La produzione dei buffers ha portato alla trasformazione in dati vettoriali di tutti i layers rappresentanti dei vincoli. Successivamente, è stata eseguita una sovrapposizione logica di tutti i buffers prodotti. In nero, sono riportati i buffer di 500 metri, mentre in rosso quelli di 1000 m (Fig. 4).

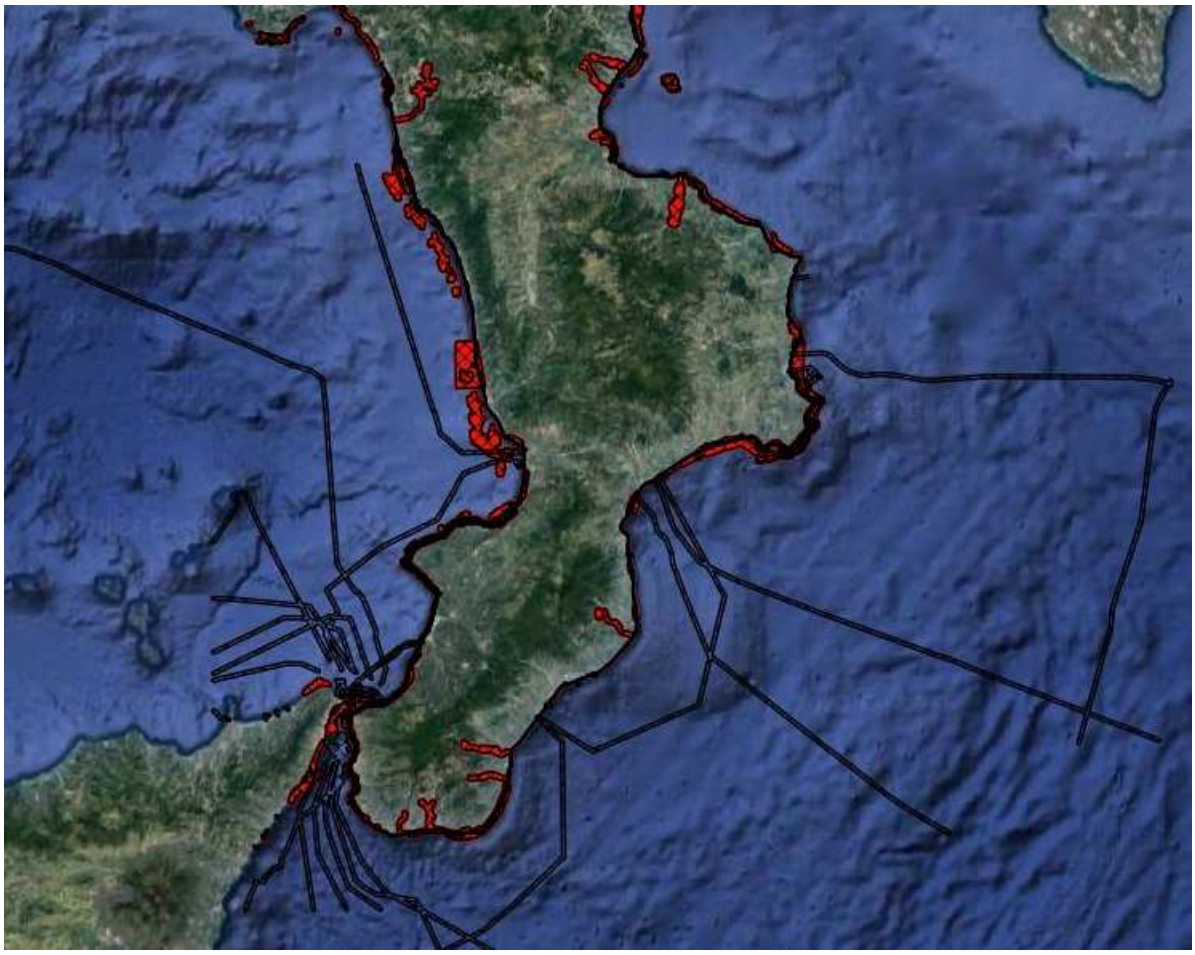


Fig.4 Zone rosse in cui dovrebbero essere escluse attività di acquacoltura

La parte di buffer ricadente sulla terraferma è stata ritagliata tramite lo strumento vettore di Geoprocessing Ritaglia o "Clip". Da queste operazioni si è ottenuto un layer rappresentante la mappa delle aree rosse, non idonee alla realizzazione degli impianti di acquacoltura e molluschicoltura su determinati tratti di costa (Fig.5).
Si ricorda che, in ogni caso l'impianto ricada in un'area potenzialmente idonea, si dovrà effettuare un'indagine sito-specifica.

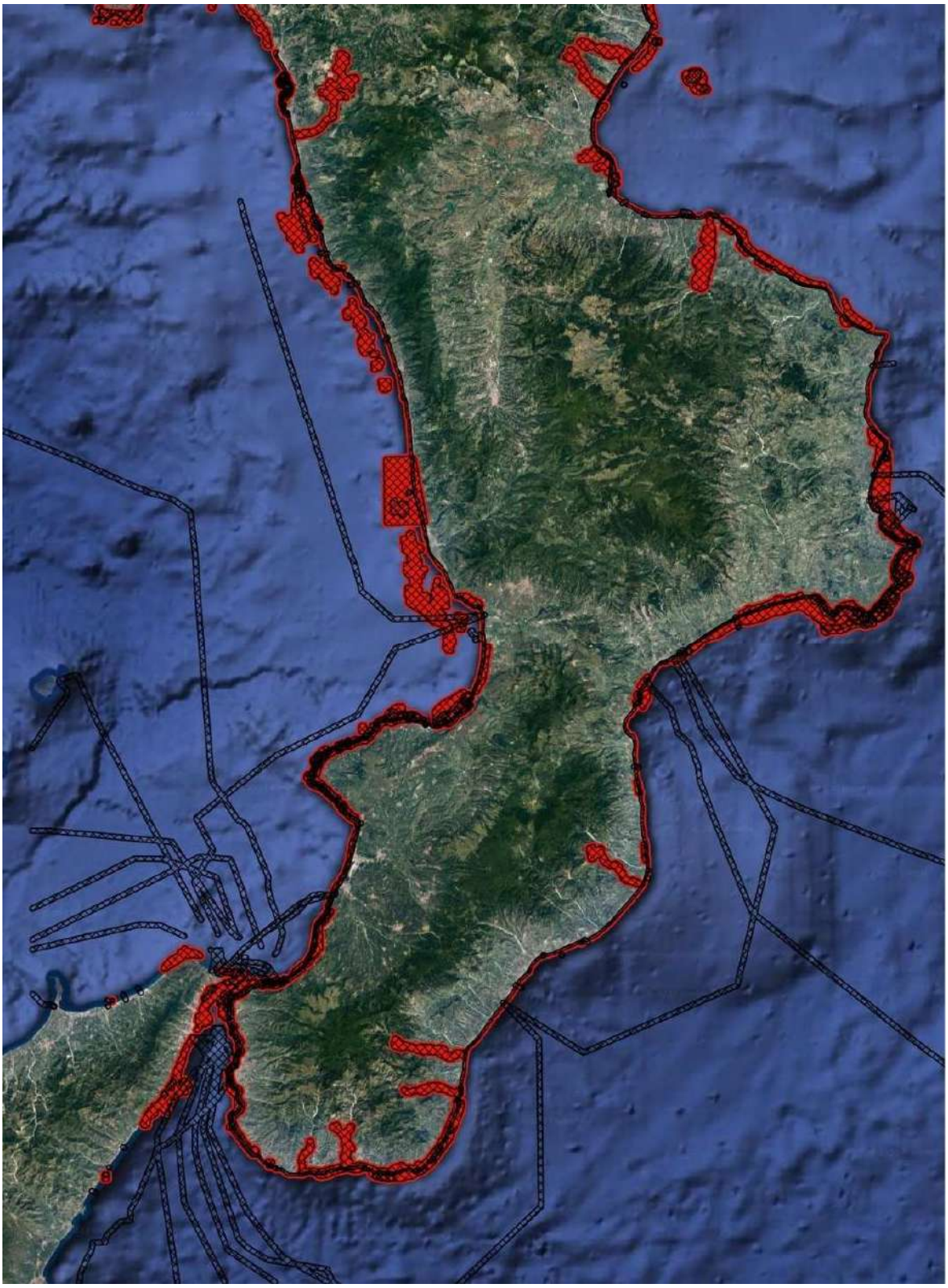


Fig.5 Mappa dei vincoli in cui sono escluse le attività di acquacoltura

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano le Capitanerie di Porto di Corigliano Calabro, Crotone, Reggio Calabria, Gioia Tauro e Vibo Valentia; la Guardia Costiera di Catanzaro, Soverato, Roccella Jonica e Maratea, per la loro preziosa collaborazione e supporto.

Un sentito ringraziamento va al Capo Ufficio Coordinamento e Standardizzazione, C.F. Andrea Ferrarini dell'Istituto Idrografico della Marina Militare di Genova per la fornitura dei dati idro-oceanografici.

Si ringrazia, infine, la dottoressa Maria Paola Campolunghi, dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) – Area BIO-AMC, per la sua preziosa collaborazione nella fornitura dei dati inerenti il coralligeno, le fanerogame e il substrato dei fondali.