



FENOMENO CAULERPA 2010-2013

*Rapporto sull'evoluzione delle specie aliene
nel Canale di Sicilia*



REGIONE SICILIANA
Assessorato Regionale delle Risorse
Agricole e Alimentari
Dipartimento Regionale degli
Interventi per la Pesca

Studio Ambientale delle aree marino costiere della Regione Sicilia interessate alle attività di pesca - Indagini ambientali dei fenomeni di diffusione di *Caulerpa taxifolia* e *Caulerpa racemosa* lungo alcuni tratti della costa siciliana: valutazione della diffusione, evoluzione spazio-temporale del fenomeno e caratterizzazione eco-tossicologica delle aree di pesca

FENOMENO CAULERPA 2010-2013

*Rapporto sull'evoluzione delle specie aliene
nel Canale di Sicilia*

Responsabile del progetto

Dott.ssa M.L. Antoci (ARPA Sicilia)

Responsabile Scientifico ISPRA

Dott. Franco Andaloro

Responsabile Scientifico CNR-IAMC

Dott. Fabio Badalamenti

AUTORI

Maria Lucia Antoci, Caterina Coppola (ARPA Sicilia - Ragusa)

Francesco Cicero, Francesca Galfo, Andrea Nicastro, Davide Campo, Marco Toccaceli, Antonino Bono (Soc. Coop. C.R.E.A.)

Franco Andaloro, Luca Castriota, Manuela Falautano, Teresa Romeo, Mauro Sinopoli, Pietro Vivona (ISPRA)

Luigi Musco, Barbara Mikac, Simone Mirto, Tomás Vega Fernández, Davide Agnetta, Carlo Pipitone, Giuseppe Di Stefano, Fabio Badalamenti (CNR)

COLLABORATORI

Con ARPA Sicilia hanno collaborato

Caterina Coppola, Armando Giglio e Giuseppa Rita Raniolo (Analisi dei macrodescrittori e clorofilla "a" spettrofotometrica)

Caterina Coppola, Raffaele Carlo Giudice, Salvatore Roccuzzo e Maria Concetta Schininà (Analisi dei microinquinanti)

Gisella Marino e Tiziana Nicoletti (Analisi Ecotossicologiche)

Francesco Cicero e Francesca Galfo della Società Cooperativa C.R.E.A. (Dati meteo marini e profili sonda delle acque - Determinazione del fitoplancton - Determinazione dello zooplancton)

Andrea Nicastro e Davide Campo della Società Cooperativa C.R.E.A. (Analisi fenologiche *Posidonia oceanica*)

Caterina Coppola, Raffaele Giudice, Francesco Cicero, Francesca Galfo (Elaborazione dati, editing ed elaborazione grafica)

Caterina Coppola, Raffaele Carlo Giudice, Salvatore Roccuzzo, Biagio Battaglia e Vincenzo Poidomani (Attività di campo)

Benedetto Sirchia, Roberto Civello, Carmelo Massari, Giuseppa Cascone, Daniela La Terra, Giovanni Laretta, Strutture amministrative della Sede Centrale di ARPA Sicilia (Altre attività)

Marilisa Vassallo, Maria Luisa Buratti, Rosalia Termerissa, Maria Pia Rosoni (Divulgazione scientifica)

Con ISPRA hanno collaborato

Davide Campo, Simonepietro Canese, Pierpaolo Consoli, Valentina Esposito, il Pelagos Diving Center e Bessy Stancanelli (Altre attività di ricerca)

Fabrizio Alaimo, Gaspare Caruso, Marica Federici, Silvestro Galtieri, Lucia Gigante, Enrico Tarulli (Supporto Tecnico e Amministrativo)

Con CNR-IAMC hanno collaborato

Enzo Incontro, Ernesto Di Pietro, Gianfranco Mazza, Massimo Moschella e Linda Pasolli dell'Area Marina Protetta "Plemmirio" (Attività di campo)

Adriana Alagna, Sabrina Lo Brutto, Maria Grazia Picciotto e Mauro Sinopoli (Altre attività di ricerca)

Presentazione	7
Prefazione	9
Premessa	11
Introduzione	13
Il progetto Caulerpa	14
Le specie studiate	16
<i>Caulerpa taxifolia</i>	16
<i>Caulerpa racemosa</i>	18
L'importanza di <i>Posidonia oceanica</i>	20
Obiettivi	21
Parte A: Indagini ambientali e rilievi sulla diffusione delle Caulerpe aliene nel Canale di Sicilia a cura di Arpa Sicilia - Ragusa	
A.1 Individuazione dei siti di campionamento	23
A.2 Attività Analitiche	33
A.3 Analisi delle pressioni Antropiche	37
A.3.1 Metodologia	37
A.3.1.1 Popolamento degli indicatori di pressioni considerati nello studio, con la descrizione del tipo di indicatore, dell'operazione eseguita per la sua indicizzazione e l'unità di misura utilizzata	39
A.3.2 Risultati sull'analisi dei dati	41
A.3.2.1 Individuazione delle categorie di rischio	41
A.3.2.2 Categorie di rischio	43
A.3.2.3 Valutazione complessiva del rischio	46
A.4 Valutazione delle condizioni ambientali nel canale di Sicilia: Stato Ecologico e Stato Chimico	48
A.4.1 Metodologia	48
A.4.2 Stabilità della colonna acqua	49
A.4.3 Stato Ecologico: Elementi di Qualità Biologica (EQB)	50
A.4.3.1 EQB Fitoplancton	50
A.4.3.2 EQB Macroalghe (Indice CarLit)	50
A.4.3.3 EQB Angiosperme: Prateria a <i>Posidonia oceanica</i> (indice PREI)	51
A.4.4 Stato Ecologico: Elementi di qualità fisico chimica, idromorfologica ed elementi chimici a sostegno	51
A.4.4.1 Stato Ecologico: Elementi di qualità fisico chimici a sostegno (Indice TRIX)	52
A.4.4.2 Elementi chimici a sostegno degli indicatori biologici	52
A.4.4.3 Stato Ecologico: classi	53
A.4.4.4 Stato Chimico	53
A.4.4.5 Confronto tra indicatori di stato e di pressione	53
A.4.4.6 Microinquinanti	55
A.5 Indagine sull'andamento spazio-temporale della distribuzione di <i>Caulerpa</i> in specifiche aree di indagine	57
A.5.1 Premessa	57
A.5.2 Aree di indagine e periodo di campionamento	57
A.5.3 Indagini in mare	59
A.5.4 Risultati per aree di indagine	60
A.5.5 Risultati	65

Parte B: **Impatto della diffusione delle Caulerpe aliene sulle attività di pesca e sul pescato a cura di ISPRA**

B.1	Revisione dei dati su <i>Caulerpa</i> e predisposizione del piano di campionamento	73
B.1.1	Materiali e Metodi	73
B.1.1.1	Raccolta e analisi bibliografica	73
B.1.1.2	Interviste agli operatori del mare	73
B.1.2	Risultati	73
B.1.2.1	Analisi bibliografica	73
B.1.2.2	Interviste agli operatori del mare	74
B.2	Campionamento e analisi dei campioni	75
B.2.1	Materiali e Metodi	75
B.2.1.1	Pesca (protocollo di campionamento, effetti della presenza di macrofite e caulerpe sull'efficacia degli attrezzi da pesca, date di campionamento, elaborazione ed analisi dei dati)	75
B.2.1.2	Rilevamento degli sbarcati commerciali	78
B.2.2	Risultati	79
B.2.2.1	Pesca (protocollo di campionamento, effetti della presenza di macrofite e caulerpe sull'efficacia degli attrezzi da pesca, date di campionamento, elaborazione ed analisi dei dati)	79
B.2.2.2	Rilevamento degli sbarcati commerciali	85
B.3	Istituzione Osservatorio delle specie aliene	89
B.3.1	Materiali e Metodi	89
B.3.2	Risultati	89

Parte C: **Studio degli effetti dell'invasione delle Caulerpe aliene sulle biocenosi costiere**

C.1	Studio dell'impatto di <i>Caulerpa taxifolia</i> var. <i>distichophylla</i> su popolamenti bentonici associati a <i>Posidonia oceanica</i>	93
C.1.1	Materiali e metodi	93
C.1.1.1	Area di studio	93
C.1.1.2	Prelievo e trattamento dei campioni di macrofauna	94
C.1.1.3	Prelievo e trattamento dei campioni di meiofauna	94
C.1.1.4	Misurazione di Eh, pH e RPD	94
C.1.1.5	Analisi statistiche	94
C.1.2	Risultati	95
C.1.2.1	Variabili ambientali	95
C.1.2.2	Macrofauna (analisi degli indici univariati)	96
C.1.2.3	Macrofauna (analisi multivariate)	99
C.1.2.4	Comunità meiobentoniche (analisi degli indici univariati)	102
C.1.2.5	Meiofauna (analisi multivariate)	106
C.1.3	Discussione	108
C.2	Studio degli effetti dell'invasione di <i>Caulerpa spp.</i> sulla rete trofica della Sicilia meridionale	109
C.2.1	Materiali e metodi	109
C.2.1.1	Area di studio e disegno di campionamento	110
C.2.1.2	Raccolta dei campioni	110
C.2.1.3	Trattamento dei campioni	111

C.2.1.4	Analisi statistica dei dati	111
C.2.2	Risultati	111
C.2.2.1	Elenco degli elementi analizzati	111
C.2.2.2	Analisi statistiche multivariate	112
C.2.2.3	Analisi dei biplot trofo-chimici	113
C.2.3	Discussione	115
C.3	Studio degli effetti dell'invasione di <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>cylindracea</i> su struttura e funzione di popolamenti macrobentonici sessili di fondo duro dell'infralitorale	115
C.3.1	Materiali e metodi	115
C.3.1.1	Area di studio	116
C.3.1.2	Approccio sperimentale	116
C.3.1.3	Manipolazione <i>in situ</i>	117
C.3.1.4	Analisi dei popolamenti bentonici	118
C.3.1.5	Analisi statistiche	119
C.3.2	Risultati	119
C.3.2.1	Analisi degli indici univariati	119
C.3.2.2	Analisi multivariate	120
C.3.3	Discussione	121

Discussione e Conclusioni generali 125

Indicazioni gestionali 127

Bibliografia 129

ARPA Sicilia svolge prioritariamente le attività di controllo e il monitoraggio della qualità dell'ambiente, al fine della sua tutela, nell'ottica della sostenibilità dello sviluppo dell'Isola.

Tali azioni si compiono per mezzo di acquisizioni di campioni, analisi, elaborazione dei dati e restituzione delle informazioni sullo stato dell'ambiente, valutandone le tendenze.

L'attenzione dell'Agenzia per il mare si manifesta attraverso la realizzazione di alcuni progetti che, nel loro insieme, oltre ad accrescere la conoscenza del suo stato di salute, hanno perseguito l'obiettivo di creare le condizioni per una osservazione continua e durevole dei fenomeni che interessano il Mar Mediterraneo e, in particolare, il canale di Sicilia.

*Uno tra questi, recentemente conclusosi, i cui risultati sono stati presentati nel riuscito convegno del novembre scorso, è l'attività di indagine ambientale sui fenomeni di diffusione di *Caulerpa* lungo le coste siciliane.*

Detti risultati sono raccolti in due volumi.

Il primo contiene la sintesi dei risultati delle indagini scientifiche svolte dalla Struttura Territoriale ARPA di Ragusa, dal CNR e da ISPRA.

Il secondo, caratterizzato dall'impiego di un linguaggio divulgativo ed accattivante, è stato realizzato con l'intento di dare continuità alle attività di sensibilizzazione già svolte durante il progetto.

Esso rappresenta anche un utile sussidio alla didattica per i docenti e per gli educatori che volessero attuare progetti di educazione ambientale inerenti il mare.

Francesco Licata di Baucina
Direttore Generale di ARPA Sicilia

L'espansione della Caulerpa è dunque in fase regressiva, rispetto alle condizioni allarmanti denunciate nel 2009.

A seguito di ricorrenti segnalazioni da parte di biologi marini e subacquei, confermate dai pescatori, sulla presenza nei fondali dell'Isola di alghe della specie Caulerpa, il Dipartimento Regionale della Pesca Mediterranea, nel 2010, ha dato avvio al progetto di ricerca con l'obiettivo di conoscere e valutare il fenomeno e determinare gli eventuali impatti sulla pesca.

Per fare ciò ha costituito con ARPA Sicilia un Partenariato istituzionale, nell'ambito del quale ha affidato all'Agenzia lo svolgimento delle indagini ambientali relative alla diffusione di Caulerpa taxifolia e Caulerpa racemosa lungo le coste siciliane.

I risultati della ricerca, svolta in collaborazione con CNR ed ISPRA, ci hanno permesso di registrare nelle aree oggetto di studio, prevalentemente le coste sud dell'isola, la tendenza a regredire del fenomeno di diffusione, rispetto all'allarme verificatosi nelle prime segnalazioni dell'alga aliena.

La partecipazione dei pescatori, facilitata dal coinvolgimento delle associazioni datoriali, è stata alta ed ha contribuito alla redazione, anche attraverso l'apporto dal basso, di un decalogo sulle buone pratiche da adottare per evitare la diffusione delle specie aliene e, più in generale, per assumere comportamenti rispettosi a tutela del mare.

Il taglio dato a questi due volumi, uno di restituzione della ricerca scientifica e l'altro mirato a continuare nelle attività di diffusione della conoscenza sul mare, rappresenta l'intento di continuare a rivolgere la nostra attenzione sul mare che tanto ci da, oltre che come risorse alimentari, anche per lo sviluppo di ipotesi di diversificazione quali ittiturismo e pescaturismo.

Dario Cartabellotta

Dirigente Generale del Dipartimento Regionale della Pesca Mediterranea

PREMESSA

Le specie non indigene (NIS) o alloctone rappresentano oggi una delle principali minacce per la biodiversità marina. Il Mediterraneo è oggi uno dei mari più invasi del mondo, sia in termini di numero di specie che di velocità.

La presenza di specie alloctone nel Mediterraneo è legata sia alla introduzione volontaria da parte dell'uomo (acquacoltura, acquariofilia, importazione di esche vive ed altri organismi) sia all'introduzione involontaria (acque di zavorra delle navi, fouling degli scafi, organismi associati in acquacoltura) a cui si aggiunge la penetrazione attraverso lo Stretto di Gibilterra ed il Canale di Suez.

Tale fenomeno è amplificato dal cambiamento climatico che favorisce l'ingresso e l'insediamento di specie ad affinità tropicale e subtropicale, come evidenziato dal rapido incremento dei ritrovamenti degli ultimi 30 anni.

A favorire l'insediamento delle NIS in Mediterraneo contribuisce anche lo stato di stress di molte popolazioni indigene soggette a varie pressioni (inquinamento, pesca, altre attività antropiche) che quindi perdono competitività.

Il rischio derivante dall'introduzione di una specie alloctona è correlato al ruolo ecologico che la stessa riveste e aumenta nel caso in cui la specie dimostri di essere invasiva nel nuovo ambiente e interagisca direttamente o indirettamente con le specie chiave della comunità indigena.

La problematica relativa all'impatto delle specie aliene sulla biodiversità, sugli ecosistemi e sull'economia delle aree investite ha rilevanza planetaria tanto che la tematica è stata enfatizzata sin dal 1992 dall'art. 8 della Convenzione sulla Diversità Biologica e più recentemente dall'art. 13 del Protocollo ASPIM (Aree Specialmente Protette in Mediterraneo) della Nuova Convenzione di Barcellona.

Inoltre, molte organizzazioni Internazionali partecipano a quella che è oggi identificata come la lotta alla minaccia delle specie aliene come ERNAIS (European Research Network on Aquatic Invasive Species), IUCN-ISSG (Invasive Species Specialist Group), RACSPA (Regional Activity Center for Specially Protected Areas) e altre.

Gli effetti delle NIS sulla biodiversità mediterranea e sull'economia delle attività a diretta fruizione del mare, prima tra tutte la pesca, sono spesso sensibili al punto che il MIPAF (Ministero Politiche Agricole e Forestali) ha costituito un gruppo sulle specie aliene in acquacoltura e il Ministero dell'Ambiente ha realizzato la banca dati sulle specie non indigene in Mediterraneo.

La risposta dell'Unione Europea alle bioinvasioni è stata negli ultimi anni incisiva e le specie aliene rientrano sia nella strategia marittima europea (MSFD_ Marine Strategy Framework Directive) che nella Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo sul Cambiamento Climatico, relativamente alla strategia dell'UE sulla biodiversità sino al 2020.

Inoltre, la rilevanza tematica e gli effetti sensibili sulla pesca hanno indotto il CGPM ([Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo](#)) della FAO ad occuparsi del problema in quanto azioni di monitoraggio, mitigazione ed adattamento del fenomeno possono ritenersi rispondenti sia al Codice di Condotta per una Pesca Responsabile (FAO 1995) che all'Approccio Precauzionale alla Pesca e all'introduzione di Specie Aliene (FAO 1996).

Queste ultime considerazioni scaturiscono dal fatto che le specie non indigene interagiscono con l'attività di pesca attraverso differenti tipi di impatto e più precisamente: competendo con specie commerciali, modificando habitat ed ecosistemi, turbando ed allarmando il mercato essendo vettori di patologie e parassitosi ed interagendo con l'attività e gli attrezzi da pesca tradizionali.

INTRODUZIONE

Con DDG n.389 dell'8.10.2009 è stata sancita la Convenzione tra il Dipartimento Pesca della Regione Siciliana e ARPA Sicilia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente - Sicilia) per la realizzazione dello *"Studio Ambientale delle aree marino costiere della Regione Sicilia interessate alle attività di pesca - Indagini ambientali su fenomeni di diffusione di Caulerpa taxifolia e Caulerpa racemosa lungo alcuni tratti della costa siciliana: valutazione della diffusione, evoluzione spazio-temporale del fenomeno e caratterizzazione eco-tossicologica delle aree di pesca"*.

Nell'ambito di tale accordo, finalizzato alla costituzione di un Partenariato Istituzionale per la tutela delle Aree Marino/Costiere delle Risorse alieutiche e delle attività connesse, la convenzione ha inteso dare risposta ai gravi disagi segnalati dal comparto della piccola pesca del Canale di Sicilia a seguito della proliferazione di un'alga alloctona del genere *Caulerpa*.

Lungo le coste meridionali della Sicilia già da una decina di anni è stata registrata la presenza di alghe non indigene del genere *Caulerpa* (*C. taxifolia* e *C. racemosa*). Tali specie sono definite invasive a causa dell'elevata capacità di colonizzazione di substrati e dispersione. L'invasività di queste specie ha determinato anche impatti sull'attività di pesca.

Le interazioni tra le due specie di *Caulerpa* e la pesca sono da ricercarsi nel fatto che in alcuni mesi dell'anno si ha un aumento in biomassa di tali alghe in funzione del loro ciclo biologico; tale aumento può ostacolare le operazioni di pesca, in particolare quella artigianale, andando ad intasare ed appesantire le reti da posta riducendone la pescabilità e rendendone difficoltoso sia il salpamento che la pulizia.

Il problema della diffusione della *Caulerpa* rientra nella problematica più ampia dell'invasione del Mediterraneo da parte di organismi animali e vegetali non indigeni (NIS).

Il fenomeno ha impatti devastanti sulla biodiversità, sugli ecosistemi e sull'economia delle aree investite, rappresentando una problematica di interesse prioritario riconosciuta sia a livello nazionale che comunitario.

Il Progetto Caulerpa

L'alga *Caulerpa*, segnalata nei mari siciliani già a partire dagli anni '90, ha visto una fase di particolare espansione tra il 2008 ed il 2009, con pesanti conseguenze per la pesca: le marinerie di Licata e di Scoglitti in quegli anni furono costrette a lunghi periodi di fermo dell'attività, a causa dell'intasamento delle reti dovuto alla presenza massiccia dell'alga che rende inutilizzabili gli attrezzi di pesca.

L'ARPA Sicilia, prima ancora che il fenomeno giungesse ai massimi livelli di allerta, ne aveva segnalato la potenziale pericolosità, infatti, nel corso dell'attività istituzionale di monitoraggio delle acque marino costiere, ampie aree dei fondali prospicienti le coste iblee risultavano ricoperte da macroalghe appartenenti al genere *Caulerpa* e specificamente di quella che sarebbe stata riconosciuta come *Caulerpa taxifolia* var. *distichophylla*.

La convenzione tra il Dipartimento della Pesca della Regione Sicilia e ARPA Sicilia, ha permesso di affrontare il problema della *Caulerpa* sotto molteplici aspetti, ovvero, la conoscenza, la ricerca, la divulgazione e la promozione di interventi finalizzati alla prevenzione e mitigazione del fenomeno.

L'area d'indagine è stata, dunque, individuata nel tratto del Canale di Sicilia compreso tra Capo Granitola e Portopalo di Capo Passero, corrispondente alle zone dove più frequentemente era stata segnalata la presenza di *Caulerpa*. Gli obiettivi primari dello studio sono stati la mappatura delle zone interessate dalla diffusione dell'alga e la definizione delle condizioni ambientali delle aree del canale di Sicilia indagate oggetto d'impatto.

Gli aspetti correlati alla ricerca degli effetti della *Caulerpa* sull'ecosistema marino sono stati curati dall'ISPRA dal CNR ed ARPA Sicilia che ha coordinato tramite la Struttura Territoriale di Ragusa l'esecuzione delle attività scientifiche di campo e di laboratorio. La ST3 Area Mare della Sede Centrale di ARPA Sicilia, ha fornito il supporto per l'esecuzione di alcune delle attività analitiche.

L'esecuzione delle indagini di campo è stata realizzata con il supporto delle Capitanerie del Comparto Marittimo di Catania e di Palermo, con cui ARPA Sicilia ha stipulato una convenzione per la gestione dei mezzi nautici dell'Agenzia, mentre le attività lungo la costa Iblea sono state svolte con i mezzi ed il personale della Protezione Civile del Comune di Ragusa che ha collaborato al progetto.

Inoltre, per le azioni previste dalla convenzione per la diffusione di comportamenti utili alla conoscenza del fenomeno ed al suo contenimento hanno collaborato sette Associazioni datoriali della pesca, (AGCI Sicilia, UNCI Sicilia, Federpesca Ricerca&Sviluppo, Confcooperative Sicilia, ANAPI, Legacoop PescaSicilia, UNICOOP Sicilia).

La prima fase del progetto ha visto l'impegno di ARPA Sicilia con l'aiuto di ISPRA nella definizione delle aree di studio, attraverso raccolta di informazioni, segnalazioni dirette degli operatori della pesca delle diverse marinerie e per mezzo di una campagna rilievi oceanografici.

Nella seconda fase ARPA Sicilia ha proceduto alla caratterizzazione ambientale delle aree oggetto d'indagine attraverso la realizzazione di 8 campagne di rilievi, con campionamenti di acque, sedimenti e misure di campo, in corrispondenza di numerosi transetti individuati lungo il Canale di Sicilia, anche in funzione della valutazione delle pressioni antropiche che insistono lungo le coste delle aree marine oggetto di ricerca ed alla stima dell'influenza che queste possono esercitare sulla diffusione della *Caulerpa*. A questa è seguita l'elaborazione e la correlazione di tutti i dati acquisiti.

Inoltre è stata effettuata un'indagine sull'andamento spazio-temporale della distribuzione

di *Caulerpa* in specifiche aree di indagine.

Parallelamente alle attività condotte da ARPA Sicilia, ISPRA ha proceduto alla valutazione dell'impatto prodotto dalla diffusione delle caulerpe alloctone sulle attività di pesca, alla ricerca dell'eventuale presenza di specie aliene ed alla valutazione dell'incidenza sulle specie autoctone con le conseguenze quali-quantitative sul pescato.

Il CNR-IAMC è stato impegnato nello studio concernente la verifica degli effetti dell'invasione di specie aliene del genere *Caulerpa* sui popolamenti bentonici della Sicilia meridionale a vari livelli. In particolare, le indagini sono state mirate a valutare gli eventuali effetti della presenza di *Caulerpa* sui pattern di distribuzione degli invertebrati bentonici di ambienti chiave da un punto di vista ecologico, a rilevare gli eventuali effetti dell'invasione sulla struttura della rete trofica del sistema analizzato e a studiare l'influenza dell'alga aliena sulle proprietà ecosistemiche fondamentali e le possibili alterazioni della struttura della comunità bentonica.

Durante questi anni di attività, la ricerca scientifica è stata affiancata da un programma d'informazione e sensibilizzazione rivolto ai pescatori ed agli operatori della pesca, realizzato dalle Associazioni datoriali della pesca (AGCI Sicilia, UNCI Sicilia, Federpesca Ricerca&Sviluppo, Confcooperative Sicilia, ANAPI, Legacoop PescaSicilia, UNICOOP Sicilia) coinvolte nel progetto, attraverso incontri presso le diverse marinerie, la diffusione di depliant informativi e la somministrazione di schede di rilevazione. Ciò ha permesso di divulgare nel mondo della pesca i pericoli correlati alla diffusione di *Caulerpa*, le buone prassi di pesca utili al contenimento della diffusione dell'alga e le modalità per la segnalazione del fenomeno.

La ricerca scientifica è stata diffusa attraverso programmi di informazione tra cui conferenze e convegni e con una campagna divulgativa, condotta attraverso i media e la stampa, che ha contribuito alla sensibilizzazione degli operatori e dei cittadini tutti.

Inoltre durante gli anni di ricerca sono state realizzate numerose relazioni da parte di ARPA Sicilia-Ragusa, ISPRA e CNR, tra cui i rapporti finali con dettagli e approfondimenti sul lavoro svolto dagli enti di ricerca, visionabili, per i più interessati, sul sito internet realizzato da Arpa Sicilia <http://www.caulerpasicilia.it>.



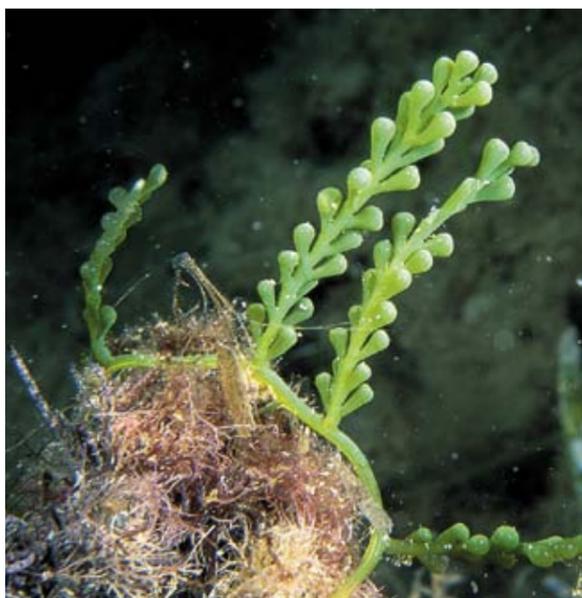
Le specie studiate

Il genere *Caulerpa* è rappresentato da alghe verdi (Chlorophyta) appartenenti alla famiglia delle Caulerpaceae. In Sicilia, gli impatti rilevanti fanno riferimento all'insediamento localmente massivo delle alghe non indigene delle specie *Caulerpa racemosa* e *Caulerpa taxifolia* ed in particolare delle varietà *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* e *Caulerpa taxifolia* var. *distichophylla*.

Il genere *Caulerpa* include 90 specie. Il tallo delle specie del genere *Caulerpa* è composto dallo stolone strisciante con i rizoidi e le fronde erette che possono essere laminari lisce, oppure portare ramuli di forma e disposizione variabile.

Caulerpa racemosa

Nella fase iniziale dell'invasione di *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh in Mediterraneo si è supposta una sua origine lessepsiana ipotizzando una sua entrata dal Mar Rosso attraverso il Canale di Suez. Tuttavia le analisi morfologiche e genetiche hanno provato che l'alga recentemente introdotta nel Mediterraneo è *Caulerpa cylindracea* Sonders, 1845, endemica per la parte sud-ovest dell'Australia (la regione tra Perth e Hopetoun) che è stata successivamente considerata sinonimo di *C. racemosa* var. *cylindracea* (Sonders) Verlaque, Huisman e Boudouresque.



Caulerpa racemosa è caratterizzata da fronde erette lunghe fino a 11 cm che portano ramuli di forma vescicolare con disposizione radiale o distica.

C. racemosa è stata osservata per la prima volta nel Mediterraneo in Libia nel 1990. Ancora non si può dire con certezza se la prima introduzione dell'alga nel Mediterraneo è avvenuta tramite traffico navale (acque di sentina) o a causa del commercio legato all'acquariofilia. Appena 17 anni dopo la prima segnalazione, *C. racemosa* aveva colonizzato 12 paesi nel Mediterraneo (Libia, Italia, Grecia, Albania, Cipro, Francia, Turchia, Malta, Spagna, Tunisia, Croazia, Algeria), oltre che le isole

Canarie in Atlantico. Le coste italiane sono quelle maggiormente interessate dal fenomeno osservato per la prima volta nel 1993 nelle zone sud orientali della Sicilia e nell'isola di Pantelleria.

Nel suo habitat naturale, nel sud-ovest dell'Australia, *C. racemosa* cresce su substrati rocciosi pianeggianti e in pozze nella zona intertidale a profondità comprese tra il mediolitorale e 6 metri. Nel Mediterraneo, invece, quest'alga è stata trovata sia in aree esposte, sia in aree protette su tutti i tipi di substrato molle e duro (ciottoli, roccia, matite morta di *Posidonia oceanica*, sabbia, fondi fangosi e detritici, coralligeno) da 0 a 70 metri di profondità, con abbondanza maggiore tra 0 e 30 m. Viene osservata sia in aree sottoposte a stress di origine antropica, sia in aree relativamente integre. In Australia *C. racemosa* si associa ad altre alghe in popolamenti diversificati senza monopolizzare l'ambiente formando praterie monospecifiche. Al contrario, in Mediterraneo l'alga può creare dense e continue praterie monospecifiche in vari habitat bentonici fotofili e sciafili.

L'estesa proliferazione di *C. racemosa*, come quello della maggior parte delle specie aliene, si può spiegare con l'assenza in Mediterraneo dei suoi patogeni e predatori naturali, con la grande efficienza riproduttiva e la capacità di dispersione secondaria. I mezzi principali di dispersione di zigote, frammenti e propaguli di *C. racemosa* in Mediterraneo sono il traffico navale (acque di sentina, ancoraggio), alcune attività associate alla pesca (uso di draghe, lo strascico, reti di fondo e trappole) e le correnti che possono concentrare o disperdere i propaguli. Inoltre, in Mediterraneo è stata notata un'alta tolleranza di *C. racemosa* ad un ampio range di temperatura, salinità e illuminazione.

Caulerpa racemosa mostra una pronunciata variabilità stagionale di lunghezza di stoloni e fronde, di velocità della crescita, di copertura e biomassa. Esistono differenze regionali difficili da interpretare a causa delle diverse metodologie d'analisi utilizzate e le diverse condizioni alle quali sono state condotte le osservazioni/esperimenti. La specie si riproduce sia sessualmente, sia asessualmente per via vegetativa con crescita, frammentazione e rilascio di propaguli (ramuli staccati).

L'alga produce metaboliti secondari, come caulerpinina, caulerpina e caulerpicina che possono essere coinvolti nella difesa chimica contro gli erbivori e nella competizione con le altre specie. Ciononostante, in letteratura vengono riportati vari casi di organismi che pascolano su *C. racemosa*; per quanto riguarda le specie ittiche: *Boops boops*, *Pagellus acarne*, *Sarpa salpa*, il migrante lessepsiano *Siganus luridus*, *Spondyllosoma cantharus*, *Diplodus sargus*. Altri organismi che mangiano *C. racemosa* sono i gasteropodi *Aplysia* sp., *Ascobulla fragilis*, *Bittium latreillei*, *Elysia tomentosa*, *Lobiger viridis*, *Oxynoe viridis*, *Lobiger serradifalci*, *Oxynoe olivacea*, *Ascobulla fragilis* ed i ricci *Paracentrotus lividus* e *Sphaerechinus granularis*. Analisi isotopiche hanno dimostrato che il detrito di *C. racemosa* può essere un'importante risorsa alimentare per organismi dell'infauna e dell'epifauna come il polichete *Syllis prolifera*, il crostaceo *Corophium sextonae* ed i gasteropodi *Cerithium rupestre* e *Pisinna glabrata*. Tuttavia, il riccio *Paracentrotus lividus*, che in natura è stato osservato pascolare su *C. racemosa*, se sottoposto a dieta contenente questa alga in condizioni controllate pare subire una riduzione della fitness. In *Diplodus sargus*, nei cui contenuti stomacali è stata osservata la presenza dell'alga, numerosi indicatori biochimici indicano l'attivazione dei sistemi enzimatici coinvolti nella detossificazione, facendo ritenere che la caulerpina è potenzialmente dannosa per lo sparide. La caulerpina è un pigmento rosso bis-indolico presente in *C. racemosa* ma assente nella congenerica specie mediterranea *C. prolifera*. Esistono dati contrastanti sulla distribuzione dei metaboliti secondari in varie parti di *C. racemosa*, ma pare che la caulerpina sia il più abbondante e quello potenzialmente più tossico. La caulerpinina è contenuta in *C. racemosa* a concentrazioni relativamente basse rispetto a *C. taxifolia* (da 2 a 80 volte meno), ciò spiegherebbe perché *C. taxifolia* sia poco (o non) palatabile per gli erbivori, al contrario di *C. racemosa*. Infatti, la caulerpinina pare svolga un ruolo di deterrente verso gli erbivori. Vari studi indicano che i metaboliti secondari della *Caulerpa* possono avere numerosi effetti; in base all'organismo cui sono somministrati, sono stati osservati effetti apoptotici, neurotossici, antitumorali, antiinfiammatori, antimicrobici, antifouling ecc.

L'impatto che può essere esercitato da *C. racemosa* dipende dalla modificazione delle condizioni fisico-chimiche dell'ambiente (movimento dell'acqua, tasso di deposizione dei sedimenti, caratteristiche del substrato), cambiamento del paesaggio marino, e cambiamenti delle comunità bentoniche associate. Per l'entità del suo impatto sull'architettura dei sistemi nei quali si diffonde, *C. racemosa* può essere considerata un "modificatore di habitat". In certe condizioni *C. racemosa* può creare tappeti multistratificati alti 15 cm che, trattenendo il sedimento, contribuiscono all'accumulo dello stesso producendo effetti diretti sulla comunità originaria, modificandola profondamente. L'effetto più evidente è la formazione

di uno strato anossico sottostante con completa esclusione della comunità originaria. Le comunità di alghe fotofile invase da *C. racemosa* mostrano decremento del numero totale di specie, della diversità e della copertura. Il danno alle macrofite dipende dall'accumulo di sedimenti e conseguente sotterramento causato dal fitto tappeto di *C. racemosa*. Pare che *C. racemosa* non sia capace di penetrare le dense praterie di *Posidonia oceanica*, tuttavia è stata spesso segnalata su rizomi ai margini di praterie poco dense. Lo stato di salute della prateria di *P. oceanica* influenza il successo della invasione di *C. racemosa*. Le praterie di *P. oceanica* in regressione sono più facilmente suscettibili all'invasione rispetto a quelle "sane" ed è stata osservata una relazione inversa tra densità dei *P. oceanica* e velocità di crescita di *C. racemosa*. Le praterie di *P. oceanica* danneggiate dall'ancoraggio possono subire la colonizzazione da parte di *C. racemosa* e la ricolonizzazione da parte della fanerogama appare improbabile considerando i fenomeni di allelopatia che intervengono tra le due specie. Infatti, quando interagisce con *C. racemosa*, *P. oceanica* accelera la produzione dei metaboliti secondari come forma di difesa all'invasione.

Caulerpa taxifolia

Caulerpa taxifolia è caratterizzata da fronde erette più lunghe di *C. racemosa* che portano ramuli più appiattiti somiglianti alle penne d'uccello.

Caulerpa taxifolia (Vahl) C. Agardh, è un'alga con distribuzione tropicale introdotta accidentalmente in Mediterraneo nel 1984 tramite le acque di scarico dell'acquario del Museo Oceanografico di Monaco. Nel 1984 è stata notata solo su una superficie di 1m²; nel 1990 la superficie è aumentata a 3 ha, nel 1991 a 30 ha, nel 1992 100-430 ha, nel 1993 1000-2000 ha. In breve tempo questa alga ha colonizzato sette paesi nel Mediterraneo (Croazia, Francia, Italia, Monaco, Spagna, Tunisia e Turchia) ed una parte dell'Australia.

L'espansione rapida di *C. taxifolia* in habitat temperati è dovuta alla combinazione di efficienza di riproduzione sessuale, riproduzione vegetativa (asessuale) e facilità di trasporto dei frammenti su grandi distanze con navi, ancore e reti da pesca. Questa alga può sopravvivere a lungo in condizioni disagiate, nell'alloggiamento delle ancore delle navi o nelle reti salpate a bordo. Esperimenti hanno dimostrato che attività ricreative come nautica e nuoto nelle zone invase di *C. taxifolia* possono aumentare il numero dei propaguli, dunque la dispersione e invasione di questa alga. La forma invasiva di *C. taxifolia* nel Mediterraneo è diversa dalla forma tropicale per la sua alta resistenza a basse temperature. **È piuttosto resistente alla sedimentazione e può persistere per lunghi periodi sotterrata nel sedimento.**

L'alga aliena cresce su tutti i tipi di substrato: roccia, sabbia, fanghi e praterie di *Cymodocea nodosa* e *P. oceanica*, a profondità da 0,5 a 100 m. La massima colonizzazione è stata osservata a profondità tra 2 e 6 m. La densità delle fronde può raggiungere il numero di 350 m². *Caulerpa taxifolia* è un forte competitore nei nuovi ambienti marini da essa colonizzati, per la capacità di formare dense praterie con lunghi stoloni, fronde molto sviluppate e per il fatto che contiene tossine dannose per molti organismi.



La rapidità di diffusione di *C. taxifolia*, l'alta velocità di crescita e la capacità di creare dense praterie sui vari tipi di substrato, specialmente in aree con elevato carico di nutrienti, portano alla formazione di microhabitat omogeneizzati e alla sostituzione della comunità algale autoctona.

Caulerpa taxifolia è stata inserita nella lista delle 100 peggiori specie invasive dell'IUCN (International Union for the Conservation of Nature).

Il principale metabolita secondario di *C. taxifolia* è il caulerpinene, che è tossico per alcuni organismi, può diffondersi nella catena trofica marina ed ha un effetto repulsivo verso gli erbivori. Il caulerpinene può rappresentare un rischio ecologico per i microorganismi e le uova degli animali multicellulari che vivono associati all'alga. Esperimenti hanno dimostrato che il comportamento alimentare del riccio *Paracentrotus lividus* è influenzato dalla presenza dei metaboliti secondari tossici e repellenti di *C. taxifolia*, soprattutto dal caulerpinene. In estate il riccio non consuma l'alga, invece in inverno e primavera il consumo è significativo, ma l'alga non è assimilata. I ricci che mangiavano solo *C. taxifolia* hanno mostrato la perdita delle spine dovuta sia agli effetti delle sostanze tossiche, sia al basso livello di assimilazione del materiale algale ingerito. I gasteropodi *Oxynoe olivacea* e *Lobiger serradifalci*, che si nutrono normalmente della specie congenerica autoctona *C. prolifera*, si sono adattati ad una dieta contenente *C. taxifolia*.

Caulerpa taxifolia causa drastica diminuzione (25-55%) di ricchezza specifica delle alghe di fondo duro. Gli effetti sono più evidenti sulle specie erette, poi su quelle filamentose e meno sulle specie incrostanti. Gli effetti sono più forti alla fine dell'estate e in autunno quando *C. taxifolia* raggiunge la massima grandezza. Un elevato numero di specie nei popolamenti algali è in grado di ridurre la capacità invasiva della *C. taxifolia* e *C. racemosa*. Tuttavia le caratteristiche morfologiche più che la varietà specie della comunità algale residente appaiono come un fattore più importante della diversità nell'influenzare la capacità di invasione dell'alga. La presenza di turf algale favorisce la diffusione di entrambe le specie.

È stato dimostrato che in certe condizioni *C. taxifolia* può occupare il biotopo di *P. oceanica* e *C. nodosa*. Le praterie di *P. oceanica* più rade sono maggiormente invasi rispetto a quelle più dense. *Caulerpa taxifolia* occupa gli spazi nella prateria e riduce la penetrazione della luce, influenzando fortemente il sistema. Dopo la invasione di *C. taxifolia* in praterie di *P. oceanica* è stata notata una diminuzione di numero, larghezza e longevità delle foglie, clorosi, necrosi e alla fine la morte del fascio. **È stato anche dimostrato che nell'interazione con *C. taxifolia* la lunghezza delle foglie di *P. oceanica*, l'indice fogliare e l'età media delle foglie diminuiscono, invece la biomassa degli epifiti ed il numero di foglie per rizoma aumentano.** La produzione primaria di *P. oceanica* è sempre più alta quando interagisce con *C. taxifolia*. Data l'importanza ecologica delle fanerogame marine ogni cambiamento della loro architettura, densità e qualità si riflette sulla catena trofica che esse sostengono influenzando la diversità degli organismi che usano le praterie come aree di riproduzione e nursery.

L'importanza di *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica è una fanerogama endemica Mediterranea che crea vaste praterie a profondità da 0 a 45 m. Le sue praterie modificano i flussi delle correnti dissipando l'energia cinetica e, di conseguenza, riducono la risospensione del particolato incrementando il tasso netto di sedimentazione. Tutto ciò ha un effetto positivo sulla qualità delle acque e sui popolamenti associati, evidente nell'incremento di produttività di epifiti ed invertebrati. Così come altre fanerogame marine, *P. oceanica* può a buon titolo essere definita un "ingegnere ecosistemico" per la capacità di incrementare la complessità di habitat e di interagire con luce, processi idrodinamici e sedimentari. Tale interazione modula le condizioni ambientali tanto da creare una miriade di microhabitat idonei all'insediamento ed alla crescita di un gran numero di organismi che trovano nelle praterie.



La prateria rappresenta la base strutturale sulla quale si sviluppano popolamenti ricchi e diversificati, caratterizzati anche da specie esclusive (es. *Electra posidoniae*, *Collarina balzaci*, *Fenestrulina joannae*, *Ramphostomellina posidoniae*, *Aglaophenia harpago*, *Orthopyxis asimmetrica*, *Pachycordle pusilla*, *Sertularia perpusilla*), rare (es. *Hippocampus* spp.) e, in alcuni casi, protette (es. *Pinna nobilis*), oltre che l'area di nursery per gli stadi giovanili di numerose specie.

OBIETTIVI

Gli studi effettuati da ARPA-Sicilia, ISPRA e CNR-IAMC hanno perseguito l'obiettivo principale di monitorare e valutare l'impatto della diffusione delle alghe indagate, attraverso l'analisi dell'evoluzione spazio-temporale del fenomeno e la caratterizzazione eco-tossicologica delle aree di pesca maggiormente interessate dalla presenza delle caulerpe.

In particolare

Le ricerche di ARPA-Sicilia sono state mirate a:

- Definire le aree di studio principalmente interessate dal fenomeno di diffusione delle due alghe aliene;
- Caratterizzare da un punto di vista ambientale le aree oggetto d'indagine;
- Valutare le pressioni antropiche che insistono lungo le coste delle aree indagate;
- Stimare l'influenza che le pressioni antropiche possono esercitare sulla diffusione della *Caulerpa*;
- Indagare l'andamento spazio-temporale della distribuzione di *Caulerpa* in specifiche aree di indagine.

Gli studi condotti da ISPRA hanno puntato a:

- Valutare possibili interferenze dell'alga con le attività di pesca, l'intasamento delle reti e la riduzione della pescabilità dell'attrezzo;
- Rilevare l'eventuale diversità tra aree con insediamento e prive di insediamento;
- Avviare l'introduzione di buone pratiche per evitare che la pesca possa rappresentare un ulteriore vettore di invasioni secondarie attraverso disseminazione dei frammenti e propaguli dell'alga;
- Definire comportamenti alieutici nel tempo utili alla mitigazione del potenziale impatto della pesca sulle risorse nelle aree colpite;
- Istituire in tutta l'area di studio e, in particolare, nell'arcipelago delle Pelagie, un "Osservatorio delle Specie Aliene" per svolgere attività di monitoraggio sulla diffusione delle specie aliene, al fine di formulare proposte gestionali mirate alla salvaguardia degli ecosistemi e delle attività economiche di pesca.

Le indagini realizzate dal CNR-IAMC hanno avuto come obiettivi principali:

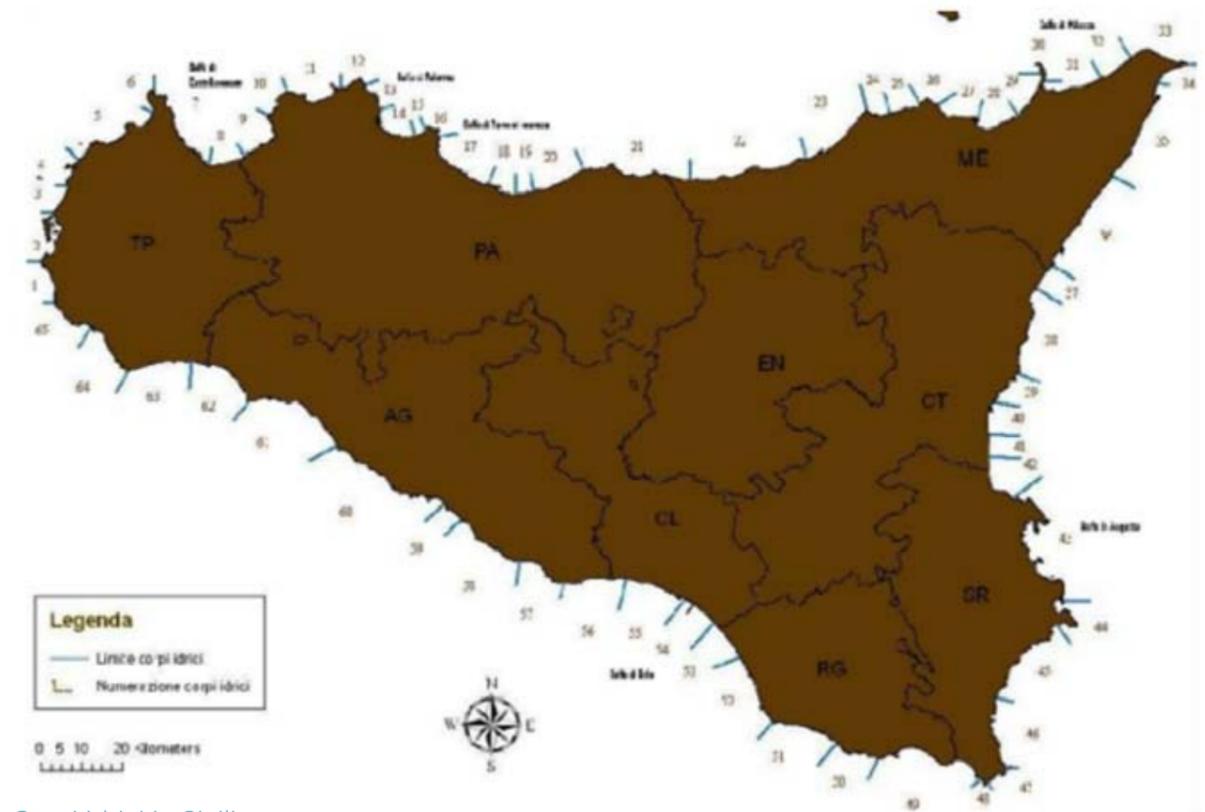
- Confrontare le caratteristiche dei popolamenti bentonici associati a praterie di *Posidonia oceanica* della Sicilia meridionale interessate dall'invasione di *Caulerpa taxifolia* var. *distichophylla* con quelle di popolamenti associati a posidonieti di località limitrofe non colpite dal fenomeno;
- Confrontare la struttura trofica della comunità bentonica associata a matte di *Posidonia oceanica* in località invase e non invase da alghe aliene del genere *Caulerpa* della Sicilia meridionale;
- Valutare gli effetti dell'invasione di *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* sulla struttura e sulla funzione di popolamenti macrobentonici sessili di fondo duro dell'infralitorale.

Indagini ambientali e rilievi sulla diffusione delle Caulerpe Aliene nel Canale di Sicilia a cura di Arpa Sicilia - Struttura Territoriale di Ragusa

INDAGINI AMBIENTALI E RILIEVI SULLA DIFFUSIONE DELLE CAULERPE ALIENE NEL CANALE DI SICILIA A CURA DI ARPA SICILIA - STRUTTURA TERRITORIALE DI RAGUSA

A.1 Individuazione dei siti di campionamento

Nell'area oggetto di studio compresa tra Portopalo di Capo Passero e Capo Granitola ricadono 17 dei 65 Corpi idrici identificati ai fini del monitoraggio delle acque marino costiere della Regione Sicilia, dove per corpo idrico si intende l'unità a cui fare riferimento per la verifica di conformità degli obiettivi ambientali definiti dal D. Lgs. 152/06.



Corpi idrici in Sicilia

Dei 35 transetti previsti dalla convenzione per lo studio della diffusione della Caulerpa, 17 sono stati scelti tra quelli di monitoraggio delle acque marino costiere previsti dal Piano di Gestione della Regione Sicilia. I rimanenti sono stati ubicati lungo il Canale di Sicilia nelle aree dove è maggiormente rilevata la presenza di Caulerpa, ed in particolare 10 sono stati dislocati nel Golfo di Gela, e 2 presso l'Isola di Lampedusa.

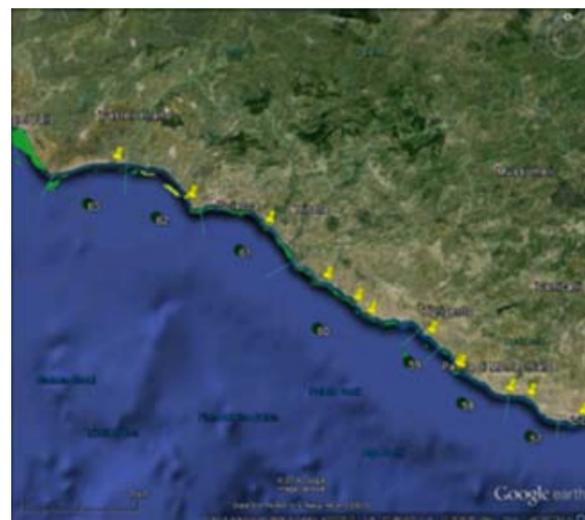
Per ciascun transetto sono state individuate due stazioni di prelievo, la prima ad una distanza compresa tra i 0 ed i 500 metri dalla linea di costa, la seconda a circa un miglio.

Per quanto riguarda i 2 transetti di Lampedusa, la tipologia di alto fondale colloca le stazioni a largo abbondantemente entro il miglio. In corrispondenza della batimetria dei 50 metri.

Di seguito si riportano delle mappe che permettono la visualizzazione d'insieme delle aree indagate e dei transetti individuati per lo studio.



Mappa dei Transetti



Particolare Sicilia Occidentale



Particolare Sicilia Orientale

Le attività di campionamento hanno visto impegnato il personale della Struttura Territoriale di Ragusa in 8 campagne d'indagine sui 35 transetti individuati. Le campagne di prelievo hanno permesso:

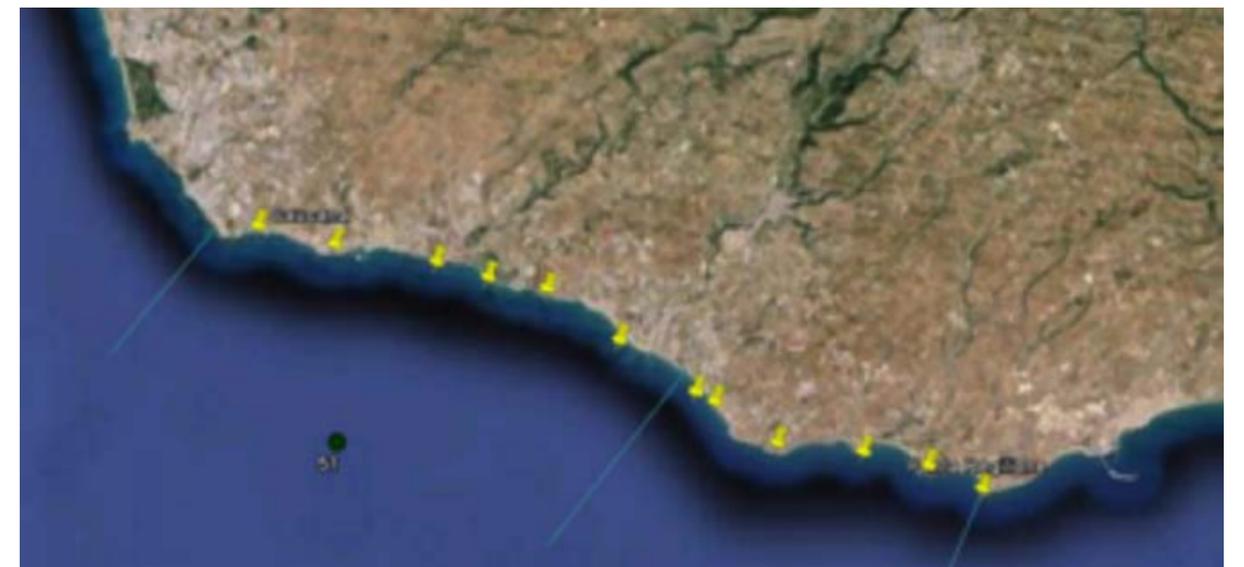
- di acquisire informazioni relative alla distribuzione dei parametri macrodescrittori dello stato nutritivo e biologico delle matrici ambientali
- di rilevare i tenori e la distribuzione delle principali classi di microinquinanti organici ed inorganici nelle matrici acqua e sedimenti dei 17 corpi idrici marino costieri della Sicilia oggetto di studio.

Sulla base delle osservazioni e indicazioni sopravvenute durante le attività di campionamento, è emersa la necessità di approfondire l'informazione analitica con la realizzazione di altre due campagne che sono state eseguite in due zone del Canale di Sicilia, di cui una più impattata dalla presenza di Caulerpa e l'altra meno interessata dal fenomeno.

Il maggior dettaglio d'informazione è stato realizzato attraverso la localizzazione di ulteriori 6 transetti che sono stati inseriti tra quelli già indagati in un tratto di costa del ragusano.



Zona meno impattata



Zona maggiormente impattata

Di seguito è riportata la tabella che dettaglia le aree oggetto di studio in termini di coordinate, profondità e distanza dalla costa delle stazioni di campionamento.

Transetti da Capo Granitola a Portopalo di Capo Passero

Provincia	Comune	Transetto	Stazione	Nord	Est	Distanza costa (m)	Profondità (m)
Trapani	Castelvetrano	Marinella	Marinella 01	37°34'48.90"N	12°49'48.42"E	220	4
			Marinella 02	37°33'55.69"N	12°49'48.63"E	1860	26
Agrigento	Sciacca	Capo San Marco	Capo San Marco 01	37°30'32.02"N	13°04'1.48"E	220	5
			Capo San Marco 02	37°30'18.21"N	12°59'37.40"E	1855	23
Agrigento	Ribera	Torre Verdura	Torre Verdura 01	37°27'46.26"N	13°12'0.78"E	180	5
			Torre Verdura 02	37°26'50.40"N	13°12'0.12"E	1890	16
Agrigento	Siculiana	Montallegro *	Montallegro 01	37°21'27.18"N	13°20'26.22"E	150	3
			Montallegro 02	37°20'31.73"N	13°20'28.19"E	1860	12
Agrigento	Realmonte	Punta Secca *	Punta Secca 01	37°19'0.48"N	13°24'52.56"E	140	3
			Punta Secca 02	37°18'40.39"N	13°23'50.98"E	1870	16
Agrigento	Realmonte	Realmonte *	Realmonte 01	37°17'30.00"N	13°26'50.64"E	150	5
			Realmonte 02	37°16'40.60"N	13°26'22.09"E	1860	21
Agrigento	Agrigento	San Leone *	San Leone 01	37°15'19.26"N	13°35'35.70"E	200	4
			San Leone 02	37°14'45.15"N	13°34'46.28"E	1870	11
Agrigento	Agrigento	Punta Bianca Ovest *	Punta Bianca Ovest 01	37°11'37.60"N	13°39'31.74"E	200	5
			Punta Bianca Ovest 02	37°11'25.89"N	13°38'26.32"E	1864	15
Agrigento	Agrigento	Punta Bianca Est	Punta Bianca Est 01	37°11'27.00"N	13°39'48.79"E	240	5
			Punta Bianca Est 02	37°10'34.48"N	13°39'41.35"E	1874	14
Agrigento	Palma di Montechiaro	Malerba	Malerba 01	37°8'41.04"N	13°46'58.20"E	210	4
			Malerba 02	37°7'47.34"N	13°47'6.18"E	1885	15
Agrigento	Licata	Torre di Gaffe	Torre di Gaffe 01	37°8'14.35"N	13°49'59.71"E	260	3
			Torre di Gaffe 02	37°7'23.67"N	13°49'40.34"E	1880	11
Agrigento	Licata	Licata	Licata 01	37°6'1.98"N	13°57'36.36"E	380	3
			Licata 02	37°5'16.80"N	13°57'59.76"E	1860	8
Caltanissetta	Butera	Gela Ovest	Gela Ovest 01	37°6'16.20"N	14°3'1.20"E	380	4,5
			Gela Ovest 02	37°5'28.18"N	14°3'9.77"E	1875	10
Caltanissetta	Gela	Torre Manfria	Torre Manfria 01	37°5'45.00"N	14°8'13.86"E	290	3
			Torre Manfria 02	37°4'57.26"N	14°7'50.30"E	1800	9
Caltanissetta	Gela	Gela	Gela 01	37°4'54.00"N	14°11'16.00"E	390	3
			Gela 02	37°4'11.67"N	14°10'36.30"E	1860	9
Caltanissetta	Gela	Gela Petrochimico	Gela Petrochimico 01	37°2'28.20"N	14°16'49.80"E	360	3
			Gela Petrochimico 02	37°1'47.40"N	14°16'17.40"E	1860	10
Ragusa	Acate	Foce Dirilo	Foce Dirilo 01	36°59'51.38"N	14°20'5.00"E	500	3
			Foce Dirilo 02	36°59'21.94"N	14°19'23.60"E	1870	8
Ragusa	Acate	Marina di Acate Nord	Marina di Acate Nord 01	36°58'57.49"N	14°21'3.37"E	500	3
			Marina di Acate Nord 02	36°58'31.39"N	14°20'17.77"E	1860	8,5
Ragusa	Vittoria	Marina di Acate Sud	Marina di Acate Sud 01	36°56'23.21"N	14°23'19.29"E	500	3
			Marina di Acate Sud 02	36°56'1.83"N	14°22'31.08"E	1870	10
Ragusa	Ragusa	Foce Ippari	Foce Ippari 01	36°52'15.97"N	14°26'10.47"E	370	3
			Foce Ippari 02	36°51'57.33"N	14°25'13.82"E	1880	13
Ragusa	Ragusa	Punta Braccetto	Punta Braccetto 01	36°49'1.26"N	14°27'22.48"E	210	3
			Punta Braccetto 02	36°48'54.11"N	14°26'16.41"E	1880	20
Ragusa	Ragusa	Marina di Ragusa*	Marina di Ragusa 01	36°46'26.06"N	14°34'26.62"E	380	4
			Marina di Ragusa 02	36°45'39.07"N	14°34'11.60"E	1890	12
Ragusa	Scicli	Foce Irminio *	Foce Irminio 01	36°46'8.32"N	14°35'37.54"E	420	4
			Foce Irminio 02	36°45'27.60"N	14°35'9.60"E	1860	12
Ragusa	Scicli	Donnalucata Ovest *	Donnalucata Ovest 01	36°44'57.09"N	14°36'35.78"E	500	4,5
			Donnalucata Ovest 02	36°44'26.40"N	14°37'57.60"E	1870	13
Ragusa	Scicli	Donnalucata Est *	Donnalucata Est 01	36°43'58.63"N	14°40'19.52"E	620	5
			Donnalucata Est 02	36°43'30.01"N	14°39'41.05"E	1880	16,5
Ragusa	Scicli	Samperi *	Samperi 01	36°42'49.66"N	14°44'7.66"E	400	3,5
			Samperi 02	36°42'3.00"N	14°44'12.00"E	1860	15
Ragusa	Modica	Punta Reglione *	Punta Reglione 01	36°42'6.64"N	14°46'49.82"E	200	4
			Punta Reglione 02	36°41'16.20"N	14°46'24.60"E	1880	20
Ragusa	Pozzallo	Pozzallo	Pozzallo 01	36°43'12.09"N	14°50'38.84"E	400	3,5
			Pozzallo 02	36°42'34.82"N	14°51'10.51"E	1890	9,5
Ragusa	Ispica	Marza	Marza 01	36°42'40.86"N	14°55'20.11"E	500	3,5
			Marza 02	36°42'5.48"N	14°54'46.93"E	1880	11
Siracusa	Pachino	Granelli	Granelli 01	36°41'24.04"N	15°1'53.54"E	440	3,5
			Granelli 02	36°40'59.59"N	15°1'4.27"E	1880	12
Siracusa	Pachino	Punta delle Formiche	Punta delle Formiche 01	36°39'47.85"N	15°3'8.68"E	150	5
			Punta delle Formiche 02	36°39'17.52"N	15°2'10.10"E	1880	19
Siracusa	Pachino	Isola delle Correnti	Isola delle Correnti 01	36°38'32.43"N	15°4'36.77"E	200	7
			Isola delle Correnti 02	36°37'47.40"N	15°3'58.49"E	1880	24
Siracusa	Porto Palo di Capo Passero	Portopalo	Portopalo 01	36°39'51.81"N	15°7'49.14"E	200	6
			Portopalo 02	36°38'58.36"N	15°7'46.08"E	1860	34
Agrigento	Lampedusa	Lampedusa Sud	Lampedusa Sud 01	35°30'21.06"N	12°33'59.94"E	330	20
			Lampedusa Sud 02	35°30'06.78"N	12°33'35.64"E	1050	45
Agrigento	Lampedusa	Lampedusa Est	Lampedusa Est 01	35°30'44.88"N	12°37'38.10"E	140	15
			Lampedusa Est 02	35°30'33.06"N	12°38'12.66"E	1090	48

* = transetti per campionamenti su scala più dettagliata insieme ai transetti della tabella successiva.

Transetti aggiuntivi per campionamenti su scala più dettagliata (insieme ai transetti indicati nella tabella precedente *).

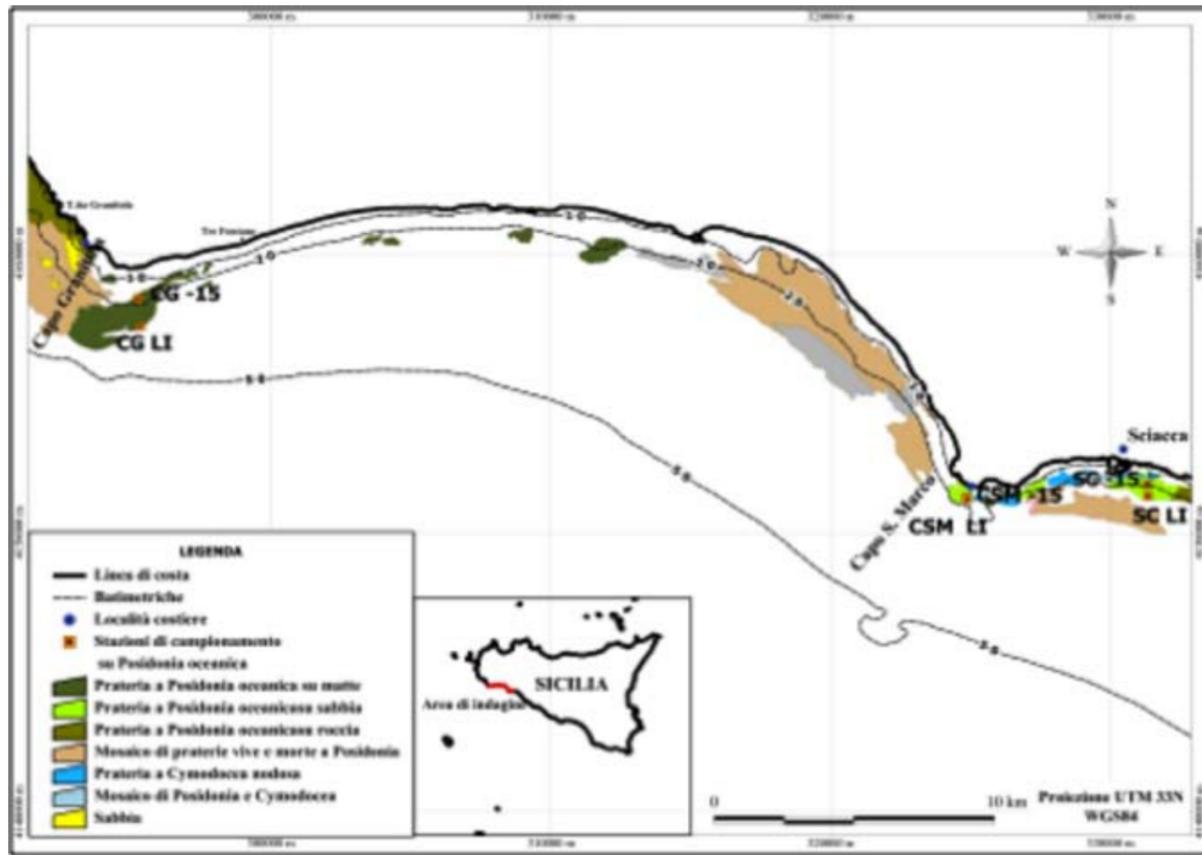
Provincia	Comune	Transetto	Stazione	Nord	Est	Distanza costa (m)	Profondità (m)
Ragusa	Santa Croce Camerina	Caucana	Caucana 01	36°47'08.88"N	14°30'23.52"E	200	3,5
			Caucana 02	36°46'19.02"N	14°29'56.76"E	1860	19
Ragusa	Ragusa	Santa Barbara	Santa Barbara 01	36°46'47.40"N	14°32'08.16"E	100	3,5
			Santa Barbara 02	36°45'53.46"N	14°32'18.66"E	1780	17
Ragusa	Scicli	Playa Grande	Playa Grande 01	36°45'54.96"N	14°36'58.26"E	160	3,5
			Playa Grande 02	36°45'10.00"N	14°36'33.32"E	1670	13,5
Ragusa	Scicli	Cava d'Aliga	Cava d'Aliga 01	36°43'47.28"N	14°40'45.12"E	160	3,5
			Cava d'Aliga 02	36°43'17.28"N	14°39'54.12"E	1750	20
Ragusa	Scicli	Punta Corvo	Punta Corvo 01	36°43'00.90"N	14°42'09.54"E	60	4
			Punta Corvo 02	36°42'01.98"N	14°41'46.38"E	1950	25
Ragusa	Scicli	Pisciotta	Pisciotta 01	36°42'33.36"N	14°45'36.06"E	120	3,5
			Pisciotta 02	36°41'41.94"N	14°45'41.28"E	1680	20

Nella seconda fase del progetto oltre ai campionamenti di acque e sedimenti per le analisi chimiche e biologiche, sono state eseguite attività di rilevamento, campionamento ed analisi finalizzate allo studio delle praterie di *Posidonia oceanica* e delle comunità macroalgali della costa secondo metodo CarLit.

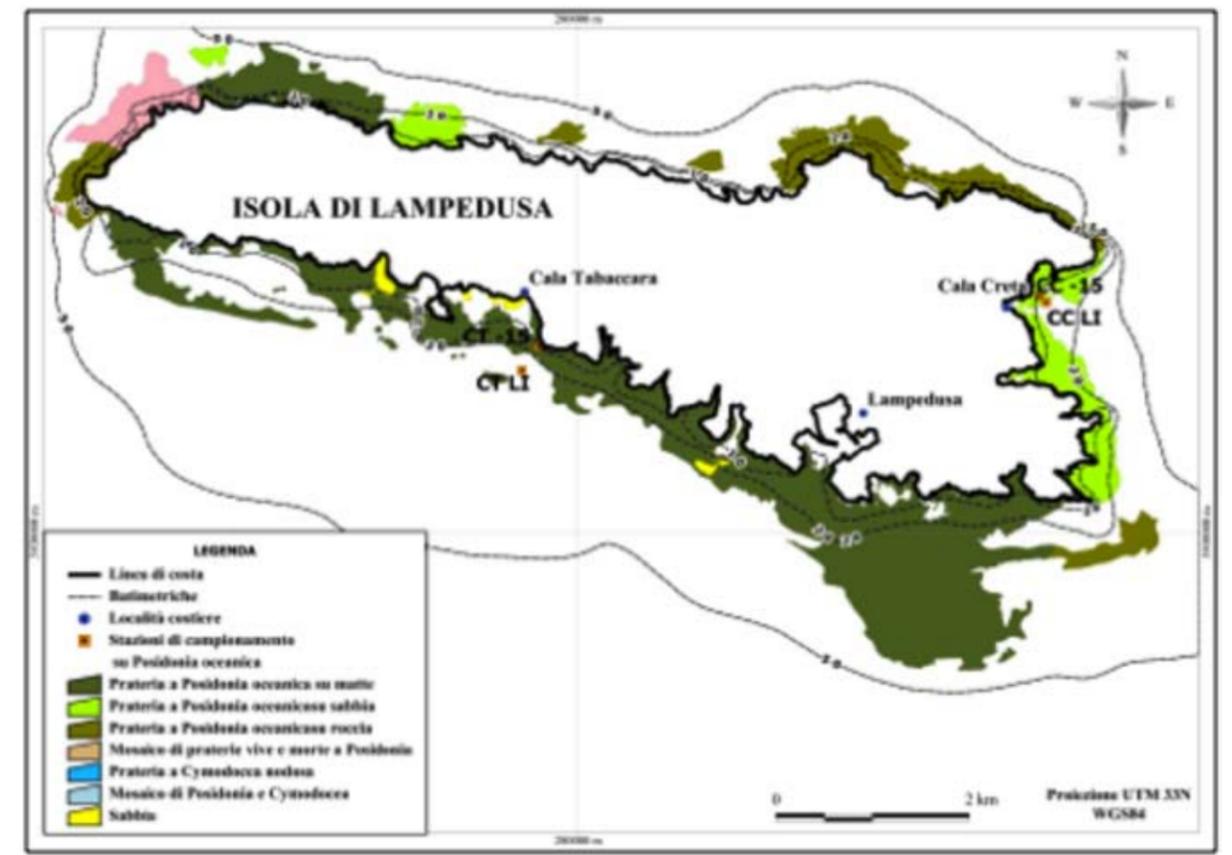
Le attività di campo sulle praterie di *Posidonia oceanica* sono state eseguite tra settembre-ottobre 2012 mentre le analisi di laboratorio sono state svolte nei mesi di novembre-dicembre 2012 (biometria) e marzo-aprile 2013 (lepidocronologia).

I campionamenti hanno riguardato 9 praterie presenti lungo tutto la costa del Canale di Sicilia, e 2 ulteriori praterie presenti presso l'isola di Lampedusa. Si riportano di seguito la tabella dei siti di campionamento con le rispettive sigle e le mappae di distribuzione dei posidonieti.

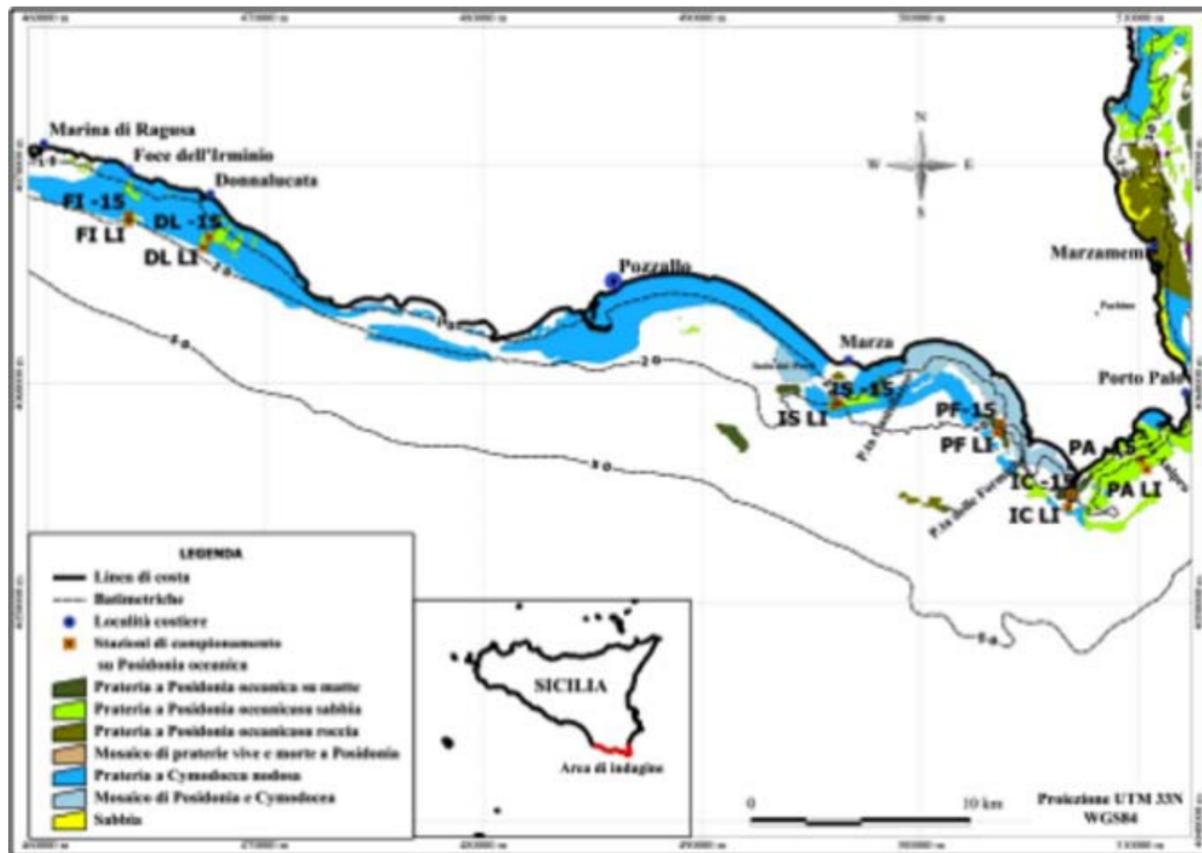
N.	Sigla Stazione	Località	Prof (m)	Latitudine	Longitudine
1	CSM -15	Capo San Marco	-15	37°29.498' N	13°01.123' E
2	CSM LI	Capo San Marco	-17,3	37°29.462' N	13°01.152' E
3	CG -15	Capo Granitola	-15,9	37°32.985' N	12°40.946' E
4	CG LI	Capo Granitola	-27	37°32.447' N	12°41.016' E
5	SC -15	Sciacca	-15,5	37°29.826' N	13°05.501' E
6	SC LI	Sciacca	-21,3	37°29.605' N	13°05.521' E
7	PF-15	Punta delle Formiche	-15	36°40.155' N	15°02.414' E
8	PF LI	Punta delle Formiche	-21,1	36°39.946' N	15°02.333' E
9	IS -15	Ispica (Marza)	-15,9	36°40.671' N	14°57.441' E
10	IS LI	Ispica (Marza)	-21	36°40.597' N	14°57.349' E
11	IC -15	Isola delle Correnti	-15,5	36°38.407' N	15°04.583' E
12	IC LI	Isola delle Correnti	-26,5	36°38.086' N	15°04.503' E
13	PA -15	Punta Anipro	-15,5	36°39.263' N	15°06.738' E
14	PA LI	Punta Anipro	-29,5	36°39.022' N	15°06.915' E
15	FI -15	Fiume Irminio	-15,6	36°45.274' N	14°35.677' E
16	FI LI	Fiume Irminio	-20,7	36°45.094' N	14°35.673' E
17	DL -15	Donnalucata	-14,5	36°44.730' N	14°38.146' E
18	DL LI	Donnalucata	-17	36°44.466' N	14°37.984' E
19	CC -15	Cala Creta (Lampedusa)	-14,8	35°30.758' N	12°37.666' E
20	CC LI	Cala Creta (Lampedusa)	-21	35°30.737' N	12°37.674' E
21	CT -15	Cala Tabaccara (Lampedusa)	-15,9	35°30.388' N	12°34.184' E
22	CT LI	Cala Tabaccara (Lampedusa)	-36,1	35°30.230' N	12°34.079' E



Posidonieti



Posidonieti



Posidonieti

Altra importante attività ha riguardato lo studio delle comunità macroalgali, effettuata durante il periodo maggio-giugno 2013 su 60 Km di costa rocciosa compresa tra Capo Granitola e Portopalo di Capo Passero. Per i rilievi è stata utilizzata cartografia basata su foto aeree con scala 1:5000 che sono state inserite in un sistema GIS che ha consentito la georeferenziazione delle foto e la suddivisione dei tratti costieri in settori di 50 m.



Elemento di cartografia CarLit

A.2 Attività Analitiche

Tutte le attività analitiche, ad eccezione delle determinazioni ecotossicologiche svolte dalla Struttura Mare della Sede Centrale di Arpa Sicilia, sono state eseguite nei laboratori della Struttura Territoriale di Ragusa. Sono state utilizzate apparecchiature specialistiche di alta tecnologia che hanno consentito la ricerca di tutte le categorie di sostanze previste dal progetto e gli approfondimenti su acqua e sedimenti riguardanti alcune specifiche famiglie di analiti.

Di seguito è riportato l'elenco dei parametri ricercati, dei metodi di prova utilizzati e della strumentazione impiegata.

Metodologie applicate nella determinazione dei parametri ricercati su acque, sedimenti e indicatori biologici

Parametri indagati	Acqua	Sedimenti
Azoto Ammoniacale	APAT IRSA-CNR 2003 4030	/
Azoto Nitroso	APAT IRSA-CNR 2003 4050	/
Azoto Nitrico	APAT IRSA-CNR 2003 4020	/
Fosforo Totale	APAT IRSA-CNR 2003 4110	/
Ortofosfati	APAT IRSA-CNR 2003 4020	/
Silice	APAT IRSA-CNR 2003 4130	/
TOC/TN	US EPA 415.1	ICRAM- Sedimenti- scheda 4-Metodo Analizzatore Elementare
Fitofarmaci (136 principi attivi)	APAT IRSA-CNR 2003 - 5060	EPA 3545+3640+3660B+EPA 8270 D
IPA (19 sostanze)	APAT IRSA-CNR 2003 - 5080	US EPA 3550 B + EPA 8270C
PCB (29 congeneri)	APAT IRSA-CNR 2003 - 5110	US EPA 3550 B + EPA 8270C
VOC (37 composti)	EPA 5021 + EPA 8260B	/
Mercurio e composti	APAT IRSA-CNR 2003 3020	EPA US 7473
Metalli (10 elementi)	APAT IRSA-CNR 2003 3040 + APAT IRSA-CNR 2003 3020	US EPA 3051 + APAT IRSA-CNR 2003 3020
Granulometria	/	ASTM D422
Ecotossicologia	/	Manuale per la movimentazione di sedimenti marini-ICRAM
Clorofilla "a"	APAT- IRSA 9020	/
Fitoplancton	<ul style="list-style-type: none"> METODOLOGIE DI STUDIO DEL PLANCTON MARINO - ISPRA SCHEDA METODOLOGICA PER IL CAMPIONAMENTO E L'ANALISI DEL FITOPLANCTON - ISPRA 	
Zooplancton	<ul style="list-style-type: none"> METODOLOGIE DI STUDIO DEL PLANCTON MARINO - ISPRA METODOLOGIE ANALITICHE DI RIFERIMENTO - Scheda 10 - ICRAM 	
<i>Posidonia oceanica</i>	<ul style="list-style-type: none"> QUADERNO METODOLOGICO SULL'ELEMENTO BIOLOGICO <i>Posidonia oceanica</i> - ISPRA 	
Macroalghe	<ul style="list-style-type: none"> QUADERNO METODOLOGICO SULL'ELEMENTO BIOLOGICO MACROALGHE E SUL CALCOLO DELLO STATO ECOLOGICO SECONDO LA METODOLOGIA CarLit - ISPRA 	

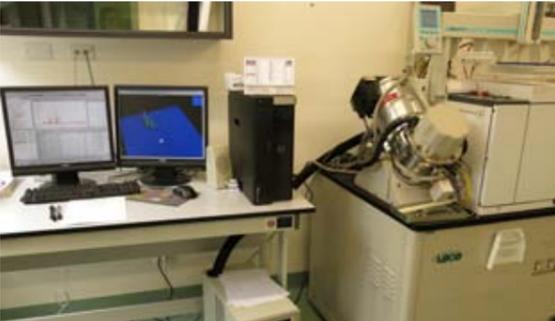
Nella tabella è schematizzata la tipologia delle analisi effettuate sulle matrici acqua e sedimenti in ciascuna campagna.

Parametri ricercati su Acqua e Sedimenti

MATRICE	PARAMETRI	Unità di Misura	Campionamento				
			Stazione 01		Stazione 02		
			Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	
ACQUA	Parametri Chimico Fisici	Trasparenza	m	x		x	
		Temperatura	°C	x		x	
		Salinità	psu	x		x	
		Ph	unità	x		x	
		Ossigeno %	%	x		x	
		Ossigeno ppm	ppm	x		x	
		Clorofila "a"	µg/L	x		x	
	Macrodescrittori	Azoto Ammoniacale	µmol/L di N	x	x	x	x
		Azoto Nitroso	µmol/L di N	x	x	x	x
		Azoto Nitrico	µmol/L di N	x	x	x	x
		Azoto totale	µmol/L di N	x	x	x	x
		Ortofosfati	µmol/L di P	x	x	x	x
		Fosforo Totale	µmol/L di P	x	x	x	x
		Silice	µmol/L di Si	x	x	x	x
		TOC	mg/L	x	x	x	x
		Clorofila "a" (metodo spettrofotometrico)	µg/L	x	x	x	x
		Solidi Sospesi	mg/L	x			
	Fitoplancton	Diatomee	n° cell./L	x			
		Dinoflagellati	n° cell./L	x			
		Altro Fitoplancton	n° cell./L	x			
		Totale Fitoplancton	n° cell./L	x			
		Lista delle specie	n° cell./L	x			
	Zooplancton	Cladoceri	n° ind./m³	x			
		Copepodi	n° ind./m³	x			
		Altro Zooplancton	n° ind./m³	x			
		Totale Zooplancton	n° ind./m³	x			
		Lista delle specie	n° ind./m³	x			
	Microinquinanti	Metalli	µg/L	x			
		VOC	µg/L	x			
		IPA	µg/L	x			
		PCB	µg/L	x			
		Fitofarmaci	µg/L	x			
	SEDIMENTI	Granulometria	Ghiaia	%		x	
Sabbia			%		x		
Pelite			%		x		
Microinquinanti		Metalli	mg/Kg s.s.			x	
		IPA	mg/Kg s.s.			x	
		PCB	mg/Kg s.s.			x	
		Fitofarmaci	mg/Kg s.s.			x	
Macrodescrittori		TOC	%			x	
		Ecotossicologia	Tossicità acuta <i>Vibrio fischeri</i>	S.T.I			x
			Tossicità acuta <i>Brachionus plicatilis</i>	%			x
	Tossicità <i>Phaeodactylum tricorutum</i>	Assente/Ormesi			x		

È di seguito riportata la strumentazione impiegata per lo svolgimento delle indagini analitiche.

Parametri indagati	Strumentazione analitica
Azoto Ammoniacale	 <p>Axflow QUATRO 4</p>
Azoto Nitroso	
Azoto Nitrico	
Fosforo Totale	
Ortofosfati	
Silice	
TOC/TN	
Fitofarmaci (70 principi attivi)	 <p>HPLC MS/MS</p>
Fitofarmaci (70 principi attivi)	 <p>GC MS</p>

IPA (19 sostanze)	 <p>GCxGC MS TOF</p>
PCB (29 congeneri)	
VOC (37 composti)	 <p>Purge&Trap GC MS</p>
Mercurio e composti	 <p>Analizzatore diretto di Mercurio</p>
Metalli (10 elementi)	 <p>ICP OES</p>

Clorofilla "a"	 <p data-bbox="834 751 1062 779">Spettrofotometro</p>
Fitoplancton	 <p data-bbox="872 1270 1026 1297">Microscopio</p>
Zooplancton	

A.3 Analisi delle pressioni Antropiche

A.3.1 Metodologia

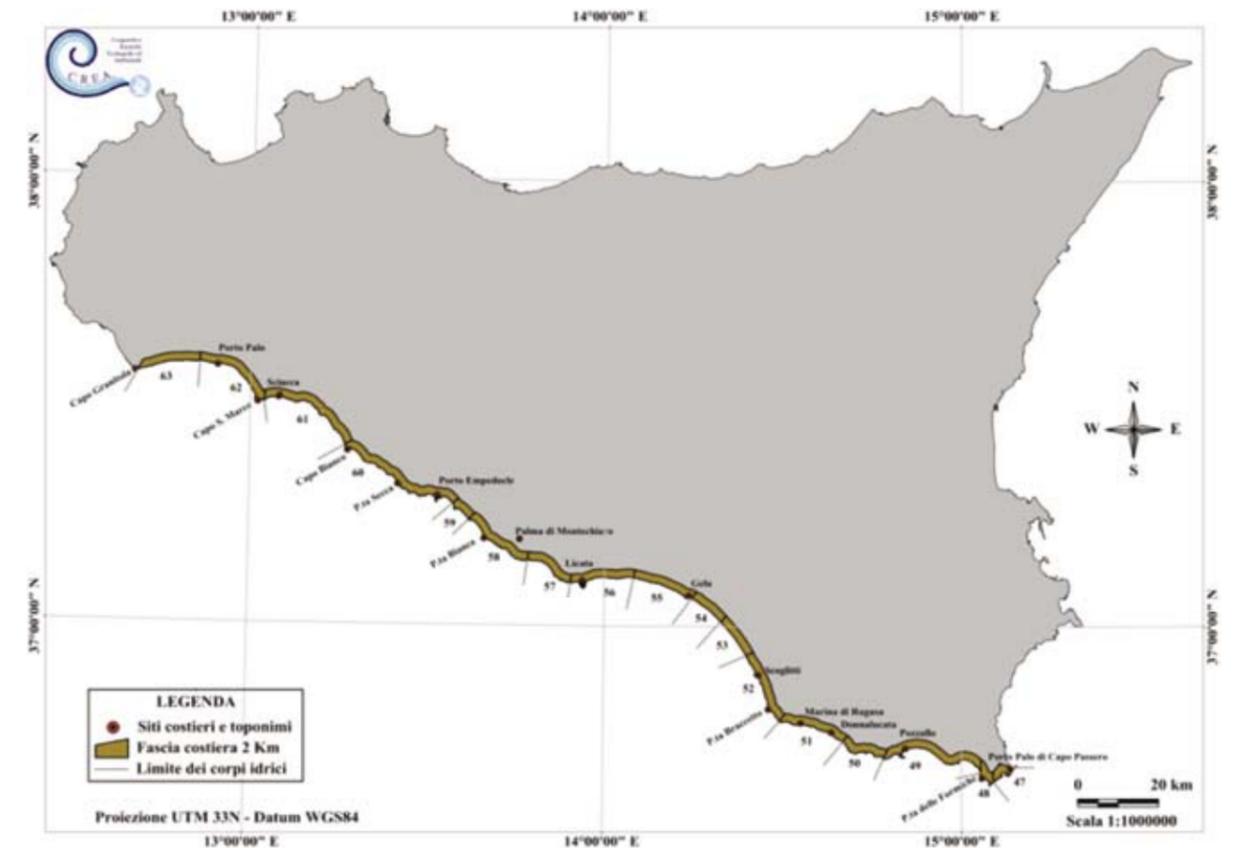
La valutazione delle pressioni antropiche è funzionale al procedimento di definizione del rischio dei corpi idrici superficiali di non raggiungere l'obiettivo di qualità ambientale di "Buono Stato delle acque" previsto dalla Direttiva 2000/60/CE Water Framework Directive. A seguito di tale valutazione, i corpi idrici sono assegnati ad una delle seguenti categorie:

1. A rischio
2. Non a rischio
3. Probabilmente a rischio

Ricadono nella categoria "probabilmente a rischio" quei corpi idrici per i quali i dati relativi all'analisi delle pressioni e/o dello stato non consentono l'assegnazione certa alla categoria "a rischio" o "non a rischio" e per i quali pertanto sono necessarie ulteriori informazioni e/o indagini.

L'analisi delle pressioni è stata condotta considerando per ogni corpo idrico il tipo e l'ampiezza delle pressioni insistenti, al fine di individuare le pressioni prevalenti che maggiormente possono influire sulla possibilità di raggiungimento degli obiettivi di qualità.

Nelle figure seguenti sono riportati i 17 corpi idrici, identificati nell'ambito dell'Attività di monitoraggio delle acque marino-costiere della Regione Siciliana, compresi nel tratto di Mare Mediterraneo interessato dallo studio. Questi vanno dal corpo idrico n. 47 al n.63, e sono ubicati fra Capo Passero e Capo Granitola e vengono identificati con le rispettive numerazioni. Per ogni corpo idrico è stata valutata, in ambiente GIS, la tipologia e l'ampiezza delle pressioni di origine diffusa e puntuale all'interno dell' area buffer di 2.000 metri dalla linea di costa.



Area di buffer di 2 km dalla linea di costa e limite corpi idrici

Sono state prese in considerazione le pressioni per le quali sono disponibili dati strutturati e consistenti a scala regionale. Il popolamento degli indicatori di pressione utilizzati per lo studio comprende categorie di pressione sia da sorgenti puntuali che diffuse, ed è stato valutato tenendo conto delle specificità del territorio geografico considerato. Nella tabella di seguito riportata sono elencate le diverse tipologie di pressioni antropiche analizzate, con una descrizione dell'indicatore utilizzato, dell'operazione effettuata per la sua indicizzazione e dell'unità di misura impiegata.

Pressione	Descrizione indicatore	Operazione	Unità Misura
Uso agricolo intensivo	% aree agricole intensive, in particolare solo le colture in serra, sul totale dell'area buffer di 2 km della linea di costa scelta sottesa al corpo idrico	Georeferenziazione delle colture in serra da foto aeree derivate da Portale Cartografico Italiano ed è calcolata la % di uso rispetto al totale	%
Uso agricolo non intensivo	% aree agricole intensive ad esclusione delle colture in serra sul totale dell'area buffer di 2 km della linea di costa scelta sottesa al corpo idrico	Da Corine Land Cover sono selezionati i codici: 211 (ad esclusione delle serre), 221, 222, 223, 241, 242 ed è calcolata la % di uso rispetto al totale	%
Uso urbano e industriale	% aree urbane e produttive sul totale dell'area buffer di 2 km della linea di costa scelta sottesa al corpo idrico	Da Corine Land Cover sono selezionati i codici: 111, 112, 121 e 122 ed è calcolata la % di uso rispetto al totale	%
Carico organico BOD	BOD espresso in t/anno misurato alla chiusura del/dei bacini idrografici sottesi al corpo idrico	Rapporto tra valore numerico di BOD (t/anno) e lunghezza lineare della linea di costa compresa nel corpo idrico	t/anno di BOD per Km
Carico trofico N	Azoto espresso in t/anno misurato alla chiusura del/dei bacini idrografici sottesi al corpo idrico	Rapporto tra valore numerico di N (t/anno) e lunghezza lineare della linea di costa compresa nel corpo idrico	t/anno di N per Km
Carico trofico P	Fosforo espresso in t/anno misurato alla chiusura del/dei bacini idrografici sottesi al corpo idrico	Rapporto tra valore numerico di P (t/anno) e lunghezza lineare della linea di costa sottesa al corpo idrico	t/anno di P per Km
Scarichi depurati	Presenza di scarichi costieri depurati indicati come abitanti equivalenti per km del corpo idrico	Rapporto tra valore numerico di AE (abitanti equivalenti) e lunghezza lineare della linea di costa sottesa al corpo idrico	AE per km
Porti	Presenza di aree portuali e classificazione secondo D.P.R. 1/06/2004	Presenza o assenza di porti e la loro classificazione nel corpo idrico di riferimento	Tipologia
Siti a rischio contaminazione sostanze pericolose (SIN)	Presenza di Siti industriali di Interesse Nazionale secondo D.lg. 22/97	Presenza, assenza o la adiacenza di SIN nel corpo idrico di riferimento	Criterio
Artificializzazione costa	% di costa artificializzata nel corpo idrico	Georeferenziazione delle banchine portuali, moli, barriere frangiflutto e soffolte da foto aeree derivate da Portale Cartografico Italiano ed è calcolata la % di artificializzazione rispetto alla linea di costa compresa nel corpo idrico	%

A.3.1.1 Popolamento degli indicatori di pressioni considerati nello studio, con la descrizione del tipo di indicatore, dell'operazione eseguita per la sua indicizzazione e l'unità di misura utilizzata

Per le diverse categorie di pressione sono stati utilizzati i seguenti dati:

Pressioni antropiche di tipo diffuso:

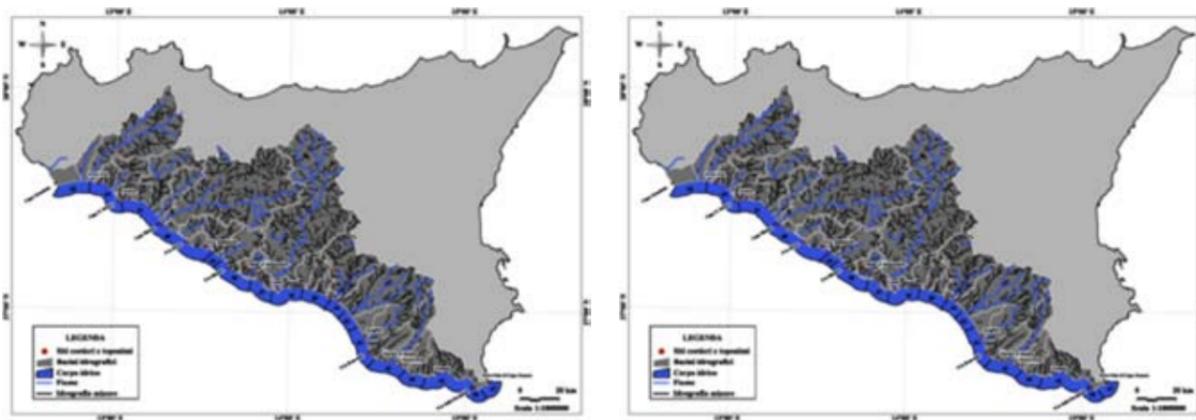
- **Utilizzo agricolo del territorio**, vista la specificità dell'area oggetto di studio, si è proceduto alla distinzione tra uso agricolo non intensivo ed intensivo, intendendo con quest'ultima denominazione le coltivazioni in serra. I dati utilizzati provengono dall'aggregazione delle tipologie di uso del suolo derivate dal Corine Land Cover 2006; per la serricoltura è stata eseguita una georeferenziazione da foto aeree derivate da Geoportale Nazionale;
- **Uso urbano ed industriale**: i dati utilizzati provengono dall'aggregazione delle tipologie di uso del suolo derivate dal Corine Land Cover 2006.

Pressioni Antropiche di tipo puntuale:

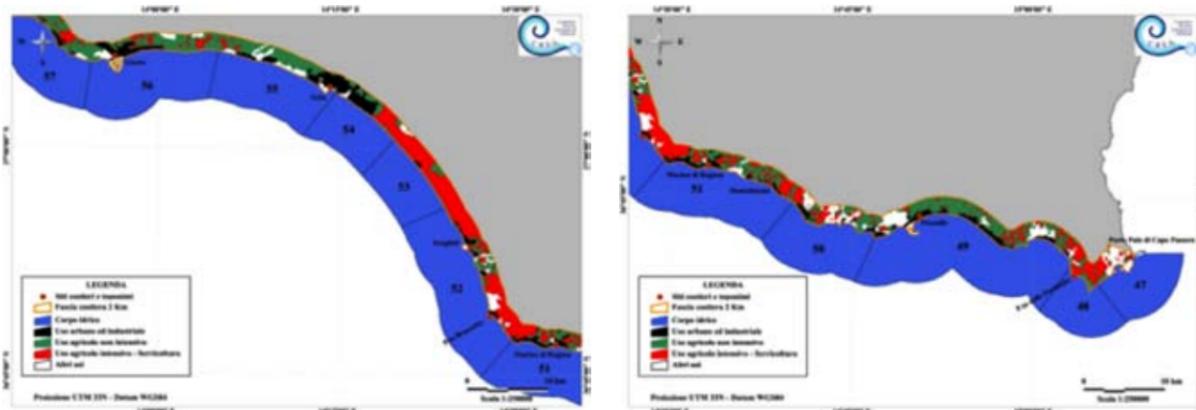
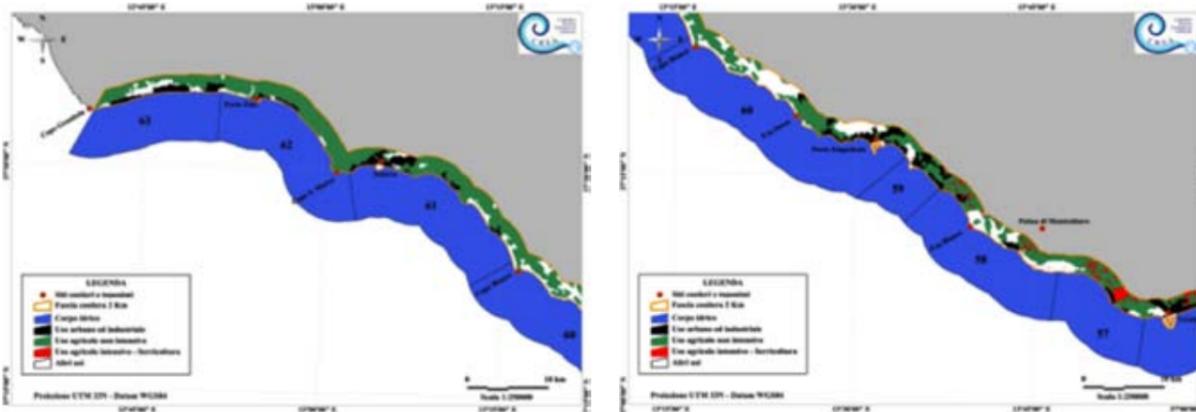
- i dati relativi a **BOD, Azoto e Fosforo** per tutti i bacini idrografici a monte dei corpi idrici marino-costieri di interesse per lo studio, espressi in tonnellate annue e rapportate al Km di costa, sono stati estrapolati dal Piano di Tutela delle Acque in Sicilia (di seguito PTA), redatto dall'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (2007);
- per esigenze di uniformità sulle informazioni relative agli **scarichi**, è stata effettuata una georeferenziazione degli scarichi in mare provenienti dai depuratori dei reflui civili ed industriali. I dati sono stati ottenuti dalle schede relative a tutti gli impianti di depurazione della Regione Sicilia, prodotte da SOGESID (2007) nell'ambito delle attività di supporto per la redazione del Piano di tutela delle acque. Integrazioni aggiornate sono state fornite direttamente dalle altre Strutture Territoriali di ARPA. Il dato è stato successivamente restituito in termini di abitanti equivalenti per km di corpo idrico;
- è stata valutata la presenza di aree portuali e realizzata una mappa georeferenziata in cui si è tenuto conto della loro classificazione secondo il D.P.R. 1/06/2004, distinguendo tra uso commerciale, turistico e peschereccio. L'attribuzione ad una delle tre categorie di rischio è stata effettuata dunque non solo sulla base della presenza/assenza di tali infrastrutture, ma anche in funzione del loro utilizzo;
- si è ritenuto di dovere considerare la presenza, assenza o la vicinanza per ciascun corpo idrico di **Siti industriali di Interesse Nazionale**, come un importante fattore di rischio per la contaminazione di acque, sedimenti e biota;
- l'**artificializzazione della costa**, intesa come presenza di banchine portuali, moli, barriere frangiflutto e soffolte, è stata evidenziata tramite la loro georeferenziazione da foto aeree derivate da Geoportale Nazionale ed espressa come % di artificializzazione rispetto alla linea di costa compresa nel corpo idrico.

Sono stati organizzati i data set utili a popolare, in ambiente GIS, gli indicatori sopra descritti; si tratta di diversi livelli conoscitivi che riportano sia informazioni georeferenziate sulle pressioni sia i dati ad esse collegati.

Tutti gli indicatori sopra descritti sono stati popolati e calcolati su base cartografica. Si è operato in ambiente GIS per individuare i corpi idrici, i bacini idrografici e relativa idrografia e le aree buffer di 2 Km di riferimento sulle quali valutare e calcolare le pressioni.



Bacini Idrici



Carta uso del suolo - Tipologie di uso del suolo ottenute da Corine Land Cover e da georeferenziazione delle serre.

A.3.2 Risultati sull'analisi dei dati

L'elaborazione dei data set in ambiente GIS ha permesso di quantificare, per ciascun indicatore di pressione, il relativo impatto in ogni corpo idrico.

Corpo idrico	Uso agricolo intensivo	Uso agricolo non intensivo	Uso urbano e industriale	Totale antropizzazione	Carico organico (BOD)	Carico trofico N	Carico trofico P	Scarichi depurati	Porti	Siti a rischio contaminazione sostanze pericolose	Artificializzazione costa
	%	%	%	%	t/anno di per Km	t/anno di per Km	t/anno di per Km	AE per km	Num	Num	%
47	28.3	13.6	3.3	45.2	9,7	17,0	1,2		1	0	11.3
48	62.2	32.1	0	94.3	9,7	17,0	1,2		0	0	0.0
49	11.4	54	16	81.4	9,7	17,0	1,2	1376	1	0	11.2
50	19.6	38.2	10.9	68.7	9,7	17,0	1,2		0	0	0.4
51	33.5	45.9	16.1	95.5	89.8	50.5	6.1	4708	2	0	33.0
52	61.7	16.3	9.1	87.1	45.7	54.5	5.1	1726	1	0	9.8
53	85.3	10.4	1.7	97.4	57,1	175,7	12,6	330	0	0	0.0
54	31.4	23.4	40.5	95.3	5,6	40,9	1,8	6967	0	1	53.4
55	3.5	53.2	26.6	83.3	73,9	30,3	3,1	1344	1	0	16.8
56	11	55.1	21.2	87.3	70,2	188	9,6	1792	1	0	31.0
57	17.1	66	4.6	87.7	1,5	9,9	0,4		0	0	4.9
58	6.5	53.8	6.1	66.4	43,9	39,8	4,1		0	0	9.4
59	0.8	42.9	47.6	91.3	84,1	89,4	10,5	5682	1	0	56.8
60	0	43.8	14.9	58.7	42,1	168,4	7,7	812	2	0	22.9
61	0	71.9	17	88.9	51	42,3	3,8	1154	1	0	25.6
62	0	90.4	4.2	94.6	22,6	75	3,7	875	1	0	9.8
63	0.1	56	23.5	79.6	125,2	44,7	7,1	2544	1	0	4.6

Popolamento degli indicatori di pressione

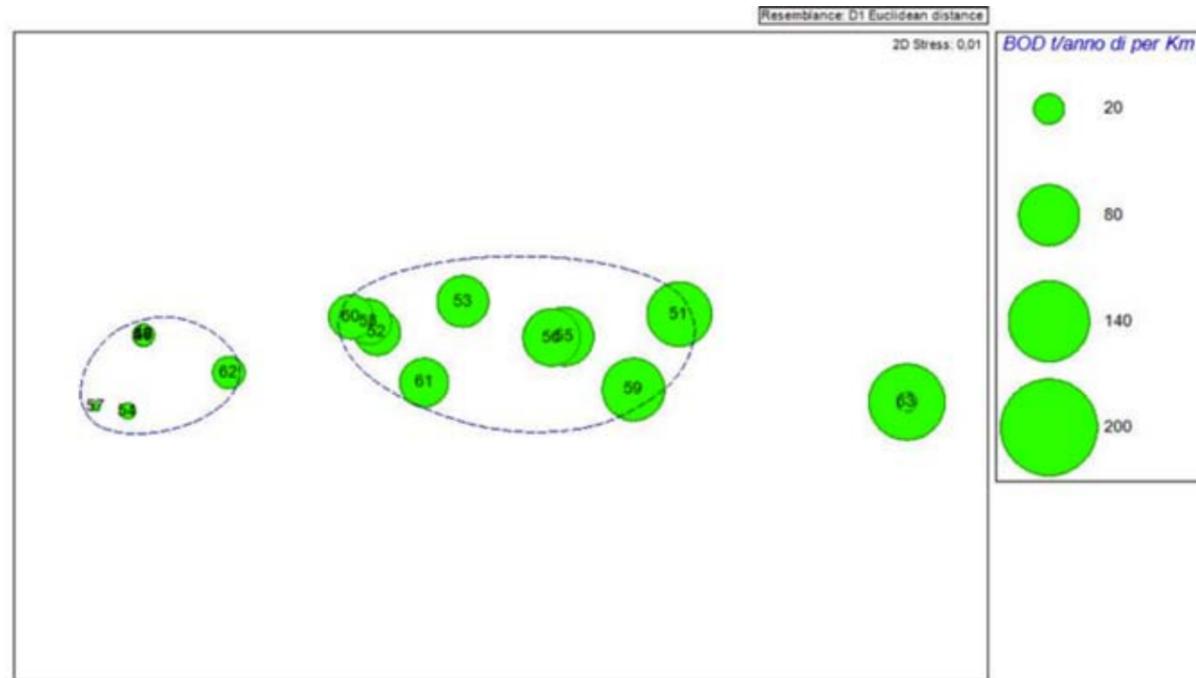
A.3.2.1 Individuazione delle categorie di rischio

Una volta definito il popolamento degli indicatori di pressione si è proceduto a fissare, per ciascuno degli indicatori, i valori soglia. È stato così possibile attribuire a ciascun indicatore di pressione, valutato nell'ambito di un specifico corpo idrico, una delle tre categorie di rischio. I valori soglia proposti sono stati definiti su base bibliografica, procedendo con criteri analoghi e/o sulla base di informazioni riportate in studi effettuati da altre ARPA.

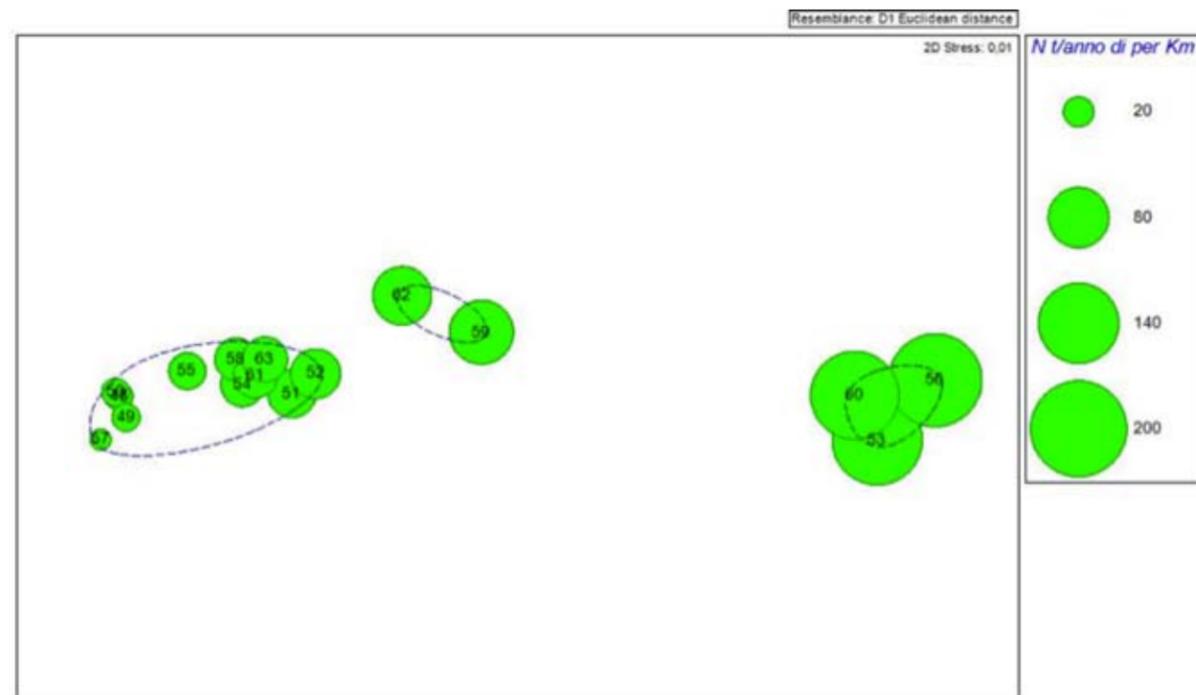
Quando non si è potuto procedere secondo bibliografia si è scelto di analizzare statisticamente i set di dati impiegando dei sistemi di ordinamento non metrico multivariato (MDS) e di analisi gerarchica dei cluster (CLUSTER). Il metodo utilizzato consente di individuare dei trend di raggruppamento tra i corpi idrici secondo un criterio di maggiore similarità, in funzione di uno specifico fattore di pressione, allo scopo di ordinare i corpi idrici ed estrapolare, una volta ottenuti degli adeguati cluster, i valori soglia per l'attribuzione ad una delle tre categorie di rischio.

Le analisi statistiche sono state eseguite mediante il pacchetto statistico PRIMER (Clarke & Warwick, 1994). La metodologia di indagine è stata in particolare utilizzata per l'attribuzione della categoria di rischio in funzione del carico organico di natura antropica (BOD) e dei carichi dei nutrienti (N e P).

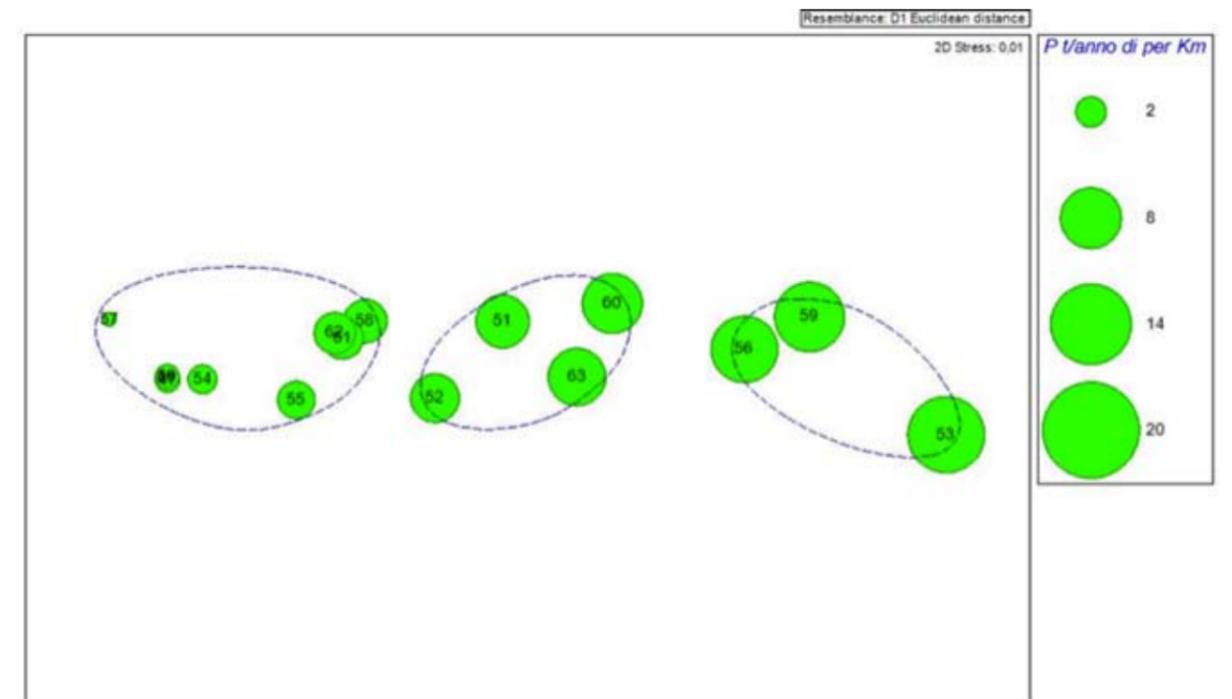
Si riportano di seguito i risultati dell'analisi dei Cluster



Analisi MDS sui dati di BOD. I numeri nel riquadro grande sono riferiti ai 17 corpi idrici, che sono statisticamente raggruppati secondo un criterio di maggiore somiglianza. Le bolle di colore verde esprimono la quantità di BOD, e la loro dimensione è proporzionale alla quantità.



Analisi MDS sui dati di N. I numeri nel riquadro grande sono riferiti ai 17 corpi idrici, che sono statisticamente raggruppati secondo un criterio di maggiore somiglianza. Le bolle di colore verde esprimono la quantità di N, e la loro dimensione è proporzionale alla quantità.



Analisi MDS sui dati di P. I numeri nel riquadro grande sono riferiti ai 17 corpi idrici, che sono statisticamente raggruppati secondo un criterio di maggiore somiglianza. Le bolle di colore verde esprimono la quantità di P, e la loro dimensione è proporzionale alla quantità.

A.3.2.2 Categorie di rischio

Nella Tabella successiva sono riportati gli indicatori utilizzati per l'analisi delle pressioni e per ciascuno una proposta di classificazione per assegnare al corpo idrico la categoria di rischio relativa.

Indicatore	Misura del valore	Categoria di rischio
Uso agricolo intensivo	% > 50	A rischio
	10 < % < 50	Probabilmente a rischio
	% < 10	Non a rischio
Uso agricolo non intensivo	% > 50	A rischio
	25 < % < 50	Probabilmente a rischio
	% < 25	Non a rischio
Uso urbano	% > 25	A rischio
	5 < % < 25	Probabilmente a rischio
	% < 5	Non a rischio
Carico organico di origine antropica (BOD)	t/anno/Km > 100	A rischio
	40 < t/anno/Km < 100	Probabilmente a rischio
	t/anno/Km < 40	Non a rischio
Carico trofico N	t/anno/Km > 100	A rischio
	60 < t/anno/Km < 100	Probabilmente a rischio
	t/anno/Km < 60	Non a rischio
Carico trofico P	t/anno/Km > 9	A rischio
	5 < t/anno/Km < 9	Probabilmente a rischio
	t/anno/Km < 5	Non a rischio

Indicatore	Misura del valore	Categoria di rischio
Scarichi	AE/km>1000	A rischio
	0<AE/km<1000	Probabilmente a rischio
	Assente	Non a rischio
Porti	Commerciale, turistico e peschereccio	A rischio
	Turistico e peschereccio	Probabilmente a rischio
	Assente	Non a rischio
Siti a rischio contaminazione sostanze pericolose (SIN)	Presente	A rischio
	Adiacente	Probabilmente a rischio
	Assente	Non a rischio
Artificializzazione costa	% > 30	A rischio
	10<%<30	Probabilmente a rischio
	%<10	Non a rischio

Indicatori di pressione e ipotesi di relativa categorizzazione

Imponendo al sistema informativo i valori soglia mostrati sopra, è stato possibile ottenere una valutazione del rischio dei corpi idrici in relazione al popolamento di indicatori di pressione.

Rosso	A RISCHIO
Giallo	PROBABILMENTE A RISCHIO
Verde	NON A RISCHIO

Il numero di corpi idrici che rientrano nelle diverse categorie di rischio per singolo indicatore è riportato nella sottostante tabella.

Indicatore	Corpi idrici		
	A rischio	Probabilmente a rischio	Non a rischio
Uso agricolo intensivo	3	7	7
Uso agricolo non intensivo	8	5	4
Uso urbano e industriale	3	9	5
Carico organico (BOD)	1	9	7
Carico trofico N	3	2	12
Carico trofico P	3	4	10
Presenza di scarichi	9	3	5
Presenza di porti	4	7	6
Presenza di siti a rischio contaminazione sostanze pericolose (SIN)	1	2	14
Artificializzazione costa	4	5	8

Numero Corpi idrici che rientrano nelle diverse categorie di rischio per singolo indicatore.

Gli indicatori per i quali si riscontra un maggior numero di corpi idrici a rischio sono:

Uso agricolo non intensivo e Presenza di scarichi.

Il numero degli indicatori divisi per categorie di rischio relativamente ad ogni corpo idrico è di seguito elencato

Corpo idrico	Categorie di rischio		
	A rischio	Probabilmente a rischio	Non a rischio
47	0	3	7
48	1	1	8
49	3	3	4
50	0	3	7
51	2	6	2
52	2	4	4
53	3	3	4
54	4	1	5
55	4	3	3
56	6	3	1
57	1	1	8
58	1	2	7
59	4	4	2
60	2	6	2
61	2	4	4
62	1	3	6
63	3	3	4

Numero di indicatori per ciascuna categorie di rischio per ogni corpo idrico

A.3.2.3 Valutazione complessiva del rischio

Per tutti i 17 corpi idrici è stata calcolata la percentuale di indicatori a rischio, probabilmente a rischio e non a rischio. La valutazione delle percentuali ha condotto all'adozione di un principio cautelativo per la scelta dei criteri di classificazione complessiva del rischio come riportato nella seguente tabella:

Corpo idrico	Categorie di rischio			Valutazione complessiva
	A rischio	Probabilmente a rischio	Non a rischio	
<i>n</i>	= 0%	≤ 20%		Non a rischio
<i>n</i>	= 0%	> 20%		Probabilmente a rischio
<i>n</i>	= 10%	≤ 20%		Probabilmente a rischio
<i>n</i>	= 10%	> 20%		A rischio
<i>n</i>	> 10%			A rischio

Valutazione complessiva delle categorie di rischio.

La valutazione complessiva del rischio, espressa per ciascun corpo idrico, è riportata con il dettaglio delle percentuali nella tabella successiva e complessivamente nella mappa della figura successiva.

Corpo idrico	Categorie di rischio			Valutazione complessiva
	A rischio	Probabilmente a rischio	Non a rischio	
47	0%	30%	70%	Probabilmente a rischio
48	10%	10%	80%	Probabilmente a rischio
49	30%	30%	40%	A rischio
50	0%	30%	70%	Probabilmente a rischio
51	20%	60%	20%	A rischio
52	20%	40%	40%	A rischio
53	30%	30%	40%	A rischio
54	40%	10%	50%	A rischio
55	40%	30%	30%	A rischio
56	60%	30%	10%	A rischio
57	10%	10%	80%	A rischio
58	10%	20%	70%	Probabilmente a rischio
59	40%	40%	20%	A rischio
60	20%	60%	20%	A rischio
61	20%	40%	40%	A rischio
62	10%	30%	60%	Probabilmente a rischio
63	30%	30%	40%	A rischio

Valutazione complessiva del rischio per tutti i 17 corpi idrici considerati.



Mappa dei Corpi idrici con valutazione del rischio

Nella sottostante tabella è riportato lo schema riassuntivo del numero di corpi idrici assegnati alle diverse categorie di rischio in base all'analisi complessiva delle pressioni.

Categorie di rischio	Numero di Corpi idrici
A rischio	11
Probabilmente a rischio	6
Non a rischio	0
TOTALE	17

Categorie di rischio complessivo valutate in relazione agli indicatori di pressione utilizzati e riferite ai 17 corpi idrici

I risultati della valutazione delle pressioni antropiche sono stati successivamente oggetto di confronto con lo Stato Chimico ed Ecologico, determinati per ciascuno dei corpi idrici attraverso l'elaborazione dei risultati delle indagini ambientali secondo la metodologia prevista dal D.M. n. 260/2010.

A.4 Valutazione delle condizioni ambientali nel canale di Sicilia: stato ecologico e stato chimico

A.4.1 Metodologia

La classificazione dello Stato di Qualità Ambientale delle acque marino costiere, secondo le indicazioni della direttiva 2000/60/CE, recepita con il D.Lgs. 152/06 e attuata tramite il D.M. 260/2010, viene determinata in base allo Stato Chimico ed allo Stato Ecologico dei corpi idrici. Lo Stato Ecologico viene determinato attraverso il monitoraggio e la valutazione di elementi di natura biologica e di elementi fisico-chimici, chimici e idromorfologici definiti a sostegno degli elementi di qualità biologici.

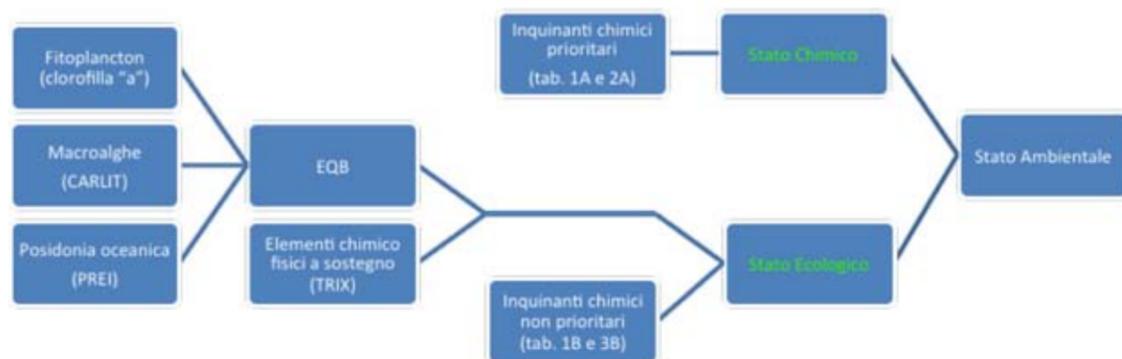
Gli elementi biologici (EQB), che la direttiva indica ai fini della classificazione delle acque marino-costiere, sono il fitoplancton, le macroalghe, il macrozoobenthos (non indagato in questo studio) e le angiosperme.

Per ciascun EQB viene calcolato l'EQR "Ecological Quality Ratio" o "Rapporto di qualità ecologica" dato dal rapporto tra il valore del parametro biologico osservato e ricavato dai dati di monitoraggio, ed il valore dello stesso parametro corrispondente alle condizioni di riferimento. L'EQR, assume valori compresi tra 0 ed 1 distribuiti in 5 classi di qualità, "Elevato", "Buono", "Sufficiente", "Scarso", "Cattivo" corrispondenti a quelle previste dalla normativa; valori prossimi o uguali ad 1 corrispondono ad uno stato di qualità "elevato", mentre valori prossimi o uguali a 0, corrispondono allo Stato Ecologico "cattivo".



Classificazione degli EQR.

Lo Stato Ecologico per ciascun corpo idrico viene definito dall'integrazione del valore peggiore tra gli EQB indagati con gli elementi chimico fisici a sostegno, espressi tramite l'indice TRIX e gli inquinanti chimici non prioritari, indicati nelle tabelle 1/B e 3/B del DM 260/2010. Anche lo Stato Ecologico viene espresso attraverso l'assegnazione delle acque marino-costiere a 5 classi di qualità ecologica, "Elevato", "Buono", "Sufficiente", "Scarso", "Cattivo". Lo Stato Chimico viene determinato dal monitoraggio e valutazione degli inquinanti chimici prioritari indicati nelle tabelle 1/A e 2/A del D.M. 260/2010 e viene espresso attraverso l'assegnazione delle acque marino-costiere a 2 classi "buono" e "non buono".



A.4.2 Stabilità della colonna acqua

I criteri per la tipizzazione dei corpi idrici, riportati dal D.M. 131/08 e richiamati nel D.M. 260/10, consentono l'individuazione dei tipi marino-costieri sulla base di parametri geomorfologici, quali morfologia dell'area costiera sommersa e natura del substrato, e parametri idrologici, come la stabilità verticale della colonna d'acqua.

La stabilità della colonna d'acqua è un fattore che ben rappresenta gli effetti delle immissioni di acqua dolce di provenienza continentale correlabili ai numerosi fattori di pressione antropica che insistono sulla fascia costiera, inoltre consente di classificare le acque costiere secondo tre tipologie: alta, media e bassa stabilità.

La metodologia di riferimento finalizzata all'applicazione dei criteri per la tipizzazione idrologica è "ISPRA 2008 - Criteri per la suddivisione delle acque superficiali costiere in diverse tipologie secondo la Direttiva 2000/60/CE. Tipizzazione su base idrologica"

La suddivisione dei corpi idrici in tipi costieri è funzionale alla definizione delle condizioni di riferimento tipo-specifiche per la corretta valutazione dei singoli EQB, così come previsto dalla normativa ai fini della classificazione dello Stato Ecologico delle acque marino-costiere.

In particolare, la tipo-specificità per il Fitoplancton ed i Macroinvertebrati bentonici è caratterizzata dal criterio di tipizzazione idrologico.

La valutazione dei dati sulla stabilità della colonna d'acqua nell'ambito del Progetto Caulerpa ha portato alla definizione dei tipi costieri correlati ai corpi idrici indagati così come di seguito riportato:

Corpo Idrico	Caratteristiche geomorfologiche	Stabilità verticale della colonna d'acqua	Tipi costieri
47	Pianura di dune	Stabilità media-2	F2
48	Pianura alluvionale	Stabilità media-2	E2
49	Pianura alluvionale	Stabilità bassa-3	E3
50	Pianura di dune	Stabilità bassa-3	F3
51	Pianura di dune	Stabilità media-2	F2
52	Pianura di dune	Stabilità bassa-3	F3
53	Pianura di dune	Stabilità bassa-3	F3
54	Pianura di dune	Stabilità media-2	F2
55	Pianura alluvionale	Stabilità media-2	E2
56	Pianura alluvionale	Stabilità bassa-3	E3
57	Rilievi montuosi	Stabilità bassa-3	A3
58	Terrazzi	Stabilità bassa-3	B3
59	Rilievi montuosi	Stabilità bassa-3	A3
60	Rilievi montuosi	Stabilità media-2	A2
61	Rilievi montuosi	Stabilità bassa-3	A3
62	Rilievi montuosi	Stabilità media-2	A2
63	Pianura di dune	Stabilità media-2	F2

A.4.3 Stato Ecologico: Elementi di Qualità Biologica (EQB)

Ai fini della classificazione dello Stato Ecologico delle acque marino-costiere, il D.M. 260/2010 riporta le metriche e/o gli indici da utilizzare per ciascuno degli elementi di qualità biologica secondo i protocolli proposti a livello nazionale.

A.4.3.1 EQB Fitoplancton

La metodologia applicata per lo studio del EQB fitoplancton fa riferimento ai seguenti documenti:

- "Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del Fitoplancton" - ISPRA 2008;
- "Metodologie di studio del plancton marino" - ISPRA, Manuali e Linee Guida 56/2010;
- Icram 2001. "Metodologie analitiche di riferimento - Acqua" - Scheda 11.

Per l'EQB fitoplancton la direttiva richiede: la "Composizione abbondanza e biomassa del fitoplancton. Per le acque marino-costiere segnalazione inoltre di fioriture di specie potenzialmente tossiche o nocive".

Secondo quanto riportato dal decreto, il fitoplancton viene valutato attraverso il parametro clorofilla "a" misurato in superficie, scelto come indicatore della biomassa. Occorre fare riferimento non solo ai rapporti di qualità ecologica (RQE) ma anche ai valori assoluti (espressi in mg/m³) di concentrazione di clorofilla "a".

Di seguito i valori di EQR e le rispettive classi di qualità rilevate in ciascun corpo idrico per l'elemento di qualità biologico Fitoplancton:

Fitoplancton																	
Corpi idrici	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
EQR	3,55	8,25	2,07	4,37	1,35	1,48	1,41	0,95	1,77	1,40	0,43	0,93	2,35	0,67	0,69	6,63	3,71
Classe qualità	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	S	E	E	B	B	E	E

L'indagine evidenzia, per la maggior parte dei corpi idrici indagati, l'appartenenza alla classe di qualità biologica più elevata. Solo il corpo idrico n.53 ricadente nel Golfo di Gela ha una classe di qualità sufficiente.

A.4.3.2 EQB Macroalghe (Indice CarLit)

Il metodo applicato per la classificazione dell'EQB relativo all'indicatore delle Macroalghe è denominato CarLit, metodo cartografico che prende in considerazione lo sviluppo lineare dei popolamenti vegetali superficiali in ambiente microtidale di substrato roccioso; la metodologia si riferisce al seguente documento:

"Quaderno Metodologico sull'elemento biologico MACROALGHE e sul calcolo dello Stato Ecologico secondo la metodologia CarLit" ISPRA 2008.

La tipo-specificità per le macroalghe è definita dal criterio geomorfologico e i macrotipi da tenere in considerazione sono: A) rilievi montuosi e B) terrazzi.

Lo studio delle macroalghe secondo metodo CarLit non è stato effettuato nei corpi idrici in cui risulta assente una linea di costa di natura rocciosa.

Di seguito sono riportati i valori di EQR e le rispettive classi di qualità rilevate in ciascun corpo idrico per l'elemento di qualità biologico Macroalghe:

Macroalghe (CARLIT)																	
Corpi idrici	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
EQR		1,27	1,24	1,29		1,14	1,19	0,66	0,64			0,68	0,58	1,01	0,70	0,74	0,72
Classe qualità		E	E	E		E	E	B	B			B	S	E	B	B	B

Si può notare un andamento dell'indice di CarLit mediamente decrescente da ovest verso est del Canale di Sicilia pur all'interno di valori accettabili.

A.4.3.3 EQB Angiosperme: Prateria a Posidonia oceanica (indice PREI)

Per l'EQB *Posidonia oceanica* si applica l'Indice PREI (*Posidonia oceanica* Rapid Easy Index), introdotto da GOBERT et al. (2009). L'indice viene calcolato elaborando i dati relativi ai seguenti parametri: densità foliare per fascio, biomassa degli epifiti, biomassa foliare, profondità e tipologia del limite inferiore.

La metodologia applicata per lo studio del EQB *Posidonia oceanica* fa riferimento al seguente documento:

"Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi della *Posidonia oceanica*" - ISPRA 2008.

L'indice è stato applicato in quei corpi idrici dove è stata rilevata la presenza di posidonieti. Di seguito i valori di EQR e le rispettive classi di qualità rilevate in ciascun corpo idrico per l'elemento di qualità biologico Angiosperme (*Posidonia oceanica*):

Angiosperme (PREI)																	
Corpi idrici	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
EQR	0,738	0,607	0,596										0,594		0,597	0,798	0,763
Classe qualità	B	B	B										B		B	E	B

L'applicazione dell'indice PREI evidenzia come le praterie oggetto d'indagine si collochino mediamente nello Stato Ecologico BUONO.

A.4.4 Stato Ecologico: Elementi di qualità fisico chimica, idromorfologica ed elementi chimici a sostegno

Nell'ambito delle acque marino costiere gli elementi di qualità fisico-chimica concorrono alla definizione dello Stato Ecologico stesso mentre gli elementi idromorfologici devono essere utilizzati per migliorare l'interpretazione dei risultati in modo da pervenire all'assegnazione di uno Stato Ecologico certo.

EQB	Elementi idromorfologici	Elementi fisico-chimici per la classificazione	Elementi fisico-chimici per l'interpretazione
Fitoplancton	regime correntometrico	- ossigeno disciolto - nutrienti.	- trasparenza - temperatura - salinità
Macroinvertebrati bentonici	- profondità - natura e composizione del substrato		

Elementi idromorfologici e fisico chimici a sostegno dei vari EQB.

A.4.4.1 Stato Ecologico: Elementi di qualità fisico chimici a sostegno (Indice TRIX)

Il D.Lgs. 152/06 individua l'indice TRIX quale elemento di qualità fisico-chimica a sostegno degli Elementi di Qualità Biologica (EQB) che concorre alla classificazione dello Stato Ecologico delle acque marino-costiere.

L'indice TRIX sintetizza in un valore numerico le principali componenti degli ecosistemi marini che caratterizzano la produzione primaria: nutrienti e biomassa fitoplanctonica.

$$\text{Indice Trofico TRIX} = (\text{Log}[\text{Chla} * |\text{OD}\%| * \text{N} * \text{P}] - [-1.5])/1.2$$

dove:

Chla = Clorofilla "a" in µg/l

OD% = % Ossigeno Disciolto espresso come valore assoluto della saturazione

N = Azoto solubile (NNO 3, NNO 2, NNH 3) in µg/l

P = Fosforo totale

Questo valore numerico definisce, in una scala di valori da 1 a 10, suddivisa in 4 classi di stato "elevato", "buono", "mediocre" e "scadente", le condizioni di trofia di un corpo idrico. Come indicato nel DM 260/2010, il limite di classe tra lo stato buono e quello sufficiente, da applicare a ciascun corpo idrico, è dettato dalla tipologia di macrotipo individuato su base idrologica con la definizione della stabilità della colonna d'acqua.

Di seguito i valori relativi all'indice TRIX e le rispettive classi di stato rilevate in ciascun corpo idrico, calcolati sia con il dato della clorofilla determinata con metodo spettrofotometrico che con metodo fotometrico (sonda multiparametrica).

		TRIX																
Corpi idrici		63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
TRIX spettrofotometrico		2.56	2.33	2.99	2.67	2.78	2.88	2.60	2.93	2.97	3.35	3.14	2.97	2.93	2.95	2.78	2.84	2.38
TRIX fotometrico		2.41	2.08	2.79	2.40	2.77	2.64	2.13	2.47	2.47	2.70	2.61	2.53	2.53	2.31	2.19	2.33	1.96
		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Tutti i corpi idrici indagati ricadono, per l'indice TRIX, nella classe "Buono".

A.4.4.2 Elementi chimici a sostegno degli indicatori biologici

Ai fini della classificazione dello Stato Ecologico, gli elementi chimici a sostegno sono riferiti alle sostanze indicate nelle tabella 1/B per la colonna d'acqua, 3/B per il sedimento e le modalità di valutazione nella tabella 4.5/a del DM 260/2010.

Nei casi in cui il 90% dei risultati analitici in un corpo idrico siano risultati sotto il limite di quantificazione, come indicato nel DM 260/2010, non è stata effettuata la media dei valori ed è stato riportato il risultato "minore del limite di quantificazione".

In considerazione della complessità della matrice sedimento, il DM 260/2010 ammette, ai fini della classificazione del buono Stato Ecologico, uno scostamento pari al 20% del valore SQA-MA riportato in tabella.

Si riportano di seguito le classi di stato rilevate in ciascun corpo idrico relativamente agli elementi chimici a sostegno.

Corpi idrici	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
Elementi chimici a sostegno (Tab 1B e 3B D.M. 260/2010)	B	B	B	B	B	S (As)	B	B	B	B	B	B	S (As)	S (As)	S (As)	B	B

Tra gli inquinanti ricercati ed indicati in tabella 3/B, che hanno fatto registrare valori superiori ai rispettivi LOQ, l'Arsenico ha presentato superamenti del proprio SQA-MA (12 mg/kg ss) nei corpi idrici 49, 50, 51, 58.

A.4.4.3 Stato Ecologico: classi

L'integrazione tra il peggior risultato degli EQB indagati, il valore dell'indice TRIX e gli elementi chimici a sostegno elencati nelle tabelle 1/B (inquinanti chimici non appartenenti all'elenco di priorità ricercati nella colonna d'acqua) e 3/B (inquinanti chimici non appartenenti all'elenco di priorità ricercati nei sedimenti) del DM 260/2010, ha permesso di definire lo Stato Ecologico per ciascun corpo idrico. Si riportano di seguito le classi di Stato Ecologico rilevate

Corpi idrici	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
STATO ECOLOGICO	B	B	B	B	B	S	B	B	B	B	S	B	S	S	S	B	B

Lo Stato Ecologico dei corpi idrici indagati risulta quasi sempre "Buono". Il superamento del parametro Arsenico per i corpi idrici 49, 50, 51 e 58, ed il valore dell'EQR Fitoplancton per il corpo idrico 53, declassano questi corpi idrici allo Stato Ecologico sufficiente.

A.4.4.4 Stato Chimico

Per la valutazione dello Stato Chimico è stata definita a livello comunitario una lista di 33+8 sostanze per le quali sono previsti EQS europei fissati dalla Direttiva 2008/105/CE e ss.mm.ii. Il DM 260/2010 definisce le classi di stato per ciascun corpo idrico sulla base degli inquinanti chimici appartenenti all'elenco di priorità da ricercare nella colonna d'acqua (tabella 1/A) e nei sedimenti (tabella 2/A). L'appartenenza allo stato "Non Buono" è riconducibile al superamento anche di un solo inquinante presente in una delle due tabelle sopracitate.

Corpi idrici	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
STATO CHIMICO (Tab 1A e 2A D.M. 260/2010)	B	B	B	NB (Cd)	NB (DDT)	NB (Cd)	NB (Cd)	NB (Cd)	NB (Cd)	B	NB (Cd)						

Tra gli inquinanti ricercati nella matrice acqua, non si sono registrati superamenti dei valori SQA-MA né di SQA-CMA. Tra le sostanze elencate nella tabella 2/A, relativa alla matrice sedimento, il Cadmio ha presentato superamenti dell'SQA-MA (0,3 mg/kg ss) in tutti i corpi idrici tranne nel 48, 61, 62 e 63. Per il DDT si registra il superamento del valore di SQA-MA (1 mg/kg ss) nel corpo idrico 53.

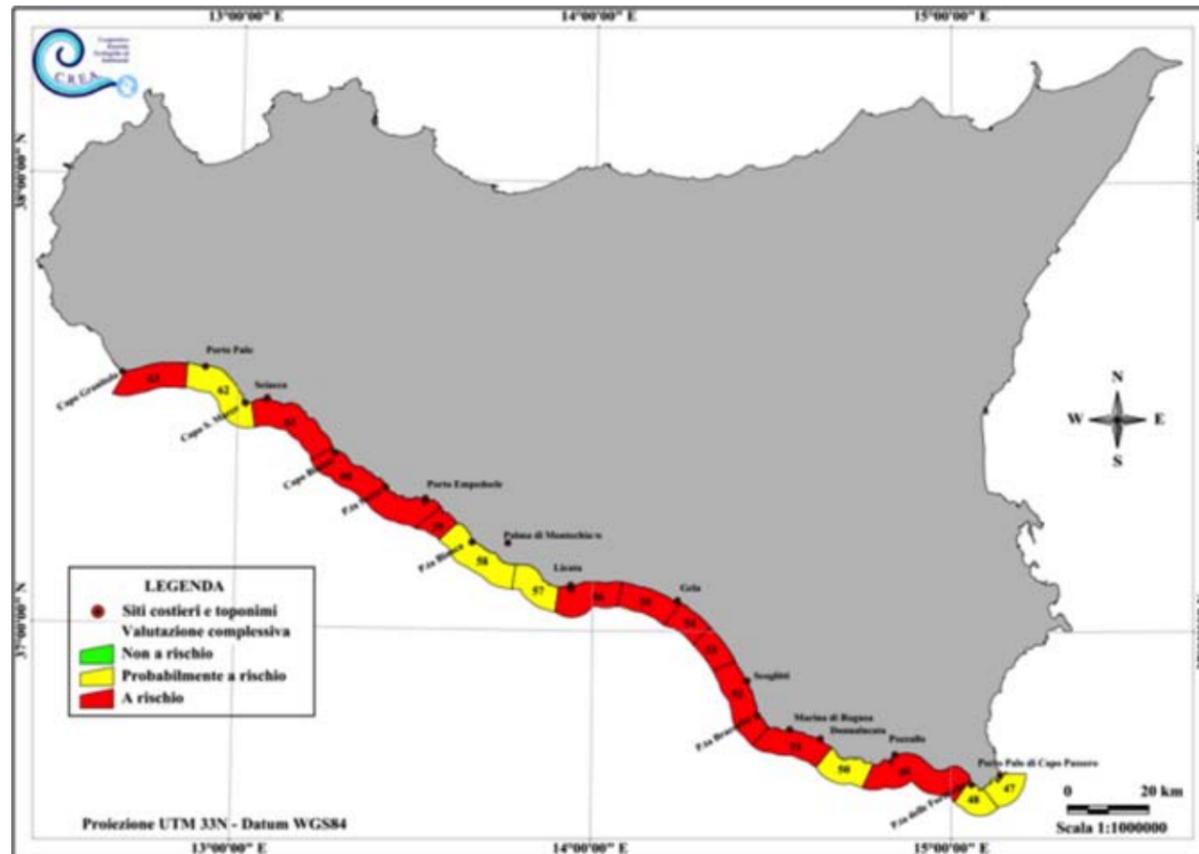
A.4.4.5 Confronto tra indicatori di stato e di pressione

Gli indicatori ambientali, valutati ai sensi del D.M. 260/2010, restituiscono lo Stato Chimico ed Ecologico dei 17 corpi idrici del Canale di Sicilia.

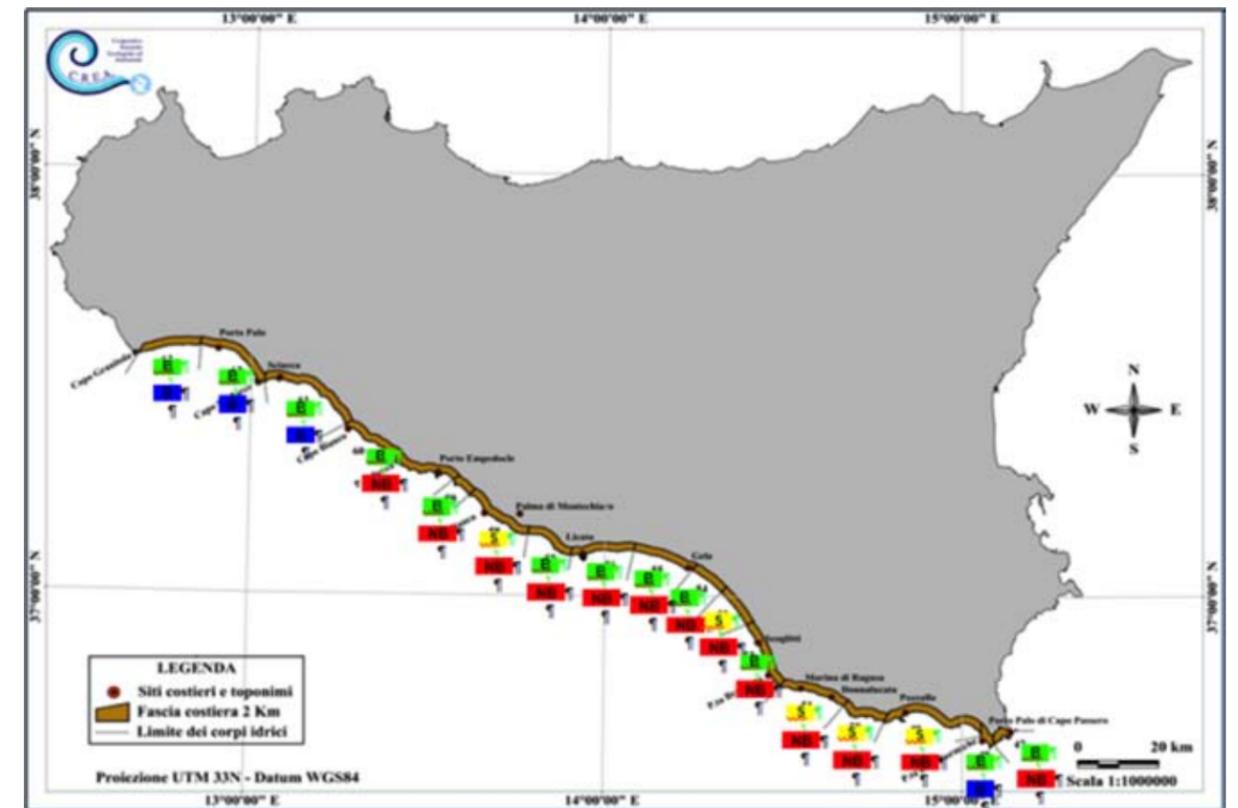
Nella seguente Tabella si riportano le classificazioni degli indicatori analizzati, lo Stato Ecologico e lo Stato Chimico dei corpi idrici esaminati

CORPI IDRICI		63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47
Elementi chimici fisici a sostegno	TRIX	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Elementi biologici (EQB)	Fitoplancton (clorofilla "a")	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	Macroalghe (CARLIT)																	
	Angiosperme (PRE)	B	B	B														
Elementi chimici a sostegno (Tab 1B e 3B D.M. 260/2010)		B	B	B	B	B	S (As)	B	B	B	B	B	S (As)	S (As)	S (As)	B	B	
STATO ECOLOGICO		B	B	B	B	B	S	B	B	B	B	S	B	S	S	B	B	
STATO CHIMICO (Tab 1A e 2A D.M. 260/2010)		B	B	B	NB (Cd)	NB (DDT)	NB (Cd)	NB (Cd)	NB (Cd)	NB (Cd)	B	NB (Cd)						

I risultati della determinazione dello Stato Chimico nella maggior parte dei corpi idrici risultano coerenti con la previsione di rischio derivante dalla valutazione delle pressioni antropiche. Per 5 corpi idrici (58, 53, 51, 50 e 49) anche lo Stato Ecologico, trovandosi nella categoria meno elevata, è in linea con gli esiti della stima delle pressioni.



Mappa per la valutazione complessiva del rischio elaborata in funzione dei fattori di pressione.



Stato Ecologico e Stato Chimico per i corpi idrici esaminati

Le incoerenze emerse per alcuni corpi idrici tra Stato Ecologico, Stato Chimico e valutazione del rischio di non raggiungimento dell'obiettivo di qualità ambientale derivante allo studio delle pressioni, evidenziano l'esigenza di ulteriori approfondimenti sulla condizione ambientale dei corpi idrici da conseguire attraverso il proseguo dell'attività di monitoraggio, come peraltro previsto dalla Normativa.

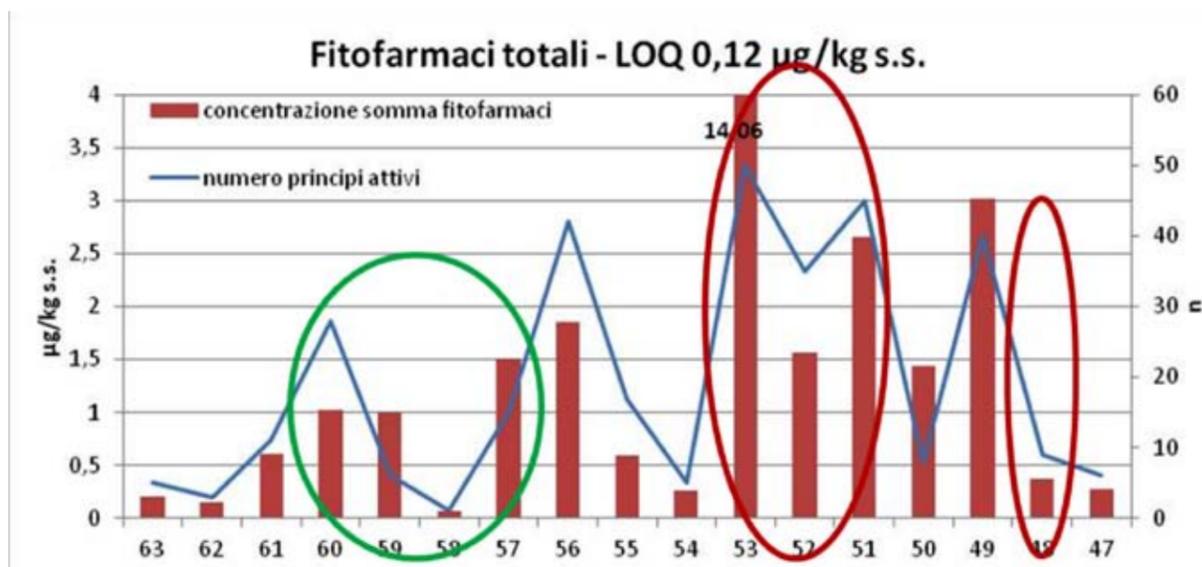
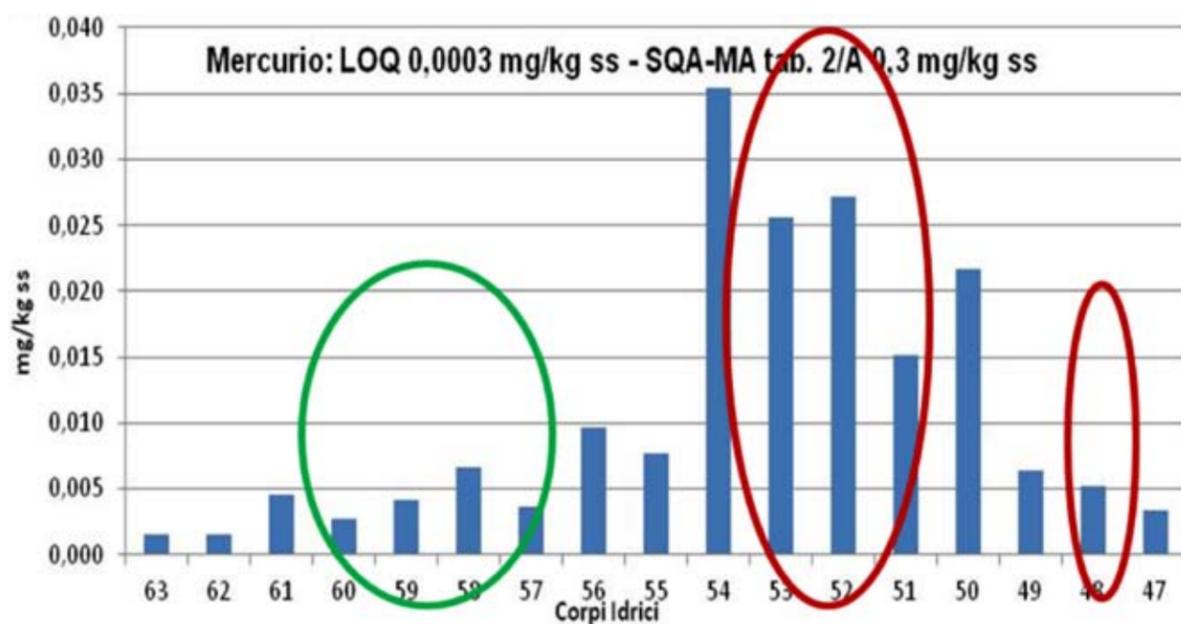
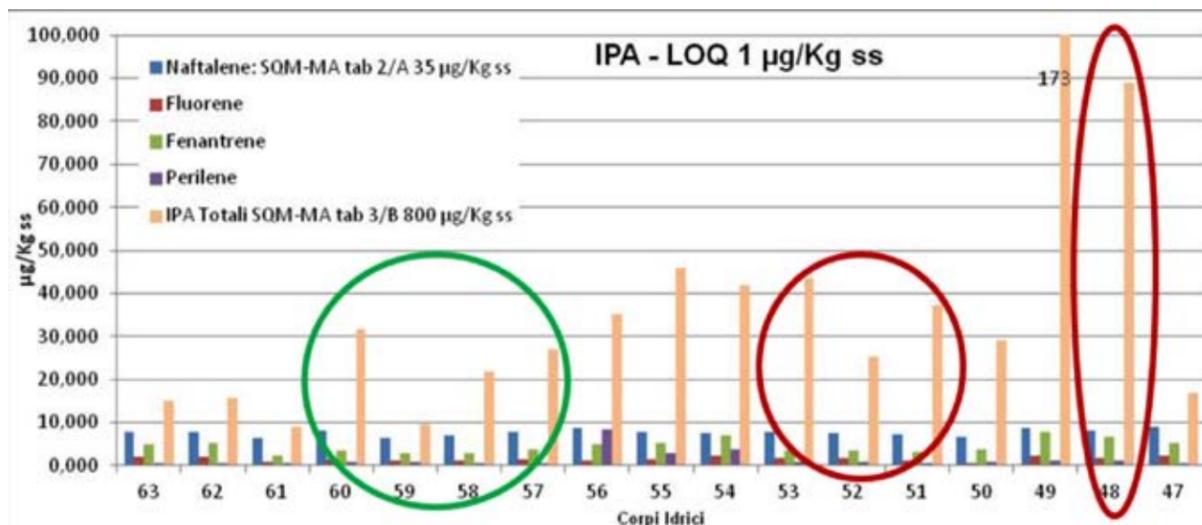
A.4.4.6 Microinquinanti

I tenori delle principali categorie di microinquinanti riscontrati nelle matrici acqua e sedimento di ciascun corpo idrico durante le campagne di studio sono quasi sempre al di sotto degli SQA previsti dalla Normativa, eccezion fatta per quelle sostanze (Cd, DDT e As) già segnalate nell'ambito della trattazione dello Stato Chimico ed Ecologico.

Il confronto delle concentrazioni medie delle diverse categorie di microinquinanti riscontrate nelle aree monitorate, permette d'individuare trend che rendono conto degli impatti derivanti da specifiche pressioni antropiche che insistono nei corpi idrici oggetto di studio. Sono di seguito riportati, a titolo di esempio, gli andamenti riscontrati per i parametri: Mercurio, IPA e Pesticidi nella matrice sedimento.



Si osserva che, sebbene al di sotto degli standard di qualità ambientale, nei corpi idrici ricadenti nel Golfo di Gela ed ad est di questo, i tenori dei microinquinanti sono mediamente più elevati di quelli rilevati nelle aree più ad ovest del Canale di Sicilia.



A.5 Indagine sull'andamento spazio-temporale della distribuzione di *Caulerpa* in specifiche aree di indagine

A.5.1 Premessa

Rispetto alle previsioni sull'evoluzione del fenomeno, ipotizzate al momento dell'elaborazione del progetto, le informazioni restituite dalle osservazioni effettuate durante le attività di campo, hanno evidenziato mutate condizioni di diffusione della *Caulerpa*.

Infatti, i rilievi ROV effettuati da ISPRA e le osservazioni eseguite, durante le attività di campionamento, hanno evidenziato una maggiore presenza dell'alga nel tratto compreso tra Marina di Ragusa e Portopalo di Capo Passero, rispetto alle altre zone d'indagine dove la *Caulerpa* risulta meno diffusa. Da qui la necessità di procedere ad un approfondimento dello studio ed all'integrazione del piano d'indagine al fine di poter meglio dettagliare la presenza delle *Caulerpe*, in particolare della *Caulerpa distichophylla*, che è risultata la specie prevalente e più abbondante nelle aree di maggiore impatto.

Sono state eseguite alcune attività complementari, non preventivate all'inizio del progetto, che si sono rivelate particolarmente importanti per una accurata e dettagliata descrizione delle condizioni ambientali che favoriscono la colonizzazione del substrato nonché per lo studio dell'evoluzione spazio temporale del fenomeno di diffusione della *Caulerpa*.

Tali attività hanno comportato indagini dirette con verità a mare. È stata eseguita una serie di rilievi visivi da operatori subacquei dotati di fotocamere e quadrati metrati.

Le misure e le osservazioni hanno consentito di rilevare, quantificare, attraverso stime dell'abbondanza, e georeferenziare in campo e nel tempo, la presenza delle *Caulerpe*. In alcune aree del tratto di costa oggetto dello studio sono state realizzate due campagne di rilievi visivi, nei mesi di agosto ed ottobre 2013, che hanno riguardato aree "impattate" e "poco impattate". Queste sono state identificate sulla base delle conoscenze relative al grado di invasione di *Caulerpa* acquisite nel corso di precedenti ricognizioni.

Inoltre l'assenza di adeguate informazioni sull'eventuale presenza e diffusione dell'alga, in aree localizzate nel versante più ad ovest del Canale di Sicilia, ha indotto ad estendere ed ampliare l'indagine eseguendo attività visual census in altri siti. È stato così possibile acquisire informazioni più approfondite, utili alla elaborazione di un modello concernente l'evoluzione spazio-temporale del fenomeno di diffusione.

Il visual census, la misura della densità della popolazione algale e le osservazioni effettuate durante le campagne di immersione, si sono rivelati strumenti strategici per la stima del grado di ricoprimento dei fondali da parte dell'alga e per l'individuazione dei substrati e delle condizioni morfologiche che ne possono favorire l'attecchimento ed hanno permesso inoltre di individuare in maniera diretta le aree più interessate dal fenomeno di invasione e diffusione delle *Caulerpaceae*.

A.5.2 Aree di indagine e periodo di campionamento

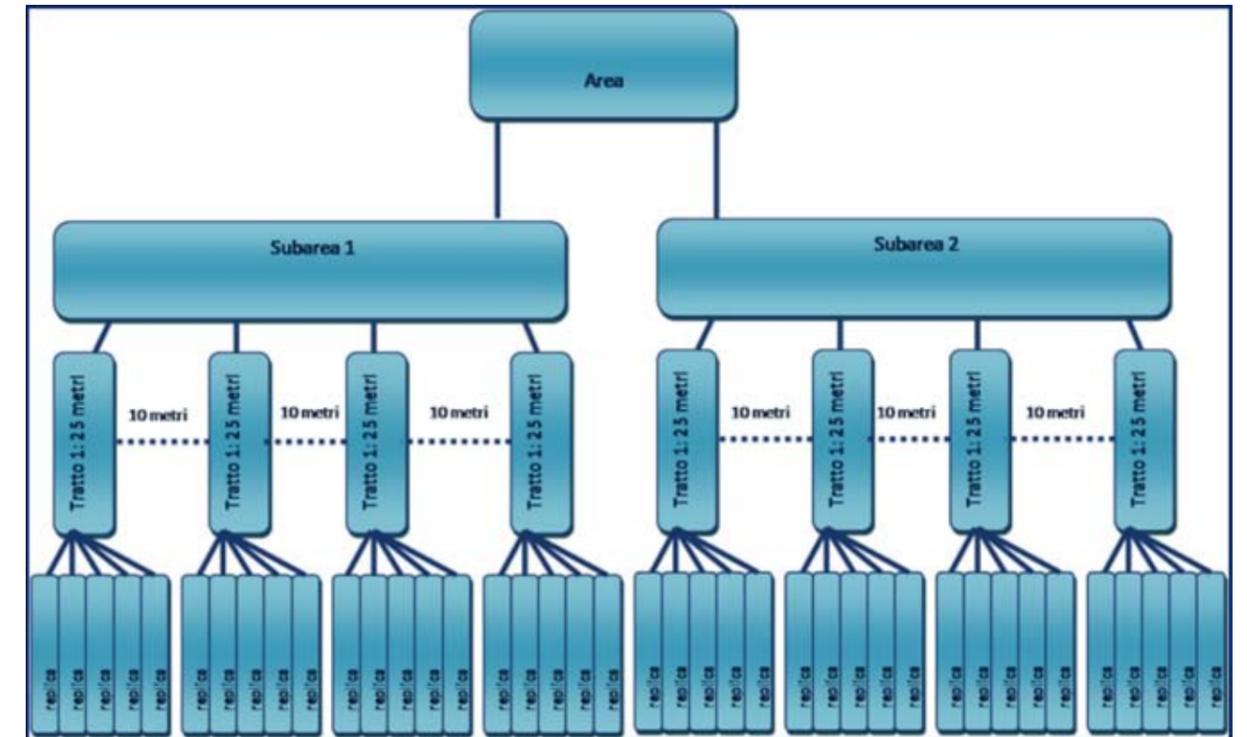
Nel mese di agosto e ottobre 2013 sono state svolte due campagne di indagine, in due aree: una sita nel tratto di mare antistante la Foce del fiume Irmínio e l'altra nei pressi dell'Isola delle Correnti. Le due aree sono state identificate rispettivamente come area "impattata" ossia interessata dalla presenza di *Caulerpa distichophylla* ed area "poco impattata". La campagna di indagine svolta nel mese di dicembre 2013 ha permesso di esaminare altre 6 aree distribuite lungo il Canale di Sicilia ed indicate in tabella, di cui 3 site nella parte ad ovest del Canale di Sicilia, (Realmonte, Punta Bianca e Malerba) e 3 ad est (Marina di Aca-te, Punta Braccetto e Donnalucata).



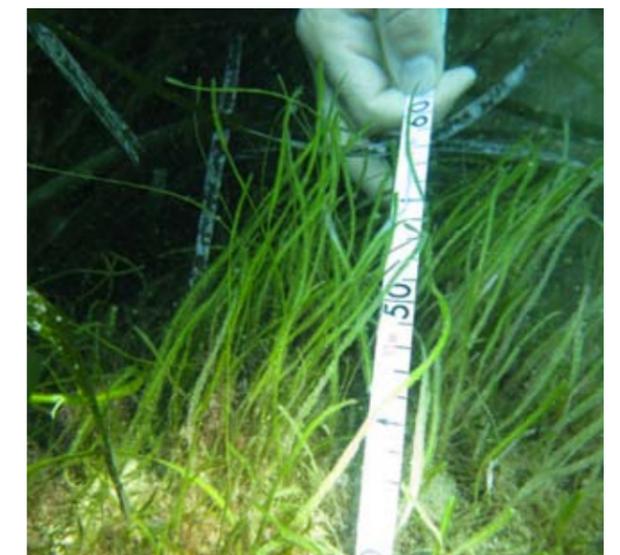
Area	Subarea	Coordinate inizio		Profondità inizio	Coordinate fine		Profondità fine	Substrato
		Lat	Lon		Lat	Lon		
Isola delle Correnti	SUD_OVEST	36°38,644' N	15°04,616' E	5,00	36°38,703' N	15°04,529' E	9,00	P. oceanica
	SUD_EST	36°38,703' N	15°04,529' E	8,00	36°38,620' N	15°04,516' E	6,00	P. oceanica
Foce Irmínio	OVEST_EST	36°45,975' N	14°35,629' E	6,00	36°46,021' N	14°35,773' E	7,00	P. oceanica
	NORD_SUD	36°46,103' N	14°35,625' E	5,00	36°45,975' N	14°35,629' E	6,00	P. oceanica
Marina di Acate Sud	SUD_NORD	36° 55.263'N	14° 24.325'E	3,00	36° 55.368'N	14° 24.314'E	3,00	P. oceanica
	EST_OVEST	36° 55.368'N	14° 24.314'E	3,00	36° 55.310'N	14° 24.177'E	6,00	Sabbia
Punta Braccetto	NORD_SUD	36° 49.258'N	14° 27.457'E	3,00	36° 49.166'N	14° 27.378'E	5,00	P. oceanica
	SUD_OVEST	36° 49.166'N	14° 27.378'E	5,00	36° 49.285'N	14° 27.306'E	8,00	Sabbia
Donnalucata	EST_OVEST	36° 45.584'N	14° 38.302'E	2,50	36° 45.558'N	14° 38.169'E	7,00	Sabbia
	NORD_SUD	36° 45.558'N	14° 38.169'E	7,00	36° 45.493'N	14° 38.286'E	5,00	Sabbia
Malerba	SUD_NORD	37° 8.620'N	13° 46.355'E	7,00	37° 8.731'N	13° 46.319'E	4,00	Sabbia
	EST_OVEST	37° 8.731'N	13° 46.319'E	4,00	37° 8.745'N	13° 46.191'E	4,00	P. oceanica
Punta Bianca	SUD_NORD	37° 11.421'N	13° 39.679'E	7,00	37° 11.555'N	13° 39.692'E	3,50	Sabbia
	EST_OVEST	37° 11.555'N	13° 39.692'E	3,50	37° 11.565'N	13° 39.548'E	5,00	P. oceanica
Realmonte	NORD_SUD	37° 17.658'N	13° 26.810'E	5,00	37° 17.559'N	13° 26.863'E	4,00	P. oceanica
	EST_OVEST	37° 17.559'N	13° 26.863'E	4,00	37° 17.578'N	13° 26.731'E	6,00	P. oceanica

A.5.3 Indagini in mare

Lo schema di campionamento è stato sintetizzato nella figura di seguito riportata.



In ciascuna area sono state individuate due subaree ricadenti in una batimetrica compresa tra 3 ed 8 metri circa, in cui sono stati a loro volta individuati 4 tratti lineari di 25 metri, distanziati di almeno 10 metri l'uno dall'altro. In ciascun tratto sono state eseguite 5 repliche, ognuna delle quali ha comportato il conteggio degli stoloni attivi e dei filloidi di *Caulerpacee*. A tal fine è stato utilizzato un quadrato 20x20 cm così da ottenere un numero totale di 20 stime per subarea. Durante ciascuna immersione sono stati realizzati rilievi fotografici e registrati parametri descrittivi dell'area in esame come: tipologia di substrato, presenza di altre *Caulerpacee* e di *Posidonia oceanica* con relativo grado di ricoprimento sul fondo, associazioni macroalgali presenti, eventuali fenomeni di anossia, etc..



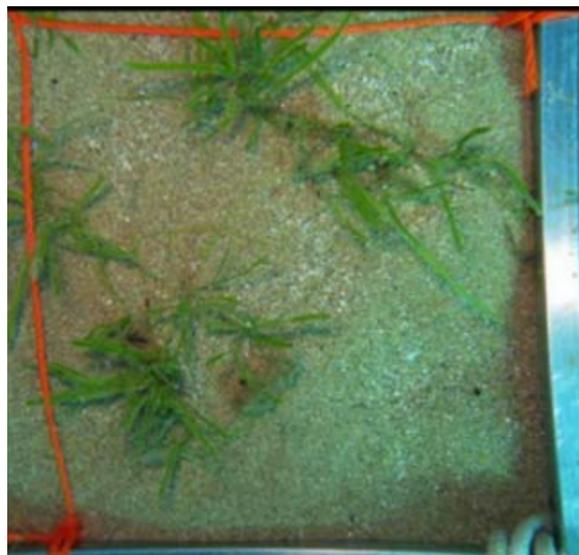
A.5.4 Risultati per aree di indagine

Isola delle Correnti

L'area di indagine si trova su un posidonieto su matte e roccia con ricoprimento del 70% circa. L'area è solitamente interessata da un discreto regime idrodinamico a causa della sua esposizione a correnti da sud-ovest e sud-est e si trova nella congiunzione tra il mar Ionio e il Mediterraneo.

Nonostante l'ubicazione, il posidonieto funge da trappola sedimentaria e fa sì che al suo interno si formino numerose sacche di sedimento. Nelle sacche più esterne è infatti presente una facies sedimentaria colonizzata da *Padina pavonica*, *Dasycladus vermicularis*, *Liagora viscida* e *Peyssonnelia squamaria*. Le sacche più interne e riparate dalle foglie della *P. oceanica*, dove la sedimentazione aumenta, si presentano completamente ricoperte da *C. distichophylla* che forma una fitta rete di stoloni sovrapposti. I filloidi in tali sacche si presentano in gran numero e la lunghezza diventa notevole superando i 20 cm.

All'esterno del posidonieto, al di fuori dei transetti, si trova sabbia grossolana sulla quale sono rilevati piccoli agglomerati di *Caulerpa distichophylla* che, ad una analisi più attenta, risultano ancorati ad un substrato roccioso concrezionato da *Corallinales* incrostanti.



Caulerpa distichophylla su sabbia



Caulerpa distichophylla rimossa la sabbia

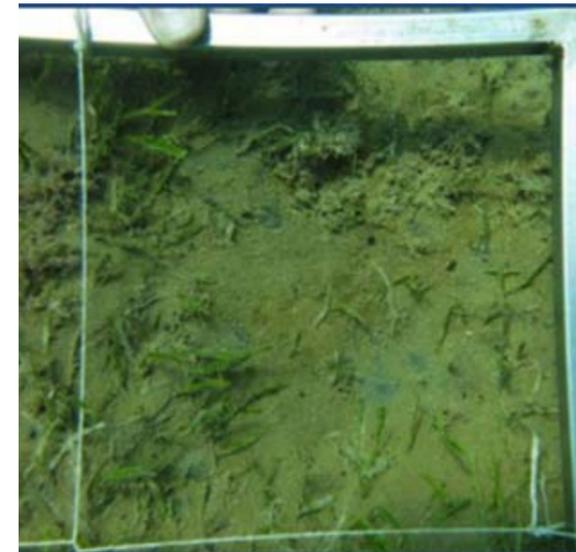
Donnalucata

Il sito di indagine si presenta interamente sabbioso con un alta percentuale di sedimento fine in sospensione. Il sedimento potrebbe provenire dal vicino fiume Irminio. Durante la campagna di rilevamento è riscontrata *Caulerpa distichophylla*; tuttavia non si esclude la presenza della stessa in zone limitrofe o a profondità diverse da quelle indagate come indicato da osservazioni effettuate durante altre fasi del progetto.

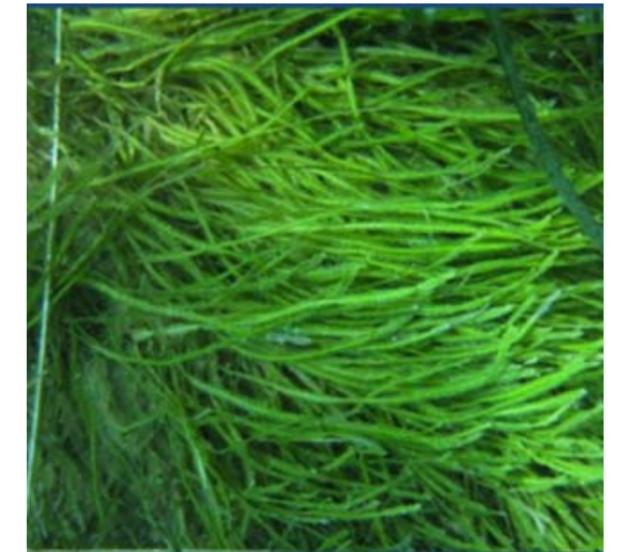
Foce del Fiume Irminio

Come per Isola delle Correnti, il sito di indagine ricade interamente in un posidonieto su roccia e matte concrezionate con copertura del 60%. Anche qui si riscontra una media sedimentazione ma con una granulometria del sospeso più fine. Indubbiamente la vicinanza del fiume Irminio è la principale sorgente di sedimento che però viene in parte trascinato via dalle correnti che insistono sulla zona cosicché l'area risulta marginalmente impattata. Anche qui si osserva *Dasycladus vermicularis*, *Peyssonnelia squamaria*, *Padina pavonica* e una discreta presenza di *Cacospongia officinalis*. Come per l'Isola delle Correnti nelle

sacche di sedimento che si vengono a formare all'interno del posidonieto, la *Caulerpa distichophylla* si presenta con una copertura quasi assoluta e con filloidi molto allungati. Nelle zone marginali dell'area di indagine la *Caulerpa distichophylla* presenta una copertura minore in termini di filloidi e soprattutto la lunghezza degli stessi viene a ridursi drasticamente. È inoltre da segnalare in tutta l'area una discreta anossia dei sedimenti, che si concentra maggiormente nelle zone periferiche del posidonieto.



Caulerpa distichophylla con sedimento anossico



Caulerpa distichophylla tra *Posidonia oceanica*

Marina di Acate

Il sito è caratterizzato dalla presenza di strutture biogene di *Sabellaria* che forma delle caratteristiche strutture a "panettone" che affiorano dal substrato mobile maggiormente rappresentato nella zona. Le due sub-aree di indagine rientrano pertanto nelle due tipologie di substrato presenti nell'area. Il substrato mobile sembra essere una SFBC ben strutturata con elevata biodiversità. *Caulerpa distichophylla* è rilevata sporadicamente e sempre in corrispondenza di tubi di Anellidi Policheti. Sembrerebbe che la natura incoerente del substrato sabbioso fine non consenta agli stoloni di ancorarsi stabilmente. La *Caulerpa distichophylla* si trova stabilmente sulle strutture biogene dove forma dei cuscinetti algali ad alta densità. Sebbene l'indagine nell'area non abbia rilevato un numero elevato di filloidi e stoloni, si deve segnalare la presenza di una notevole quantità di *Caulerpa distichophylla* eradicata e addensata dal moto ondoso insieme ad altre specie come *Ulva laetevirens*, *Corallina elongata*, *Stypocaulon scoparium* e *Posidonia oceanica*, che ricopre un'ampia superficie del fondale.



Caulerpa e altre alghe eradiccate

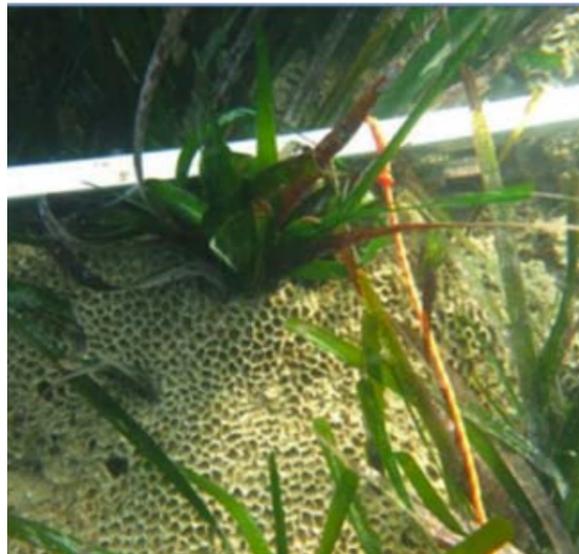


"Panettone" a *Sabellaria*

Punta Braccetto

È il sito che presenta il maggior numero di tipologie di substrato. Infatti si rilevano SFBC, *P. oceanica* su matte e roccia e strutture biogene a *Sabellaria*. L'area sembra essere interessata da un elevato idrodinamismo, in quanto sulle strutture rocciose si rileva essenzialmente un popolamento infralitorale sciafalo non sedimentario. Sono presenti *Caulerpa elongata*, *Peyssonnelia squamaria*, *Dictyota dichotoma*, *Lithophyllum* sp. nonché *Laurencia* sp. Solo nelle zone più ridossate e prossime alla costa la moda diviene calma per effetto della presenza della *Posidonia oceanica* e delle strutture biogene e si riscontrano *Dictyopteris polypodioides* e *Dictyota vermicularis*.

La *Caulerpa distichophylla* è praticamente assente sul substrato mobile; sporadiche presenze della stessa sono osservate sempre in corrispondenza dei tubi di policheti, mentre compare con discreta densità sul substrato coerente in particolar modo sui versanti esposti a Nord, caratterizzati da un regime idrodinamico e da una esposizione alla radiazione solare minori. La *Caulerpa distichophylla* è totalmente assente in zone sciafile propriamente dette.



Posidonia oceanica su *Sabellaria*



Popolamento sciafalo

Malerba

Anche in questo sito si riscontrano due tipologie di substrato: sabbioso e solido con *Posidonia oceanica* su matte concrezionate e roccia. Il substrato mobile è caratterizzato da una elevata biodiversità con paguri, molluschi naticidi, policheti ed altre specie caratteristiche della SFBC. Su tale substrato si registrano sporadiche presenze di *Cymodocea nodosa*. Sul substrato duro si osservano specie algali tipiche di ambienti sciafili e a bassa/media sedimentazione come *Peyssonnelia squamaria*, *Lithophyllum* sp, *Dictyota polypodioides*, *Sphaerococcus coronopifolius* e *Corallina elongata*. La *Caulerpa distichophylla* si presenta sui versanti maggiormente riparati dalla *Posidonia oceanica* e dalle rocce, mentre scompare del tutto ai margini del posidonieto. Nella parte centrale del posidonieto è rilevata la presenza contemporanea di *Caulerpa distichophylla* e di *Caulerpa racemosa*. In particolare le due specie si trovano su una parete rocciosa sub-verticale con esposizione a ovest. Gli stoloni di *Caulerpa distichophylla*, portanti un discreto numero di filloidi, si dislocano sull'intricata rete di stoloni propria di *Caulerpa racemosa* che, di contro, si presenta con un numero esiguo di filloidi. Laddove sullo stesso costone di roccia è maggiore l'esposizione alla luce, si osserva un aumento della quantità di *Caulerpa racemosa* mentre la *Caulerpa distichophylla* viene a mancare.



Caulerpa distichophylla e *Caulerpa racemosa*



Caulerpa racemosa

Punta Bianca

Il sito di indagine presenta due tipologie di substrato, uno sabbioso e uno roccioso. Il substrato sabbioso si presenta ricco di biodiversità come nei siti limitrofi, ma presenta una granulometria minore con alta sospensione. Durante i rilevamenti, infatti, il semplice posizionamento del quadrato ha sollevato un'elevata quantità di sedimento che ha reso difficoltosa la realizzazione dei rilevamenti fotografici. Il substrato roccioso mostra una peculiarità tipica della zona: la roccia calcarea, molto friabile, presenta una facies a *Litophaga litophaga*, che risulta la specie più abbondante nel sito. Numerose sono le tracce di intervento umano legato al prelievo di tale specie. Questa attività di raccolta ha profondamente segnato il fondale destabilizzandolo e consentendo a specie opportunistiche e pioniere, quali *Cladophora* sp. di occupare la maggior parte dell'area indagata. Dove l'intervento umano non si è realizzato, l'area presenta un posidonieto frammentato quasi sempre su roccia. Questo si sviluppa a basse profondità lì dove la presenza di sedimento sospeso non interferisce con l'attività vegetativa della pianta. Nella porzione esterna dell'area di indagine si sono osservati numerosi talli di alghe brune, presumibilmente *Cystoseira brachycarpa*, privi di fronde e completamente epifitati. Il quadro d'insieme colloca il sito in una area ad altissima sedimentazione che porta ad un ambiente già sciafalo a bassa profondità, il tutto sostenuto dalla presenza di *Dasycladus vermicularis*, *Flabellia petiolata* e *Cladocora caespitosa*. In tutto il sito non è stata rilevata alcuna presenza di Caulerpacee.



Fori della *Litophaga litophaga*



Cystoseira epifitate

Realmonte

L'area di indagine si sviluppa lungo un substrato uniforme costituito da blocchi metrici e *Posidonia oceanica*. Il sito presenta popolamenti algali ben strutturati di infralitorale a scarsa sedimentazione. La componente sciafila è maggiormente rappresentata in quanto le zone fotofile sono colonizzate interamente dal posidonieto. *Caulerpa distichophylla* è stata rilevata in un unico caso in particolare su pochi blocchi che si trovavano sul versante più ridossato della prima sub-area. Qui le condizioni di sedimentazione e di radiazione luminosa risultano del tutto simili a quelle rilevate in altri siti. Laddove la comunità algale è osservata come ben strutturata, la *Caulerpa distichophylla* non è mai stata rilevata. La zona sembrerebbe anche essere sottoposta ad una discreta azione idrodinamica, infatti sul versante nord dei blocchi più esterni è stata rilevata una facies a *Eunicella cavolinii* che si estende dai -3 m fino ai -9 m.



Popolamenti di infralitorale



Gorgonie su parete sciafila



Facies ad *Eunicella cavolinii*

A.5.5 Risultati

Sulla base dei rilievi concernenti le stime di abbondanza delle Caulerpacee e delle osservazioni svolte in immersione, relative alle condizioni generali dei siti, è possibile affermare che in entrambi i siti d'indagine sono presenti ampie aree ricoperte da *Caulerpa distichophylla*. La presenza è accertata su substrati solidi a prescindere dalla tipologia, infatti è stata riscontrata sia su roccia che su matte di *Posidonia oceanica*. Solo raramente sono stati riscontrati sporadici ciuffi di filloidi su sabbia. In relazione ai posidonieti, *Caulerpa distichophylla* è stata rilevata ai margini delle praterie e nelle ampie aree lasciate libere dalle stesse. All'interno delle praterie ben strutturate e caratterizzate da una elevata densità di ciuffi fogliari non ne è stata riscontrata la presenza. *Caulerpa distichophylla* presenta inoltre filloidi molto lunghi (più di 20 cm) ad alta densità e con foglie molto lunghe quando si sviluppa in punti che offrono protezione dalle correnti marine, come anfratti rocciosi o limiti del posidonieto.

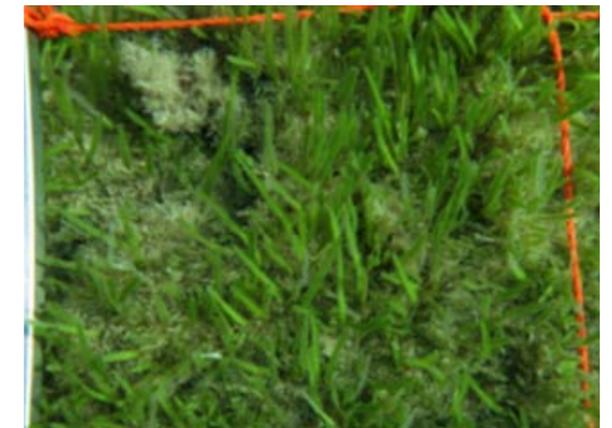
Sia nel mese di Agosto che di Ottobre 2013, in alcuni rilievi realizzati nel sito d'indagine Foce Irminio, *Caulerpa distichophylla* è stata riscontrata su substrato costituito da matte con accumulo di sedimento caratterizzato da anossia.

Nel mese di Ottobre 2013 nel sito d'indagine Isola delle Correnti in alcuni rilievi, *Caulerpa distichophylla* presentava un buon numero di filloidi dal colore biancastro dovuto a depigmentazione.

Sono state rilevate sporadiche presenze di *Caulerpa racemosa* e *Caulerpa prolifera* sotto forma di pochi stoloni e altrettanto pochi filloidi.



Caulerpa su roccia



Caulerpa su matte



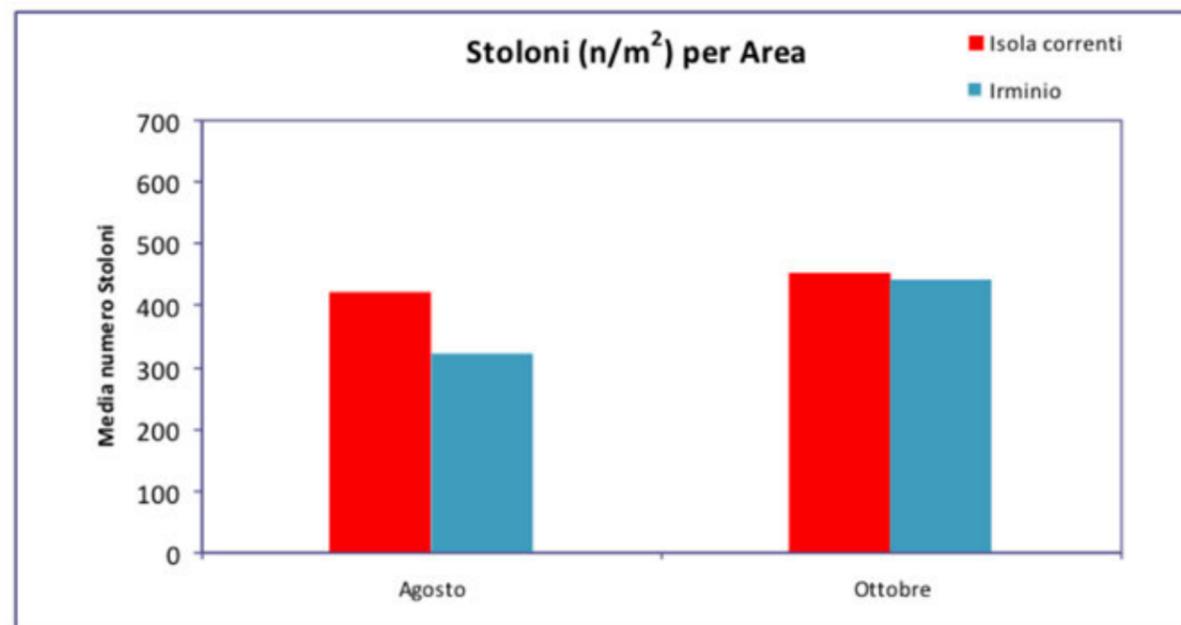
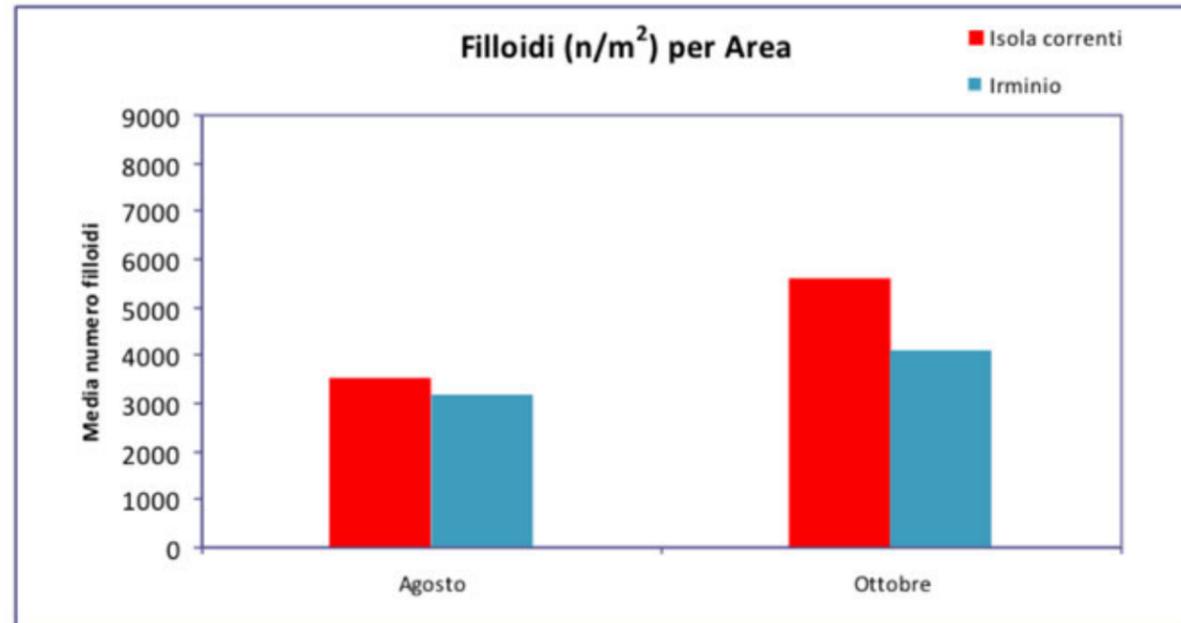
Caulerpa su SFBC



Caulerpa su SFBC

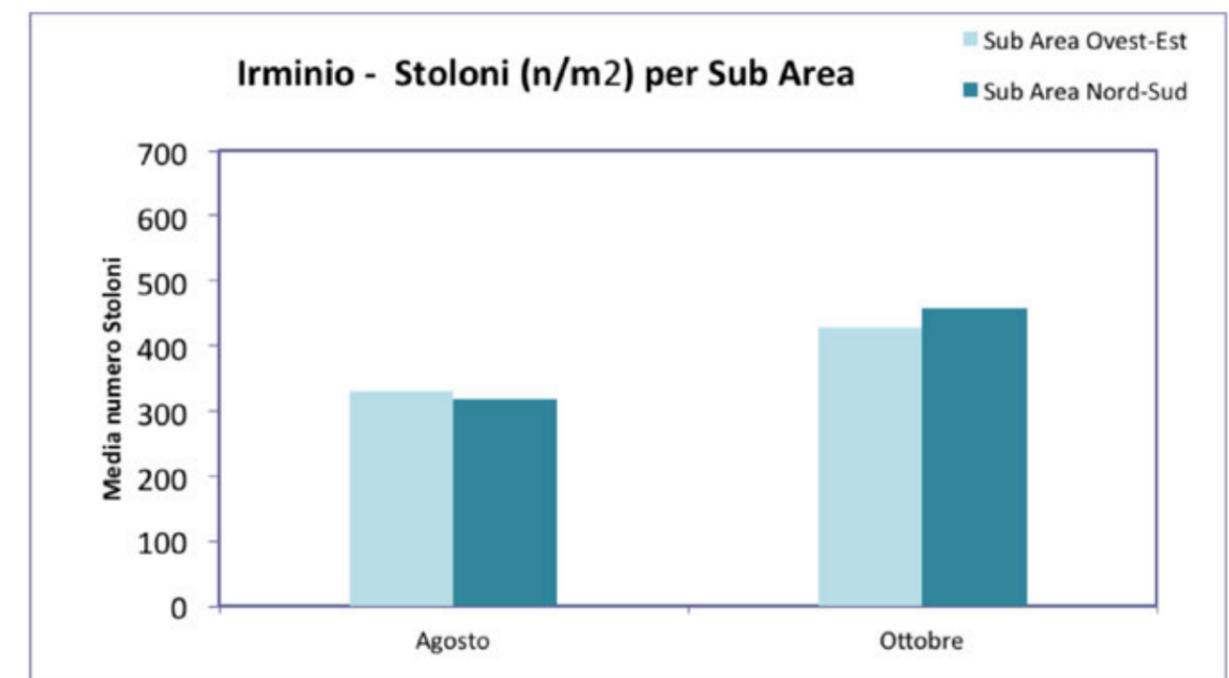
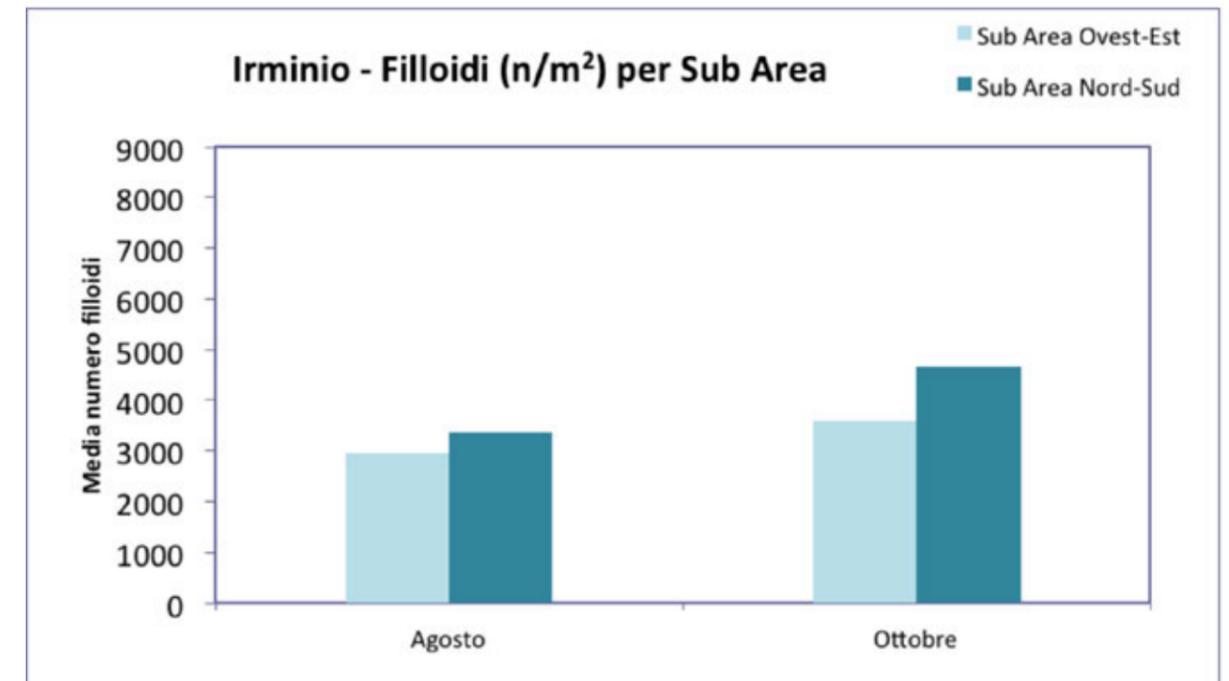
Le due aree presentano abbondanze significative, ma diverse, di filloidi (vedi grafici successivi). Si registra in particolare una densità superiore, sia di filloidi che di stoloni, presso Isola delle Correnti rispetto Foce Irminio in entrambe le stagioni.

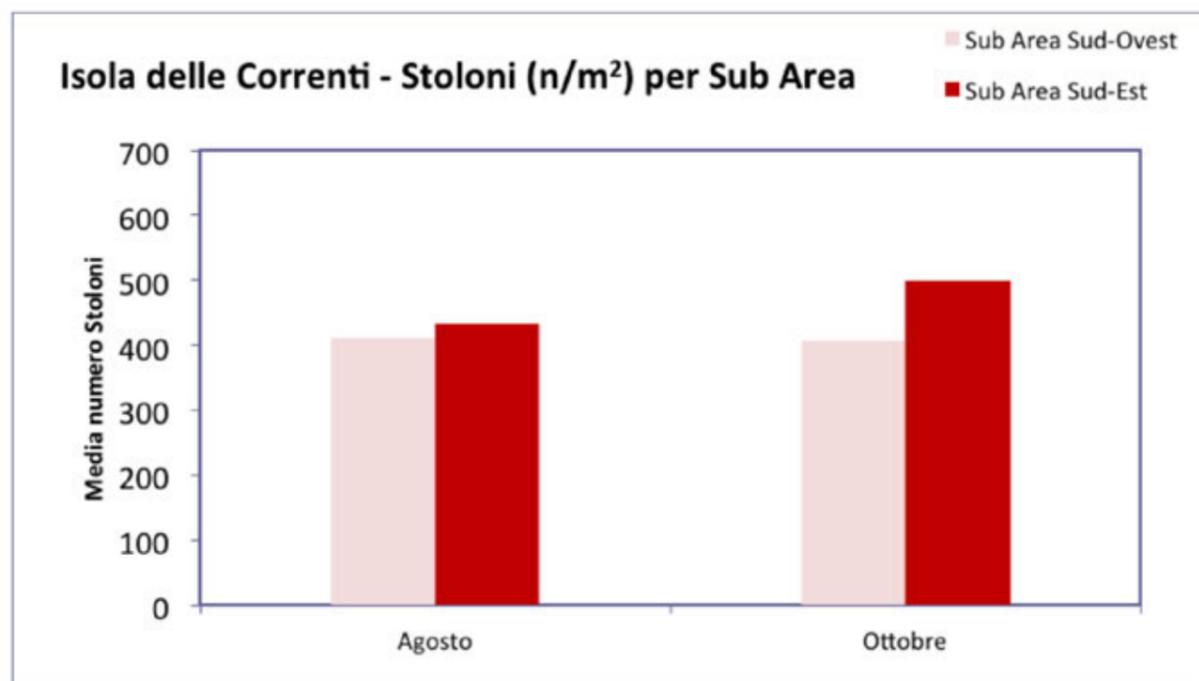
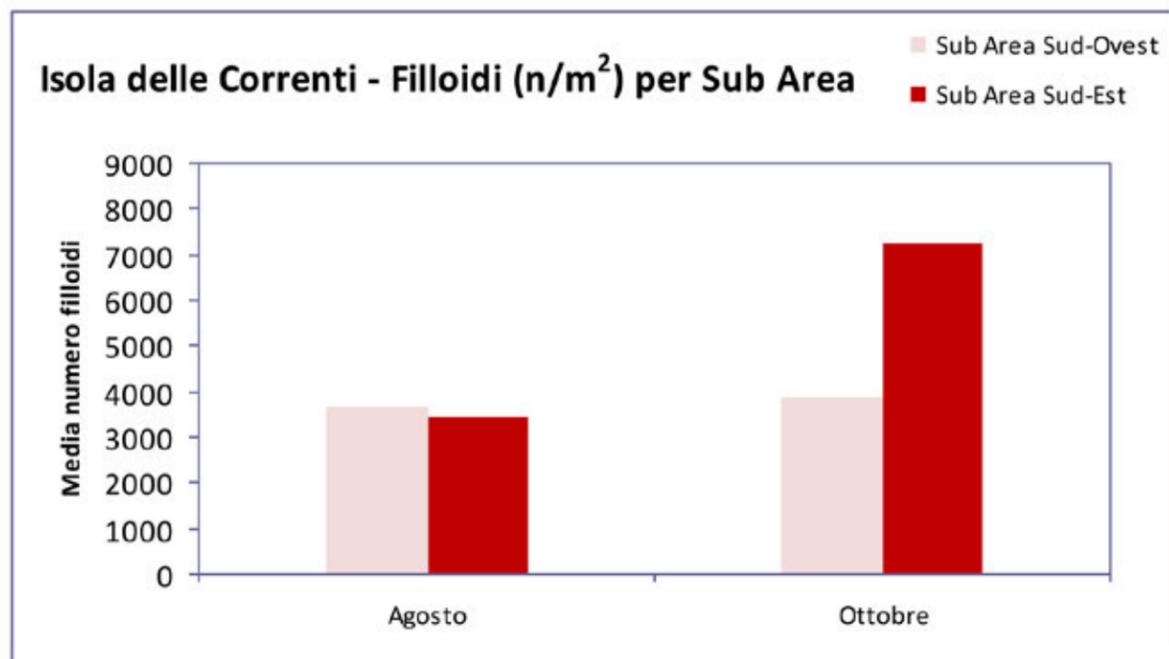
I rilievi realizzati nelle due stagioni hanno evidenziato un incremento del numero medio dei filloidi in entrambe le aree, anche se in maniera più marcata presso Isola delle Correnti (da 3536 filloidi/m² in Agosto a 5584 filloidi/m² in Ottobre). L'abbondanza relativa degli stoloni è rimasta pressoché invariata presso Isola delle Correnti, mentre si è registrato un incremento tra le due campagne presso Foce Irminio (da 324 stoloni/m² in Agosto a 443 stoloni/m² in Ottobre).



L'andamento delle abbondanze dei filloidi e degli stoloni, rilevati nelle due aree e nelle due campagne di immersioni, trova conferma anche nei rilievi relativi alle rispettive subaree di ciascuna area.

Dalle due campagne di campionamento si osserva che la presenza della *Caulerpa distichophylla* sembra aumentare, in termini quantitativi, spostandosi da ovest verso est lungo il canale di Sicilia. Infatti il numero di filloidi si presenta sempre maggiore nelle stazioni di Isola delle Correnti sia in estate che in autunno, nonostante in quest'ultima stagione il numero, sia degli stoloni che di filloidi sia probabilmente sottostimato a causa delle difficoltà oggettive riscontrate in fase di conteggio dovute alla grande quantità ed alla lunghezza degli stessi.





I dati raccolti durante la campagna aggiuntiva di rilevamento condotta a dicembre nei siti Donnalucata, Marina di Acate, Punta Braccetto, Malerba, Punta Bianca e Realmonte, sono stati incrociati con quanto rilevato ad ottobre ad Isola delle Correnti e Foce dell'Irminio. Si è proceduto quindi alla comparazione di tutte le aree e delle sub-aree senza tener conto dei differenti tipi di substrato.

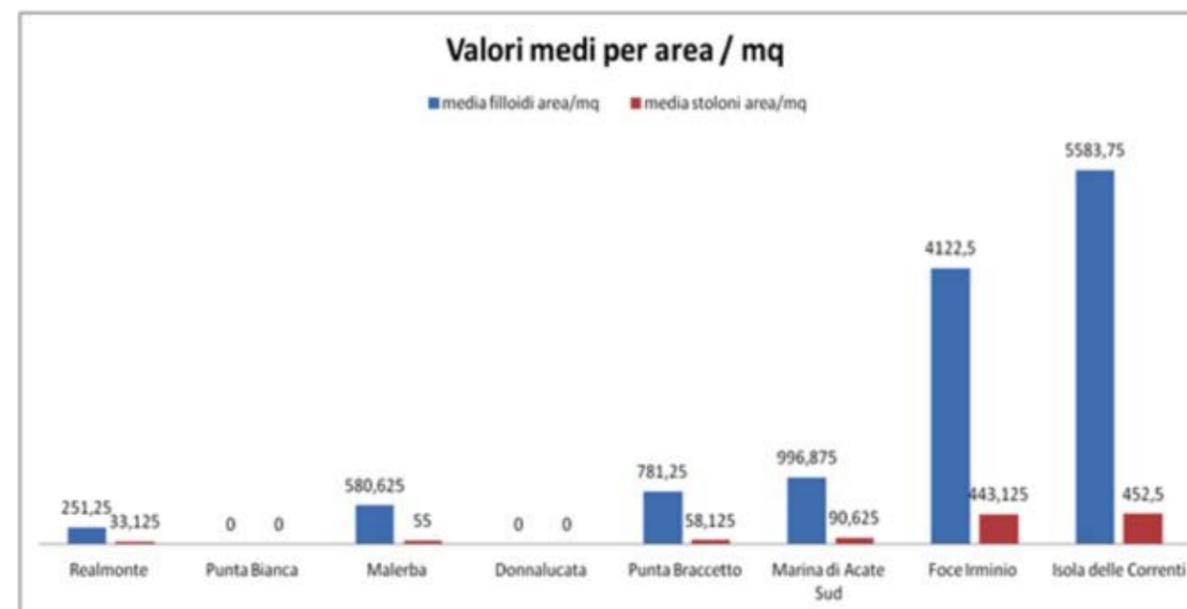
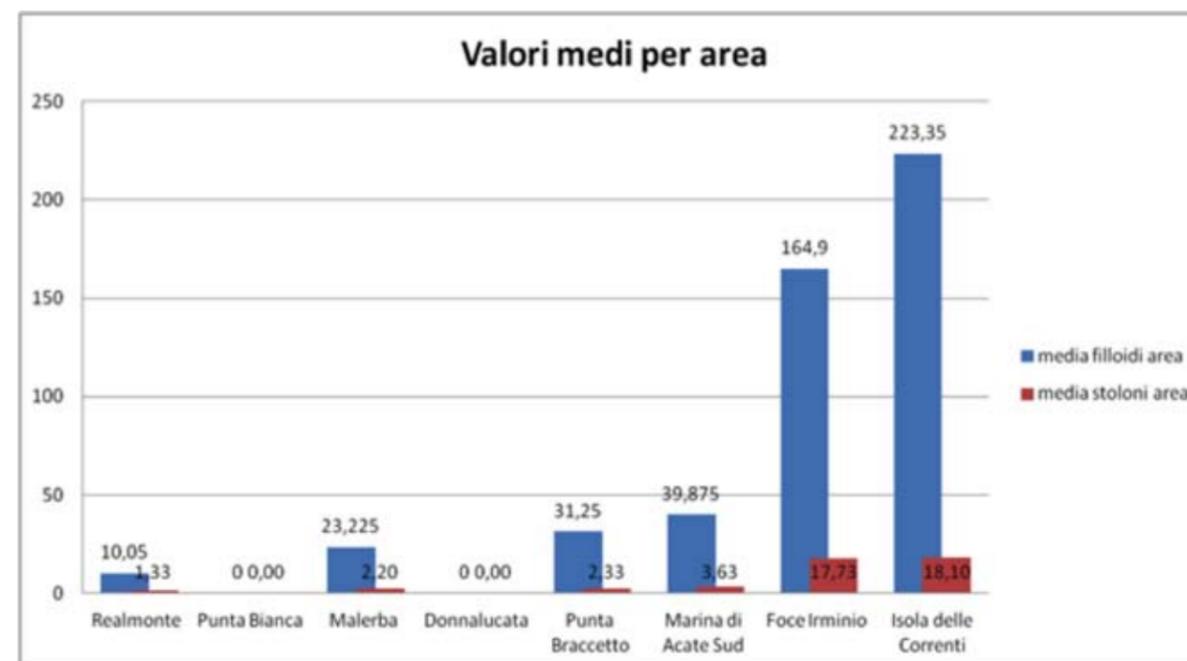
Comparando il numero dei filloidi e degli stoloni si osserva che Isola delle Correnti e Foce dell'Irminio presentano un numero medio di filloidi per m² abbondantemente superiore a quelli rilevati nelle altre aree. In particolare Isola delle Correnti presenta 5584 filloidi/m² con 452,5 stoloni/m² che costituisce il valore più elevato registrato nella campagna autunnale.

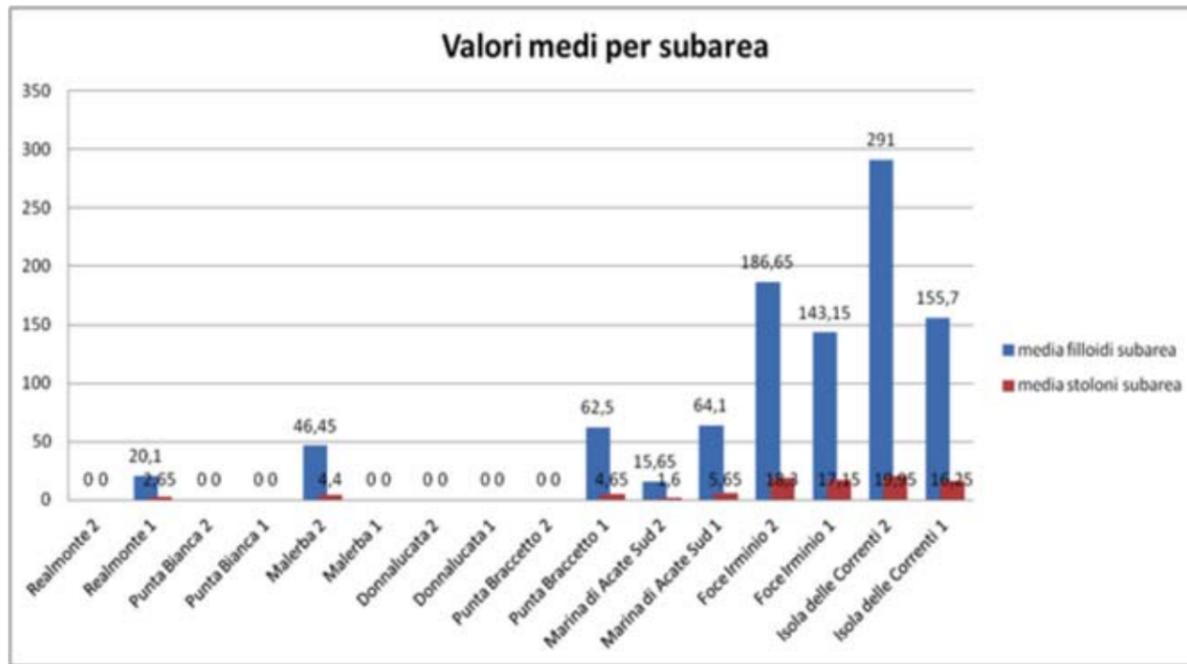
Altri valori elevati sono stati osservati alla Foce dell'Irminio con 4122 filloidi/ m² e 433,1 stoloni/ m². Ad esclusione delle due aree nelle quali non sono state rilevate Caulerpacee, i valori minimi sono stati riscontrati a Realmonte con 10 filloidi/m² e 1,33 stoloni/m².

Comparando solo i dati provenienti dalle subaree che presentano coerenza di substrato, ovvero quelli dove il campionamento è avvenuto su substrato solido formato da roccia e/o *Posidonia oceanica*, quanto espresso in generale su tutte le aree viene confermato. Infatti Isola delle Correnti e Foce Irminio risultano essere di gran lunga le aree più impattate dalla presenza di *Caulerpa distichophylla*.

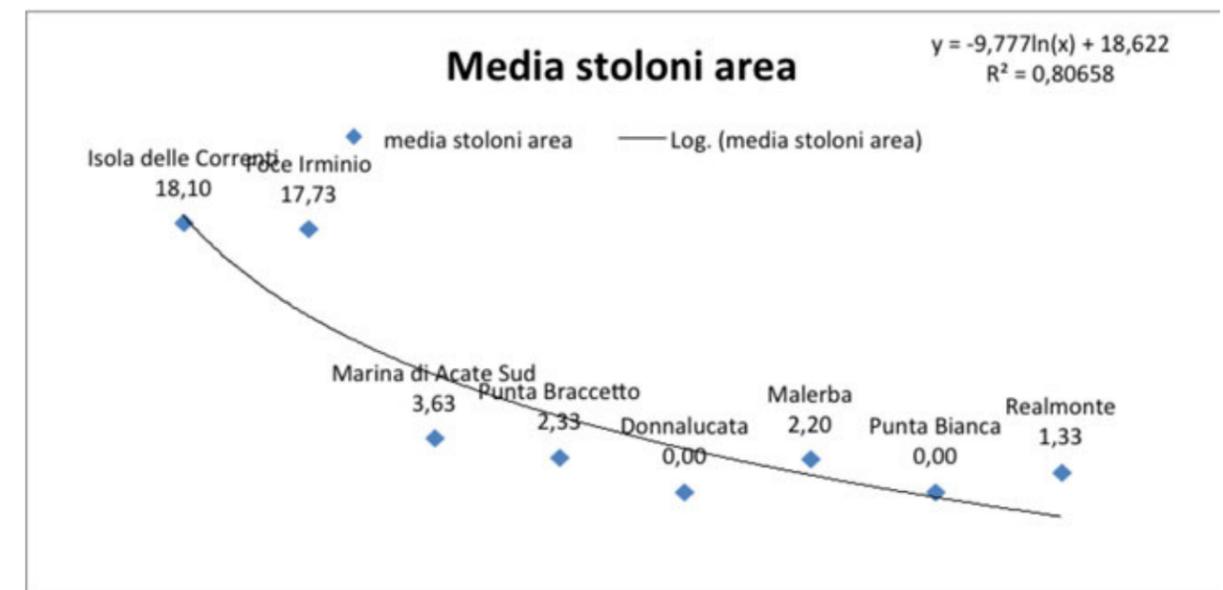
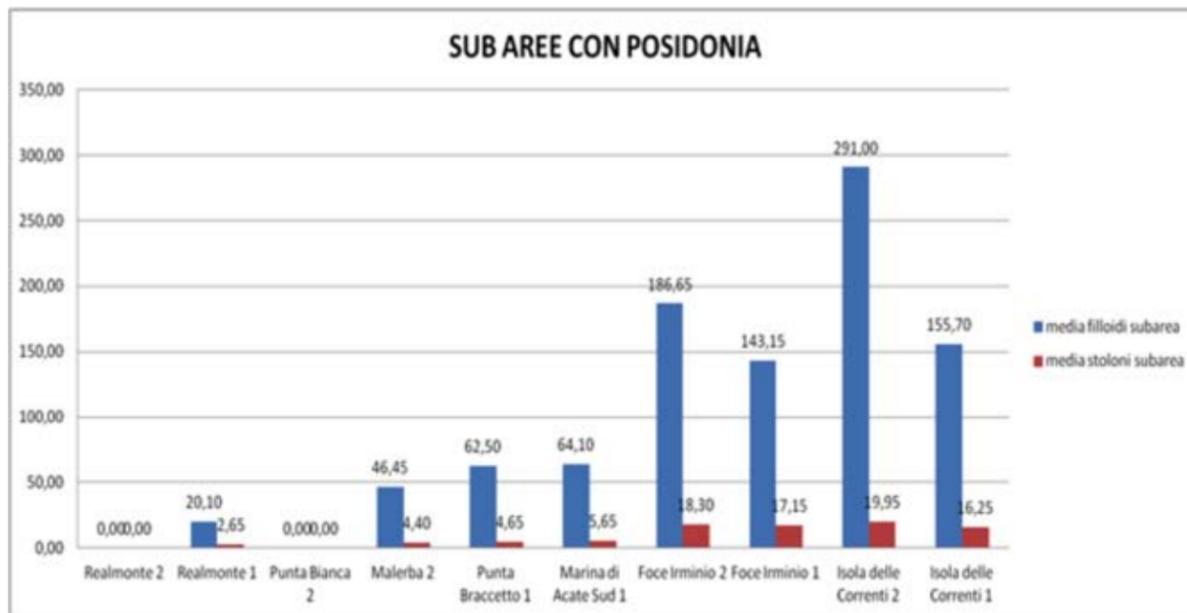
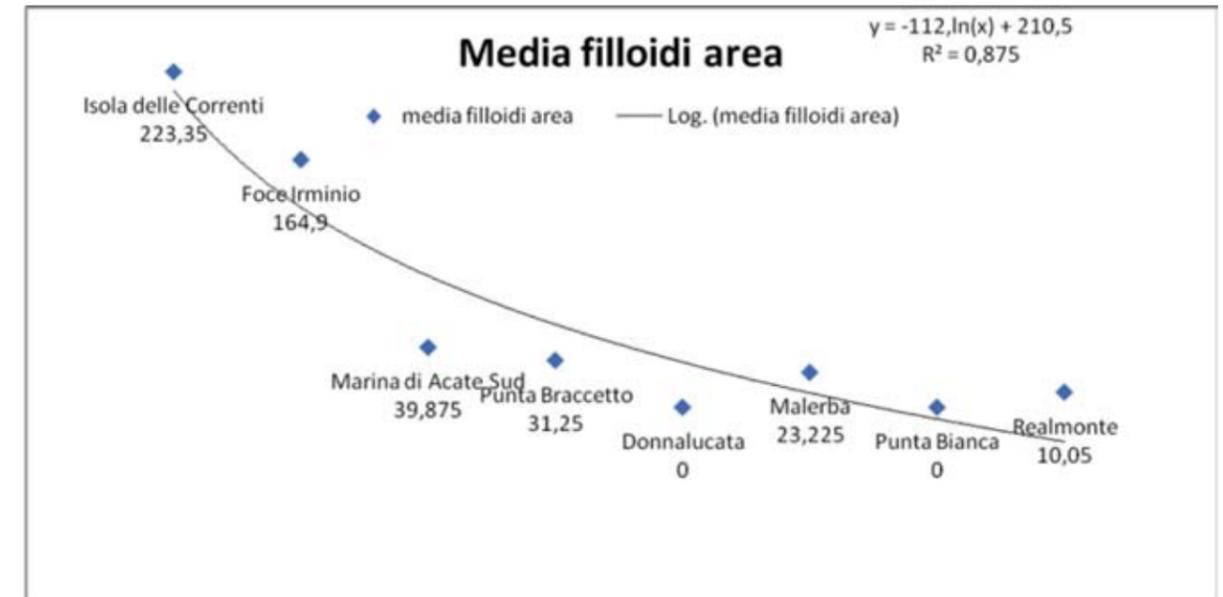
Tra le aree con substrato mobile si evidenzia la situazione riscontrata a Marina di Acate, subarea EST_OVEST, in quanto è l'unica area nella quale è stata osservata *Caulerpa distichophylla* su sabbia, sebbene la sua presenza sia subordinata alla presenza di tubi di anellidi policheti.

Di seguito vengono riportati i grafici riassuntivi dei dati trattati.





Sono state inoltre calcolate le rette di regressione logaritmiche per i dati raccolti sia sulle distribuzioni dei filloidi che degli stoloni che vengono di seguito riportati:



Impatto della diffusione delle Caulerpe Aliene sulle attività di pesca e sul pescato a cura di ISPRA

IMPATTO DELLA DIFFUSIONE DELLE CAULERPE ALIENE SULLE ATTIVITÀ DI PESCA E SUL PESCATO A CURA DI ISPRA

B.1 Revisione dei dati su Caulerpa e predisposizione del piano di campionamento

B.1.1 Materiali e Metodi

B.1.1.1 Raccolta e analisi bibliografica

È stata effettuata una raccolta di materiale bibliografico sulle specie non indigene *Caulerpa taxifolia* e *Caulerpa racemosa*, finalizzata ad una valutazione delle interazioni con le attività di pesca. La ricerca è stata effettuata su circuito nazionale e internazionale; tutto il materiale sull'argomento è stato richiesto, consultato e opportunamente archiviato. Inoltre, considerato l'esiguo numero di lavori prodotti sull'impatto delle caulerpe non indigene sulle attività di pesca, si è proceduto ad integrare l'archivio bibliografico con le pubblicazioni inerenti gli impatti delle caulerpe sulla biodiversità.

B.1.1.2 Interviste agli operatori del mare

È stata realizzata una campagna di interviste ai pescatori e altri operatori del settore al fine di ottenere informazioni circa la presenza di caulerpe non indigene nell'area di studio e di identificare le aree di maggiore insediamento delle stesse.

L'indagine è stata condotta presso le seguenti marinerie: Marzamemi, Portopalo di Capo Passero, Pozzallo, Scoglitti, Gela, Licata, Porto Empedocle, Sciacca, Portopalo di Menfi, Marinella di Selinunte. Le indagini si sono svolte nel periodo da marzo ad aprile 2012, principalmente nelle zone portuali delle marinerie sopracitate. Gli incontri con gli operatori del settore sono stati precedentemente programmati tramite cooperative di pesca, associazioni di pesca sportiva e diving center; in alcuni casi si è proceduto ad effettuare interviste casuali ai pescatori agli sbarchi. Gli operatori erano rappresentati da pescatori artigianali, pescatori subacquei, subacquei sportivi, ricercatori scientifici, spesso opportunamente scelti sulla base di precedenti collaborazioni o indicati da referenti di fiducia, al fine di ottenere risposte veritiere e attendibili. Ad essi è stato somministrato un questionario accompagnato da immagini descrittive di *C. racemosa* e *C. taxifolia*, per permettere di identificare con maggiore certezza le alghe in questione, e di mappe specifiche per la loro localizzazione. Il questionario riportava diverse domande sulla presenza delle due caulerpe, sulla località di avvistamento o di rilevamento, sul tipo di habitat, sul periodo di maggior presenza, sulle loro eventuali interazioni con le attività di pesca.

B.1.2 Risultati

B.1.2.1 Analisi bibliografica

La ricerca bibliografica effettuata ha consentito di rilevare la distribuzione delle caulerpe lungo le coste siciliane, di approfondire alcuni aspetti ecologici delle caulerpe, dei loro effetti sulla biodiversità, sulla produzione e sulla comunità ittica e delle interazioni con l'attività di pesca.

In Mediterraneo sono state registrate 5 specie di *Caulerpa*: *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa disticophylla*, *Caulerpa mexicana*, *Caulerpa scalpelliformis* (fonte

www.medalien.isprambiente.it). Soltanto le prime tre sono state registrate lungo le coste siciliane e, tra queste, *C. taxifolia* e *C. racemosa* sono le più abbondanti mentre per *C. disticophylla* vi è una sola segnalazione nel ragusano. Tuttavia, studi recenti hanno evidenziato la possibilità che la specie *C. disticophylla* possa in realtà essere una varietà di *C. taxifolia*.

B.1.2.2 Interviste agli operatori del mare

In totale sono stati intervistati n. 43 operatori della piccola pesca, 4 fra pescatori subacquei e subacquei ricreativi e 4 ricercatori scientifici. Sul totale degli intervistati, 26 sostengono di non aver mai visto nessuna delle due alghe appartenenti al genere *Caulerpa*, 17 sostengono di avere visto o trovato nelle reti soltanto *C. racemosa* mentre 4 operatori del settore hanno riscontrato *C. taxifolia*. La maggior parte degli intervistati dichiara di avere rilevato entrambe le caulerpe su fondi mobili (prevalentemente sabbiosi) a profondità che vanno da 3 a 30 metri mentre solo 3 operatori riferiscono sulla presenza di *C. racemosa* su fondi duri o fondi misti a *Posidonia oceanica*. Entrambe le caulerpe sarebbero state rilevate da bassa profondità (0.5 m) fino a 1,5 miglia dalla costa. I fastidi principali alla pesca sono l'intasamento delle reti e ritardi nella loro pulitura che, nella maggior parte dei casi, avviene in porto. Gli impatti sui guadagni sono negativi poiché nei periodi di presenza di caulerpe non si può pescare. Alcuni notano cambiamenti nella composizione del pescato in seguito all'invasione delle caulerpe.

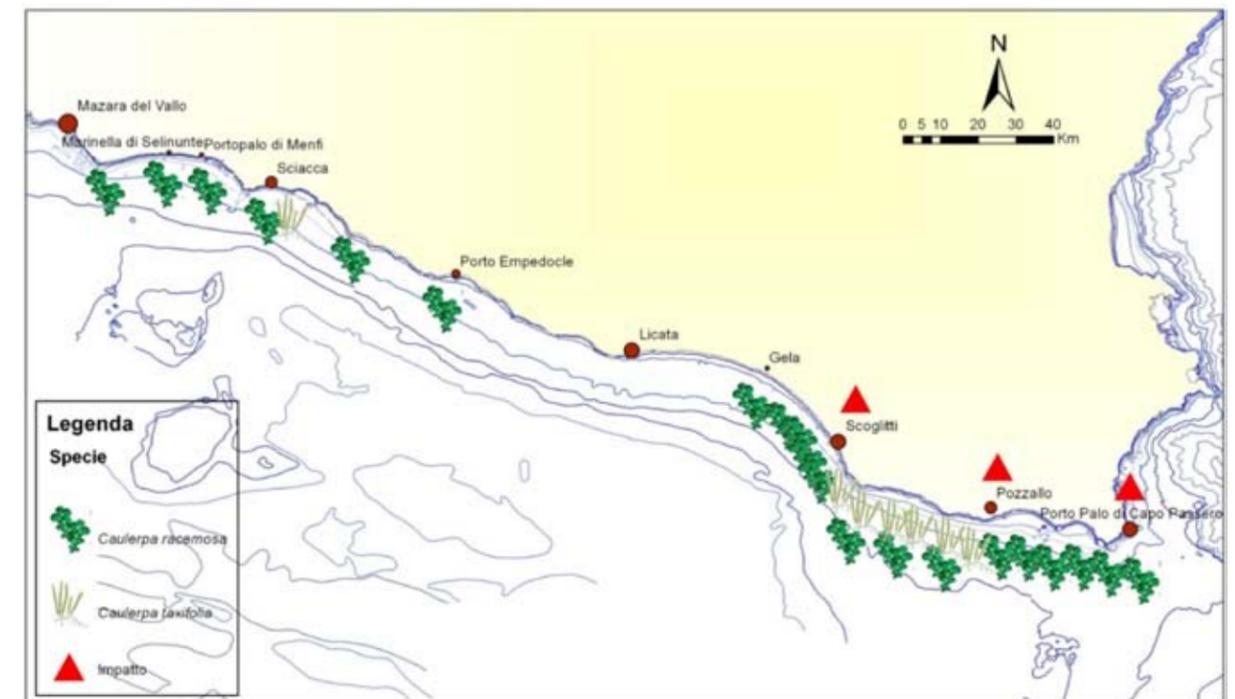
Dall'analisi complessiva delle interviste emerge che la presenza costante e consistente delle due caulerpe interessa fondamentalmente la porzione della costa della Sicilia compresa fra Marzamemi e Scoglitti ove si rilevano disagi riportati dai pescatori. Nello specifico, *C. racemosa* risulterebbe molto abbondante sottocosta lungo tutto il versante da Marzamemi a Pozzallo fino a profondità massima di 25 metri. L'alga, avvistata la prima volta circa 10 anni fa, risulta molto abbondante soprattutto nel periodo invernale. Secondo le testimonianze, dopo le mareggiate invernali grosse quantità dell'alga si staccano dal fondo formando cumuli adagiati sul substrato. I pescatori lamentano pertanto l'intasamento delle reti e il loro appesantimento a tal punto che risulta difficile salparle. Le conseguenze in questi casi sono deleterie sia per i danni subiti alle reti sia per l'assenza di pescato; le reti in pesca intasate dalle alghe, infatti, diventano visibili agli organismi che quindi le evitano risultando in una conseguente diminuzione del rendimento di pesca.

A partire dalla marineria di Pozzallo compare anche *C. taxifolia* per lasciare nuovamente il posto a *C. racemosa* nella marineria di Scoglitti. Per entrambe le caulerpe i pescatori lamentano danni alle reti ed assenza totale di pescato.

Dei tre pescatori intervistati a Gela, soltanto uno sostiene di aver visto quest'ultima specie, anche se ritiene che non sia insediata ma trasportata dalle correnti.

Sulla base delle interviste, nelle restanti marinerie da Gela a Capo Granitola, la presenza delle due caulerpe è da ritenere minima e casuale. Infatti sono state registrate poche segnalazioni, prevalentemente localizzate in prossimità dei porti o delle foci dei torrenti, e comunque nessun operatore ha dichiarato interazioni negative con l'attività di pesca.

Di seguito viene riportata una mappa riassuntiva della presenza delle caulerpe nel tratto di costa investigato, secondo quanto riferito dagli operatori del settore.



Mappa riassuntiva della localizzazione di *Caulerpa racemosa* e *Caulerpa taxifolia* e delle marinerie da esse maggiormente impattate lungo la costa meridionale siciliana.

B.2 Campionamenti e analisi dei campioni

B.2.1 Materiali e Metodi

B.2.1.1 Pesca (protocollo di campionamento, effetti della presenza di macrofite e caulerpe sull'efficacia degli attrezzi da pesca, date di campionamento, elaborazione ed analisi dei dati)

Conclusa la fase di pre-survey, ed avendo riscontrato quale area di maggiore presenza delle caulerpe la costa compresa tra Gela e Porto Palo di Capo Passero, sono stati individuati quali siti pilota per i campionamenti di pesca atti a valutare l'impatto delle caulerpe sulla pesca le aree costiere di:

- Porto Palo di Capo Passero;
- Pozzallo;
- Scoglitti.

I campionamenti sono stati effettuati con 2 imbarcazioni della pesca artigianale locale.

Motopescherecci coinvolti nei campionamenti di pesca

	Imbarcazione	Matricola	Iscritta all'ufficio circondariale marittimo/capitaneria di porto di:
1	Grande Otello (Pozzallo e Scoglitti)	1PO929	Scoglitti
2	Senza nome (P. Palo di Capo Passero)	3SR 498	Porto Palo di Capo Passero

Area indagata attraverso i campionamenti di pesca.

Per lo svolgimento dei campionamenti di pesca sono state scelte tre aree: Scoglitti, Pozzallo, Porto Palo di Capo Passero. All'interno di ciascuna area sono stati campionati due siti con profondità e caratteristiche ambientali simili. In ciascuna area sono state realizzate quattro campagne di pesca (tre giornate per campagna) per un totale di 12 campionamenti per area. Quale sistema di campionamento è stata utilizzata una rete da posta di 500 m, secondo le usanze locali.

Per ciascuna operazione di pesca sono state raccolte le informazioni relative all'abbondanza e alla biomassa del pescato ed è stata registrata l'eventuale presenza di specie aliene.

Le attività di campionamento sono state seguite da personale scientifico del nostro Istituto e/o da collaboratori esterni preventivamente reclutati.

Per ciascuna operazione di pesca sono state registrate le coordinate geografiche di inizio e fine cala e inizio e fine salpa e tutte le informazioni relative alla giornata di pesca.

Tutto il pescato è stato quindi classificato a livello di specie e per ciascun esemplare sono stati rilevati i dati morfometrici ed effettuati i prelievi biologici per le successive analisi di laboratorio.

Al fine di rilevare le caulerpe eventualmente presenti nell'area d'indagine, sono stati utilizzati in una delle tre aree di campionamento anche due attrezzi sperimentali: la draga ed il gangamo.



Draga utilizzata



Gangamo utilizzato

Allo scopo di valutare la presenza di caulerpa e/o altre macrofite nelle reti da pesca e gli eventuali effetti sull'efficacia degli stessi, si è proceduto a raccogliere i vegetali ammagliati nella rete e a valutarne il peso, separando le caulerpe aliene dalle restanti macrofite.

Per ogni cala effettuata nelle tre aree di studio, sono stati prelevati i vegetali ammagliati in 100 metri di rete, considerando il tratto centrale tra i 200 e i 300 m, opportunamente segnalato con nastro colorato per facilitare l'identificazione del tratto di rete da campionare. I campioni raccolti a bordo sono stati conservati in buste di PVC, contrassegnati e tenuti al fresco; una volta effettuata in laboratorio la separazione delle caulerpe aliene, ove presenti, dal resto delle macrofite, è stato rilevato il peso di ciascuna specie di caulerpa nonché quello delle restanti macrofite totali.



Analisi dei vegetali campionati nella rete

I campionamenti di pesca hanno subito ritardi nell'attuazione, rispetto al cronogramma iniziale, a causa delle criticità riscontrate in merito al noleggio delle imbarcazioni da pesca nella fase 1 (azione 3).

Le attività di campionamento sono state ulteriormente rallentate da condizioni meteo marine spesso avverse che non consentivano l'uscita e l'operatività delle imbarcazioni.

Ciò non ha comunque determinato conseguenze né sul piano di campionamento né sui risultati dell'indagine, avendo coperto il periodo di maggiore sviluppo delle caulerpe (mesi estivi ed autunnali).

In tabella sono riportate le date durante le quali sono stati realizzati i campionamenti di pesca nelle 3 aree.

Date dei campionamenti di pesca nelle tre aree

P. Palo di Capo Passero		Pozzallo		Scoglitti	
Campagna I	10/03/13	Campagna I	21/06/13	Campagna I	14/06/13
	11/03/13		06/07/13		15/06/13
	12/03/13		07/07/13		16/06/13
Campagna II	20/05/13	Campagna II	22/09/13	Campagna II	14/09/13
	21/05/13		23/09/13		19/09/13
	31/05/13		24/09/13		20/09/13
Campagna III	27/08/13	Campagna III	08/10/13	Campagna III	02/10/13
	09/09/13		13/10/13		06/10/13
	10/09/13		17/10/13		07/10/13
Campagna IV	23/10/13	Campagna IV	28/11/13	Campagna IV	18/10/13
	24/10/13		04/12/13		29/10/13
	25/10/13		05/12/13		27/11/13

I dati delle campagne di pesca opportunamente corretti e validati, sono stati inseriti in un database utilizzando a tal fine Microsoft Access 2007 che bene si presta alle operazioni di inserimento e di elaborazione.

È stato realizzato un elenco faunistico delle specie catturate durante l'intero periodo di campionamento nelle tre aree.

Le elaborazioni relative ai rendimenti di pesca e ai vegetali riscontrati nelle reti sono state effettuate separatamente per le tre aree di campionamento: Pozzallo, Scoglitti e Porto Palo di Capo Passero.

Sulla base delle biomasse catturate sono state selezionate le principali specie sulle quali effettuare il calcolo dei rendimenti di pesca.

I rendimenti (CPUE = *catch per unit effort*) delle principali specie catturate in termini di biomassa sono stati calcolati come grammi/500 metri di rete.

Le biomasse dei vegetali ammagliati sono state calcolate come grammi/100 metri di rete.

Al fine di valutare l'eventuale relazione tra la biomassa del pescato e quella dei vegetali ammagliati, mantenendo separate le caulerpe aliene dalle altre macrofite, è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson per ciascuna area di campionamento. Tale coefficiente varia da -1 (quando le variabili considerate sono inversamente correlate) a 1 (quando vi sia correlazione assoluta tra le variabili).

B.2.1.2 Rilevamento degli sbarcati commerciali

Al fine di verificare se nel periodo di indagine si registravano, come lamentato negli anni precedenti, fenomeni di interazione delle caulerpe con l'attività di pesca con conseguenti danni agli attrezzi e/o riduzione del pescato, a partire dal mese di ottobre 2012 sono stati effettuati a cadenza quindicinale rilevamenti in banchina degli sbarcati commerciali della pesca artigianale nella marineria di Scoglitti (Vittoria, RG).



Fase di rilevamento degli sbarcati commerciali della pesca artigianale nella marineria di Scoglitti

Per ciascuna motobarca censita sono stati rilevati, attraverso intervista diretta ai pescatori e tramite valutazione visiva i seguenti dati:

- nome imbarcazione e relativa matricola;
- specie catturate con numero di individui e peso complessivo;
- tipo di attrezzo utilizzato;
- dati relativi all'area di pesca (nome della zona, tipologia di fondale, profondità, ecc);
- eventuale presenza di caulerpa e fastidi da essa arrecati;

Periodo Censimento	data
Ottobre I 2012	01/10/2012
Ottobre II 2012	15/10/2012
Novembre I 2012	03/11/2012
Novembre II 2012	18/11/2012
Dicembre I 2012	03/12/2012
Dicembre II 2012	18/12/2012
Gennaio I 2013	08/01/2013
Gennaio II 2013	22/01/2013
Febbraio I 2013	06/02/2013
Febbraio II 2013	22/02/2013
Marzo I 2013	04/03/2013
Marzo II 2013	20/03/2013
Aprile I 2013	04/04/2013

Periodo Censimento	data
Aprile II 2013	19/04/2013
Maggio I 2013	04/05/2013
Maggio II 2013	20/05/2013
Giugno I 2013	04/06/2013
Giugno II 2013	19/06/2013
Luglio I 2013	04/07/2013
Luglio II 2013	19/07/2013
Agosto I 2013	03/08/2013
Agosto II 2013	19/08/2013
Settembre I 2013	03/09/2013
Settembre II 2013	20/09/2013
Ottobre I 2013	05/10/2013
Ottobre II 2013	20/10/2013

Date di campionamento bimensile di rilevamento degli sbarcati commerciali nella marineria di Vittoria (RG).

I dati raccolti durante il rilevamento degli sbarcati commerciali della pesca artigianale nella marineria di Scoglitti, dopo essere stati controllati, corretti e validati, sono stati inseriti in un apposito database utilizzando Microsoft Access 2007.

Al fine di fornire un valore medio mensile, i due campionamenti effettuati nell'arco del mese sono stati accorpati e mediati.

Le specie risultate maggiormente catturate in termini di biomassa sono state selezionate ai fini dell'elaborazione dei rendimenti.

I rendimenti (CPUE, catch per unit effort) sono stati calcolati mensilmente come kg/barca/giorno.

B.2.2 Risultati

B.2.2.1 Pesca (protocollo di campionamento, effetti della presenza di macrofite e caulerpe sull'efficacia degli attrezzi da pesca, date di campionamento, elaborazione ed analisi dei dati)

Sono state effettuate in totale 4 campagne di pesca in ognuna delle 3 località di indagine, per un totale di 36 giornate di pesca (12 per area).

L'analisi del pescato totale ha portato all'identificazione di 57 differenti specie, appartenenti principalmente ai pesci ossei.

Nella tabella sotto è riportato l'elenco faunistico delle specie catturate nelle quattro campagne di pesca nelle 3 aree.

Delle 57 specie catturate 51 sono pesci ossei; i pesci cartilaginei sono rappresentati da 3 sole specie di Raiformi; i molluschi sono presenti con due specie, il polpo comune *Octopus vulgaris* e la seppia comune *Sepia officinalis*, mentre l'unica specie di crostaceo catturata è stata la pannocchia *Squilla mantis*.

Elenco faunistico delle specie catturate nei 36 campionamenti di pesca nelle 3 aree.

CRUSTACEA			
Classe	Ordine	Famiglia	Specie
Malacostraca	Stomatopoda	Squillidae	<i>Squilla mantis</i>
MOLLUSCA			
Classe	Ordine	Famiglia	Specie
Cephalopoda	Octopoda	Octopodidae	<i>Octopus vulgaris</i>
	Sepiida	Sepiidae	<i>Sepia officinalis</i>
PISCES			
Classe	Ordine	Famiglia	Specie
Osteichthyes	Anguilliformes	Muraenidae	<i>Muraena helena</i>
	Gadiformes	Phycidae	<i>Phycis phycis</i>
<i>Phycis blennoides</i>			
	Perciformes	Carangidae	<i>Pseudocaranx dentex</i>
			<i>Seriola dumerili</i>
		Centracanthidae	<i>Trachurus trachurus</i>
			<i>Spicara maena</i>
		Dactylopteridae	<i>Spicara smaris</i>
			<i>Dactylopterus volitans</i>
		Haemulidae	<i>Pomadasyus incisus</i>
		Labridae	<i>Coris julis</i>

			<i>Symphodus tinca</i>
			<i>Xyrichtys novacula</i>
		Moronidae	<i>Dicentrarchus punctatus</i>
		Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>
		Mullidae	<i>Mullus barbatus</i>
			<i>Mullus surmuletus</i>
		Scaridae	<i>Sparisoma cretense</i>
		Sciaenidae	<i>Umbrina cirrosa</i>
			<i>Sciaena umbra</i>
		Scombridae	<i>Sarda sarda</i>
		Serranidae	<i>Serranus cabrilla</i>
			<i>Serranus scriba</i>
		Sparidae	<i>Dentex dentex</i>
			<i>Diplodus annularis</i>
			<i>Diplodus cervinus cervinus</i>
			<i>Diplodus fasciatus</i>
			<i>Diplodus puntazzo</i>
			<i>Diplodus sargus sargus</i>
			<i>Diplodus vulgaris</i>
			<i>Lithognathus mormyrus</i>
			<i>Oblada melanura</i>
			<i>Pagellus acarne</i>
			<i>Pagellus erythrinus</i>
			<i>Pagrus pagrus</i>
			<i>Sarpa salpa</i>
			<i>Sparus aurata</i>
			<i>Spondyliosoma cantharus</i>
		Sphyraenidae	<i>Sphyraena viridensis</i>
		Synodontidae	<i>Synodus saurus</i>
		Trachinidae	<i>Trachinus draco</i>
		Triglidae	<i>Chelidonichthys lucerna</i>
			<i>Trigla lyra</i>
		Uranoscopidae	<i>Uranoscopus scaber</i>
	Pleuronectiformes	Bothidae	<i>Bothus podas</i>
	Pleuronectiformes	Soleidae	<i>Pegusa lascaris</i>
			<i>Solea solea</i>
	Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Scorpaena porcus</i>
			<i>Scorpaena scrofa</i>
	Tetraodontiformes	Balistidae	<i>Balistes capriscus</i>
	Zeiformes	Zeidae	<i>Zeus faber</i>
Chondrichthyes	Rajiformes	Dasyatidae	<i>Dasyatis pastinaca</i>
		Rajidae	<i>Raja asterias</i>
			<i>Raja radula</i>

I vegetali che, come da protocollo, sono stati campionati nelle reti sono stati raggruppati nelle seguenti categorie:

- *Caulerpa taxifolia* var *disticophylla*;
- *Caulerpa racemosa*;
- altre macrofite

I risultati ottenuti dai campionamenti di pesca vengono riportati suddivisi per area.



Macrofite campionate nella rete

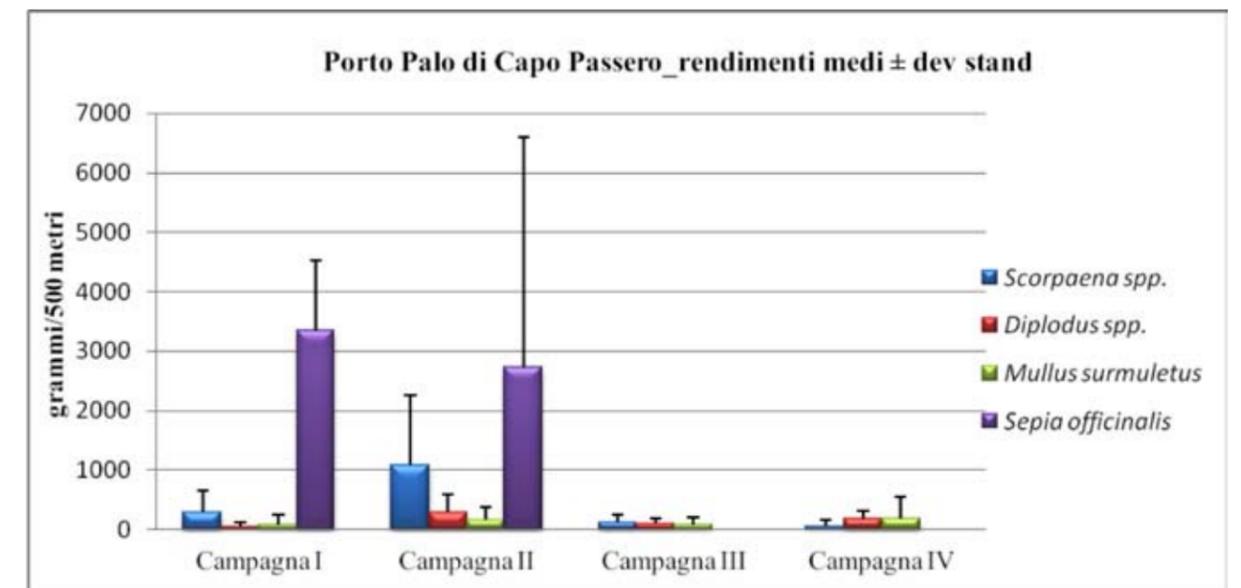


Caulerpa taxifolia var *disticophylla* campionata nella rete

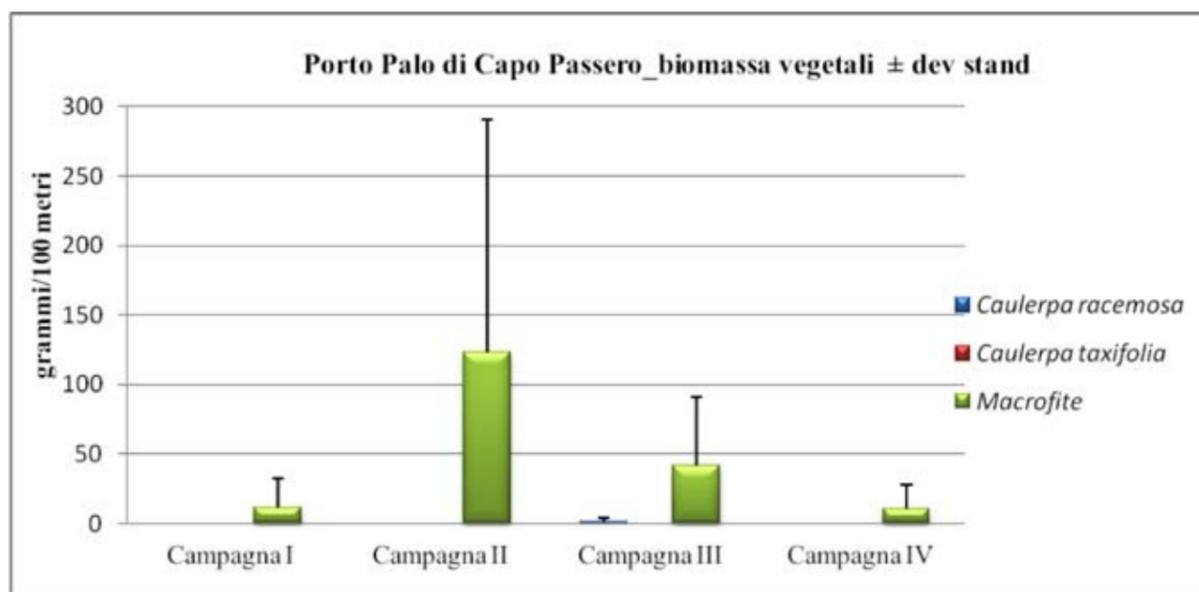
I campionamenti di pesca nell'area di Porto Palo di Capo Passero sono stati effettuati nelle zone costiere a profondità comprese tra 4 e 12 metri.

Nei campionamenti effettuati in tale area, le specie principali in termini di biomassa sono risultate: la seppia comune, *Sepia officinalis*; gli scorfani, *Scorpaena* spp., la triglia di scoglio *Mullus surmuletus* e i saraghi *Diplodus* spp.

Sotto sono visualizzati i rendimenti medi (grammi/500 metri di rete) delle quattro specie sopra elencate \pm deviazione standard per giornata di pesca nelle quattro campagne realizzate. La figura successiva riporta biomassa media per giornata di pesca dei vegetali presenti nella rete nell'area di Porto Palo di Capo Passero.



Rendimenti medi per giornata di pesca delle principali specie catturate nell'area di Porto Palo di Capo Passero



Biomassa media per giornata di pesca dei vegetali presenti nella rete nell'area di Porto Palo di Capo Passero

I maggiori rendimenti medi si registrano per la seppia nella prima e seconda campagna, rispettivamente a marzo 2013 e maggio 2013, con un valore massimo superiore ai 3 kg/500 m; mentre nelle altre due campagne la specie non è stata catturata.

Nelle medesime campagne (I e II) si registrano anche i maggiori rendimenti per gli scorfani. I rendimenti di *M. surmuletus* e dei *Diplodus* spp. si sono mantenuti al di sotto dei 300 g; il rendimento medio più elevato per la triglia di scoglio (285,33 g) è stato rilevato nella II campagna, mentre nella campagna II è stato registrato il maggior rendimento medio per i saraghi (181,33 g).

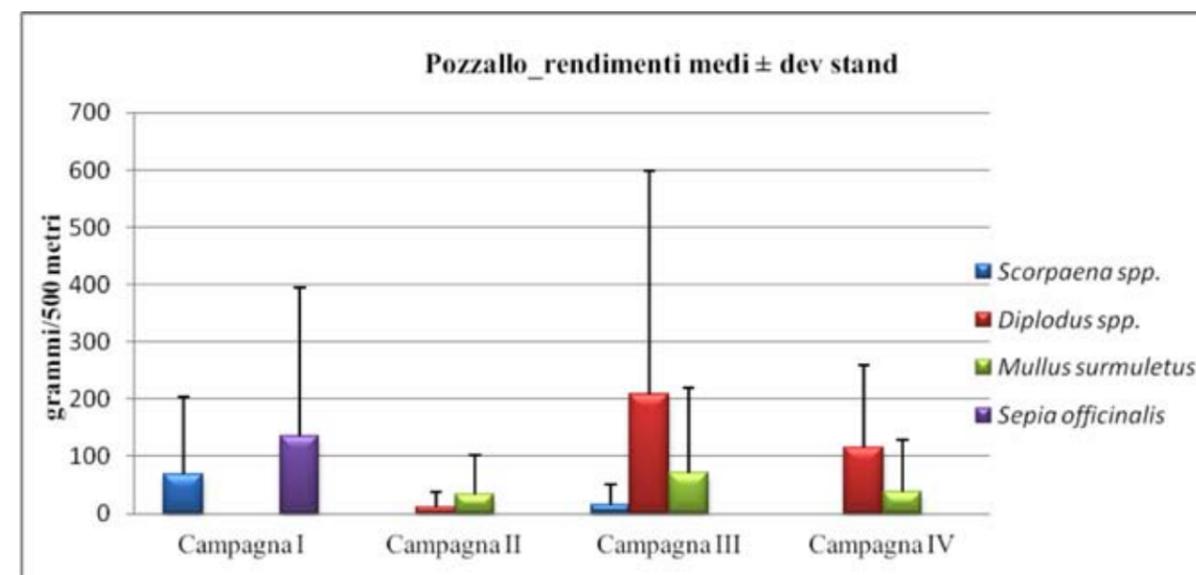
I vegetali campionati nella rete durante le pescate effettuate nell'area di Porto Palo di Capo Passero sono risultati: *Caulerpa racemosa*, in quantitativi irrilevanti e solo nella III campagna (luglio-agosto 2013) e macrofite, con maggiore biomassa nella II campagna (maggio 2013), con un valore medio di circa 120 grammi/100 metri di rete. *C. taxifolia* var. *disticophylla* è stata campionata soltanto nella I campagna in quantità irrilevanti.

I campionamenti di pesca nell'area di Pozzallo sono stati effettuati su fondali compresi tra 8 e 27 metri di profondità.

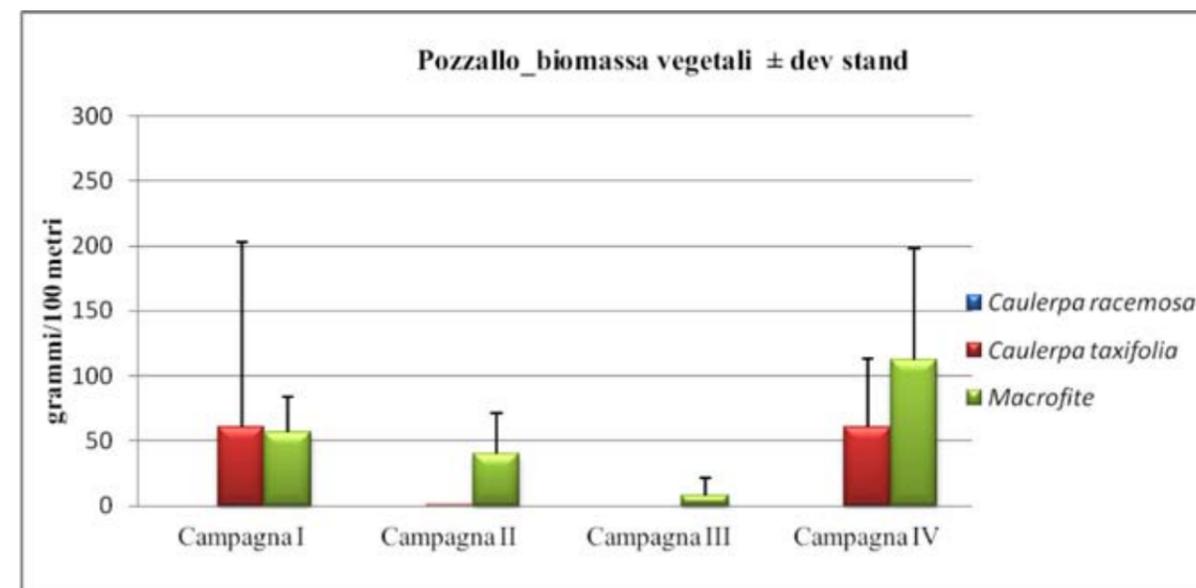
Nelle campagne di pesca realizzate nell'area di Pozzallo, le specie più rilevanti in termini di biomassa sono risultate: i saraghi *Diplodus* spp., la seppia comune, *Sepia officinalis*, la triglia di scoglio *Mullus surmuletus* e gli scorfani *Scorpaena* spp.

Sotto sono visualizzati i rendimenti medi (grammi/500 metri di rete) delle quattro specie sopra elencate ± deviazione standard per giornata di pesca nelle quattro campagne realizzate.

Nella figura successiva viene visualizzata la biomassa media per giornata di pesca dei vegetali presenti nella rete nell'area di Pozzallo.



Rendimenti medi per giornata di pesca delle principali specie catturate nell'area di Pozzallo



Biomassa media per giornata di pesca dei vegetali presenti nella rete nell'area di Pozzallo

I maggiori rendimenti medi, sebbene di poco superiori ai 200 g/500 m, si registrano per i saraghi (*Diplodus* spp.), nella III campagna (ottobre 2013) e, a seguire, nella IV campagna (novembre 2013).

La seppia è stata catturata solo nella prima campagna (21/06/2013-07/07/2013), con un valore medio di 135 g/500 m di rete; nella stessa campagna si registrano anche i rendimenti più elevati per gli scorfani.

Il rendimento medio di *M. surmuletus* più elevato (70,7 g) è stato registrato nella III campagna.

Durante le pescate effettuate nell'area di Pozzallo i vegetali campionati nella rete sono risultati: *Caulerpa taxifolia* e macrofite. Le biomasse di entrambe sono risultate sempre piuttosto basse, con valori medi inferiori a 120 grammi/100 metri di rete. *C. taxifolia* var. *disticophylla* era presente nelle campagne I e IV. Le macrofite erano presenti in tutte e quattro le campagne, ma la maggiore biomassa è stata registrata nell'ultima campagna

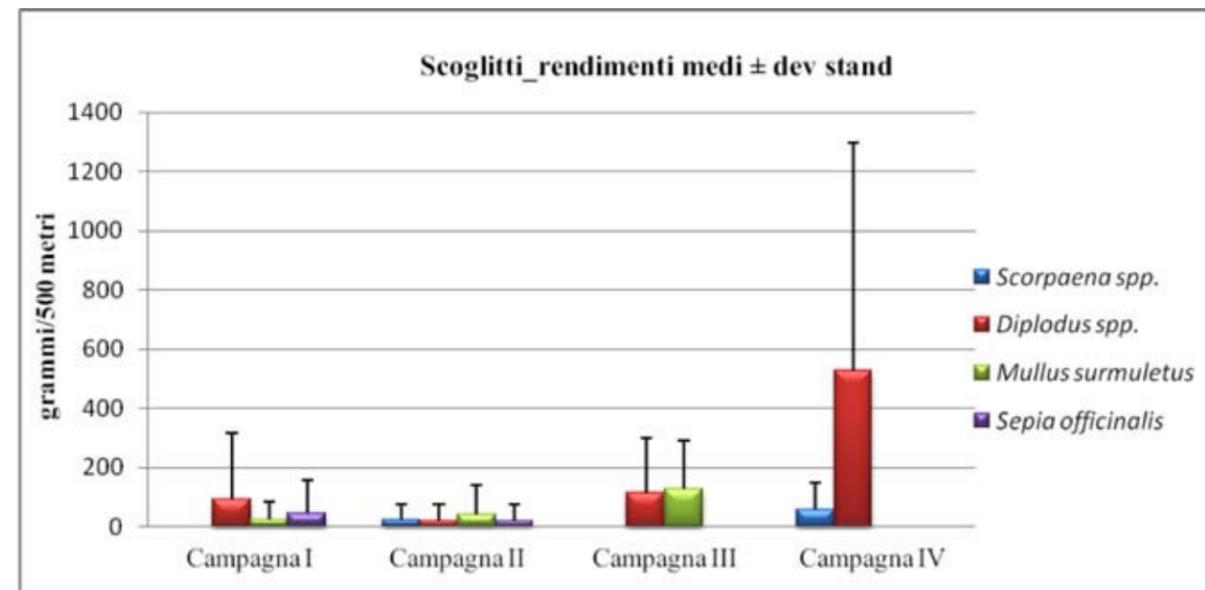
(novembre 2013). *C. racemosa* non è stata mai rilevata nelle reti durante le 12 giornate di pesca nell'area di Pozzallo.

I campionamenti di pesca nell'area di Scoglitti sono stati realizzati nelle zone costiere a profondità comprese tra 6 e 25 metri.

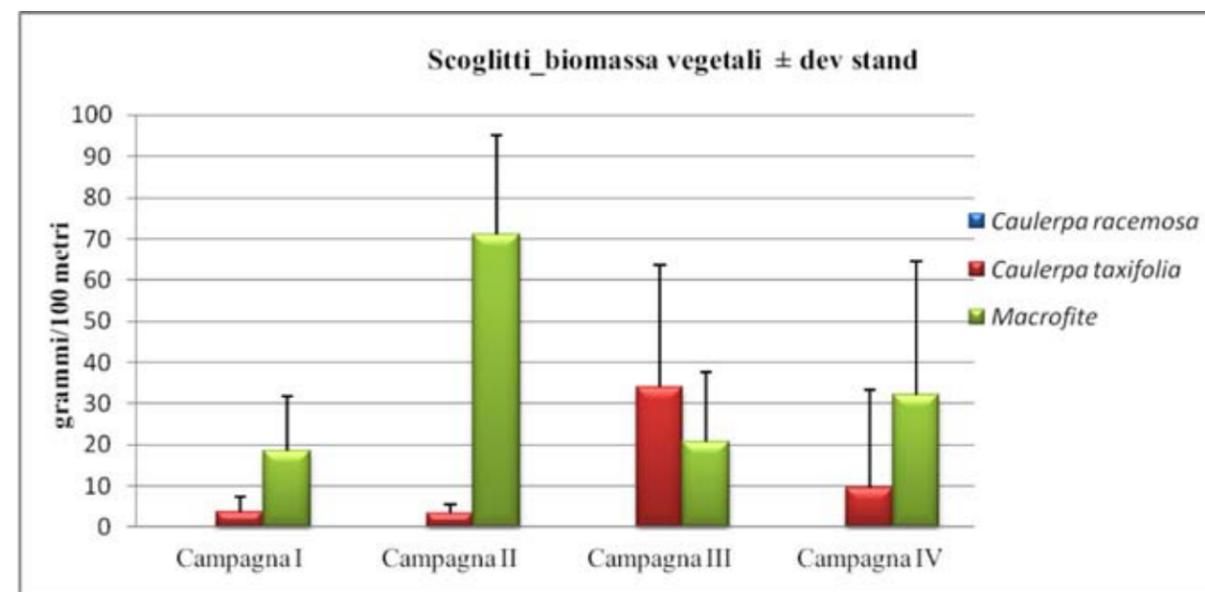
Nei campionamenti effettuati nell'area di Scoglitti le specie principali in termini di biomassa sono risultate: i saraghi *Diplodus* spp., la triglia di scoglio *Mullus surmuletus*, gli scorfani *Scorpaena* spp. e la seppia *Sepia officinalis*.

Sotto sono visualizzati i rendimenti medi (grammi/500 metri di rete) delle quattro specie sopra elencate ± deviazione standard per giornata di pesca nelle quattro campagne realizzate.

La figura successiva riporta la biomassa media per giornata di pesca dei vegetali presenti nella rete nell'area di Scoglitti.



Rendimenti medi per giornata di pesca delle principali specie catturate nell'area di Scoglitti



Biomassa media per giornata di pesca dei vegetali presenti nella rete nell'area di Scoglitti

I maggiori rendimenti medi, superiori ai 500g/500 m, si registrano per i saraghi (*Diplodus* spp.), nella IV campagna (novembre 2013).

Nella III campagna (ottobre 2013) si hanno i maggiori rendimenti medi per *M. surmuletus*. La seppia è stata catturata nella I e II campagna, ma con rendimenti medi molto bassi.

Catture di *Scorpaena* spp. sono state ottenute nella II e IV campagna.

I vegetali campionati nella rete durante le pescate effettuate nell'area di Scoglitti sono risultati: *C. taxifolia* var. *disticophylla* e macrofite, in tutte e quattro le campagne. *C. taxifolia* var. *disticophylla* ha il maggior valore medio di biomassa, sebbene sempre piuttosto basso (< 35 g/100 metri di rete) nella III campagna (ottobre 2013), mentre per le macrofite, si registra nella II campagna (settembre 2013), con un valore medio di circa 70 g/100 metri di rete. *C. racemosa* non è stata mai campionata nella rete durante le 12 giornate di pesca nell'area di Scoglitti.

Sotto vengono riportati per area di campionamento i valori del coefficiente di correlazione ricavati tra la biomassa di pescato e le variabili *C. taxifolia* var. *disticophylla*, *C. racemosa* e *macrofite totali*.

Coefficiente di correlazione tra la biomassa del pescato e i vegetali

Area	<i>C. taxifolia</i> var. <i>disticophylla</i>	<i>C. racemosa</i>	Macrofite totali
Porto Palo	-	-0,17	0,52
Pozzallo	0,11	-	0,10
Scoglitti	-0,13	-	0,03

Il coefficiente di correlazione tra le variabili risulta sempre insignificante ad eccezione di quello calcolato a Porto Palo di Capo Passero per le macrofite totali che mostra una leggera correlazione positiva tra la biomassa di queste ultime e quella del pescato. In nessun caso si evidenzia una correlazione tra le caulerpe e il pescato.

B.2.2.2 Rilevamento degli sbarcati commerciali

Sono stati effettuati in totale 26 campionamenti in banchina per il rilevamento degli sbarcati commerciali della pesca artigianale nella marineria di Scoglitti (Vittoria, RG).

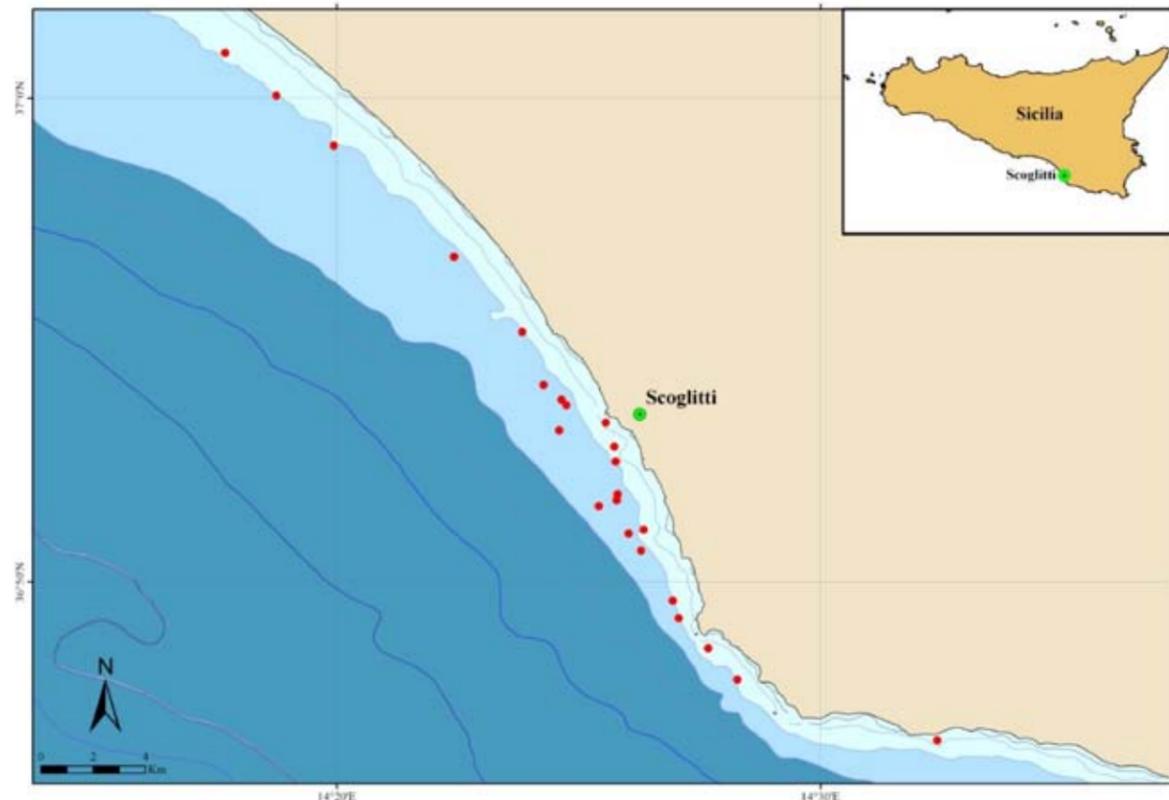
Nell'arco dei 13 mesi di rilevamenti (ottobre 2012 - novembre 2013) sono state censite un totale di 19 imbarcazioni da pesca professionali in attività; i natanti rilevati in ciascuna giornata dall'operatore sono risultati in media 5.

I dati delle 19 imbarcazioni censite nella marineria di Scoglitti durante l'attività di rilevamento degli sbarcati commerciali, unitamente ai dati ufficiali delle caratteristiche strutturali derivate dall'Archivio delle Licenze di Pesca, aggiornato al 30 giugno 2013, sono riportate nella tabella seguente.

Imbarcazioni censite durante i rilevamenti degli sbarcati commerciali della pesca artigianale nella marineria di Scoglitti, con le relative caratteristiche strutturali (dati ALP).

Matricola	Nome	Anno CST	LFT Ce	LFT Naz.le	GT	TSL	Kw
01PO00583	MARIA	1947	6,45	6,7	1	2,18	0
01PO00688	S. GIUSEPPE	1961	6,45	6,25	1	1,68	11
01PO00885	SAN SALVATORE	1972	5,3	5,3	1	1,2	0
01PO00898		1978	6,38	6,3	1	1,8	0
01PO00971		1983	5,82	5,85	1	1,72	11
01PO00974		1982	5,55	5,55	1	1,25	0
01PO00975		1983	6,42	6,5	1	1,59	0
01PO00982		1983	6,9	6,5	1	1,88	0
01PO00994		1989	5,88	5,98	1	1,56	0
01PO00997		1989	6,3	5,9	1	1,79	0
01PO01013		1991	6,45	6,5	1	1,93	0
01PO01031	--	1972	5,6	5,37	1	1,36	0
01PO01033		1972	4,72	4,77	1	1,14	0
01PO01034	GIOVANNA CONA	1975	5,74	5,6	1	1,2	0
01PO01045		1987	5,2	5,13	1	1,11	0
01PO01048		1981	6,52	6,52	1	2,89	0
01PO01054		1979	5	5,51	1	1,21	5,8
01PO01094	PADRE PIO	1960	8,16	8,77	2	2,81	16,2
01PO01103		1979	11,2	11,71	7	9,49	81

Sotto viene riportata la mappa dell'area di pesca delle barche afferenti alla marineria di Scoglitti e dei punti nei quali, attraverso le interviste ai pescatori durante il rilevamento degli sbarcati, risultano essere state effettuate le pescate.

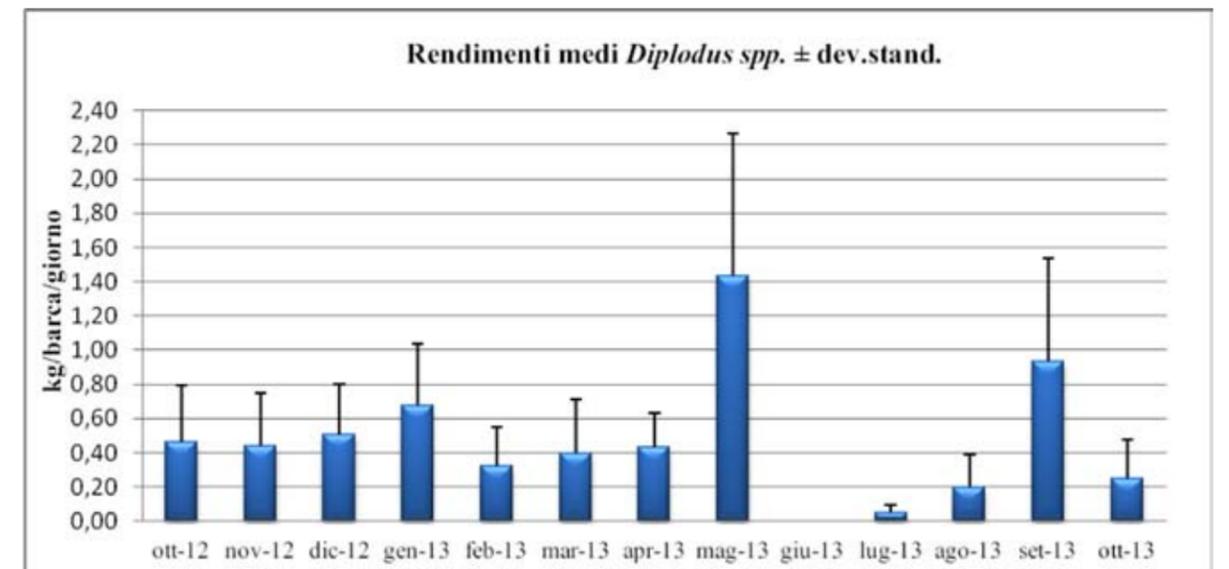


Aree di pesca delle imbarcazioni di pesca artigianale della marineria di Scoglitti censite durante il rilevamento degli sbarcati commerciali.

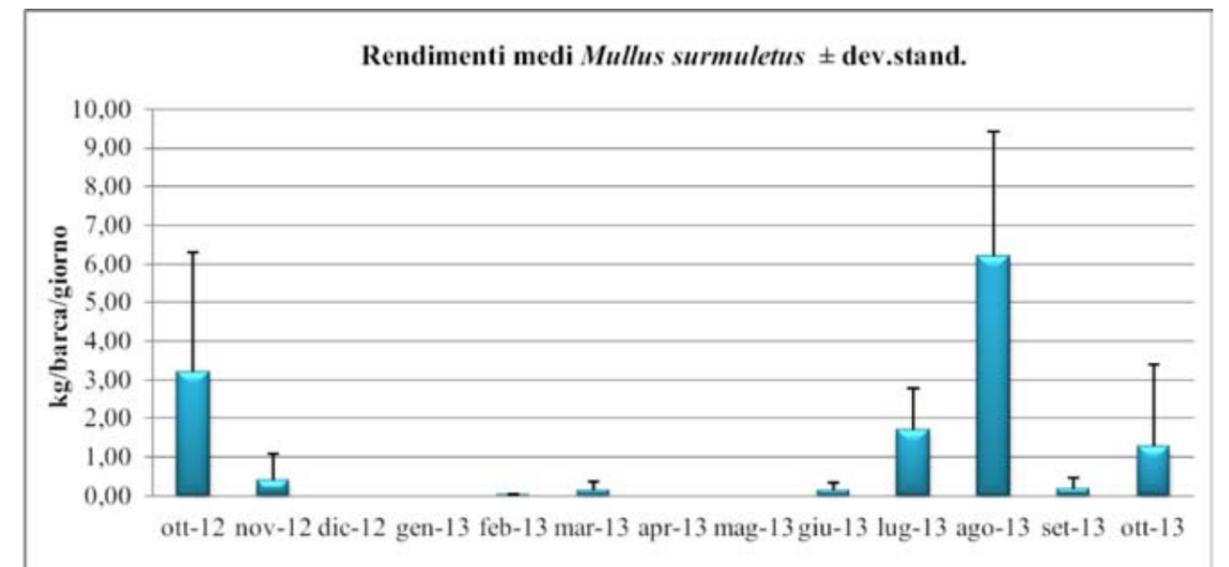
Il tremaglio è risultato l'attrezzo utilizzato dalla totalità degli operatori censiti; in un solo natante, durante il rilevamento del 06/07/2013 è stato rilevato anche il palangaro di fondo. In termini di biomassa totale, la specie che ha contribuito maggiormente è risultata la seppia comune *Sepia officinalis* (kg 202,40), pescata principalmente nel periodo invernale-primaverile, seguita dalla triglia di scoglio *Mullus surmuletus* (kg 108,6), catturata durante tutto l'anno.

- Considerando i gruppi sistematici, le specie maggiormente catturate sono risultate:
- tra i pesci ossei la triglia di scoglio *M. surmuletus*, i saraghi *Diplodus* spp., il pagello bastardo *Pagellus acarne*, e la salpa *Sarpa salpa*;
 - tra i molluschi cefalopodi la seppia *S. officinalis* e il polpo comune *Octopus vulgaris*;
 - le uniche catture di crostacei registrate si riferiscono alla pannocchia *Squilla mantis* e ad alcuni esemplari di aragosta *Palinurus elephas*.

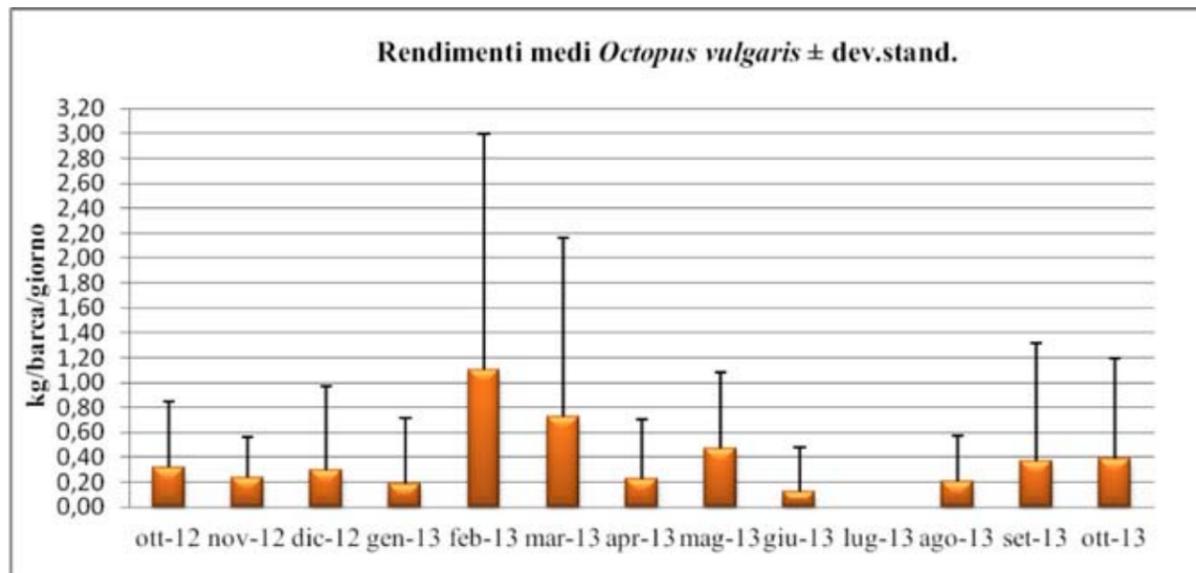
Nelle figure seguenti sono visualizzati i rendimenti medi (kg/barca/giorno) \pm deviazione standard nei 13 mesi di rilevamento (ottobre 2012-novembre 2013) delle seguenti specie: saraghi *Diplodus* spp., *Mullus surmuletus*, *Octopus vulgaris* e *Sepia officinalis*.



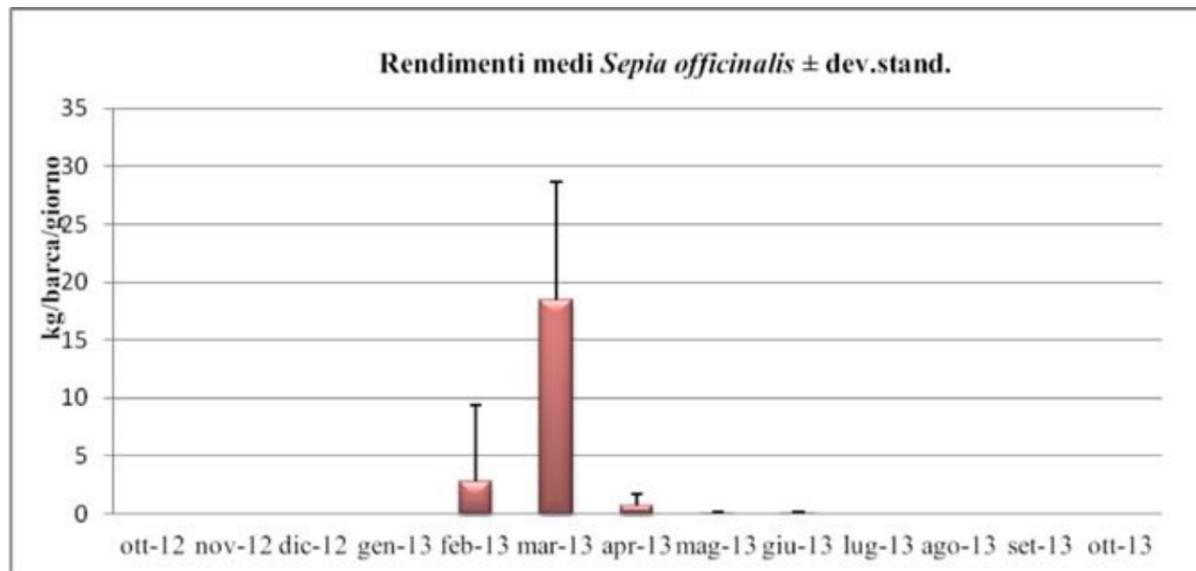
Rendimenti medi mensili dei saraghi derivanti dal rilevamento degli sbarcati commerciali nella marineria di Scoglitti.



Rendimenti medi mensili della triglia di scoglio derivanti dal rilevamento degli sbarcati commerciali nella marineria di Scoglitti.



Rendimenti medi mensili del polpo comune derivanti dal rilevamento degli sbarcati commerciali nella marineria di Scoglitti.



Rendimenti medi mensili della seppia comune derivanti dal rilevamento degli sbarcati commerciali nella marineria di Scoglitti.

Relativamente alle possibili interazioni con le caulerpe, nell'intero periodo di campionamento, dalle interviste effettuate ai pescatori locali non è stato registrato alcun episodio di disturbo all'attività di pesca e soltanto in 4 rilevamenti, nel periodo autunnale, sono state osservate tracce della loro presenza:

- 03/11/2012: pochi frammenti di *C. racemosa* in una rete, dopo mareggiata;
- 03/12/2012: frammenti di *C. racemosa* e *C. taxifolia* var. *disticophylla* in una rete;
- 03/12/2012: alcuni frammenti di *C. racemosa* nelle reti;
- 03/12/2012: alcuni frammenti di *C. taxifolia* var. *disticophylla* sulla battigia dove viene scaricato il pescato.

B.3 Istituzione Osservatorio delle specie aliene

B.3.1 Materiali e Metodi

Al fine di istituire nell'area di studio e, in particolare, nell'arcipelago delle Pelagie, un "Osservatorio delle Specie Aliene", come auspicato tra gli obiettivi del progetto, è stata avviata una campagna di sensibilizzazione e divulgazione rivolta agli operatori del mare (professionisti e non) ed in particolare:

- pescatori professionali;
- pescatori sportivi;
- cooperative di pesca;
- operatori di diving;
- diportisti.

Tali operatori sono stati contattati ed incontrati; nei vari incontri è stato sinteticamente illustrato il fenomeno delle specie aliene ed evidenziata l'importanza che gli stessi operatori del mare rivestono nel monitoraggio delle stesse, nel reperire informazioni ed anche esemplari.

Si è provveduto anche a mostrare immagini di specie aliene, in particolare le caulerpe e specie ittiche particolarmente invasive o che possono essere pericolose, in termini di tossicità, come il *Lagocephalus sceleratus* (pesce palla maculato).

Ai fini di una ricognizione della presenza delle caulerpe, confermata dal monitoraggio effettuato nel luglio 2012 nelle aree della Secca di Levante e dell'isolotto di Lampione con Ecoscandaglio multibeam, Side Scan Sonar e ROV (Remotely Operated Vehicle), nell'Isola di Lampedusa e nell'isolotto di Lampione sono state condotte ulteriori indagini subacquee. Nell'area delle Isole Pelagie, che per la posizione centrale in Mediterraneo, rappresenta un punto di incontro di specie alloctone sia indo-pacifiche che atlantiche è stata contattata l'Area Marina Protetta Isole Pelagie con sede a Lampedusa ai fini dell'avvio di una collaborazione.

B.3.2 Risultati

I contatti e gli incontri realizzati con gli operatori del mare lungo le coste meridionali della Sicilia hanno consentito di attivare una rete di collaborazione importantissima per il reperimento di informazioni sulle specie marine non indigene.

A dimostrazione di ciò, oltre alle importanti informazioni raccolte relativamente alla presenza e distribuzione delle caulerpe, l'ampia rete di contatti instaurata ha dimostrato grande rilevanza ed utilità nel fronteggiare l'emergenza dell'arrivo nelle acque italiane di una specie ittica tossica, il pesce palla maculato *Lagocephalus sceleratus*, il cui consumo può essere letale per l'uomo, come già accaduto in alcuni paesi del Mediterraneo orientale. Dopo la prima cattura di un esemplare di *L. sceleratus* nelle acque di Lampedusa, i pescatori da noi informati e successivamente allertati dalle Capitanerie di competenza, alle quali era stato inviato un nostro comunicato, hanno prontamente segnalato le catture successive, scongiurato l'eventuale commercializzazione e consumo, conservato e consegnato a noi gli esemplari, come richiesto.

L'Area Marina Protetta delle Isole Pelagie, contattata per l'instaurazione di una collaborazione ai fini del monitoraggio delle specie marine aliene, ha dimostrato la propria disponibilità a collaborare, divenendo così un punto di riferimento nella raccolta di informazioni sulle specie alloctone presenti in quest'area strategica.

Relativamente alla presenza delle caulerpe, a seguito del monitoraggio del 2012 e sulla base delle informazioni fornite dai pescatori, le indagini subacquee hanno evidenziato

la colonizzazione da parte di *C. racemosa* di vaste aree dell'Isolotto di Lampione, principalmente nel versante meridionale e sud-orientale, sino a profondità di 50 metri. Nell'Isola di Lampedusa sempre *C. racemosa* colonizza ampi fondali sia sabbiosi che rocciosi, un po' ovunque, ma con maggiori abbondanze nel settore orientale e nord-orientale.

In riferimento ad eventuali interazioni con l'attività di pesca, gli operatori contattati non hanno riferito alcun episodio di disturbo.



C. racemosa su fondali dell'Isola di Lampedusa

Studio degli effetti dell'invasione delle *Caulerpe Aliene* sulle biocenosi costiere - CNR

STUDIO DEGLI EFFETTI DELL'INVASIONE DELLE CAULERPE ALIENE SULLE BIOCENOSI COSTIERE - CNR

C.1 Studio dell'impatto di *Caulerpa taxifolia* var. *distichophylla* su popolamenti bentonici associati a *Posidonia oceanica*

C.1.1 Materiali e Metodi

Lo scopo di questo studio è stato quello di confrontare le caratteristiche dei popolamenti bentonici associati a praterie di *Posidonia oceanica* della Sicilia meridionale interessate dall'invasione di *Caulerpa taxifolia* var. *distichophylla* con quelle di popolamenti associati a posidonieti di località limitrofe non colpite dal fenomeno. Lo studio, inoltre, si propone di verificare se il grado di invasione della prateria, inteso come livello di copertura dell'alga aliena sulla matte (alto o basso), possa essere correlato ad una eventuale variazione della struttura dei popolamenti ad essa associati.

Il modello concettuale prevede che la comunità bentonica associata alle praterie di *P. oceanica* sia stata modificata dalla presenza di *C. taxifolia* var. *distichophylla*. L'ipotesi sperimentale è che la presenza dell'alga aliena abbia provocato cambiamenti nella composizione tassonomica, così come nelle abbondanze relative dei taxa. Pertanto, è previsto che le differenze fra comunità bentoniche con e senza l'alga aliena siano sostanziali anche quando l'alga è presente a densità minori di quelle massime rilevate in campo.

C.1.1.1 Area di studio

Il tratto di costa prospiciente Donnalucata è stato scelto quale area impattata dalla presenza di *C. taxifolia* var. *distichophylla* più idonea ai fini della ricerca. In particolare, date le dimensioni, la distribuzione spaziale delle chiazze di posidonieto (patch) e l'abbondanza dell'alga aliena sui bordi delle stesse, presso tale località sono state individuate porzioni di prateria a diverso grado d'invasione, alto e basso. Inoltre, la ricerca di aree di controllo idonee a verificare la condizione naturale delle comunità macro- e meio-bentoniche associate a matte di *Posidonia* si è egualmente avvalsa dei risultati delle precedenti ispezioni. Nello specifico, tra le varie possibili, sono state casualmente scelte due praterie di controllo non interessate dal fenomeno e con caratteristiche simili a quelle della prateria affetta dall'invasione (posidonieti estesi in prossimità della costa, a 100-200 m da questa, a simile profondità): nello specifico sono state campionate le praterie di *P. oceanica* presso le località di Capo San Marco e Capo Granitola.



Localizzazione dei posidonieti oggetto di indagine

C.1.1.2 Prelievo e trattamento dei campioni di macrofauna

Presso Donnalucata sono state individuate 2 porzioni di posidonieto a diverso grado d'invasione (alto e basso) e in ognuna di esse sono stati scelti due siti distanti centinaia di metri l'uno dall'altro. Allo stesso modo, per ognuna delle 2 praterie di controllo (Capo San Marco e Capo Granitola) sono stati scelti due siti distanti centinaia di metri l'uno dall'altro. I campionamenti sono stati effettuati in immersione subacquea con autorespiratore ad aria (A.R.A.) da natante. In ogni sito sono state prelevate tre porzioni (repliche) di matte di *Posidonia oceanica* del margine esterno di superficie, utilizzando un carotatore manuale. I campioni prelevati sono stati trasferiti in appositi sacchi di rete in nylon, setacciati e conservati per le successive analisi.

In laboratorio con l'utilizzo di uno stereomicroscopio si è provveduto al sorting dei campioni con la separazione degli individui della macrofauna nei tre gruppi principali (Molluschi, Policheti e Crostacei). L'analisi tassonomica ha compreso il riconoscimento degli individui della macrofauna a livello tassonomico il più possibile prossimo a quello di specie tramite l'utilizzo di stereomicroscopio e microscopio.

C.1.1.3 Prelievo e trattamento dei campioni di meiofauna

I campionamenti della meiofauna sono stati effettuati in immersione A.R.A. utilizzando carotatori del diametro di 3,5 cm, in modo da raccogliere un numero di organismi statisticamente significativo. Le modalità di raccolta dei campioni hanno seguito le metodiche riportate da McIntyre (1971) che risultano essere ottimali nell'ambiente subtidale. Il campione prelevato è stato immediatamente lavorato a bordo. In laboratorio la meiofauna è stata estratta dal sedimento per centrifugazione frazionata. Una volta completata l'estrazione, i campioni sono stati conservati e successivamente osservati al binocolare.

C.1.1.4 Misurazione di Eh, pH e RPD

Le misurazioni di pH ed Eh sono state effettuate direttamente a bordo del natante tramite pHmetro portatile, equipaggiato di elettrodo per la misurazione dell'Eh.

In ogni sito sono stati prelevati 3 campioni di matte di *Posidonia* utilizzando carotatori metallici. I valori di Eh e pH sono stati acquisiti inserendo i rispettivi elettrodi all'interno del campione di matte di *Posidonia*.

È stata inoltre rilevata la misura della profondità dello stato anossico nel sedimento (Redox Potential Depth, RPD), che consiste nella misura della profondità (riportata in cm) alla quale il sedimento vira il proprio colore in nero per effetto della mancanza dell'ossigeno.

C.1.1.5 Analisi statistiche

L'ipotesi sperimentale di differenze nelle medie delle abbondanze dei singoli taxa tra i gruppi è stata verificata attraverso un disegno sperimentale che prevede un fattore "Impatti vs Controllo" (IvsC), fisso, con tre livelli (Impatto ad alta copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla*; Impatto a bassa copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla*; Controllo). Sulla base del suddetto modello, sono state condotte analisi della varianza (ANOVA) per testare differenze in abbondanza, numero di taxa e diversità tra i popolamenti bentonici studiati.

Le ipotesi sperimentali sono state ulteriormente testate con metodi statistici multivariati.

C.1.2 Risultati

C.1.2.1 Variabili ambientali

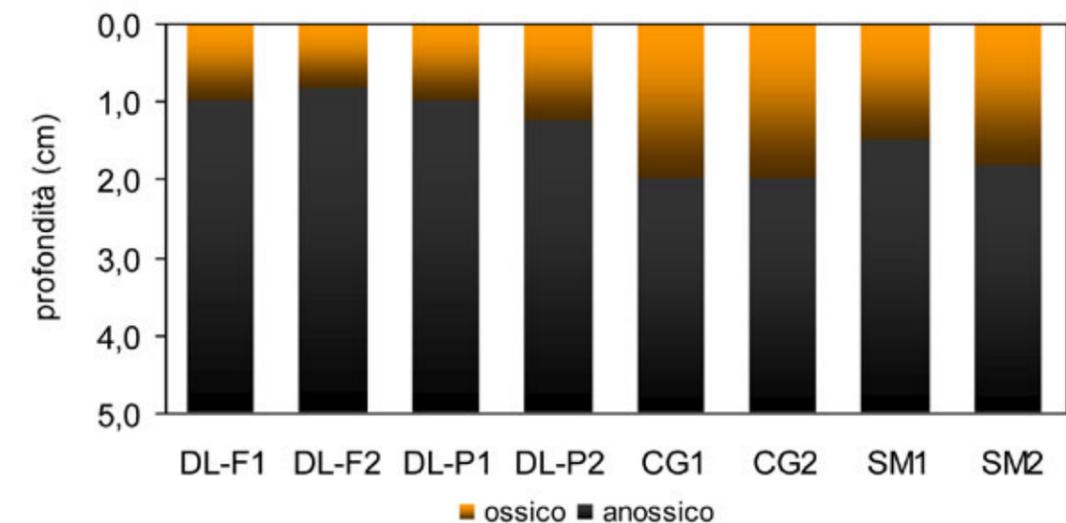
In tabella sono riportati i valori rilevati di RPD, pH e Eh nei posidonieti oggetto di indagine. Le misurazioni relative ai parametri del sedimento indicano una differenza dell'Eh tra le praterie interessate dalla presenza di *Caulerpa* e quelle di controllo, dove sono stati misurati valori più elevati. Al contrario, i valori di pH misurato nei sedimenti non mostrano alcuna differenza tra le praterie oggetto di indagine.

La misura della profondità dello strato sedimentario ridotto (RPD) è data dalla profondità alla quale si verifica una rapida variazione del potenziale redox. Al di sopra di tale strato il sedimento risulta essere ossigenato, mentre al di sotto di tale profondità, la riduzione dei solfati in condizioni anaerobiche provoca un aumento della concentrazione di acido solfidrico. L'analisi di questo parametro ha evidenziato differenze tra le praterie di controllo e quelle con presenza di *Caulerpa*, dove sono state registrate condizioni ipossiche negli strati sedimentari superficiali.

	RPD (cm)	pH	Eh (mV)
DL-F1	1,00	7,55	23,40
DL-F2	0,83	7,38	26,50
DL-P1	1,00	7,47	22,35
DL-P2	1,25	7,30	28,55
CG1	2,00	7,48	42,50
CG2	2,00	7,75	45,20
SM1	1,50	7,80	85,20
SM2	1,83	7,21	64,50

Valori rilevati di RPD, pH e Eh nelle porzioni di posidonieto oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

Redox Potential Depth

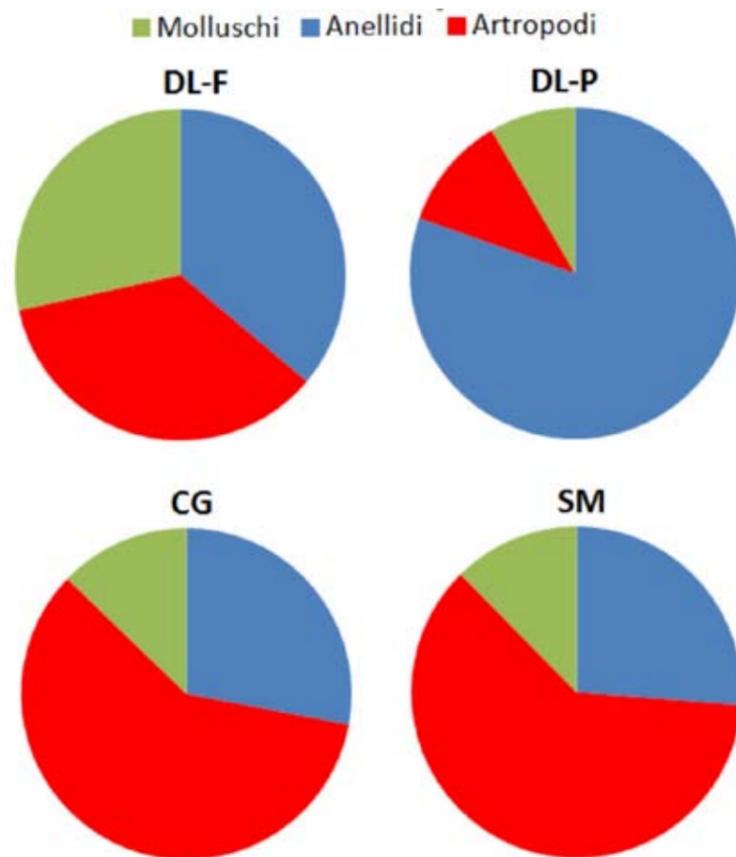


Variazioni della profondità del potenziale Redox nelle porzioni di posidonieto oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

C.1.2.2 Macrofauna (analisi degli indici univariati)

Sono stati identificati 351 taxa di macrofauna per un totale di 8773 individui, 1896 dei quali nella patch ad alto impatto (DL-F), 4160 in quella a basso impatto (DL-P), 1170 nella prateria della località di Capo San Marco e 1547 a Capo Granitola.

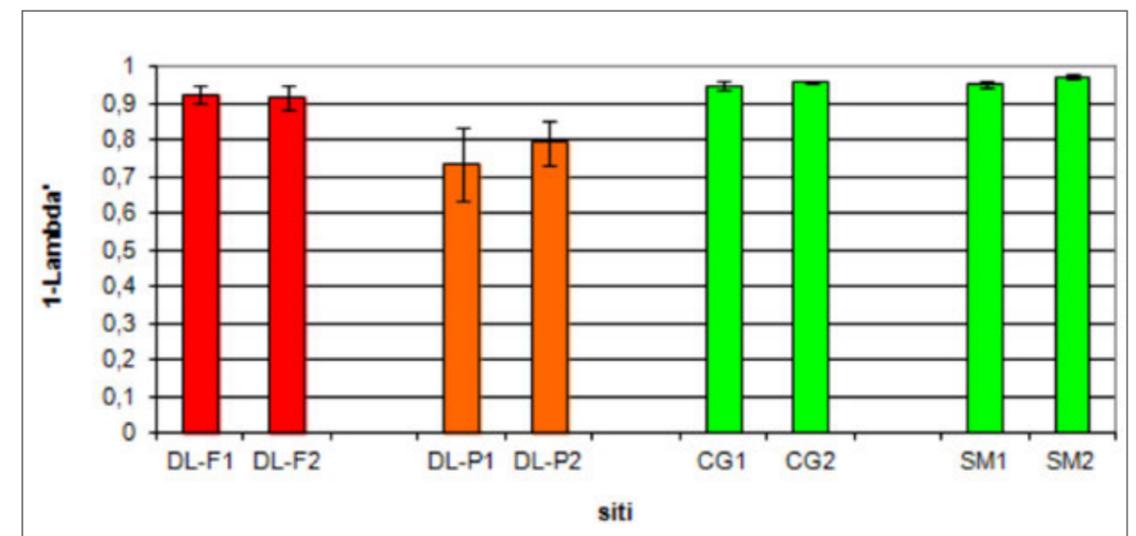
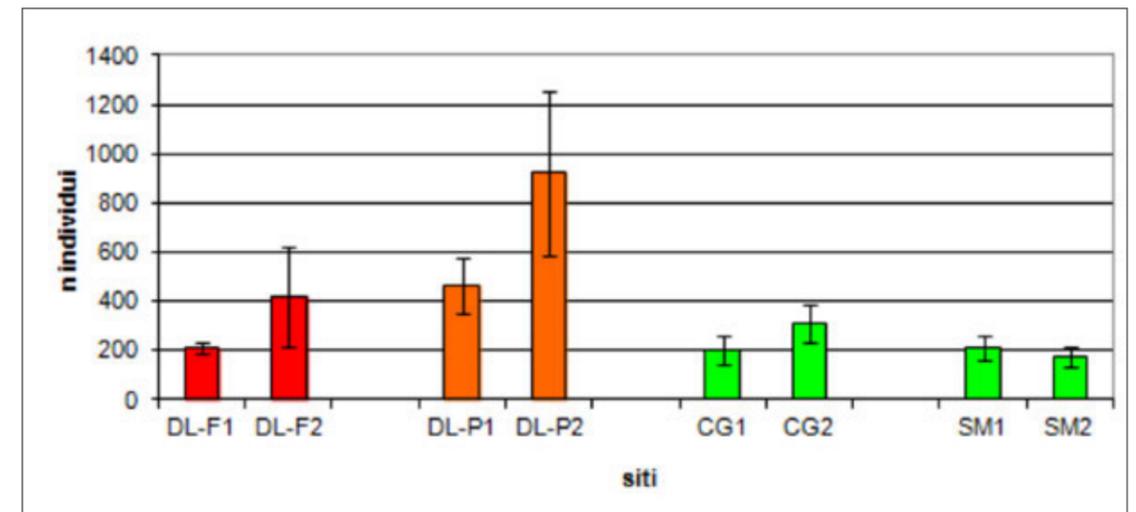
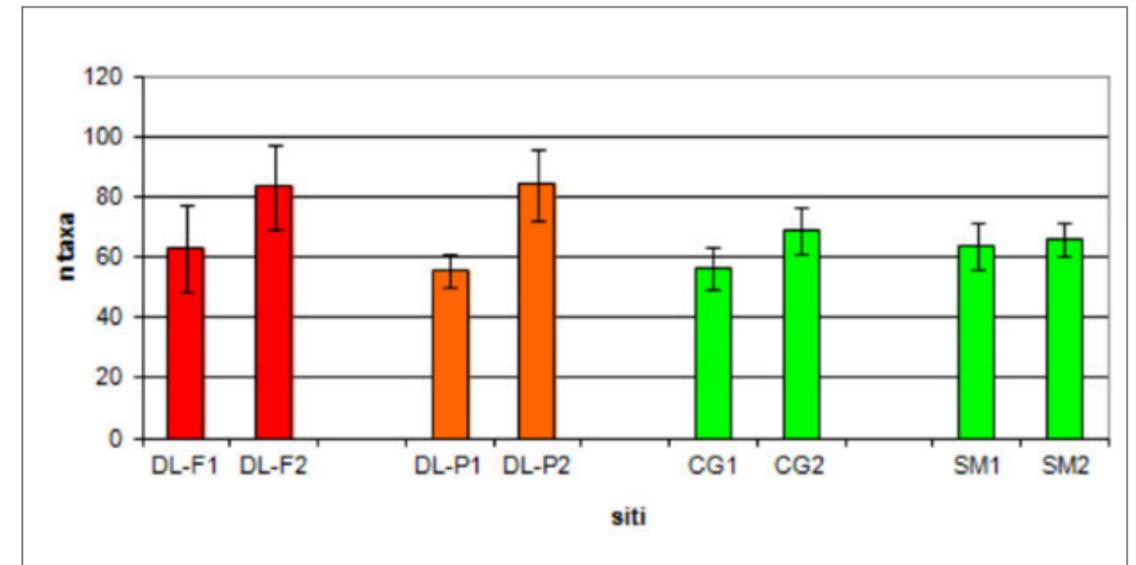
Sotto sono riportate le abbondanze relative dei tre gruppi principali oggetto di indagine (molluschi, anellidi policheti e artropodi crostacei) nelle quattro porzioni di posidonieto studiate.



Abbondanze relative dei tre gruppi principali della macrofauna nelle porzioni di posidonieto oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

Come è possibile notare i crostacei rappresentano la componente macrobentonica dominante nei posidonieti non soggetti ad invasione dell'alga aliena. Nelle patch impattate, invece, aumentano notevolmente i policheti fino a dominare il popolamento.

Di seguito è possibile osservare le differenze tra patch e siti al loro interno in termini di abbondanza media, numero medio di taxa e diversità media (Indice di Simpson) della macrofauna totale.



Abbondanza media, numero medio di taxa e diversità media (Indice di Simpson) della **macrofauna totale** (+/- Errore Standard) nei siti all'interno dei posidonieti oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

Tra gli indici esaminati, il numero di specie ed il numero di individui non mostrano chiare differenze tra patch impattate e controlli, anche se è possibile notare una certa variabilità tra siti soprattutto a Donnalucata. Per quando riguarda l'indice di diversità di Simpson è possibile notare che i valori più alti e meno variabili si riscontrano nei controlli e quello più basso a Donnalucata nella patch con impatto basso.

I risultati delle analisi della varianza (ANOVA), utilizzate per testare differenze tra patch impattate e controlli e siti al loro interno in termini di abbondanza, numero di taxa e diversità (Indice di Simpson) della macrofauna totale confermano quanto a grandi linee osservabile dai grafici suddetti: per numero di individui e numero di taxa non è possibile osservare differenze significative tra impatti e controlli o tra siti al loro interno. Al contrario il test sull'indice di Simpson mostra differenze significative tra impatto e controllo in generale e, al suo interno, differenze significative sia tra impatto alto e controlli, sia tra impatto basso e controlli.

	Source	Df	SS	MS	F	P
	Is vs C	2	8,92E+05	4,46E+05	3,6073	0,1498
	C1	1	32101	32101	0,94256	0,4135
	C2	1	8,72E+05	8,72E+05	5,8935	0,1212
	si(Is vs C)	3	3,83E+05	1,28E+05	2,0409	0,145
ABBONDANZA	si(C1)	2	70177	35089	1,3598	0,2955
	si(C2)	2	3,17E+05	1,59E+05	2,5323	0,1204
	Res	18	1,13E+06	62554		
	Total	23	2,40E+06			
	Is vs C	2	401,5	200,75	0,31513	0,7438
	C1	1	361	361	0,95679	0,4205
	C2	1	152,11	152,11	0,24332	0,6701
	si(Is vs C)	3	1985,7	661,89	2,5036	0,0923
NUMERO TAXA	si(C1)	2	781,5	390,75	1,4488	0,2651
	si(C2)	2	1365,5	682,75	4,1523	0,0376
	Res	18	4758,7	264,37		
	Total	23	7145,8			
	Is vs C	2	0,15519	7,76E-02	35,115	0,0029
	C1	1	5,76E-03	5,76E-03	13,804	0,0252
	C2	1	0,15191	0,15191	46,396	0,0058
	si(Is vs C)	3	6,03E-03	2,01E-03	0,38594	0,7689
I. DI SIMPSON	si(C1)	2	7,13E-04	3,57E-04	0,39553	0,678
	si(C2)	2	5,88E-03	2,94E-03	0,49585	0,6184
	Res	18	9,37E-02	5,21E-03		
	Total	23	0,25496			

Risultati delle analisi della varianza (ANOVA) relative a numero di taxa, abbondanza (numero di individui) e diversità (Indice di Simpson) della **macrofauna totale**, utilizzate per testare differenze tra impatto e controlli (Is vs C) e, all'interno di questa condizione, le differenze tra impatto alto e controlli (C1 = totale vs controlli) e tra impatto basso e controlli (C2 = parziale vs controlli)

In tabella sono riportati i valori di IndVal per le patch impattate e per i controlli calcolati secondo Francour et al (2009) e relativi agli ordini più rappresentativi di policheti, molluschi e crostacei. Anche questo indice mostra come alcuni policheti (Canalipalpata) siano particolarmente importanti nel caratterizzare la patch con impatto basso, mentre gli Scolecida tra i policheti, i molluschi Gastropoda e gli Isopoda tra i crostacei caratterizzano la patch con impatto alto. A caratterizzare i controlli, invece i crostacei Decapoda e Amphipoda. L'analisi indica Gastropoda, Canalipalpata, Scolecida e Isopoda come indicatori della condizione impattata e Decapoda e Amphipoda di quella non disturbata.

IndVal DL-F	IndVal DL-P	IndVal CON		
0,28	0,34	0,39	Aciculata	POLICHETI
0,10	0,86	0,03	Canalipalpata	
0,50	0,44	0,05	Scolecida	
0,61	0,19	0,19	Gastropoda	MOLLUSCHI
0,43	0,43	0,13	Bivalvia	
0,21	0,06	0,13	Cumacea	CROSTACEI
0,23	0,15	0,61	Amphipoda	
0,21	0,17	0,62	Decapoda	
0,60	0,09	0,24	Isopoda	
0,44	0,42	0,04	Tanaidacea	

Valori dell'indice IndVal secondo **Francour, et al (2009)** calcolati per i principali sottogruppi tassonomici di policheti, molluschi e crostacei nelle patch impattate e nei controlli (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P impatto basso = Donnalucata; CON = controlli). In grassetto i valori di IndVal maggiori o uguali a 0,5

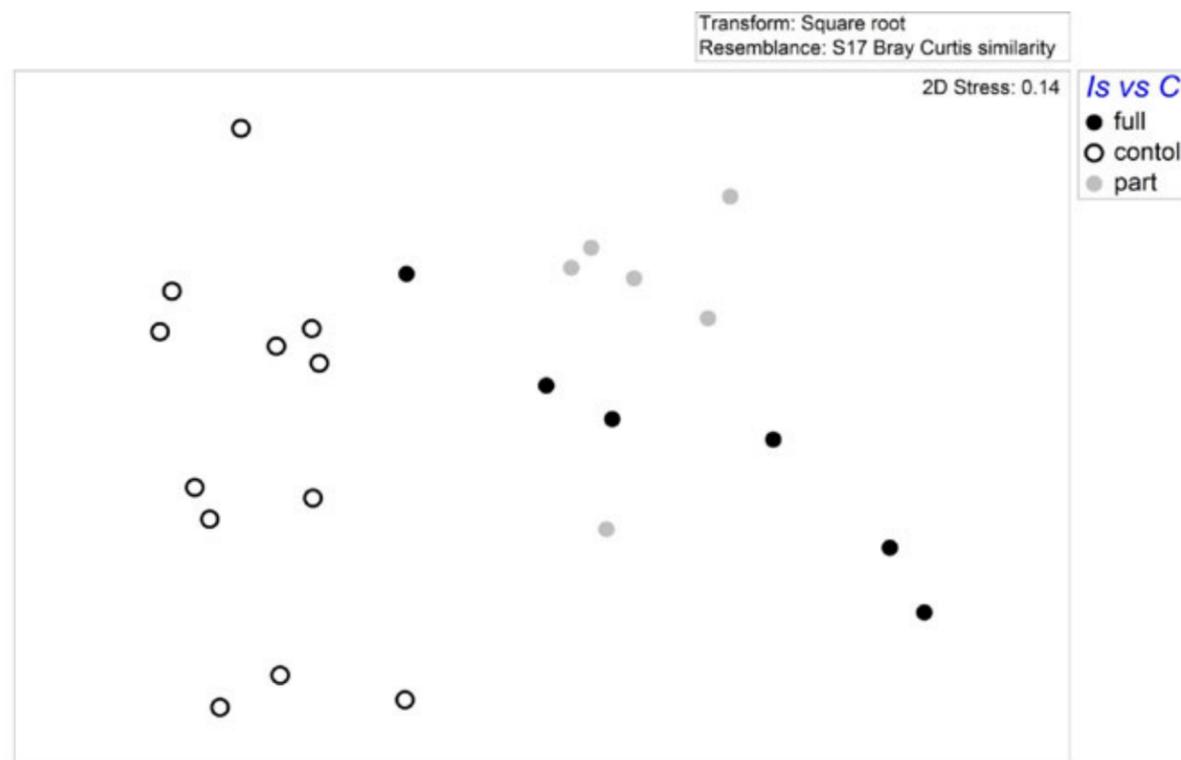
C.1.2.3 Macrofauna (analisi multivariate)

L'influenza del fattore IvsC sulla comunità bentonica associata alla prateria di *P. oceanica* è risultata largamente significativa, come dimostrato dall'analisi PERMANOVA. In particolare, questo effetto è stato rinvenuto sia ad alta copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla* (impatto alto) che a bassa copertura (impatto basso). Inoltre la variabilità, in termini di dispersione multivariata (PERMDISP), dei tre gruppi confrontati non appare significativamente diversa ($F_{2,21}$ 3,1815; p 0,1495).

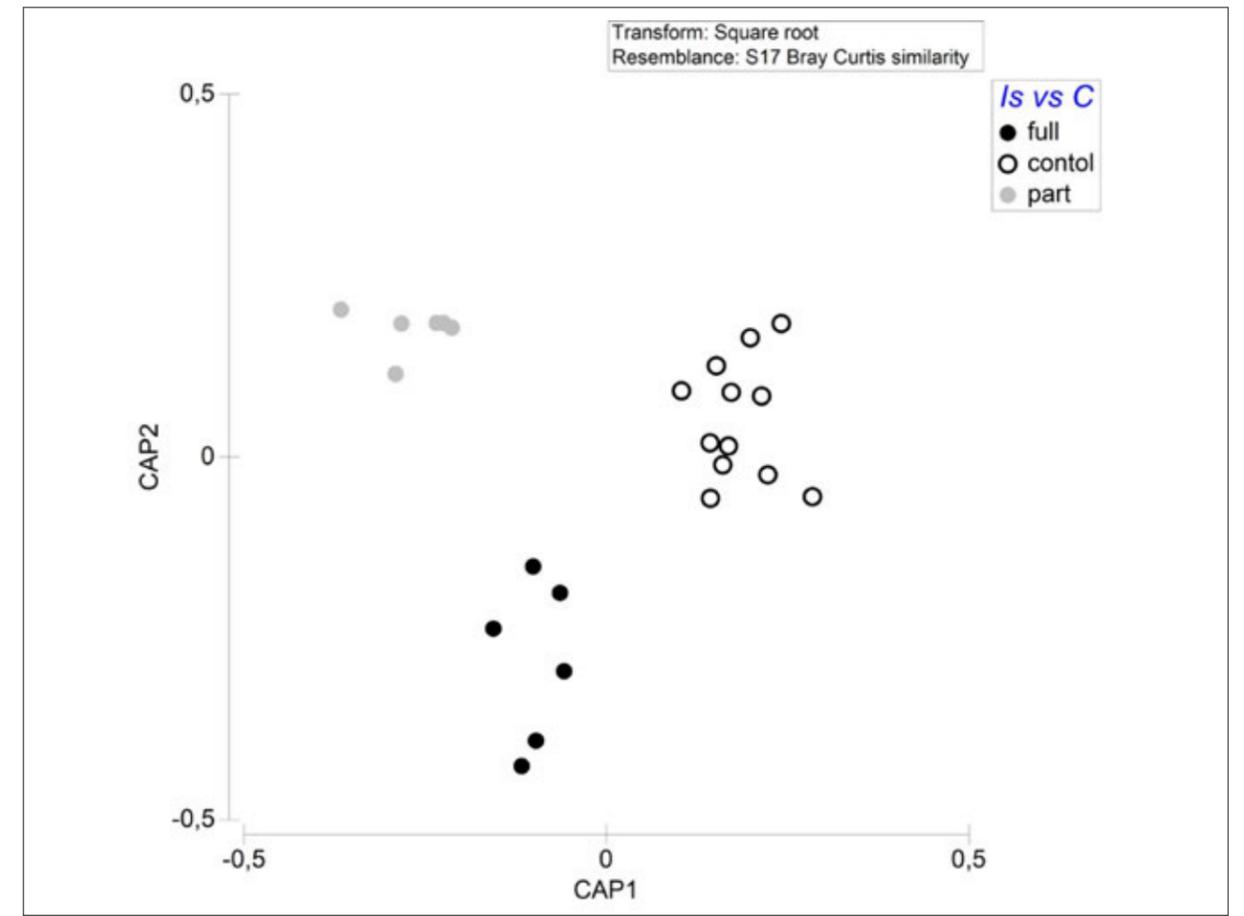
Questi risultati si apprezzano visivamente grazie ai due grafici di ordinamento. Infatti, l'nMDS separa le praterie impattate da quelle di controllo con uno stress del 14% che si ritiene sufficientemente basso. L'analisi CAP separa nettamente le comunità di praterie impattate ad alta copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla* da quelle di comunità impattate a bassa copertura e da quelle di controllo. L'ordinamento è risultato altamente coerente (91,67%). L'accuratezza della discriminazione dei tre gruppi (cioè, la loro non casualità) è confermata dall'analisi statistica che porta a un netto rifiuto dell'ipotesi nulla di eguaglianza tra i tre gruppi sperimentali ($d^2 = 0,95$, p = 0,0001).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P
Is vs C	2	16471	8236	39.373	0,0004
C1	1	8945	8945	4.116	0,004
C2	1	9896	9896	54.891	0,0005
site(Is vs C)	3	6322	2107	1.134	0,2757
site(C1)	2	4394	2197	11.079	0,3337
site(C2)	2	3596	1798	0,97605	0,4926
Res	18	33448	1858		
Total	23	56241			

Analisi PERMANOVA basata sulla similarità di Bray-Curtis utilizzata per testare differenze nella struttura di popolamento della **macrofauna** tra impatto e controlli (Is vs C) e, all'interno di questa condizione, le differenze tra impatto a copertura alta e controlli (C1 = alto vs controlli) e tra impatto a copertura bassa e controlli (C2 = basso vs controlli). I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo. Le analisi sono state condotte utilizzando 9999 permutazioni sui dati di abbondanza trasformati con radice quadrata.



Biplot relativo all'analisi nMDS basata sui dati di abbondanza dei taxa della macrofauna associata ai posidonieti della Sicilia Meridionale sotto analisi. La colorazione dei simboli mette in evidenza le differenze tra i livelli del fattore impatto. Full = porzione di posidonieto impattata da elevata copertura dell'alieno; part = porzione di posidonieto impattata da bassa copertura dell'alieno; control = posidonieti di controllo.



Biplot relativo all'analisi CAP basata sui dati di abbondanza dei taxa della macrofauna associata ai posidonieti della Sicilia Meridionale sotto analisi. La colorazione dei simboli mette in evidenza le differenze tra i livelli del fattore impatto. Full = porzione di posidonieto impattata da elevata copertura dell'alieno; part = porzione di posidonieto impattata da bassa copertura dell'alieno; control = posidonieti di controllo.

L'analisi SIMPER indica che il taxon che ha maggiormente caratterizzato le comunità delle porzioni di prateria impattate da alta copertura di alga aliena è stato il mollusco gasteropode *Bittium reticulatum* (10.61%); insieme a questa specie contribuiscono per il 30% alla similarità interna della patch i molluschi bivalvi *Modiolus (Modiolus) barbatus* (6.25%) e *Anodontia (Loripinus) fragilis* (3.87%) e i due policheti Canalipalpata *Sabellaria spinulosa* (4.77%) e *S. alcocki* (4.58%). In generale la similarità interna alla patch è risultata relativamente bassa (36.31%).

Nelle comunità della patch impattata a bassa copertura, che rispetto alla precedente ha mostrato una similarità interna più elevata (45.66%), i tre taxa più caratteristici (fino al 30% di contributo cumulativo) sono stati nuovamente i due policheti Canalipalpata *S. spinulosa* (14.80%), *S. alcocki* (7.89%) e i crostacei Tanaidacea (7.57%).

Le comunità delle praterie di controllo hanno invece fatto riscontrare una similarità interna intermedia (37.76%) e sono state caratterizzate da un numero maggiore di taxa necessari al raggiungimento della soglia del 30% cumulativo. In particolare, il crostaceo decapode *Pisidia cf. longimana* (4.67%), i crostacei anfipodi *Hyale cfr camptonyx* (3.85%), *Stenothoe cfr monoculoides* (2.89%), *Athanas nitescens* (2.68%) *Elasmopus cfr rapax* (3.62%), i crostacei Tanaidacei (3.12%), i policheti Aciculata *Harmothoe sp.* (3.42%) e *Chrysopetalum debile* (2.57%) e il polichete Canalipalpata *Thelepus cincinnatus* (3.31%).

I taxa che hanno maggiormente discriminato tra le comunità di praterie impattate ad alta copertura e quelle di controllo sono stati *B. reticulatum* (2.47%), *S. spinulosa* (1.92%), *Peresiella clymenoides* (1.88%), Tanaidacea (1.77%), *Pisidia* cf. *longimana* (1.75%), *Hyale* cfr *camptonyx* (1.64%), *Anodontia* (*Loripinus*) *fragilis* (1.63%), *S. alcocki* (1.53%), Amphipoda (1.53%), *Elasmopus* cfr *rapax* (1.51%), *Pseudoleiocapitella fauveli* (1.24%), *M. (Modiolus) barbatus* (1.13%), *Pseudofabriciella analis* (1.12%), *Quadrimaera* cfr *inequipes* (1.11%), *Photis* cfr *longicaudata* (1.09%), *S. cfr monoculoides* (0.96%), *Leptocheirus* cfr *guttatus* (0.96%), *Harmothoe* sp. (0.95%), *Pisidia* cf. *bluteli* (0.94%), *Thelepus cincinnatus* (0.91%), *Sphenia binghami* (0.88%), *A. nitescens* (0.83%) e la famiglia Aoridae (0.78%).

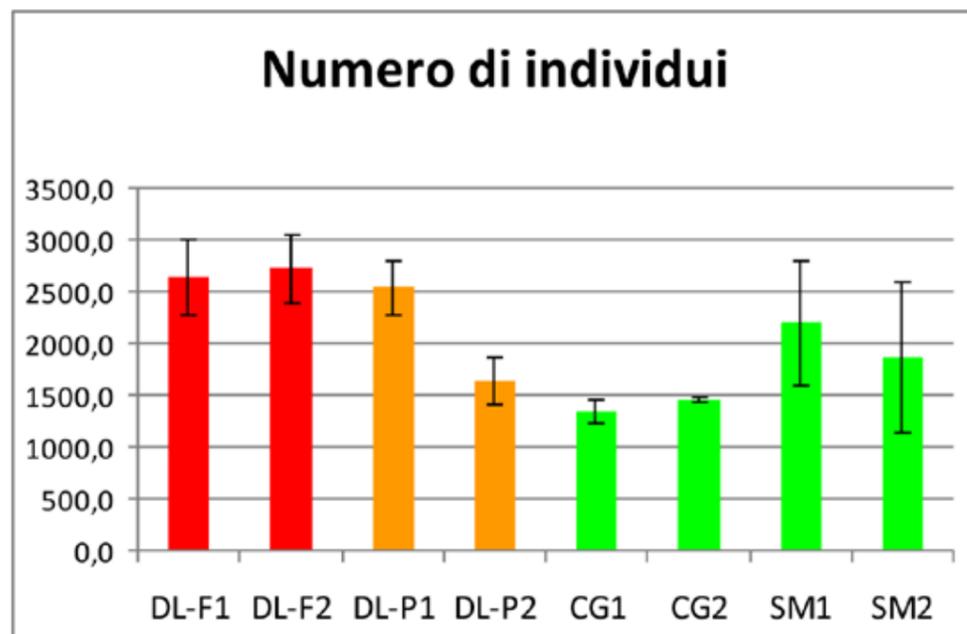
Inoltre, i taxa che hanno discriminato in maggior misura le comunità associate alle praterie di *P. oceanica* impattate da una bassa copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla* da quelle di controllo sono stati *S. spinulosa* (7.18%), *S. alveolata* (3.67%), *S. alcocki* (3.34%), Tanaidacea (3.27%), *B. reticulatum* (2.73%), *P. clymenoides* (1.70%), *Dialychone collaris* (1.40%), *S. binghami* (1.12%), *L. cfr guttatus* (0.98%), *Pomatoceros lamarckii* (0.96%), *P. analis* (0.94%), *A. (Loripinus) fragilis* (0.92%), *Euclymene palermitana* (0.91%), Amphipoda ind (0.89%) e *Nassarius (Hima) incrassatus* (0.87%).

È evidente che le differenze osservate tra le patch impattate e i controlli (dissimilarità media attorno al 75%) sono dovute sia alla diversa composizione tassonomica (totale assenza di alcuni taxa nelle patch impattate), sia alla diversa abbondanza di taxa in comune.

C.1.2.4 Comunità meiobentoniche (analisi degli indici univariati)

La densità della meiofauna è rapportata secondo la lettura più recente, alla superficie di 10 cm², ed integrata nei primi 5 cm di sedimento.

Nelle porzioni di posidonieto impattate la densità della meiofauna varia tra 1641,3 ±229,6 e 2721,7 ±328,0 ind 10 cm⁻² mentre in quelle di controllo l'abbondanza varia tra 1338,5 ±119,2 e 2198,7 ±607,1 ind 10 cm⁻², mostrando variazioni significative (p=0,0003) tra la patch di posidonieto impattato da alta copertura di *C. taxifolia* var *distochophylla* (DL-F) e quelle di controllo.

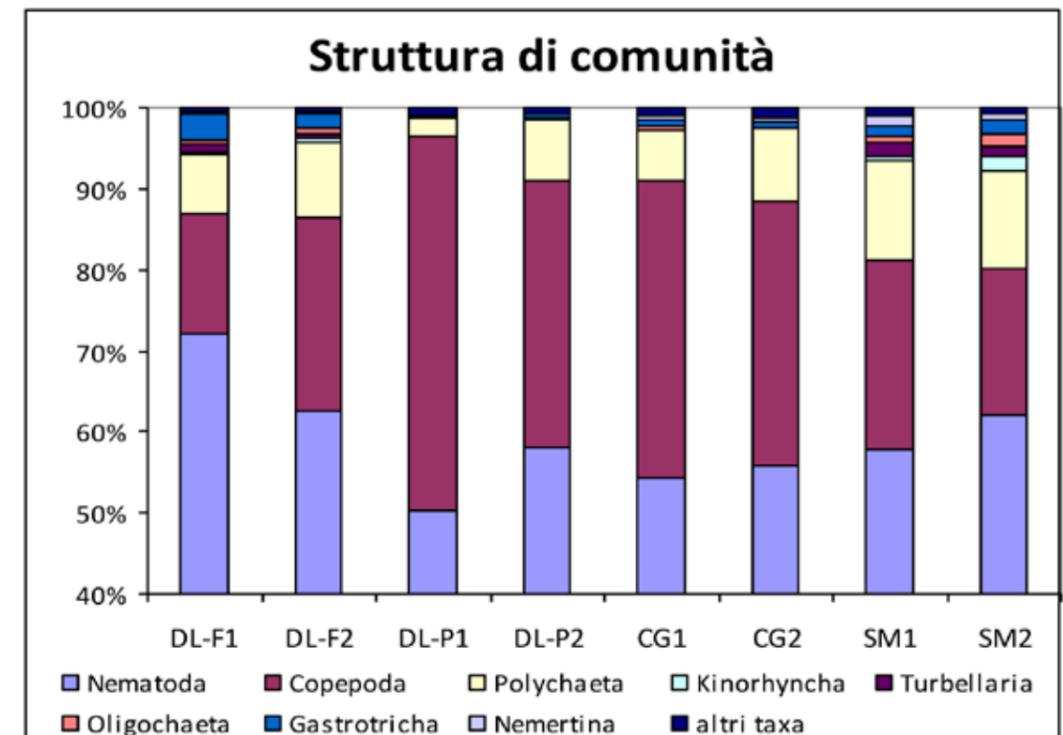


Abbondanza media della **meiofauna totale** (+/- Errore Standard) nei siti all'interno dei posidonieti oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

Per quanto riguarda la struttura di comunità, sono state evidenziate solo limitate differenze tra le patch impattate e quelle di controllo. Nei sedimenti interessati dalla presenza di *Caulerpa* nematodi rappresentano il taxon dominante sia nella patch DL-F (72.2%-62,6%) che in DL-P (58,0%-50,3%), seguito dai copepodi (14,7%-23,9% e 46,0%-33,0% in DL-F e DL-P, rispettivamente), policheti (7,4%-9,4% e 2,3%-7,5% in DL-F e DL-P, rispettivamente) e dai gastrotrichi. Il contributo percentuale di tutti gli altri taxa rilevati è inferiore all'2%.

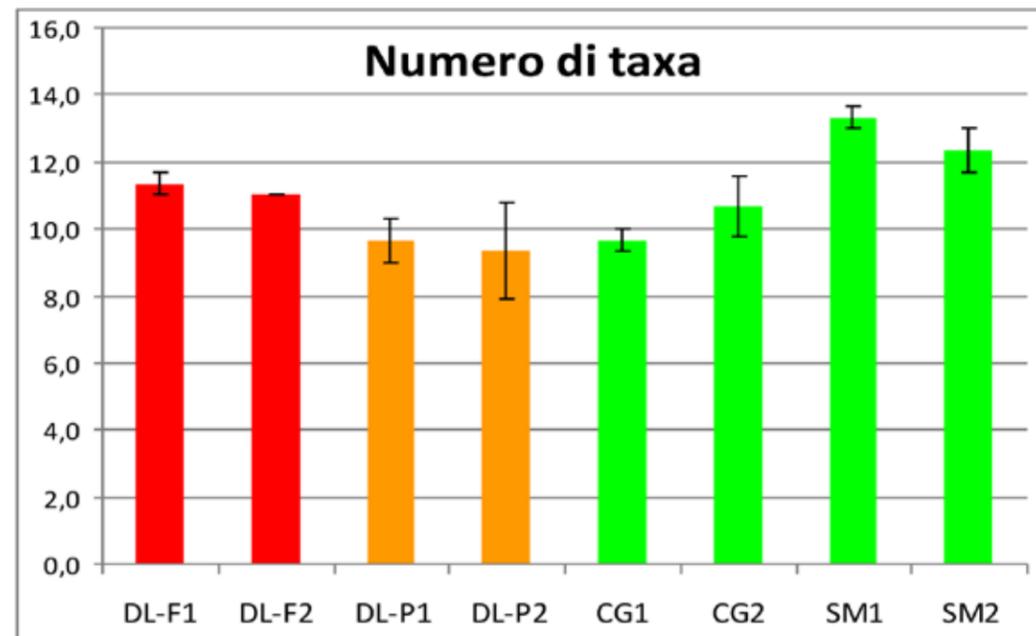
Anche nei controlli i nematodi sono il taxon dominante variando tra il 54,3% e il 55,9% (in TR) ed tra il 57,9 e il 62,2% (in SM) della comunità meiobentonica. I copepodi rappresentano il 32,4%-36,8% ed il 18,0%-33,3% del popolamento a CG e SM rispettivamente, seguiti dai policheti (6,3% e 9,0% in CG; 12,1% e 12,2% in SM). Il contributo percentuale di tutti gli altri taxa rilevati è inferiore all'2%.

Nelle patch di posidonieto interessate dalla presenza di *Caulerpa*, è stato ritrovato un numero significativamente inferiore (p=0,0001) di taxa meiobentonici e tale differenza risulta particolarmente evidente nel confronto tra DL-P ed i controlli. Analogamente è stato possibile rilevare un valore più basso di diversità media rispetto ai controlli, sia in termini di Indice di Shannon che di Indice di Simpson, che risulta significativamente più basso nelle patch caratterizzate da presenza di *Caulerpa*.

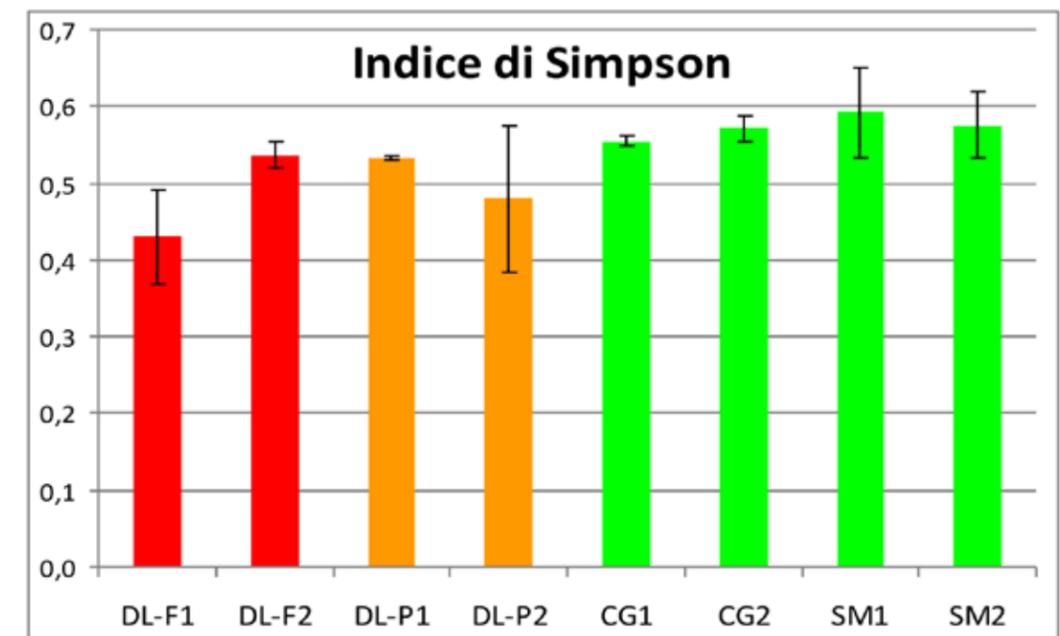


Struttura di comunità meiobentonica nei siti all'interno dei posidonieti oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

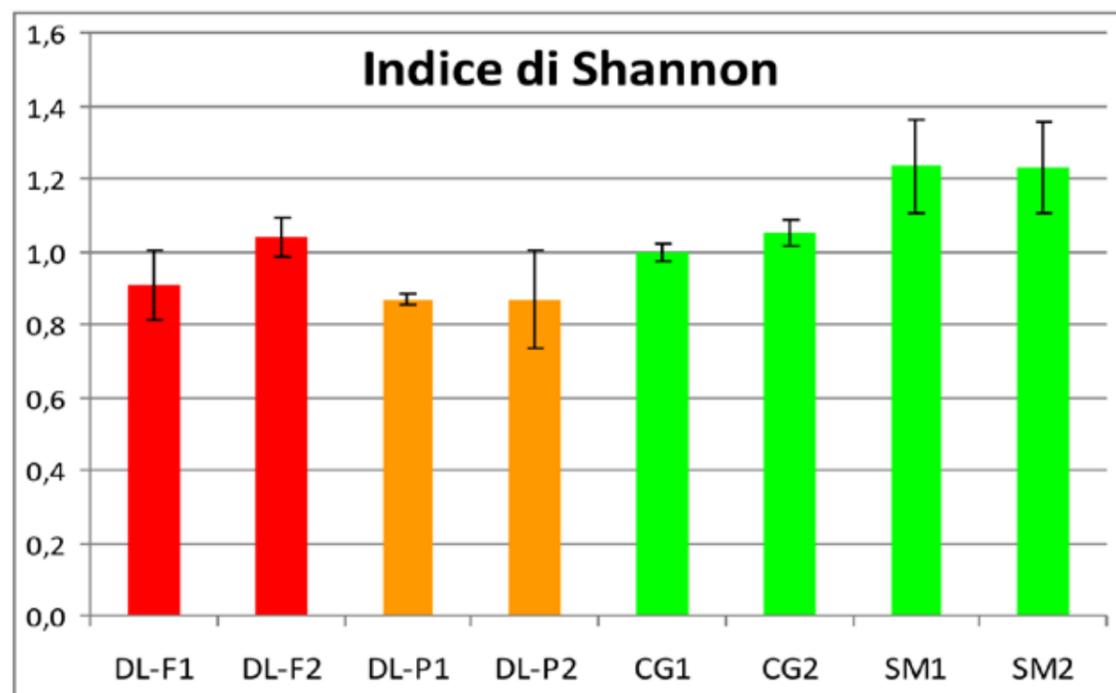
Risultati delle analisi della varianza (ANOVA) relative a densità, numero di taxa, e diversità (Indice di Simpson) della **meiofauna**, utilizzate per testare differenze tra impatto e controlli (I vs C) e, all'interno di questa condizione, le differenze tra impatto alto e controlli (C1 = totale vs controlli) e tra impatto basso e controlli (C2 = parziale vs controlli)



Numero medio di taxa meiobentonici (+/- Errore Standard nei siti all'interno dei posidonieti oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).



Diversità media (Indice di Simpson) della meiofauna (+/- Errore Standard) nei siti all'interno dei posidonieti oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).



Diversità media (Indice di Shannon) della meiofauna (+/- Errore Standard) nei siti all'interno dei posidonieti oggetto di studio (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P = Donnalucata impatto basso, CG = Capo Granitola, SM = Capo San Marco).

	Source	Df	SS	MS	F	P
DENSITA'	Is vs C	2	1817,6	908,79	5,9754	0,0628
	C1	1	1284	1284	25,68	0,0003
	C2	1	96,694	96,694	0,4342	0,5734
	si(Is vs C)	3	424,92	141,64	0,45864	0,7207
	si(C1)	2	24,75	12,375	3,53E-02	0,964
	si(C2)	2	414,25	207,13	0,59647	0,5681
	Res	18	5558,8	308,82		
	Total	23	7801,3			
NUMERO TAXA	Is vs C	2	16,5	8,25	30,076	0,0001
	C1	1	0,44444	0,44444	1,3023	0,2675
	C2	1	16	16	34,96	0,0001
	si(Is vs C)	3	0,33333	0,11111	4,08E-02	0,9915
	si(C1)	2	0,16667	8,33E-02	3,47E-02	0,9641
	si(C2)	2	0,16667	8,33E-02	2,41E-02	0,9787
	Res	18	49	2,7222		
	Total	23	65,833			
I. DI SIMPSON	Is vs C	2	2,93E-02	1,47E-02	85,923	0,0001
	C1	1	2,19E-03	2,19E-03	8,5691	0,0189
	C2	1	2,92E-02	2,92E-02	106,87	0,0001
	si(Is vs C)	3	2,47E-04	8,24E-05	5,52E-02	0,9813
	si(C1)	2	2,40E-04	1,20E-04	8,95E-02	0,9139
	si(C2)	2	1,68E-04	8,40E-05	4,70E-02	0,951
	Res	18	2,69E-02	1,49E-03		
	Total	23	5,64E-02			

Risultati delle analisi della varianza (ANOVA) relative a numero di taxa, abbondanza (numero di individui) e diversità (Indice di Simpson) della **meiofauna**, utilizzate per testare differenze tra impatto e controlli (Is vs C) e, all'interno di questa condizione, le differenze tra impatto alto e controlli (C1 = totale vs controlli) e tra impatto basso e controlli (C2 = parziale vs controlli). In grassetto i valori di p significativi.

In tabella sono riportati i valori di IndVal calcolati secondo Francourt et al (2009) e relativi ai taxa meiobentonici ritrovati nei posidonieti oggetto d'indagine. Anche questo indice mostra che gli Oligochaeta ed i Gastrotricha, sono i taxa rappresentativi della situazione di prateria a elevata copertura di *Caulerpa*, mentre risultano molto simili le comunità meiobentoniche delle patch a minore copertura di *Caulerpa* e delle praterie di controllo, dove i Nemertini rappresentano il taxon caratterizzante.

	IndVal DL-F	IndVal DL-P	IndVal CON
Nematoda	0,46	0,28	0,25
Copepoda	0,28	0,47	0,25
Polychaeta	0,46	0,18	0,36
Bivalvia	0,18	0,17	0,24
Ostracoda	0,11	0,39	0,27
Kinorhyncha	0,43	0,01	0,33
Turbellaria	0,47	0,00	0,22
Oligochaeta	0,53	0,03	0,38
Tardigrada	0,00	0,48	0,21
Gastrotricha	0,71	0,06	0,22
Cumacea	0,08	0,24	0,09
Amphipoda	0,40	0,24	0,28
Isopoda	0,09	0,03	0,18
Tanaidacea	0,19	0,00	0,07
Acarina	0,00	0,00	0,17
Nemertina	0,36	0,02	0,58
Incertae sedis	0,00	0,00	0,00
Molluschi	0,04	0,02	0,38
Priapulidi	0,00	0,17	0,00
Halacaroidi	0,00	0,33	0,00
Pycnogonida	0,00	0,17	0,00

Valori dell'indice IndVal secondo Francour, et al (2009) calcolati per i principali gruppi tassonomici della meiofauna nelle patch impattate e nei controlli (DL-F = Donnalucata impatto alto, DL-P impatto basso = Donnalucata; CON = controlli). In grassetto i valori di IndVal maggiori o uguali a 0,5

C.1.2.5 Meiofauna (analisi multivariate)

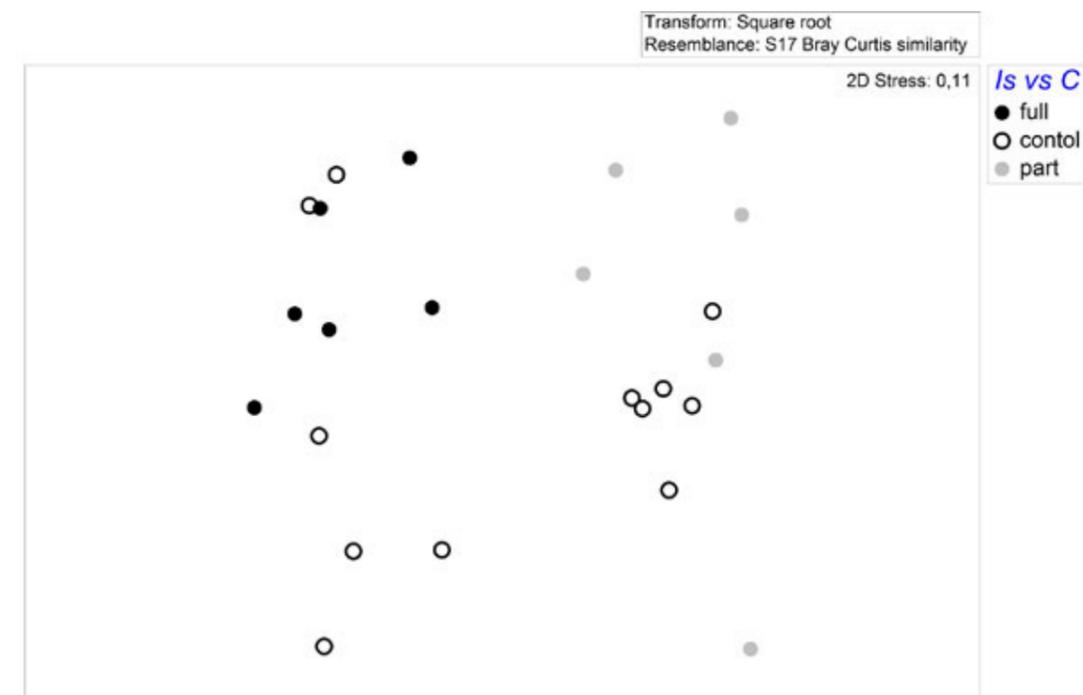
L'influenza del fattore lvsC sulla comunità meiobentonica associata alla prateria di *P. oceanica* è risultata largamente significativa, come dimostrato dall'analisi PERMANOVA. In particolare, questo effetto è altamente significativo nel confronto controlli e patch ad alta copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla* (impatto alto, patch DL-F), mentre rimane al limite della significatività nel confronto tra i controlli e la patch a bassa copertura (impatto basso, DL-P).

La rappresentazione grafica dell'analisi multivariata effettuata (nMDS) separa le praterie impattate da quelle di controllo con uno stress abbastanza basso dell'11%, riuscendo anche a descrivere la situazione di impatto parziale, evidenziata dalla separazione delle repliche della condizione "part" sia dai controlli che da quelle della patch impattata da elevata copertura di *Caulerpa* (full).

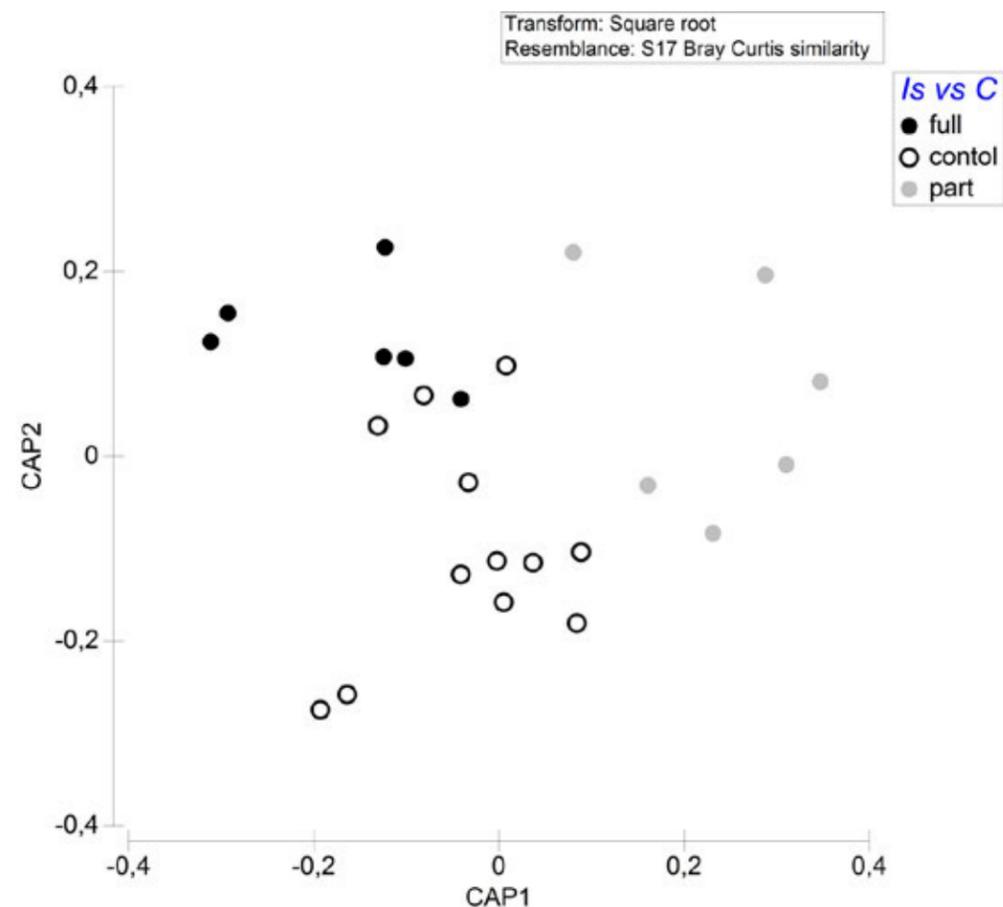
Anche l'analisi CAP separa le comunità meiobentoniche associate a patch impattate ad alta copertura di *C. taxifolia* var. *distichophylla* da quelle di comunità impattate a bassa copertura e da quelle di controllo. L'ordinamento è risultato coerente (79.17%). L'accuratezza della discriminazione dei tre gruppi (cioè, la loro non casualità) è confermata dall'analisi statistica che porta a un netto rifiuto dell'ipotesi nulla di eguaglianza tra i tre gruppi sperimentali ($d^2 = 0.72$, $p = 0.0008$).

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P
Is vs C	2	2173,5	1086,7	4,8205	0,0105
C1	1	810,35	810,35	7,357	0,006
C2	1	1100,8	1100,8	3,8642	0,0579
site(Is vs C)	3	678,36	226,12	1,0502	0,4119
site(C1)	2	188,62	94,309	0,39818	0,8918
site(C2)	2	581,76	290,88	1,2288	0,305
Res	18	3875,7	215,32		
Total	23	6727,5			

Analisi PERMANOVA basata sulla similarità di Bray-Curtis utilizzata per testare differenze nella struttura di popolamento della **meiofauna** tra impatto e controlli (Is vs C) e, all'interno di questa condizione, le differenze tra impatto a copertura alta e controlli (C1 = alto vs controlli) e tra impatto a copertura bassa e controlli (C2 = basso vs controlli). I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo. Le analisi sono state condotte utilizzando 9999 permutazioni sui dati di abbondanza trasformati con radice quadrata.



Biplot relativo all'analisi nMDS basata sui dati di abbondanza dei taxa della meiofauna associata ai posidonieti della Sicilia Meridionale sotto analisi. La colorazione dei simboli mette in evidenza le differenze tra i livelli del fattore impatto. Full = porzione di posidonieto impattata da elevata copertura dell'alieno; part = porzione di posidonieto impattata da bassa copertura dell'alieno; control = posidonieti di controllo.



Biplot relativo all'analisi CAP basata sui dati di abbondanza dei taxa della meiofauna associata ai posidonieti della Sicilia Meridionale sotto analisi. La colorazione dei simboli mette in evidenza le differenze tra i livelli del fattore impatto. Full = porzione di posidonieto impattato da elevata copertura dell'alieno; part = porzione di posidonieto impattato da bassa copertura dell'alieno; control = posidonieti di controllo.

C.1.3 Discussione

La presenza di *C. taxifolia* var. *distichophylla* ha prodotto un impatto nella comunità bentonica associata alla prateria di *P. oceanica* di Donnalucata che ha interessato sia il popolamento a macroinvertebrati sia la meiofauna. L'impatto ha provocato un cambiamento nella composizione tassonomica, così come nelle abbondanze medie dei taxa che costituiscono la comunità, piuttosto che nella loro rispettiva variabilità.

Nello studio appare chiaro che i crostacei sono la componente dominante nei posidonieti non colpiti dall'invasione, mentre la loro abbondanza relativa è di molto ridotta a scapito di molluschi e soprattutto policheti nelle due porzioni di posidonieto impattate presso Donnalucata. Le analisi degli IndVal (*Indicator Values*) sono coerenti con questi risultati. Infatti, mentre i gruppi di Canalipalpata e Scolecida per i policheti, Gastropoda per i molluschi e Isopoda per i crostacei sono indicatori della condizione impattata da *Caulerpa*, i gruppi principali di crostacei, Amphipoda, Decapoda sono indicatori delle praterie non impattate.

L'analisi SIMPER indica che la similarità interna ad ognuna delle 2 porzioni di posidonieto a diverso grado di invasione è data prevalentemente da specie comuni ad entrambe e molto abbondanti appartenenti ai Gastropoda e ai Canalipalpata, mentre la similarità interna ai controlli è generata da taxa diversi, prevalentemente crostacei Decapoda e Amphipoda, con abbondanze relativamente basse, rimarcando ancora una volta che l'impatto di

C. taxifolia var. *distichophylla* agisce alterando gli equilibri di abbondanze tra specie all'interno della comunità. Inoltre, alcuni taxa della macrofauna caratterizzanti le porzioni di posidonieto invase da *Caulerpa*, tra cui alcuni policheti (es *Sabellaria* spp, vari capitellidi tra i quali *Peresiella clymenoides* e *Pseudoleiocapitella fauveli*) e il gasteropode *Bittium reticulatum*, sono considerati tolleranti a disturbo e stress, secondo quanto proposto da Simbora e Zenetos (2002), mentre i policheti *Harmothoe* sp e *Chrysopetalum debile*, che invece caratterizzano i controlli, sono considerati sensibili al disturbo. Ciò suggerisce che l'alterazione delle caratteristiche naturali della matte di posidonieto causata da *C. taxifolia* var. *distichophylla* favorisca specie opportuniste a scapito di quelle sensibili.

I risultati di questo studio condotto a Donnalucata hanno evidenziato una significativa variazione della densità della meiofauna totale nelle praterie con presenza di *C. taxifolia* var. *distichophylla* rispetto ai controlli. La meiofauna è un indicatore collettivo di alterazioni ambientali, nel senso che la molteplicità dei taxa e dei phyla in essa compresi, fa sì che questa possa essere utilizzata per identificare risposte differenziate a diverse tipologie di impatto.

L'analisi della struttura di comunità meio bentonica delle due località indagate, suggerisce un generale aumento del contributo percentuale dei Nematodi e in alcuni casi anche dei Copepodi nei posidonieti caratterizzato dalla presenza di *C. taxifolia*, ed una diminuzione parziale della componente dei policheti, rispetto al posidonieto di controllo, in cui è stato ritrovato un numero maggiore di taxa meio bentonici.

L'approccio utilizzato in questo studio ha consentito di verificare che l'impatto dell'alga aliena sulle comunità bentoniche, è in qualche modo correlato al livello di copertura della stessa. Infatti, i popolamenti a macroinvertebrati associati alle due porzioni di posidonieto invaso presso Donnalucata, seppur entrambi significativamente diversi da quelli dei controlli, appaiono nettamente distinti l'uno dall'altro, come dimostrato dall'analisi CAP per la macrofauna. Per la meiofauna, invece, è possibile osservare una differenza di risposta legata al livello di copertura in certe analisi, come la PERMANOVA, ma non in altre, come la CAP. Ciò suggerisce che l'impatto dell'alga aliena nella patch a bassa copertura probabilmente provoca variazioni alla scala dei centimetri, a macchia di leopardo, in base alla distribuzione delle fronde della stessa alga e questa variabilità di impatto a questa scala viene ben illustrata dalla componente meio bentonica.

C.2 Studio degli effetti dell'invasione di *Caulerpa* spp. sulla rete trofica della Sicilia meridionale

C.2.1 Materiali e Metodi

In questa indagine è stato possibile confrontare la struttura trofica della comunità bentonica associata a matte di *Posidonia oceanica* in località invase e non invase da alghe aliene del genere *Caulerpa* della Sicilia meridionale. Sono stati scelti alcuni produttori primari, fonti di detrito ed alcune specie di invertebrati particolarmente frequenti o abbondanti. È stato utilizzato un approccio con gli isotopi stabili di C e N per determinare se la sostanza organica prodotta da *C. taxifolia* var. *distichophylla* e *C. racemosa* rientra nella rete trofica delle comunità bentoniche invase.

C.2.1.1 Area di studio e disegno di campionamento

Anche per questa indagine è stato scelto il tratto di costa prospiciente Donnalucata, per dimensioni, distribuzione spaziale delle chiazze di posidonieto e abbondanza di alghe aliene del genere *Caulerpa*, è stato scelto quale località impattata idonea ai fini della ricerca. Le indagini preliminari citate hanno consentito inoltre anche la scelta delle località di controllo: Capo San Marco (controllo 1) vicino Sciacca e Capo Granitola (controllo 2).

Entrambi i controlli sono risultati idonei al confronto con la località impattata in quanto: a) non interessati dal fenomeno dell'invasione di caulerpe aliene b) con caratteristiche simili a quelle della località invasa (posidonieti estesi in prossimità della costa a simile profondità). Presso le 3 località scelte si è provveduto alla raccolta delle componenti vegetali e animali più importanti ed abbondanti della comunità associata alla matre di *P. oceanica*. Nelle stesse località sono inoltre stati raccolti campioni: di sedimento dal substrato (Sedimentary Organic Matter, SOM), di materiale in sospensione (Suspended Particulate Organic Matter, SPOM) e di zooplancton dalla colonna d'acqua. In tutte le località, la raccolta dei campioni è stata replicata in due siti distanti 100 metri circa l'uno dall'altro.

C.2.1.2 Raccolta dei campioni

La raccolta di macroalghe e fanerogame è stata effettuata in immersione subacquea sia lungo il bordo di praterie di *Posidonia*, sia nelle aree rocciose limitrofe. Per ogni specie sono state raccolte 3 repliche di tallo/foglia, poste in sacchetti da congelazione, etichettate e riposte in contenitori termostatici fino al trasporto in laboratorio. Utilizzando uno stereoscopio si è provveduto all'eliminazione di eventuali epifiti con l'uso di bisturi sterili. Per quanto riguarda la componente animale sono state raccolte porzioni di substrato in immersione subacquea. I campioni prelevati sono stati smistati a fresco per estrarre gli organismi vivi. Sempre in immersione si è provveduto alla raccolta di invertebrati di dimensioni maggiori. Gli organismi raccolti sono stati mantenuti vivi in acqua di mare in contenitori termostatici ed areati per consentire lo svuotamento dell'intestino. Successivamente si è provveduto all'identificazione delle specie allo stereoscopio. Per le analisi isotopiche sono stati utilizzati o porzioni di muscolo (es. *Stramonita haemastoma*) o l'intero organismo a seconda delle dimensioni delle specie. Si è avuto cura di raccogliere esemplari dimensioni simili per ciascuna specie studiata. I campioni per l'analisi del SOM sono stati raccolti in immersione prelevando il sedimento dallo strato superficiale con opportuni carotatori in plexiglas. Il sedimento è stato travasato in sacchetti da congelazione, trasportato in laboratorio, setacciato, risciacquato in acqua distillata e subito congelato per i successivi trattamenti. Per l'analisi della materia organica sospesa (SPOM) si è provveduto alla filtrazione di acqua di mare per località. L'acqua, raccolta è stata trasportata in laboratorio, prefiltrata e quindi filtrata utilizzando un apparato portatile di filtrazione con pompa da vuoto, per ottenere la frazione di sedimento biodisponibile. Anche in questo caso ogni filtro opportunamente etichettato è stato congelato per poi essere sottoposto alle procedure standard per l'analisi degli isotopi in laboratorio. Per la raccolta dello zooplancton è stato utilizzato un retino da plancton. I campioni versati in contenitori sono stati trasportati in laboratorio, filtrati, ripuliti dal materiale estraneo sotto uno stereoscopio, risciacquati con acqua distillata, riconcentrati, etichettati e congelati come sopra.

C.2.1.3 Trattamento dei campioni

Tutto il materiale raccolto è stato scongelato a temperatura ambiente e ciascun campione è stato suddiviso in due sub-campioni: il primo è stato utilizzato per l'analisi dell'azoto (^{15}N), il secondo, necessario per valutare contenuto in ^{13}C è stato acidificato (HCl 2N) per eliminare il carbonio inorganico. Tutti i campioni sono stati successivamente seccati in stufa. Dopo la permanenza in stufa i campioni sono stati ridotti in polvere tramite l'utilizzo di pestello e mortaio.

Le polveri ottenute sono state pesate in una bilancia di precisione microelettronica (Sartorius) e sigillate in apposite capsule per essere combuste nell'analizzatore. I prodotti di combustione (CO_2 ed NO_x) sono stati separati criogenicamente in una colonna di gas cromatografia dal flusso di elio ed introdotti nello spettrometro di massa (Thermo Delta Plus XP) collegato ad un analizzatore di carbonio ed azoto CHN (Thermo EA 1112). I rapporti isotopici dei campioni sono stati comparati in riferimento a gas standard secondari i cui rapporti isotopici erano stati a loro volta calibrati agli standard internazionali (rispettivamente un calcare marino per il carbonio e l'azoto atmosferico per l'azoto).

I risultati sono stati espressi in riferimento agli standard secondo la seguente formula: $\delta X = (R_{\text{campione}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$

dove:

δ = deviazione del rapporto isotopico di un campione relativa a quella di un campione di riferimento;

X = massa dell'isotopo pesante (^{15}N o ^{13}C);

R = rapporto tra l'isotopo pesante e quello leggero ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ o $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$).

C.2.1.4 Analisi statistica dei dati

È stato utilizzato un approccio con nMDS per visualizzare la distribuzione dei dati di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ di tutte le componenti analizzate nelle 3 località oggetto di studio. I dati sono stati organizzati in una matrice di distanze euclidee. Sono state condotte inoltre, analisi della varianza multivariate (MANOVA) sulla comunità bentonica e sulle specie di invertebrati bentonici più rappresentativi delle 3 località.

C.2.2 Risultati

C.2.2.1 Elenco degli elementi analizzati

Organismi vegetali:

Caulerpa taxifolia var *distichophylla*

Caulerpa racemosa

Jania sp.

Posidonia oceanica

Bryopsis sp.

Organismi animali:

Stramonita haemastoma

Eulalia cfr. *ornata*

Pilumnus hirtellus

Sabellaria alveolata

Zooplancton (pool di specie)

Detrito organico:

SOM (*Sedimentary Organic Matter*, Materia Organica del Sedimento)

SPOM (*Suspended Particulate Organic Matter*, Materia Organica Particolata Sospesa)

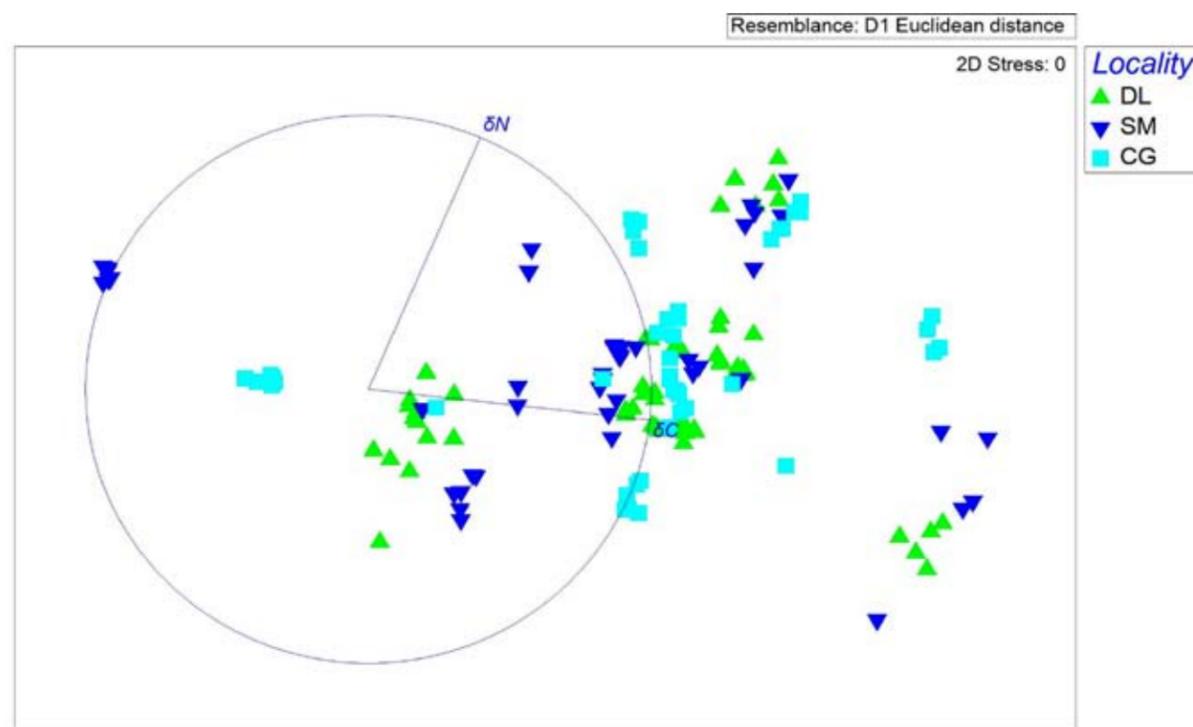
C.2.2.2 Analisi statistiche multivariate

Il nMDS non mostra la formazione di alcun raggruppamento tra le località studiate. Si riscontra inoltre una elevata dispersione tra gli elementi analizzati (animali, vegetali e componente detritica) dovuto alla variabilità dei valori di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Non si evidenziano raggruppamenti che possano fare ipotizzare differenze significative fra la località impattata (DL) e i controlli. Questo risultato è confermato dalle analisi MANOVA su $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ effettuata

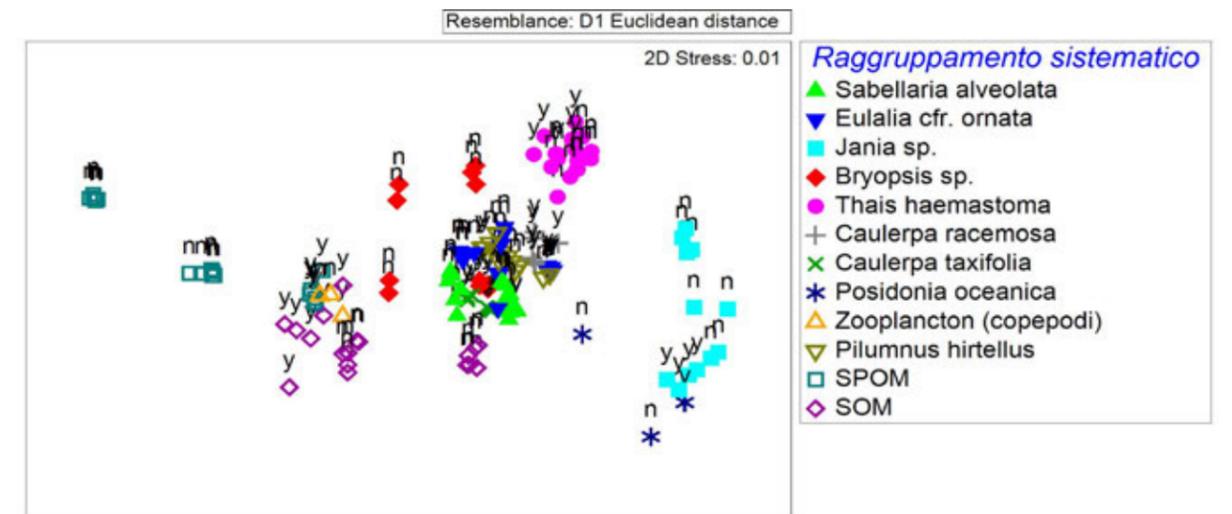
sia per l'intera comunità (Pseudo-F_{1,18,1} = 0,83; P = 0,57) che per 3 specie chiave indagate (*S. haemastoma* Pseudo-F_{1,1} = 2,48; P = 0,29, *P. hirtellus* Pseudo-F_{1,1} = 1,49; P = 0,43, *S. alveolata* Pseudo-F_{1,1} = 1,44; P = 0,42). L'analisi multivariata sull'insieme degli elementi analizzati e su *S. alveolata* (Pseudo-F_{1,3} = 9,92; P = **0.02**) evidenziano una significativa differenza tra le località. La variabilità tra siti non risulta in nessun caso significativa.

Source	Df	SS	MS	Pseudo-F	P(MC)
Impatto vs Controlli (Im)	1	32,163	32,163	0,832	0,5678
Località(Im) (Lo)	1	35,952	35,952	85,411	0,0085
Sito(Lo(Im))	3	92,392	30,797	0,185	0,9714
Residui	138	2289,2	16,589		
Totale	143	2366,2			

PERMANOVA basata sulla distanza euclidea utilizzata della struttura isotopica (C e N) degli elementi analizzati nella località impattata, Donnalucata (DL), e nei controlli, San Marco e Capo Granitola (SM e CG), e tra siti al loro interno [Sito(Lo(Im))]. I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo. Le analisi sono state condotte utilizzando 9999 permutazioni sui dati non trasformati.



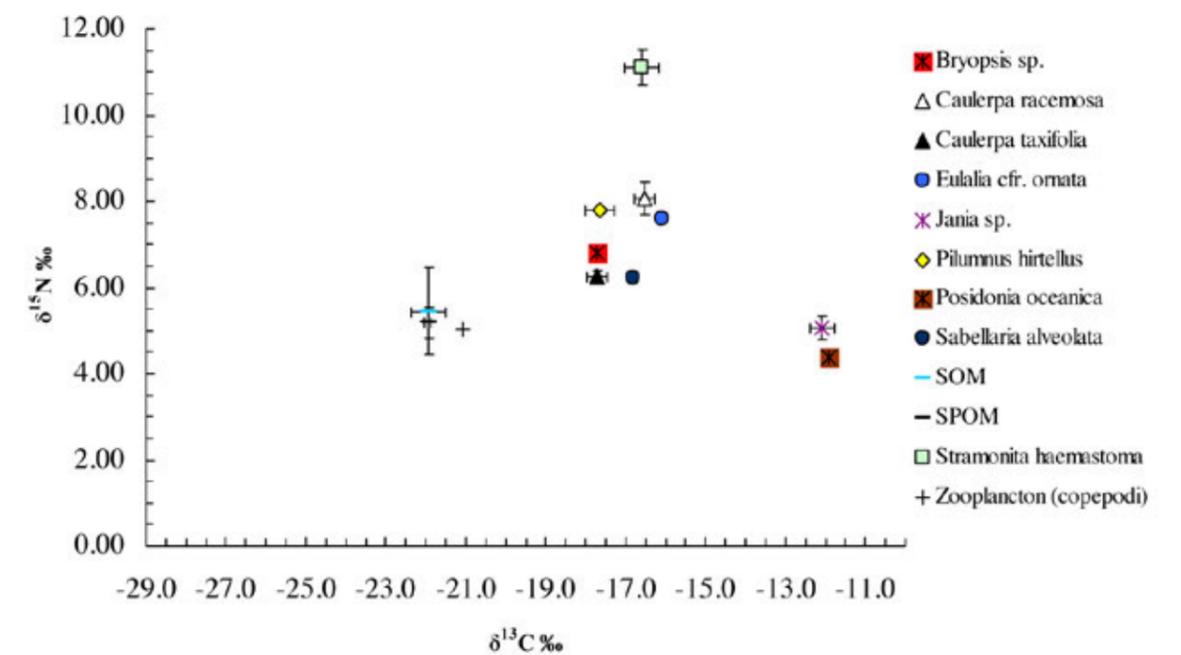
nMDS sui dati di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dei diversi elementi analizzati. DL= Donnalucata (località impattata), SM = Capo San Marco e CG = Capo Granitola (controlli). I colori fanno riferimento alle diverse località



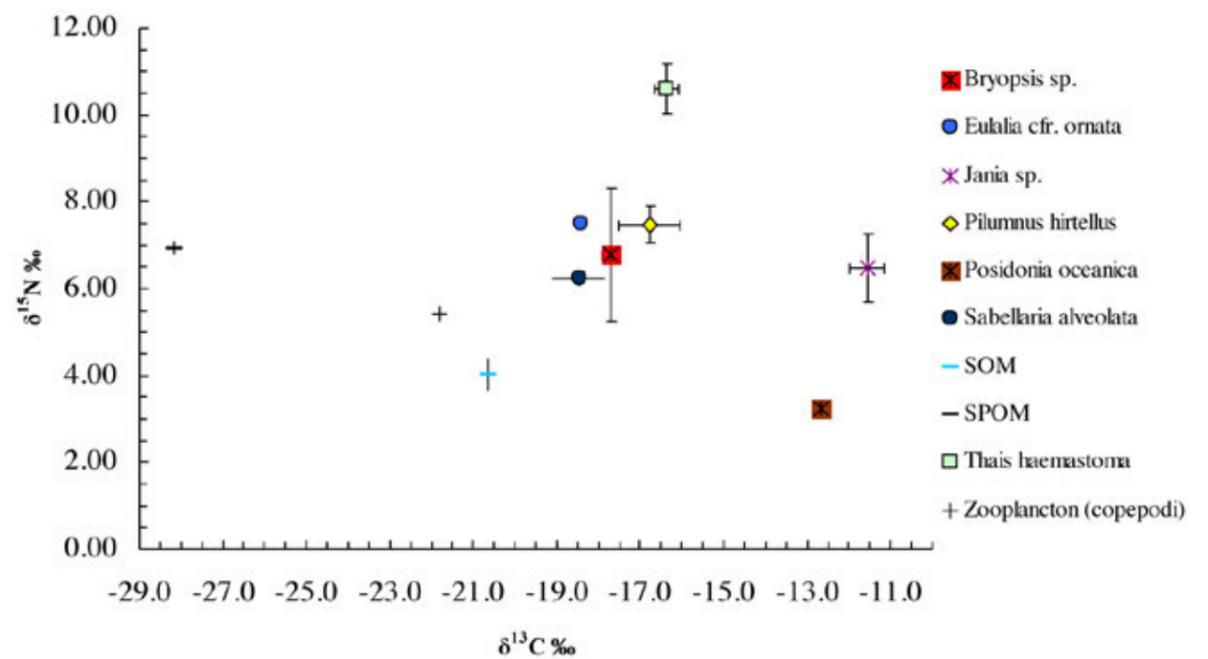
nMDS sui dati di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dei diversi elementi analizzati. DL= Donnalucata (località impattata), SM = Capo San Marco e CG = Capo Granitola (controlli). La colorazione dei simboli mette in evidenza le differenze tra elementi analizzati. y = località impattata, n = controlli.

C.2.2.3 Analisi dei biplot trofo-chimici

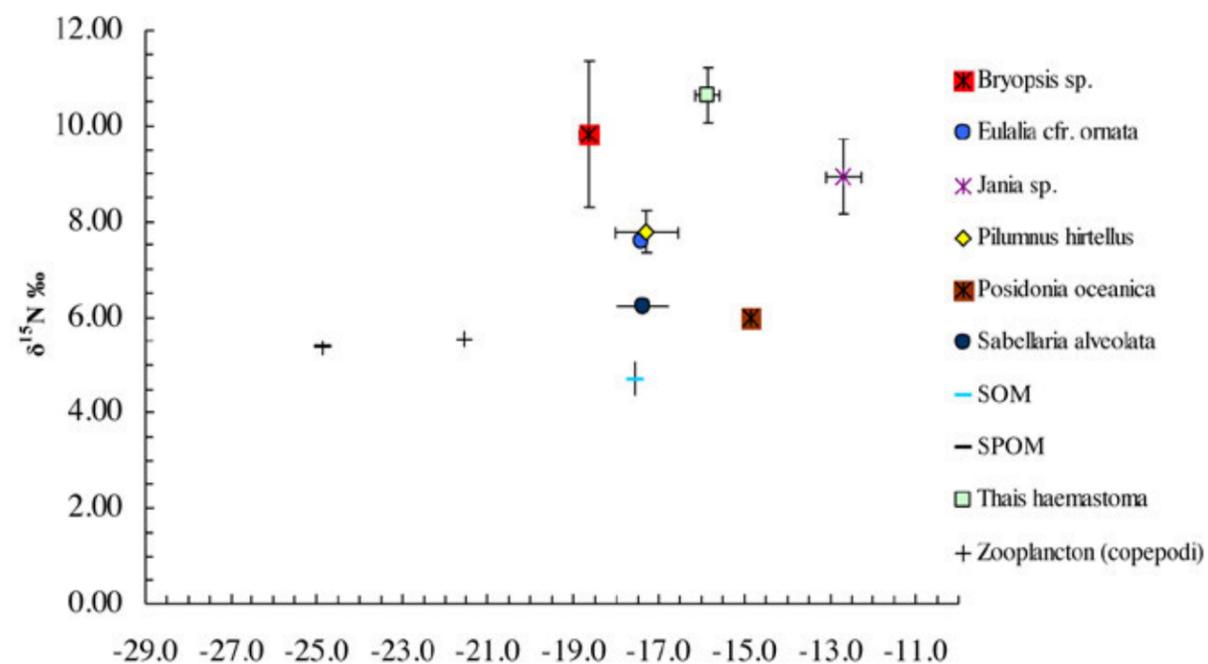
Il sistema trofico delle 3 località è caratterizzato da un ampio intervallo di valori di $\delta^{13}\text{C}$ ai cui estremi si trovano, rispettivamente, *P. oceanica* e *Jania* sp. (media \pm d.s. = -12.50 ± 1), più arricchite, e SOM, SPOM e zooplancton (media \pm d.s. = -22.30 ± 2.20) più impoverite. Gli altri produttori primari (*Bryopsis* sp., *C. racemosa* e *C. taxifolia* var. *distichophylla*) assumono valori compresi tra -16.51% e -18.88% per il $\delta^{13}\text{C}$ e tra 6.26 e 8.03 $\%$ per il $\delta^{15}\text{N}$. Questi valori risultano simili a quelli del granchio *P. hirtellus* e dei policheti *E. cfr. ornata* e *S. alveolata*. *Stramonita haemastoma* assume una posizione apicale tra le specie studiate con un valore medio di $\delta^{13}\text{C} \%$ = $-16.60 (\pm 0.43\text{d.s.})$ e di $\delta^{15}\text{N} \%$ = $11.10 (\pm 0.40 \text{d.s.})$.



(a)



(b)



(c)

Biplot trofo-chimico dei dati di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ delle 3 località.
a) Donnalucata, b) Capo San Marco, c) Capo Granitola

C.2.3 Discussione

Questo studio è uno dei pochi ad affrontare, con un disegno sperimentale appropriato, l'effetto dell'invasione di *C. racemosa* e *C. taxifolia* sulla struttura trofica delle comunità invase (Klein & Verlaque 2008).

I dati ottenuti dimostrano chiaramente che la componente eterotrofa delle 3 località di studio presenta la stessa struttura trofica e non si evince un effetto trofico a larga scala di *C. racemosa* e *C. taxifolia* var. *distichophylla* sulla comunità studiata. Anche a piccola scala, a Donnalucata (impatto), non sembrano sussistere importanti trasferimenti di materia organica proveniente dalle due specie di *Caulerpa* ai livelli trofici successivi.

La materia organica sedimentaria (SOM) risulta molto impoverita in $\delta^{13}\text{C}$ (≈ -21) rispetto alle firme isotopiche delle 2 caulerpe (≈ -17), e sembra essere costituita prevalentemente da un pool di componenti provenienti da *Posidonia*, fitoplancton e apporti continentali. Questi ultimi probabilmente costituiscono una parte importante della sostanza organica del sedimento a DL e SM, conferendo una tipica firma impoverita in $\delta^{13}\text{C}$. A CG invece il sedimento sembra essere costituito prevalentemente dalla componente macroalgale.

In tutte e tre le località studiate, *Sabellaria alveolata*, così come ipotizzato da Fauchald e Jumars (1979), potrebbe avere una dieta composta in buona parte da SOM. SOM che tuttavia non risente, come riportato, di apporti organici attribuibili alle due specie di caulerpa studiate. Analogamente, né *P. hirtellus*, né *S. haemastoma* sembrano assimilare attraverso la loro dieta materia organica proveniente dalle due specie di *Caulerpa* (l'ANOVA non mostra nessuna differenza tra località). In particolare, nei sistemi indagati, *S. haemastoma* assume un ruolo di carnivoro di macroinvertebrati tra cui le due specie di policheti (*S. alveolata* e *E. cfr. ornata*). Tale dato è supportato da osservazioni dirette in campo effettuate dal gruppo di studio e da studi di diversi autori che hanno evidenziato un chiaro ruolo di macrocarnivoro su altre specie (e.g. Rilov et al. 2001). Pertanto, poiché tra le specie analizzate *S. haemastoma* risulta l'unica oggetto di raccolta a scopi alimentari, i risultati da noi ottenuti non supportano l'ipotesi di un trasferimento all'uomo di materia organica proveniente da *Caulerpa* nel sistema analizzato.

C.3 Studio degli effetti dell'invasione di *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* su struttura e funzione di popolamenti macrobentonici sessili di fondo duro dell'infralitorale

C.3.1 Materiali e Metodi

Utilizzando un approccio sperimentale di tipo manipolativo, lo studio ha avuto lo scopo di stabilire se *C. racemosa* agisse alterando la struttura del popolamento invaso e ne influenza la resilienza, cioè la capacità di tornare ad uno stato simile a quello iniziale dopo avere subito un disturbo.

Il modello concettuale prevede che la comunità macrobentonica sessile di substrato duro sia modificata strutturalmente e funzionalmente dalla presenza di *C. racemosa*.

- La prima ipotesi sperimentale è che l'esclusione dell'alga aliena provochi cambiamenti nella struttura della comunità analizzata. In tal caso, si prevede che dopo un anno due popolamenti macrobentonici invasi ed inizialmente identici differiranno per struttura se da uno dei due *C. racemosa* viene periodicamente rimossa.

- La seconda ipotesi sperimentale è che dopo un disturbo acuto l'esclusione dell'alga aliena favorisca il ritorno della comunità ad uno stato iniziale in termini di struttura e diversità. In tal caso, si prevede che due popolamenti macrobentonici inizialmente identici che subiscono una forma di stress acuto che azzerava la copertura iniziale (grattaggio), dopo un anno differiranno per struttura e diversità se *C. racemosa* viene periodicamente rimossa.

da uno dei due e che il popolamento dal quale l'alieno viene escluso tornerà ad uno stato simile a quello iniziale in termini di struttura e diversità.

C.3.1.1 Area di studio

L'esperimento è stato effettuato all'interno dell'Area Marina Protetta del Plemmirio, Siracusa, tra l'agosto 2012 e il settembre 2013. L'area, caratterizzata da ampi tratti di costa rocciosa, si presenta particolarmente adatta allo scopo del lavoro in quanto l'assenza di altri evidenti fattori di disturbo consente di valutare al meglio gli eventuali effetti dall'invasione dell'alga aliena.



Localizzazione dell'area di studio (a sinistra) e sito sperimentale all'interno dell'AMP del Plemmirio (a destra)

C.3.1.2 Approccio sperimentale

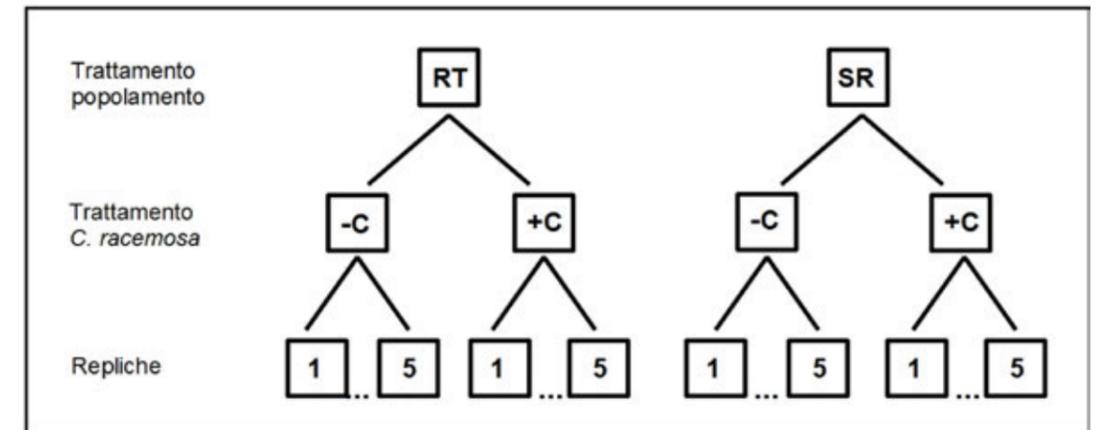
Nel mese di agosto 2012 è stata individuata un'area di circa 15 m x 25 m su fondale roccioso invaso da *C. racemosa* ad una profondità di 10-12 m all'interno della zona A dell'AMP del Plemmirio. Dopo avere verificato con tecniche di fotografia subacquea (vedi oltre) che la struttura del popolamento fosse omogenea, sono stati selezionati 20 quadrati (plot) 40x40 cm all'interno di quest'area sono, tutti invasi da *Caulerpa*. Ciascun quadrato è stato quindi opportunamente delimitato ed etichettato.

Su metà dei quadrati (n=10) è stato simulato un disturbo meccanico rimuovendo l'intero popolamento (RT = rimozione totale), compresa *C. racemosa*. In metà dei quadrati RT (n=5) non è stata più effettuata alcuna manipolazione, consentendo a tutti gli organismi, inclusa l'alga aliena, di ricrescere (+C = *C. racemosa* non rimossa). Questi 5 quadrati sono identificati dalla sigla RT+C e numerati da 1 a 5. Nell'altra metà dei quadrati RT (n=5), invece, è stata effettuata periodicamente una manipolazione che consisteva nel rimuovere delicatamente solo *C. racemosa* (-C = *C. racemosa* rimossa). Questi 5 quadrati sono identificati dalla sigla RT-C e numerati da 1 a 5.

Nei restanti 10 quadrati non è stata effettuata la rimozione dell'intero popolamento (SR = senza rimozione). In metà dei quadrati SR (n=5) non è stata effettuata alcuna ulteriore manipolazione e i quadrati sono individuati dalla sigla SR+C ed un numero da 1 a 5. Negli restanti 5 quadrati *C. racemosa* è stata periodicamente rimossa. Questi quadrati sono caratterizzati dalla sigla SR-C ed un numero da 1 a 5. In sintesi:

	Caulerpa rimossa	Caulerpa non rimossa
Popolamento rimosso	RT-C (n=5)	RT+C (n=5)
Popolamento non rimosso	SR-C (n=5)	SR+C (n=5)

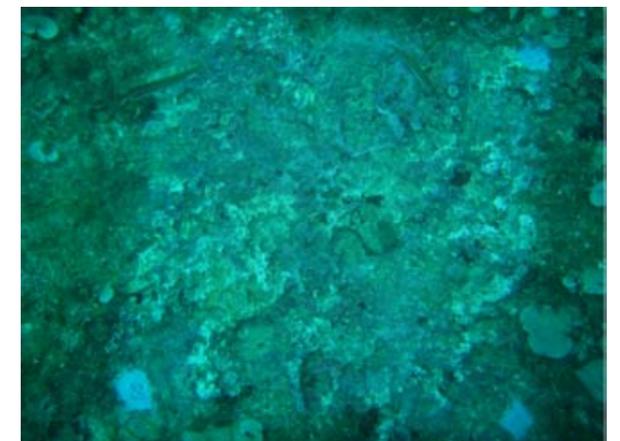
I plot appartenenti ai 4 trattamenti diversi sono stati interspersi all'interno dell'area sperimentale. Pertanto, gli effetti di *Caulerpa racemosa* sui popolamenti nativi sono stati testati mediante un disegno sperimentale a 2 fattori.



Disegno sperimentale multifattoriale: fattore Trattamento popolamento, fisso (RT= rimozione totale del popolamento, SR=senza rimozione); fattore Trattamento *C. racemosa*, fisso ed ortogonale al trattamento popolamento (-C= *C. racemosa* rimossa, +C= *C. racemosa* non rimossa); 5 repliche per ciascun trattamento.

C.3.1.3 Manipolazione in situ

La rimozione dell'intero popolamento dai plot RT è stata effettuata con spazzole di metallo all'inizio dell'esperimento e per l'intera superficie del plot trattato.

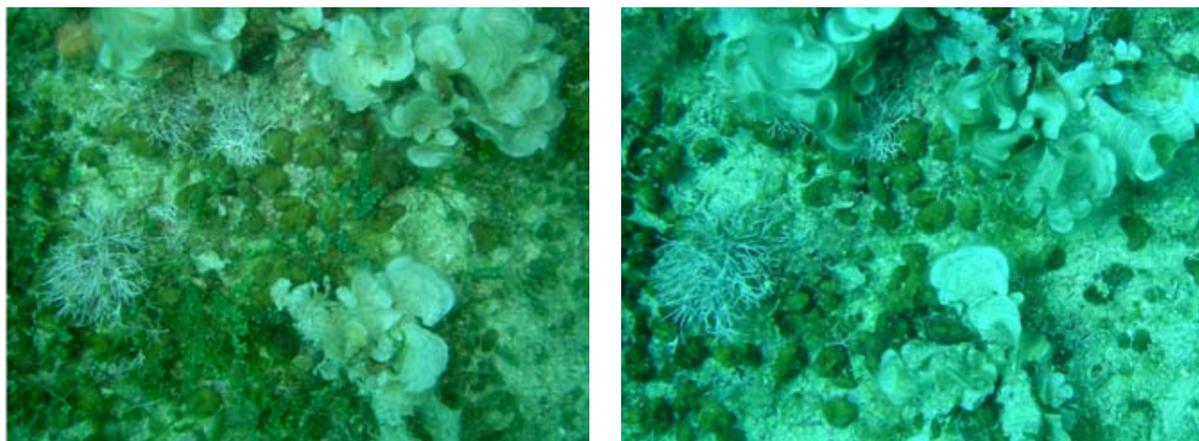


Rimozione dell'intero popolamento (Livello RT del trattamento Popolamento).



Successivamente si è proceduto alla rimozione periodica di *C. racemosa* dai plot "-C". La rimozione è avvenuta manualmente mediante l'utilizzo di pinzette da laboratorio.

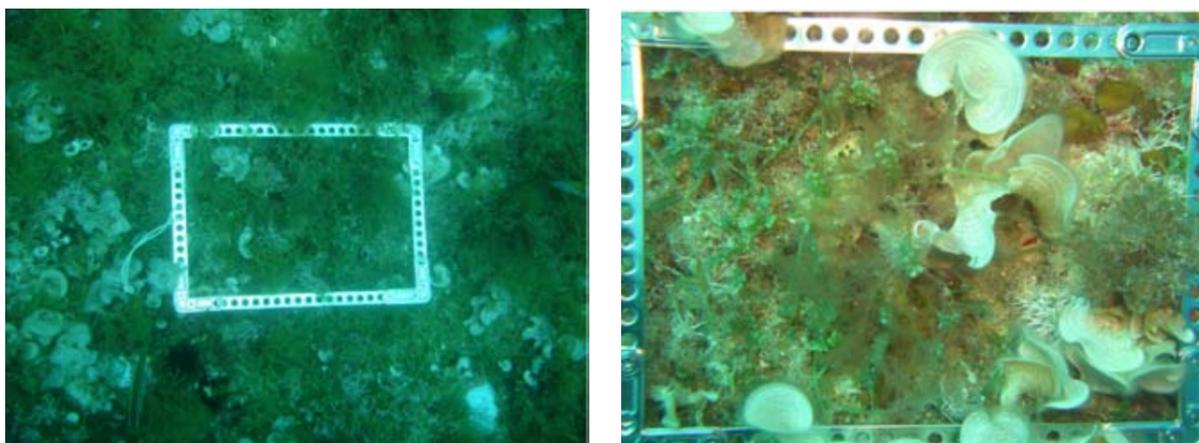
Rimozione di *C. racemosa* dai plot



Plot prima (a sinistra) e dopo (a destra) la rimozione di *C. racemosa*

C.3.1.4 Analisi dei popolamenti bentonici

Il campionamento dei popolamenti macrobentonici è stato effettuato tramite fotografia subacquea nel settembre 2013, mediante l'utilizzo di un quadrato di metallo di 23x16 cm posizionato al centro dei plot e fotografato. L'analisi delle fotografie subacquee ha permesso di identificare le macroalghe e gli invertebrati sessili di ogni quadrato a livello di specie o di catalogarli in gruppi morfologici (alghe filamentose, alghe coralline incrostanti ecc.). È stata inoltre misurata la copertura percentuale di ogni specie o gruppo morfofunzionale attraverso la seguente procedura: ogni fotografia è stata suddivisa in 25 sub-quadrati. Ad ogni taxon che ricadeva all'interno di un sub-quadrato è stato assegnato un valore di copertura compreso tra 0 e 4% (Dethier et al 1993). Il valore di copertura percentuale di ogni taxon per l'intera foto è stato ottenuto sommando i valori di tutti i 25 sub-quadrati.



Campionamento fotografico dei popolamenti bentonici

Un'analisi preliminare è stata condotta nell'agosto del 2012 per verificare l'omogeneità della zona dell'AMP del Plemmirio scelta per effettuare l'esperimento. L'area è stata suddivisa in 15 settori di 5 x 5 m e sono stati scelti casualmente 4 settori (siti) all'interno dei quali sono stati effettuati 5 campionamenti fotografici del popolamento macrobentonico e successivamente analizzati secondo la tecnica precedentemente descritta.

C.3.1.5 Analisi statistiche

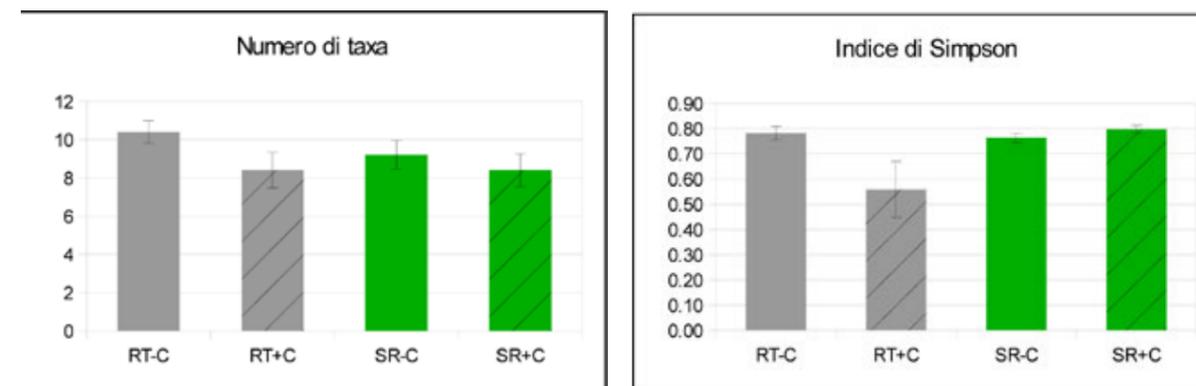
Le analisi degli indici univariati, numero di taxa e diversità media (Indice di Simpson) nei quattro trattamenti sperimentali sono state effettuate sulla matrice dei dati di copertura percentuale dei taxa bentonici standardizzati, con esclusione di *C. racemosa*, roccia, sedimento e *Paracentrotus lividus*.

È stata effettuata una analisi della varianza (ANOVA) su numero di taxa e diversità (Indice di Simpson) considerando i seguenti due fattori fissi: Rimozione (Ri), con due livelli (RT = rimozione totale del popolamento; SR = senza rimozione del popolamento), e Caulerpa (Ca), con due livelli (+C = non esclusione di *C. racemosa*; -C = esclusione di *C. racemosa*). Lo stesso disegno sperimentale è stato utilizzato per verificare la risposta dell'intero popolamento alle diverse condizioni sperimentali. In questo caso è stata utilizzata una analisi multivariata della varianza (PERMANOVA).

C.3.2 Risultati

C.3.2.1 Analisi degli indici univariati

Non si evidenziano differenze significative per quanto riguarda il numero di taxa tra i quattro livelli del trattamento. Per quanto concerne l'indice di Simpson l'interazione Ri x Ca risulta significativa, i valori minimi di diversità media si osservano nel livello RT+C. Questo dato suggerisce un livello di dominanza più elevato nei popolamenti dove è avvenuta la rimozione totale del popolamento (RT) ma *Caulerpa* non è stata più rimossa (+C).



Numero medio di taxa e diversità (Indice di Simpson) dei popolamenti bentonici (+/- Errore Standard) nei quattro livelli sperimentali (RT-C = Rimozione totale del popolamento ed esclusione di *C. racemosa*; RT+C = rimozione totale del popolamento e non esclusione di *C. racemosa*; SR-C = senza rimozione del popolamento ed esclusione di *C. racemosa*; SR+C = senza rimozione del popolamento e non esclusione di *C. racemosa*). Analisi effettuate sulla matrice dei dati standardizzati con esclusione di *C. racemosa*, roccia, sedimento e *Paracentrotus lividus*.

I test SNK per questa interazione mostrano differenze significative solamente tra plot RT e plot SR all'interno del trattamento +C, con valori dell'indice di Simpson significativamente minori per il livello RT+C.

	Source	df	SS	MS	F	P
NUMERO DI TAXA	Ri	1	1,8	1,8	0,57143	0,4681
	Ca	1	9,8	9,8	3,1111	0,0976
	RixCa	1	1,8	1,8	0,57143	0,468
	Res	16	50,4	3,15		
	Total	19	63,8			
INDICE DI SIMPSON	Ri	1	5,9493E-2	5,9493E-2	3,5261	0,0823
	Ca	1	4,5135E-2	4,5135E-2	2,6751	0,1315
	RixCa	1	8,3738E-2	8,3738E-2	4,9631	0,0352
	Res	16	0,26995	1,6872E-2		
	Total	19	0,45832			

Analisi della varianza (ANOVA) relativa a numero di taxa e diversità (Indice di Simpson) dei popolamenti bentonici, utilizzate per testare differenze tra trattamenti. Analisi effettuate sulla matrice dei dati standardizzati con esclusione di *C. racemosa*, roccia, sedimento e *Paracentrotus lividus*. I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo.

SNK test: Interazione RixCa per coppie dei livelli del fattore Caulerpa			
Livello di Rimozione	Gruppi	T	P
RT	-C; +C	1,9754	0,0818
SR	-C; +C	1,4155	0,1894
SNK test: Interazione RixCa per coppie dei livelli del fattore Rimozione			
Livello di Caulerpa	Gruppi	T	P
-C	RT; SR	0,61999	0,5059
+C	RT; SR	2,1398	0,0361

SNK test per l'indice di Simpson: In ciascun livello del fattore Rimozione per coppie di livelli del fattore Caulerpa ed in ciascun livello del fattore Caulerpa per coppie di livelli del fattore Rimozione. I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo.

C.3.2.2 Analisi multivariate

I risultati della PERMANOVA sulla matrice di similarità di Bray-Curtis ottenuta dalla matrice di copertura percentuale dei taxa bentonici calcolata prima dell'inizio dell'esperimento ed utilizzata per testare l'omogeneità dell'area prescelta, ha dimostrato che non ci sono differenze significative tra siti ($Pseudo-F_{3,19} = 0,99$; $P = 0,45$). Confermando che l'area scelta era adatta ad effettuare l'esperimento manipolativo.

Per quanto riguarda il presente esperimento, i risultati della PERMANOVA sui dati di copertura percentuale dei taxa che compongono il popolamento studiato mostrano una differenza significatività nell'interazione Ri x Ca.

PERMANOVA basata sulla similarità di Bray-Curtis utilizzata per testare differenze nella struttura dei popolamenti bentonici relativamente al fattore Rimozione (Ri) e al fattore Caulerpa (Ca). I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo. Le analisi sono state condotte utilizzando 9999 permutazioni sui dati di copertura percentuale trasformati con radice quadrata.

Source	Df	SS	MS	Pseudo-F	P
Ri	1	1488	1488	1,9775	0,0546
Ca	1	1757,9	1757,9	2,3361	0,0278
RixCa	1	1750	1750	2,3256	0,0295
Res	16	12039	752,46		
Total	19	17035			

Il T test per questa interazione mostra che non esistono differenze significative tra plot +C e plot -C all'interno del trattamento RT. Al contrario si osservano differenze significative tra plot C+ e plot C- all'interno del trattamento SR. Per quanto riguarda lo stesso test eseguito per coppie di livelli del fattore Rimozione si può notare che non esistono differenze tra plot RT e plot SR all'interno del trattamento -C. Differenze significative, invece, si osservano tra plot RT e plot SR all'interno del trattamento +C.

T test: interazione RixCa per coppie dei livelli del fattore Caulerpa			
Livello di Rimozione	Gruppi	T	P
RT	-C; +C	1,5199	0,0848
SR	-C; +C	1,5328	0,032
T test: interazione RixCa per coppie dei livelli del fattore Rimozione			
Livello di Caulerpa	Gruppi	T	P
-C	RT; SR	1,2374	0,1402
+C	RT; SR	1,6588	0,0089

T test relativo alla PERMANOVA utilizzata per testare differenze nella struttura dei popolamenti bentonici relativamente al fattore Rimozione (Ri) e al fattore Caulerpa (Ca). L'analisi testa ciascun livello del fattore Rimozione per coppie di livelli del fattore Caulerpa e ciascun livello del fattore Caulerpa per coppie di livelli del fattore Rimozione. Analisi condotte sulla matrice di similarità di Bray-Curtis utilizzando 9999 permutazioni, dati trasformati con radice quadrata. I valori di probabilità significativi sono indicati in grassetto corsivo.

Il grafico relativo all'analisi CAP conferma i risultati dell'analisi PERMANOVA con i primi due assi che spiegano il 60% della variabilità. I livelli SR-C e SR+C si separano sia lungo il primo sia lungo il secondo asse. La separazione dei livelli RT+C e SR+C invece risulta evidente e significativa lungo il primo asse ($\delta_1^2 = 0,79$, $p < 0,05$). I popolamenti del trattamento SR-C sono caratterizzati dall'alga verde filamentosa *Cladophora prolifera*, alghe corallinacee incrostanti, le spugne *Cliona* spp. e *Chondrilla nucula* ed il bivalve *Rocellaria dubia*. I popolamenti del trattamento SR+C sono caratterizzati soprattutto dall'alga corallinacea ramificata *Amphiroa* spp.

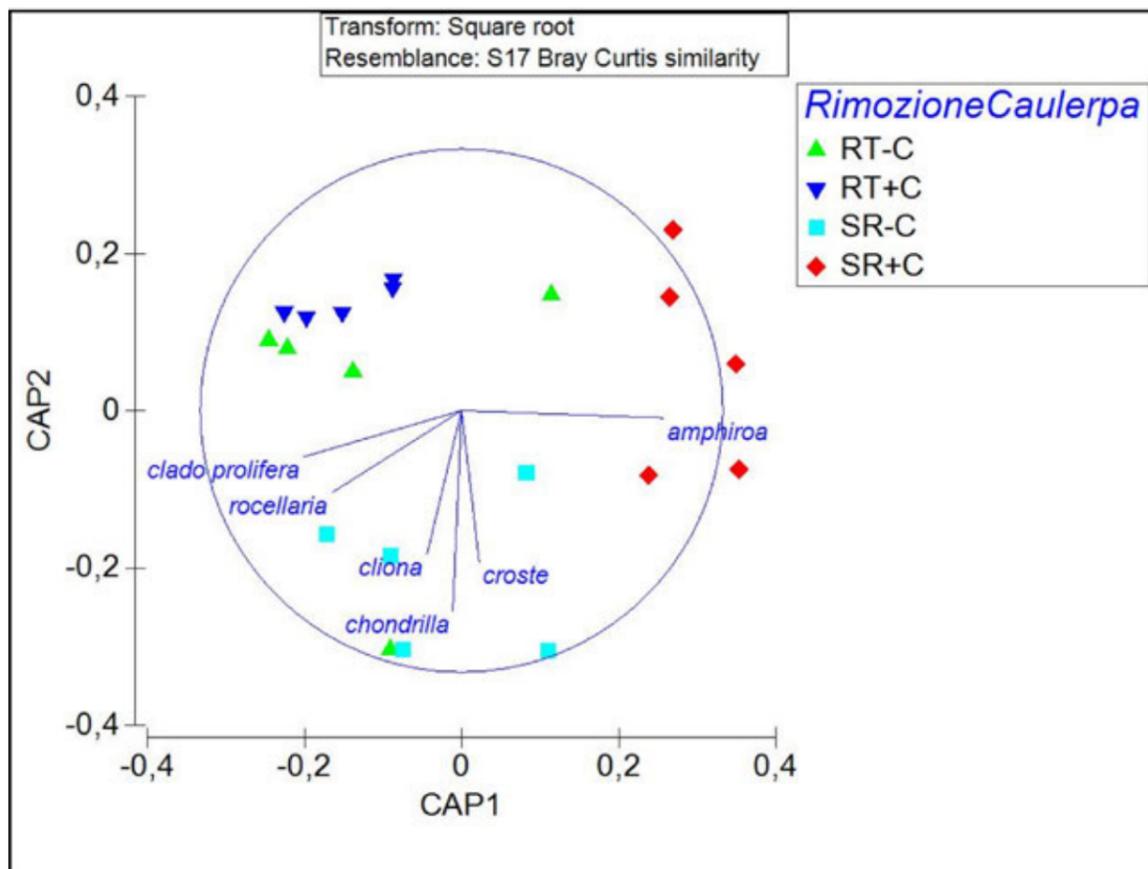


Grafico CAP (Canonical analysis of principal coordinates) dove risultano evidenti le correlazioni dei taxa con gli assi canonici. Abbreviazioni per taxa nel grafico: clado proliferata = *Cladophora proliferata*; rocellaria = *Rocellaria dubia*; cliona = *Cliona* spp.; chondrilla = *Chondrilla nucula*; croste = alghe corallinacee incrostanti; amphiroa = *Amphiroa* spp.

C.3.3 Discussione

I risultati di questo esperimento indicano che *C. racemosa* influenza la struttura dei popolamenti bentonici. Infatti, la rimozione periodica di *C. racemosa* ha facilitato lo sviluppo di una comunità bentonica diversa (SR-C \neq SR+C) portando a non poter rifiutare la prima ipotesi sperimentale, cioè che l'esclusione dell'alga aliena provochi cambiamenti nella struttura della comunità analizzata. La comunità siffatta è maggiormente caratterizzata da *Cladophora proliferata*, alghe corallinacee incrostanti, spugne (*Cliona* spp. e *Chondrilla nucula*), e dal bivalve *Rocellaria dubia* rispetto a quella che non ha subito la rimozione periodica di *Caulerpa*. La crescita di *C. racemosa* non è limitata dalla disponibilità di spazio in quanto la specie può svilupparsi crescendo sopra gli altri organismi bentonici. La sua rimozione invece può aver reso libero dello spazio, che a sua volta, ha probabilmente favorito lo sviluppo di *C. proliferata* e di specie della macrofauna sessile.

Questo esperimento, inoltre, indica che *C. racemosa* ha un effetto negativo sulla resilienza della comunità bentonica. Questo effetto si evidenzia sia nella struttura (RT-C \neq RT+C), sia nel livello di dominanza che appare più alto (minore diversità di Simpson) laddove l'alieno non viene rimosso (RT-C \neq RT+C) e, di conseguenza, l'esperimento consente di non rifiutare la seconda ipotesi sperimentale, cioè che dopo un disturbo acuto (grattaggio) l'esclusione dell'alga aliena favorisce il ritorno della comunità ad uno stato iniziale in termini di struttura e diversità. Ad un anno dall'inizio dell'esperimento dunque, la presenza di *C. racemosa* ha impedito il recupero della comunità originaria (resilienza),

probabilmente attraverso alcuni processi innescati dall'alieno, come l'aumento del tasso di sedimentazione e la competizione per le risorse (spazio, luce).

La dominanza di una specie invasiva può provocare il cambiamento permanente in un stato diverso ed alternativo dell'ecosistema. In quel caso le modifiche prodotte nelle comunità native persistono anche dopo la rimozione dell'invasore e solo un evento catastrofico, capace di eliminare sia l'invasore sia la biomassa critica esistente, può essere in grado di promuovere il recupero dei popolamenti nativi. Nell'area di studio presso la AMP del Plemmirio la presenza di *C. racemosa* non sembrerebbe aver determinato il cambiamento delle comunità autoctone in un altro stato alternativo stabile. Infatti, ad un anno dall'inizio delle manipolazioni la struttura dei popolamenti nei quali è stato effettuato il grattaggio e non è stato consentito l'insediamento di *C. racemosa* sono risultati simili ai popolamenti dove è stata rimossa solo l'alga aliena. Se il popolamento analizzato avesse ormai raggiunto un cambiamento permanente in un stato diverso ed alternativo ciò non si sarebbe osservato.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI GENERALI

Lo studio ha evidenziato l'impossibilità di individuare fattori univoci direttamente correlabili al fenomeno di diffusione della Caulerpa. Gli elementi conoscitivi acquisiti fanno ipotizzare piuttosto il contributo di diverse concause sia naturali, (temperatura, sedimentazione ecc.) che antropiche.

Le osservazioni effettuate nel corso delle attività evidenziano che nel Canale di Sicilia laddove sono presenti comunità e biocenosi ben strutturate, la Caulerpa non riesce a proliferare.

Pertanto condizioni ambientali non ottimali di siti disturbati e lontani da una situazione di equilibrio ecologico, rappresentano uno dei possibili fattori che consente alla Caulerpa di insediarsi e competere con maggior successo con le comunità algali autoctone, come peraltro osservato nelle aree ad est del Golfo di Gela.

Nelle stesse aree l'alga non sembra arrecare disturbo significativo alle praterie di *Posidonia oceanica* dell'infralitorale, e relega la propria presenza nelle zone limitrofe non colonizzate dalla fanerogama.

I risultati della ricerca ed in particolare le informazioni acquisite sullo stato ambientale delle aree maggiormente impattate dalla Caulerpa, costituiscono punto di partenza per lo sviluppo di ulteriori attività di indagine utili al monitoraggio dell'evoluzione del fenomeno ed alla verifica delle ipotesi, elaborate nell'ambito dello studio, sulle condizioni che favoriscono la proliferazione dell'alga nel Canale di Sicilia.

Le indagini condotte hanno confermato la presenza delle caulerpe lungo il tratto di costa della Sicilia meridionale compreso tra Licata e Porto Palo di Capo Passero, interessato in passato da un ingente fenomeno di impatto di tali alghe sull'attività di pesca principalmente artigianale.

La specie più abbondante e diffusa è risultata *C. taxifolia*, che da studi recenti nell'area del ragusano è stata riclassificata come *C. taxifolia* var. *disticophylla* (Jongma et al., 2012).

Nell'area di Lampedusa la specie più diffusa risulta essere *C. racemosa*, presente su fondali sabbiosi, rocciosi e su substrati di alghe corallinacee, sino a profondità di 50 metri e oltre; anche l'isolotto di Lampione e la Secca di Levante sono ampiamente colonizzate da *C. racemosa*.

In riferimento agli eventuali impatti delle caulerpe alloctone sull'attività di pesca artigianale, nelle aree in esame nel periodo di monitoraggio, non è stato evidenziato alcun fenomeno di interazione degno di rilievo.

Durante le indagini relative all'attività di pesca (rilevamenti degli sbarcati commerciali della pesca artigianale in un porto campione e campagne di pesca in tre aree) è stata registrata sovente la presenza di caulerpe, soprattutto *C. taxifolia* var. *disticophylla*, ma sempre in quantitativi tali da non creare disturbo alle operazioni di pesca. Va rilevato che il più delle volte, analizzando la componente vegetale presente nelle reti, i quantitativi maggiori erano da riferirsi alle macrofite e non alle caulerpe.

Analizzando i risultati delle campagne di pesca e dei rilevamenti degli sbarcati emergono delle variazioni sia nella composizione delle catture che nelle biomasse, ma tali fluttuazioni sono imputabili principalmente alla stagionalità delle risorse e non sono correlabili ad interazioni con le caulerpe. A tal proposito, si è evidenziata una certa correlazione positiva tra macrofite totali e pescato nell'area di Porto Palo di Capo Passero, probabilmente imputabile ad una maggiore quantità di risorse laddove le macrofite risultano abbondanti.

Questo risultato non è sorprendente poiché è risaputo che le praterie sia di alghe che di fanerogame sono ricche in biodiversità e ospitano comunità aliatiche rilevanti.

L'attività di pesca artigianale nel tratto di costa indagato viene praticata in prevalenza

entro 3 miglia dalla costa da barche di piccola dimensione e potenza limitata, che utilizzano attrezzi da posta. Si tratta prevalentemente di un metodo di pesca multispecifico ed "opportunistico", che si basa sulla conoscenza diretta, da parte dei pescatori, dei cicli biologici delle specie ittiche e delle aree di "nursery" più importanti della zona. Le specie bersaglio variano dunque in funzione della stagione, essendo la loro disponibilità alla cattura legata essenzialmente alla presenza nelle aree di pesca in determinati periodi dell'anno. Le principali specie catturate e rilevate negli sbarcati sono risultate la triglia di scoglio, gli scorfani e i saraghi presenti durante tutto l'anno sebbene con rendimenti variabili. Tuttavia i maggiori rendimenti sono attribuibili alla cattura della seppia che avviene stagionalmente, nei mesi invernali-primaverili, spesso a costituire per quel periodo l'unica risorsa pescata e negli altri periodi essere catturata sporadicamente o affatto.

Le variazioni osservate nei rendimenti delle principali specie pescate e nella composizione delle risorse non sono attribuibili ad interazioni con le caulerpe aliene.

La massiva presenza di caulerpa e gli impatti sulla pesca osservati in passato sono da considerarsi accidentali.

Tuttavia, come osservato da studi recenti (Musco et al., 2014), la specie *C. taxifolia* var. *distichophylla* sta colonizzando nuove aree e quindi non è escluso che il fenomeno di interazione con la pesca possa ripetersi in tali aree o altrove o manifestarsi con modalità diverse. Pertanto è auspicabile continuare a monitorare l'evoluzione delle caulerpe aliene al fine di limitare o prevenire eventuali danni al comparto ittico.

Le indagini sugli effetti dell'invasione di specie aliene del genere *Caulerpa* sui popolamenti bentonici delle coste della Sicilia meridionale hanno evidenziato risultati particolarmente interessanti.

Caulerpa taxifolia var. *distichophylla* ha prodotto un impatto nella comunità bentonica associata alla prateria di *P. oceanica* di Donnalucata che ha interessato sia il popolamento a macroinvertebrati, sia la meiofauna. L'impatto ha provocato un cambiamento nella composizione tassonomica e nelle abbondanze medie dei taxa che costituiscono la comunità, alterandone la struttura, probabilmente come conseguenza del deterioramento delle caratteristiche fisico chimiche della matte di *Posidonia* ai bordi della prateria, l'unica parte del posidonieto realmente impattata.

Nella stessa zona, tuttavia, l'analisi degli isotopi stabili di carbonio e azoto indica che è improbabile che l'attuale livello di invasione di *C. taxifolia* var. *distichophylla* e *C. racemosa* var. *cylindracea* sia tale da modificare in maniera significativa la rete trofica delle aree a posidonieto interessate dal fenomeno, in quanto non può essere apprezzato un significativo trasferimento di biomassa aliena verso organismi appartenenti ai livelli trofici superiori della rete trofica. Ciò appare in linea con le caratteristiche dell'invasione che pare comunque limitata ad una sottile fascia ai bordi del posidonieto stesso e su substrati rocciosi, e non pare aver prodotto praterie estese sui fondi mobili che dominano l'area in questione.

L'invasione di *C. racemosa* var. *cylindracea* su substrati rocciosi, invece, favorendo la dominanza di certe specie native ha prodotto significativi cambiamenti nella struttura della comunità macrobentonica. Appare anche chiaro che l'alga aliena in questione modifica la capacità di resilienza del sistema impattato da noi studiato, il quale non pare in grado di ritornare ad uno stato iniziale dopo aver subito una forma di disturbo acuto paragonabile ad esempio a quello causato da una tempesta. Va tuttavia sottolineato che i risultati ottenuti non escludono che la cessazione dell'invasione possa consentire al sistema di ritornare allo stadio precedente l'invasione stessa, riprendendo sia la struttura, sia la capacità di resilienza al momento seriamente modificate.

In conclusione, questo studio conferma tutta la potenziale pericolosità dell'invasione di specie aliene del genere *Caulerpa* documentata in precedenti lavori. Tuttavia,

segnatamente al Canale di Sicilia, l'invasione sembra essere in una fase di regressione rispetto a quanto riportato dai mezzi di stampa sei o sette anni addietro. La regressione del fenomeno si concretizza in una frequenza ed abbondanza ridotta delle due specie, che rimangono legate a fondi duri o alla matte di *Posidonia oceanica*. Questa presenza, sebbene limitata è tuttavia in grado di alterare la struttura ed il funzionamento dell'ecosistema. La ridotta quantità delle due specie di *Caulerpa*, al momento rende il loro contributo ed ingresso nella rete trofica estremamente modesto e del tutto insignificante. In considerazione del potenziale impatto di questa invasione sulle attività economiche e sulla salute umana è fortemente auspicabile che venga pianificato un programma di monitoraggio per le caulerpe aliene in Sicilia.

INDICAZIONI GESTIONALI

I risultati del presente studio hanno confermato la presenza diffusa ed abbondante delle caulerpe aliene lungo le coste meridionali della Sicilia, principalmente nel tratto sud-orientale, e nell'area dell'Isola di Lampedusa, ma non hanno evidenziato nel periodo di monitoraggio una condizione delle suddette alghe tali da creare impatti alle attività di pesca.

Questo però non esclude che fenomeni di interazioni delle caulerpe aliene con l'attività di pesca possano ripresentarsi in futuro, con impatti più o meno rilevanti in funzione delle caratteristiche degli attrezzi utilizzati e dei fondali colonizzati.

Tale probabilità è legata alla capacità invasiva di tali alghe che continuano a colonizzare nuove aree.

Va anche evidenziato che, oltre alle caulerpe, in Mediterraneo vi sono altre alghe alloctone invasive, che potrebbero stanziarsi anche nei mari siciliani con impatti sull'ambiente e sulle attività legate ad esse non ancora prevedibili.

Per tali ragioni si raccomanda di non interrompere il monitoraggio delle caulerpe aliene e delle altre specie alloctone, coinvolgendo anche gli operatori del mare.

Al fine di limitare la diffusione delle caulerpe, vengono qui suggeriti comportamenti (*Best practice*) da adottare, che coinvolgono i pescatori artigianali e riguardano la pulizia delle reti.

E' noto infatti che le caulerpe aliene sono in grado di riprodursi anche da piccoli frammenti e colonizzare rapidamente nuovi ambienti.

La pratica di pulizia delle reti a mare è quindi da evitare poiché con essa vengono rigettati in acqua i frammenti di caulerpe ammagliati nelle reti, aumentando esponenzialmente il rischio di diffusione e colonizzazione. Piuttosto è consigliabile portare le reti in banchina ed ivi effettuare la pulizia. In alternativa, qualora il pescatore debba effettuare necessariamente tale azione in mare, è auspicabile che i frammenti di caulerpe ammagliati vengano raccolti e portati a terra.

L'adozione di nuovi comportamenti atti a limitare l'espansione delle caulerpe non può prescindere da una continua attività di formazione ed informazione che deve coinvolgere tutti gli operatori del mare; ognuno di essi rappresenta infatti un anello fondamentale nella catena di comunicazione e centralizzazione delle informazioni e nella diffusione di comportamenti da adottare per contenere il problema.

Va quindi ribadito che le azioni di comunicazione ed informazione mirate agli operatori del settore mare (pescatori professionisti e sportivi, diportisti, subacquei, ecc..) già in corso e da prevedere per il futuro rappresentano un'attività prioritaria nel monitoraggio del fenomeno delle specie alloctone invasive e nell'adozione di *Best practice* che possano mitigare gli impatti e l'espansione delle stesse.

LE DIECI REGOLE DA ADOTTARE

1. Non danneggiare gli habitat originari con l'uso di attrezzi da pesca invasivi al fine di scongiurare l'insediamento di specie estranee.
2. Evitare l'ancoraggio su praterie di Posidonia oceanica per non deteriorarla e facilitare la colonizzazione di altre specie.
3. Immergersi in mare nel rispetto dell'ambiente utilizzando le buone pratiche del subacqueo: non danneggiare con le pinne o con le bombole le praterie di Posidonia oceanica, i coralli, ed altre specie endemiche dell'ecosistema marino mediterraneo.
4. Non facilitare la diffusione delle specie aliene attraverso la rimozione di frammenti di organismi estranei intrappolati nelle reti o nelle ancore, evitando il rigetto in mare.
5. Documentare il ritrovamento di specie ritenute non native dell'habitat che le ospita con fotografie e descrizione del luogo dell'osservazione comunicando tali ritrovamenti agli enti preposti per la vigilanza dell'ambiente marino (ARPA, ISPRA, CNR).
6. Ripulire accuratamente gli attrezzi da pesca o le attrezzature (ancore, cime, ecc.) e tutti gli strumenti usati in mare con acqua dolce, conferendo gli eventuali residui in discarica.
7. Evitare lo scarico di acque di acquari tropicali in acque aperte per non promuovere la diffusione di specie aliene.
8. Non gettare rifiuti in mare (sacchetti di plastica, lattine, cicche di sigarette, ecc.) e in caso di ritrovamento di rifiuti in spiaggia, galleggianti a pelo d'acqua o sul fondo, rimuoverli per il conferimento differenziato del caso.
9. Non mangiare o comprare specie marine protette, vietate o sottotaglia.
10. Curare le imbarcazioni verificando che non abbiano dispersione di oli e carburanti; non buttare in acqua la batteria vecchia/inerte del motore; non buttare in acqua i razzi e gli altri mezzi pirotecnici scaduti; usare detersivi biodegradabili per lavare la barca; allontanarsi dalla costa senza produrre troppo rumore e onde.

BIBLIOGRAFIA

- Alongi G., Cormaci M., Furnari G., Giaccone G., (1993). Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) per le coste italiane. Boll. Accad. Gioenia Sci. Nat. Catania 26: 49-53.
- Andaloro F., Rinaldi A., (1998). Fish biodiversity change in Mediterranean Sea as tropicalisation phenomenon indicator. In: Enne G., D'Angelo M. e Zannolla C. (eds), *Proceeding of international seminar: Indicator for assessing desertification in the Mediterranean*. Porto Torres: 201-206.
- Antolić B., Žuljević A., Despalatović M., Grubelić I., Cvitković I. (2008) Impact of the invasive green alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* on the epiphytic macroalgal assemblage of *Posidonia oceanica* seagrass rhizomes in the Adriatic Sea. Nova Hedwigia 86 (1-2): 155-167.
- Argyrou, M., Demetropoulos, A., Hadjichristophorou, M. (1999a) Expansion of the macroalga *Caulerpa racemosa* and changes in soft bottom macrofaunal assemblages in Moni bay, Cyprus. Oceanologica Acta 22 (5): 517-528.
- Argyrou, M., Demetropoulos, A., Hadjichristophorou, M. (1999b) The impact of *Caulerpa racemosa* on the macrobenthic communities in the coastal waters of Cyprus. In: United Nations Environment Programme (Ed.), *Proceedings of the Workshop on Invasive Caulerpa Species in the Mediterranean*. MAP Technical Report Series 125, pp. 139-158.
- Balata, D., Piazzini, L., Cinelli, F. (2004) A comparison among assemblages in areas invaded by *Caulerpa taxifolia* and *C. racemosa* on a subtidal Mediterranean rocky bottom. Marine Ecology 25 (1): 1-13.
- Baldacconi R., Corriero G., (2009). Effects of the spread of the alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* on the sponge assemblage from coralligenous concretions of the Apulian coast (Ionian Sea, Italy). Marine Ecology and Evolutionary Perspectives 30: 337-345.
- Baumgartner, F., Motti, C.A., de Nys, R., Paul, N.A. (2009) Feeding preferences and host associations of specialist marine herbivores align with quantitative variation in seaweed secondary metabolites. Marine Ecology Progress Series 396: 1-12.
- Bellan-Santini, D., Arnaud, P.M., Bellan, G., Verlaque, M. (1996) The influence of the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*, on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. J. Marine Biological Association of the United Kingdom 76 (1): 235-237
- Belsher T., Peirano A., Puccini M., Boutbien M., Blanc M., Coroller D., Cottalorda J.M., Dagault F., Emery E., Fugazzi P., Goraguer H., Le Gall E., Lunven M., Marcfeld J.P., Peleau M., Pucci R., Thibaut T., 2001. Acquisition de données qualitatives et quantitatives sur l'expansion de l'algue *Caulerpa taxifolia* (Alpes-Maritimes, Principauté de Monaco et en Mer Ligure). Campagnes océanographiques Califa 1998 du N.O.L'Europe (Ifremer/Icram). In: Gravez V., Boudouresque C.-F., Meinesz A., Scabbia G. (eds) Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Lerici, 1-2 February 1999, pp 33-35. GIS Posidonie, Marseille.
- Ben Salem S., Gaamour A., El Abed I., Missaoui H., El Abed A., (2004) *Caulerpa taxifolia* impact on fish catch in the area of Cap Bon: preliminary data. Biol. Mar. Medit. 11(2): 679-682.
- Boudouresque C.-F., Lemke, R., Mari, X., Meinesz, A. (1996) The invasive alga *Caulerpa taxifolia* is not a suitable diet for the sea urchin *Paracentrotus lividus*. Aquatic Botany 53: 245-250.

Boudouresque, C.-F., Meinesz, A. (1994) Une nouvelle menace pour les biocénoses littorales de Méditerranée : L'expansion de l'algue introduite *Caulerpa taxifolia*, In: Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. Bellan-Santini D., Lacaze J.-C. and Poizat C. édit.. Muséum national d'Histoire Naturelle, pp. 127-132.

Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Ribera, M.A., Ballesteros, E. (1995) Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Science* 59 (Suppl.): 21-29.

Box, A. (2008) Ecología de Caulerpales: fauna y biomarcadores. Doctoral Thesis. Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, Palma, 354 pp.

Box, A., Deudero, S., Sureda, A., Blanco, A., Alòs, J., Terrados, J., Grau, A.M., Riera, F. (2009) Diet and physiological responses of *Spondyliosoma cantharus* (Linnaeus, 1758) to the *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* invasion. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 380: 11-19.

Box, A., Martin, D., and Deudero, S. (2010) Changes in seagrass polychaete assemblages after invasion by *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Chlorophyta: Caulerpales): community structure, trophic guilds and taxonomic distinctness. *Scientia Marina* 74: 317-329.

Campo D., (2008). Le alghe invasive del genere *Caulerpa* lungo il litorale ibleo. Situazione aggiornata a gennaio 2008. Legambiente, Associazione Il Carrubbo, Ragusa, 19 pp.

Canese S., (2012). Rapporto sulla campagna di monitoraggio *Caulerpa* eseguita lungo le Coste Siciliane da Capo Passero a Licata e presso l'Isola di Lampedusa (29 giugno-12 luglio 2012). Responsabile Scientifico: Dott. F. Andaloro; 39 pp.

Carriglio, D., Sandulli, R., Deastis, S., Gallo d'Addabbo, M., Grimaldi de Zio, S. (2003) *Caulerpa racemosa* spread effects on the meiofauna of the Gulf of Taranto. *Biologia Marina Mediterranea* 10 (2): 509-511.

Carruthers, T.J.B., Walker, D.I., Huisman, J.M. (1993) Culture studies on two morphological types of *Caulerpa* (Chlorophyta) from Perth, Western Australia, with a description of a new species. *Botanica Marina* 36: 589-596.

Casu, D., Ceccherelli, G., Palomba, D., Curini-Gelletti, M., Castelli, A. (2005) Effetto immediato della rimozione di *Caulerpa racemosa* sullo zoobenthos dell'infralittorale superficiale roccioso di Porto Torres (Nord Sardegna). In: XV Meeting of the Italian Society of Ecology, pp. 1-3.

Casu, D., Ceccherelli, G., Sechi, N., Rumolo, P., Sarà, G. (2009) *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* as a potential source of organic matter for benthic consumers: evidences from a stable isotope analysis. *Aquatic Ecology* 43: 1023-1029.

Cavas, L., Yurdakoc, K. (2005) A comparative study: Assessment of the antioxidant system in the invasive green alga *Caulerpa racemosa* and some macrophytes from the Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 321: 35-41.

Cavas, L., Yurdakoc, K., Yokes, B. (2005) Antioxidant status of *Lobiger serradifalci* and *Oxynoe olivacea* (Opisthobranchia, Mollusca). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 314 (2): 227-235.

Cebrian, E., Ballesteros, E., Linares, C., Tomas, F. (2011) Do native herbivores provide resistance to Mediterranean marine bioinvasions? A seaweed example. *Biological Invasions* 13: 1397-1408.

Ceccherelli, G., Campo, D. (2002) Different effects of *Caulerpa racemosa* on two co-occurring seagrasses in the Mediterranean. *Botanica Marina* 45: 71-76.

Ceccherelli, G., Cinelli, F. (1999) Effects of *Posidonia oceanica* canopy on *Caulerpa taxifolia* size in a north-western Mediterranean bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 240: 19-36.

Ceccherelli, G., Piazzini, L., (1999). The effect of *Posidonia oceanica* orientation of patch margin and density of shoots on the introduced alga *Caulerpa racemosa*. *Biologia Marina Mediterranea* 6 (1): 365-367.

Ceccherelli, G., Piazzini, L., Balata, D. (2002) Spread of introduced *Caulerpa* species in macroalgal habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 280: 1-11.

Ceccherelli, G., Piazzini, L., Cinelli, F. (2000) Response of the non-indigenous *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh to the native seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: effect of density of shoots and orientation of edges of meadows. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 243: 227-240.

Cevik, C., Cavas, L., Mavruk, S., Derici, O.B., Cevik, F. (2012) Macrobenthic assemblages of newly introduced *Caulerpa taxifolia* from the Eastern Mediterranean coast of Turkey. *Biol Invasions* 14: 499-501.

Cinelli F., Lavelli L., (1994). Cartografia della prateria a *Caulerpa taxifolia* in località Marina di Campo (Isola d'Elba). In: Boudouresque C-F, Meinesz A, Gravez V (eds) First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Nice, 17-18 January 1994, pp 139-145, GIS Posidonie, Marseille.

Costello M.J., Coll M., Danovaro R., Halpin P., Ojaveer H., Miloslavich P., (2010). A census of marine biodiversity knowledge, resources and future challenges. *PLoS ONE*, 5(8): e12110.

De Villèle, X., Verlaque, M. (1995) Changes and Degradation in a *Posidonia oceanica* Bed Invaded by the Introduced Tropical Alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina* 38: 79-87.

Deudero S., Box A., Alòs J., Arroyo N.L., Marbà N., (2011). Functional changes due to invasive species: food web shifts at shallow *Posidonia oceanica* seagrass beds colonized by the alien macroalga *Caulerpa racemosa*. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 93: 106-116.

Di Martino V., (2001). Vegetali marini tropicali in Calabria e Sicilia. Distribuzione ed ecologia. Fourth Int. Workshop on *Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie: 395-402.

Di Martino V., Giaccone G., (1996). Biodiversità in associazioni dipendenti di epibionti vegetali in prati a Caulerpe nel Mediterraneo. *Biol. Mar. Medit.* 3 (1): 32-39.

Di Martino V., Stancanelli B., (1998). Isola di capo passero. Il mare. Ed. Ente Fauna Siciliana. *Ecopachynus* 2 : 1-63.

Djellouli, A., Langar, H., El Abed, A. (2006) Mollusques Ascoglosses associées aux peuplements de *Caulerpa racemosa* en Tunisie: espèces observées et description des effets trophiques. In: United Nations Environment Programme (Ed.), Proceedings of the Second Mediterranean Symposium on Marine Vegetation. Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, Tunisia, pp. 88-92.

Dumay O., Costa J., Desjobert J.M., Pergent G. (2004) Variations in the concentration of phenolic compounds in the seagrass *Posidonia oceanica* under conditions of competition. *Phytochemistry* 65: 3211-2220.

- Dumay, O., Fernandez, C., Pergent, G. (2002) Primary production and vegetative cycle in *Posidonia oceanica* when in competition with the green algae *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 82 (3): 379-387.
- Fradà Orestano C., Calvo S., (1995). Diffusione dell'alga tropicale *Caulerpa taxifolia* nelle acque dello strato di Messina. *Biol. Mar. Medit.* 2(2): 645-647.
- Fradà Orestano C., Calvo S., Ferrerri B.M., (1994). First record of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in Southwestern Mediterranean. *Giornale Botanico Italiano* 128: 813-815.
- Francour, P., Harmelin-Vivien, M., Harmelin, J.-G., Duclerc, J. (1995) Impact of *Caulerpa taxifolia* colonization on the littoral ichthyofauna of north-western Mediterranean: preliminary results. *Hydrobiologia* 300-301: 345-353.
- Francour, P., Pellissier, V., Mangialajo, L., Buisson, E., Stadelmann, B., Veillard, N., Meinesz, A., Thibaut, T., De Vaugelas, J. (2009) Changes in invertebrate assemblages of *Posidonia oceanica* beds following *Caulerpa taxifolia* invasion. *Vie et milieu - life and environment* 59 (1): 31-38.
- Galil, B.S. (2007) Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 55: 314-322.
- Gelin A., Arrigoni S., Francour P., Harmelin J. G., Harmelin-Vivien M., (1998). Réponse des populations de certains poissons Serranidae et Labridae à la colonisation des fonds par *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, pp. 197-208. Ed. by C. F. Boudouresque, V. Gravez, A. Meinesz, F. Palluy. GIS Posidonie publication, France.
- Giaccone, G., Di Martino, V. (1995) Le Caulerpe in Mediterraneo: un ritorno del vecchio bacino Tetide verso il dominio Indo-Pacífico. *Biologia Marina Mediterranea* 2 (2): 607-612.
- Giacobbe, S., Guiglielmo, R., Germano, R. (2004) Soft bottom communities associated to *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Straits of Messina. *Biologia Marina Mediterranea* 11 (2) suppl.: 436-439.
- Gianguzza P., Zava B., Bonaviri C., Monteverde G., Palmeri A., Riggio S., (2006). First record of *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Ulvophyceae) in the western Sicilian waters (Italy). (Prima segnalazione di *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Ulvophyceae) per le acque della Sicilia Occidentale.). *Biol. Mar. Medit.* 13(1): 591-592.
- Gianguzza, P., Airoidi, L., Chemello, R., Todd, C.D., Riggio, S. (2002) Feeding preferences of *Oxynoe olivacea* (Opisthobranchia: Sacoglossa) among three *Caulerpa* species. *Journal of Molluscan Studies* 68: 289-290.
- Gianguzza, P., Bonaviri, C., Jensen, K., Riggio, S. (2001) Ecological relationships between the sacoglossan opisthobranch *Oxynoe olivacea* and the siphonlean alga *Caulerpa racemosa*. *Biologia Marina Mediterranea* 8 (1): 605-608.
- Glasby, T.M., Gibson, P.T., Kay, S. (2005) Tolerance of the invasive marine alga *Caulerpa taxifolia* to burial by sediment. *Aquatic Botany* 82: 71-81.
- Gribben P.E., Wright J.T., O'Connor W.A., Doblin M.A., Eyre B., Steinberg P.E., (2009). Reduced performance of native infauna following recruitment to a habitat forming invasive marine alga. *Oecologia* 158: 733-745.
- Guiry, M.D. (2012). *Caulerpa* J.V. Lamouroux, 1809. In: Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2012). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=143816> on 2012-06-21
- Harmelin-Vivien M., Francour P., Harmelin J.G., Le Direac'h L., (2001). Dynamics of fish assemblage alterations caused by the introduced alga *Caulerpa taxifolia* near Menton (France). in Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Gravez V, Ruitton S, Boudouresque CF, Le Direac'h L, Meinesz A, Scabbia G, Verlaque M eds, Marseille, GIS Posidonie: 236-245.
- Harmelin-Vivien M., Harmelin J. G., Francour P., (1996). A 3-year study of littoral fish fauna of sites colonized by *Caulerpa taxifolia* in the N.W. Mediterranean (Menton, France). Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, pp. 391-397. Ed. by M. A. Ribera, E. Ballesteros, C. F. Boudouresque, A. Meinesz, A. Gomez, V. Gravez. Publicacions Universidad, Barcelona.
- Harmelin-Vivien, M., Francour, P., Harmelin, J.-G. (1999) Impact of *Caulerpa taxifolia* on Mediterranean fish assemblages: a six year study. In: Proceedings of the Workshop on Invasive *Caulerpa* in the Mediterranean, Athens: UNEP; MAP Tech. Rep. Ser. 125: 127-138.
- Hendriks, I.E., Bouma, T.J., Morris, E.P., Duarte, C.M. (2010) Effects of seagrasses and algae of the *Caulerpa* family on hydrodynamics and particle-trapping rates. *Marine Biology* 157: 473-481.
- ISPE, (2008). Monitoraggio dei popolamenti ittici presenti nei caulerpeti alloctoni siciliani. ISPE ed., Palermo.
- Jongma D. N., Campo D., Dattolo E., D'Esposito D., Duchi A., Grewe P., Huisman J., Verlaque M., Yokes M.B., Procaccini G., (2012). Identity and origin of a slender *Caulerpa taxifolia* strain introduced into the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, DOI 10.1515/bot-2012-0175.
- Kiparissis, S., Fakiris, E., Papatheodorou, G., Geraga, M., Kornaros, M., Kapareliotis, A., Ferentinos, G. (2011) Illegal trawling and induced invasive algal spread as collaborative factors in a *Posidonia oceanica* meadow degradation. *Biological Invasions* 13 (3): 669-678
- Klein, J.C., Verlaque, M. (2008) The *Caulerpa racemosa* invasion: A critical review. *Marine Pollution Bulletin* 56: 205-225.
- Klein, J.C., Verlaque, M. (2011) Experimental removal of the invasive *Caulerpa racemosa* triggers partial assemblage recovery. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91: 117-125.
- Klein, J.C., Verlaque, M. (2009) Macrophyte assemblage associated with an invasive species exhibiting temporal variability in its development pattern. *Hydrobiologia* 636 (1): 369-378.
- Kružić, P., Žuljević, A., Nikolić, V. (2008) The highly invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* poses a new threat to the banks of the coral *Cladocora caespitosa* in the Adriatic Sea. *Coral Reefs* 27 (2): 441.
- Lemee, R., Boudouresque, C-F., Gobert, J., Malestroit, P., Mari, X., Meinesz, A., Menager, V., Ruitton, S. (1996) Feeding behaviour of *Paracentrotus lividus* in the presence of *Caulerpa taxifolia* introduced in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 19: 245-253.
- Lemee, R., Pesando, D., Durand-Clement, M., Dubreuil, A. (1993) Preliminary survey of toxicity of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Journal of Applied Phycology* 5: 485-493.
- Levi, F., Francour, P. (2004) Behavioural response of *Mullus surmuletus* to habitat modification by the invasive macroalga *Caulerpa taxifolia*. *Journal of Fish Biology* 64: 55-64.

- Longepierre, S., Robert, A., Levi, F., Francour, P. (2005) How an invasive alga species (*Caulerpa taxifolia*) induces changes in foraging strategies of the benthivorous fish *Mullus surmuletus* in coastal Mediterranean ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 14: 365-376.
- Magri M., Piazzì L., Serena F., (2001). La présence de *Caulerpa racemosa* le long des côtes septentrionales de la Toscane et les conséquences possibles sur l'activité de pêche. In: Gravez, V., Ruitton, S., Boudouresque, C.F., Le Direach, L., Meinesz, A., Scabbia, G., Verlaque, M. (Eds.), Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie Publisher, Marseille, France, pp. 338-344
- Mannino A.M., Mancuso F.P., Toccaceli M., (2008). Nuove segnalazioni di *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in aree protette della Sicilia nord-occidentale. VI Convegno Nazionale per le Scienze del Mare (Lecce, 4-8 novembre 2008).
- Meinesz A., Belsher T., Thibaut T., Antolic B., Mustapha K.B., Boudouresque C.F., Chiaverini D., Cinelli F., Cottalorda J.M., Djellouli A.S., El Abed A., Orestano C., Grau A.M., Ivesa L., Vaugelas I., Zavodnik N., Zuljevic A., (2001). The introduced green alga *Caulerpa taxifolia* continues to spread in Mediterranean. *Biol. Invasions* 3: 201-210.
- Meinesz A., Hesse B., (1991). Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologia Acta*, 14: 415-426
- Meinesz, A., Boudouresque, C.F. (1996) On the origin of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Comptes rendus de l'Académie des sciences série III-sciences de la vie-life sciences* 319 (7): 603-613.
- Meinesz, A., Hesse, B. (1991) Introduction of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* and its invasion of the northwestern Mediterranean. *Oceanologica Acta* 14(4): 415-426.
- Merello, S., Moreno, M., Fabiano, M., Relini, G. (2005) Macro and meiofauna of sediment colonized by *Caulerpa taxifolia* in the Ligurian sea. *Biologia Marina mediterranea* 12 (1) Suppl.: 291-294.
- Meyer, U., Meinesz, A., de Vaugelas, J. (1998) Invasion of the accidentally introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean sea. In: Starfinger, U., K. Edwards, I. Kowarik, and M. Williamson, editors. (eds.). *Plant Invasions: Ecological Mechanisms and Human Responses* Backhuys Publishers. Leiden, pp. 225-234.
- Morucci C., Sandulli R., Tripaldi G., Cinelli F., Ceccherelli G., Austoni M., Lavelli L., (1996). Latest data on the spread of *Caulerpa taxifolia* along the western Ligurian coasts. In: Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gómez A., Gravez V. (eds) Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Barcelona, 15-17 December 1994, pp 75-80. Universitat Barcelona, Barcelona.
- Musco L., Andaloro F., Mikac B., Mirto S., Vega Fernandez T., Badalamenti F., (2014). Concern about the spread of the invader seaweed *Caulerpa taxifolia* var. *distichophylla* (Chlorophyta: Caulerpales) towards the West Mediterranean. *Medit. Mar. Sci.* in press.
- Nizamuddin M., (1991). The green marine algae of Libya. Bern. 227 pp. Ould-Ahmed N., Meinesz A. (2007) - First record of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) on the coast of Algeria. *Cryptogamie, Algologie*, 28: 303-305.
- Pacciardi, L., De Biasi, A.M., and Piazzì, L. (2011) Effects of *Caulerpa racemosa* invasion on soft-bottom assemblages in the Western Mediterranean Sea. *Biological Invasions* 13f (12): 2677-2690.
- Pergent, G., Boudouresque, C.-F., Dumay, O., Pergent-Martini, C., Wyllie-Echeverria, S. (2008) Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia* and the seagrass *Posidonia oceanica*: contrasting strategies. *BMC Ecology* 8: 20.
- Piazzì L., Balata D., (2008). The spread of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the Mediterranean Sea: an example of how biological invasions can influence beta diversity. *Marine Environmental Research* 65, 50-61.
- Piazzì L., Balata D., (2009). Invasion of alien macroalgae in different Mediterranean habitats. *Biological Invasions* 11, 193-204.
- Piazzì L., Ceccherelli G., Cinelli F., (2001). Expansion de *Caulerpa taxifolia* et de *Caulerpa racemosa* le long des côtes Toscane (Italie), situation en 1998. In: Gravez V., Boudouresque C.-F., Meinesz A., Scabbia G. (eds) Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Lerici, 1-2 February 1999, pp 71-77. GIS Posidonie, Marseille.
- Piazzì, L., Balata, D. (2008) The spread of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the Mediterranean Sea: An example of how biological invasions can influence beta diversity. *Marine Environmental Research* 65: 50-61
- Piazzì, L., Balata, D., Ceccherelli, G., Cinelli, F. (2005b) Interactive effect of sedimentation and *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* invasion on macroalgal assemblages in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64: 467-474.
- Piazzì, L., Balata, D., Cinelli, F. (2007) Invasions of alien macroalgae in Mediterranean coralligenous assemblages. *Cryptogamie, Algologie* 28 (3): 289-301.
- Piazzì, L., Balestri, E., Magri, M., Cinelli, F. (1997) Expansion de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (Bryopsidophyceae, Chlorophyta) le long de la cote toscane (Italie). *Cryptogamie Algologie* 18: 343-350.
- Piazzì, L., Ceccherelli, G. (2006) Persistence of biological invasion effects: Recovery of macroalgal assemblages after removal of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: 455-461.
- Piazzì, L., Ceccherelli, G., Cinelli, F. (2001) Threat to macroalgal diversity: effects of the introduced green alga *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 210: 149-159.
- Piazzì, L., Meinesz, A., Verlaque, M., Akcali, B., Antolić, B., Argyrou, M., Balata, D., Ballesteros, E., Calvo, S., Cinelli, F., Cirik, S., Cossu, A., D'Archino, F., Djellouli, A.S., Javel, F., Lanfranco, E., Mifsud, C., Pala, D., Panayotidis, P., Peirano, A., Pergent, G., Petrocelli, A., Ruitton, S., Žuljević, A., Ceccherelli, G. (2005a) Invasion of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: an assessment of the spread. *Cryptogamie Algologie* 26 (2): 189-202.
- Potoschi A., Battaglia P., Potoschi A.Jr, Rossi G., (2004). Rendimenti di pesca con reti "tramaglio" e "baldassone" su fondali invasi da *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh lungo le coste siciliane dello stretto di Messina. *Biologia Marina Mediterranea* 11: 607-611.
- Raniello, R., Mollo, E., Lorenti, M., Gavagnin, M., Buia, M.C. (2007) Phytotoxic activity of caulerpenyne from the mediterranean invasive variety of *Caulerpa racemosa*: a potential allelochemical. *Biological Invasions* 9: 361-368.
- Relini G., Torchia G., (1992). Prima segnalazione di *Caulerpa taxifolia* in acque italiane. *Doriana*, 6: 1-4.
- Relini, G., Relini, M., Torchia, G. (2000) The role of fishing gear in the spreading of

allochthonous species: the case of *Caulerpa taxifolia* in the Ligurian Sea. ICES Journal of Marine Science 57: 1421-1427.

Ruitton, S., Verlaque, M., Aubin, G., Boudouresque, C.F. (2006) Grazing on *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea by herbivorous fish and sea urchins. Vie et Milieu 56 (1): 33-41.

Ruiz, J. M., Marín-Guirao, L., Bernardeau-Esteller, J., Ramos-Segura, A., García-Muñoz, R., Sandoval-Gil, J.M. (2011) Spread of the invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) along the Mediterranean Coast of the Murcia region (SE Spain). Animal Biodiversity and Conservation 34 (1): 73-82.

Sant, N., Delgado, O., Rodríguez-Prieto, C., Ballesteros, E. (1996) The Spreading of the Introduced Seaweed *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Mediterranean Sea: Testing the Boat Transportation Hypothesis. Botanica Marina 39 (1-6): 427-430.

Santini-Bellan, D., Arnaud, P.M., Bellan, G., Verlaque, M. (1996) The influence of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 76: 235-237.

Terlizzi, A., Felling, S., Lionetto, M.G., Caricato, R., Perfetti, V., Cutignano, A., Mollo, E. (2011) Detrimental physiological effects of the invasive alga *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh on the Mediterranean white seabream (*Diplodus sargus*). Aquatic Biology 12: 109-117.

Thibaut, T., Meinesz, A. (2000) Are the Mediterranean ascoglossan molluscs *Oxynoe olivacea* and *Lobiger serradifalci* suitable agents for a biological control against the invading tropical alga *Caulerpa taxifolia*? Life Sciences 323: 477-488.

Tomas, F., Cebrian, E., Ballesteros, E. (2011) Differential herbivory of invasive algae by native fish: temporal and spatial variability. Estuarine coast and Shelf Science 92: 27-34

Torchia G., Palandri G., Cima C., Relini M., Relini G., 2001. A map of *Caulerpa taxifolia* around Imperia (Italy). In: Gravez V., Boudouresque C.-F., Meinesz A., Scabbia G. (eds) Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Lerici, 1-2 February 1999, 66-70. GIS Posidonie, Marseille.

Tsirika, A., Haritonidis, S. (2005) A survey of the benthic flora in the National Park of Zakynthos (Greece). Botanica Marina 48: 38-45.

Uchimura, M. (1999) *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean sea. Japanese Journal of Phycology 47: 187-203.

Ulaş A., Ozan Düzbastılar F., Aydın C., Lök A., Metin C., 2011. Determining density of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh and its effects on catch compositions of fishing gears. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 11: 385-391.

Vazquez-Luis M., Guerra-Garcia J.M., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J.T., (2009a). Caprellid assemblages (Crustacea: amphipoda) in shallow waters invaded by *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* from southeastern Spain. Helgoland Marine Research 63, 107e117.

Vazquez-Luis M., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J.T., (2009b). Comparison between amphipod assemblages associated with *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* and those of other Mediterranean habitats on soft substrate. Estuarine Coastal and Shelf Science 84, 161-170

Vazquez-Luis, M., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J.T. (2008) Changes in amphipod (Crustacea) assemblages associated with shallow-water algal habitats invaded by *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* in the western Mediterranean Sea. Marine Environmental Research 65: 416-426.

Verlaque, M., Afonso-Carrillo, J., Gil-Rodriguez, M.C., Durand, C., Boudouresque, C.F., Le Parco, Y. (2004) Blitzkrieg in a marine invasion: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (north-east Atlantic). Biological Invasions 6: 269-281.

Verlaque, M., Durand, C., Huisman, J.M., Boudouresque, C.F., Le Parco, Y., (2003). On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). European Journal of Phycology 38: 325-339.

Verlaque, M., Fritayre, P., (1994) Mediterranean algal communities are changing in the face of the invasive alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C Agardh. Oceanologica acta 17 (6): 659-672.

Walters, L. (2009) Ecology and management of the invasive marine macroalga *Caulerpa taxifolia*. Management of Invasive Weeds. Book series: Invading Nature-Springer Series in Invasion Ecology 5: 287-318.

West, E.J., Barnes, P.B., Wright, J.T., Davis, A.R. (2007) Anchors aweigh: Fragment generation of invasive *Caulerpa taxifolia* by boat anchors and its resistance to desiccation. Aquatic Botany 87: 196-202.

West, E.J., Davis, A.R., Barnes, P.B., Wright, J.T. (2009) The role of recreational activities in creating fragments of invasive *Caulerpa taxifolia*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 376: 17-25.

Womersley, H.B.S. (1984) The Marine Benthic Flora of Southern Australia Part I. Adelaide, S.A. Government Printer. pp. 329.

Wright, J.T. (2005) Differences between native and invasive *Caulerpa taxifolia*: a link between asexual fragmentation and abundance in invasive populations. Marine Biology 147: 559-569.

Yokes, B., Rudman, W.B. (2004) Lessepsian opisthobranchs from southwestern coast of Turkey; five new records for Mediterranean. Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee 37: 557.

Zenetos A., (2010). Trend in alien species in the Mediterranean. An answer to Galil 2009 "Talking stock: inventory of alien species in Mediterranean Sea". *Biological Invasion*, 12: 3379-3381.

Zenetos, A., Gofas, S., Verlaque, M., Cinar, M.E., Garcia Raso, E., Bianchi, C.N., Morri, C., Azzurro, E., Bilecenoglu, M., Frogli, C., Siokou, I., Violanti, D., Sfriso, A., San Martin, G., Giangrande, A., Katagan, T., Ballesteros, E., Ramos Espla, A., Mastrototaro, F., Ocana, O., Zingone, A., Gambi, M.C., Streftaris, N. (2010) Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science* 11: 381-493.

Žuljević A, Nikolić V, Despalatović M, Antolić B. (2008) Experimental in situ feeding of the sea urchin *Paracentrotus lividus* with invasive algae *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* and *Caulerpa taxifolia* in the Adriatic Sea. *Fresenius Environmental Bulletin*: 17 (12A): 2098-2102.

Žuljević, A., Antolić, B., Despalatović, M., Onofri, V. (2004) The spread of the invasive variety of *Caulerpa racemosa* in the Adriatic Sea. *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee* 37: 466.

Žuljević, A., Antolić, B., Onofri, V. (2003) First record of *Caulerpa racemosa* (Caulerpales: Chlorophyta) in the Adriatic Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 83: 711-712.

Žuljević, A., Thibaut, T., Despalatović, M., Cottalorda, J.-M., Cvitković, I., Antolić, B., Nikolić, V. (2011) Invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* makes a strong impact on the Mediterranean sponge *Sarcotragus spinosulus*. *Biological Invasions* 13: 2303-2308.

PROGETTO:

“Indagini ambientali su fenomeni di diffusione di *Caulerpa taxifolia* e *Caulerpa Racemosa* lungo le coste siciliane: valutazione della diffusione e dell'evoluzione spazio-temporale del fenomeno e caratterizzazione eco-tossicologica delle aree di pesca”.

COORDINAMENTO DELLE ATTIVITÀ PROGETTUALI ED ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ SCIENTIFICHE, AMMINISTRATIVE E DI COMUNICAZIONE:

ARPA Sicilia: Struttura Territoriale di Ragusa - ST3 Area Mare - SA3 Econimato e Provveditorato - SG2 Formazione, Informazione, Comunicazione

PARTENARIATO ISTITUZIONALE A LIVELLO REGIONALE:

Assessorato Regionale dell'Agricoltura, dello Sviluppo Rurale e della Pesca Mediterranea
Dipartimento Regionale della Pesca Mediterranea

ATTIVITÀ DI RICERCHE E STUDI IN CONVENZIONE CON:

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA
Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR
Istituto per l'Ambiente Marino-Costiero - IAMC

SUPPORTO INDAGINI DI CAMPO:

Capitanerie del Comparto Marittimo di Catania e Palermo
Protezione Civile del Comune di Ragusa

PARTENARIATO SOCIALE A LIVELLO REGIONALE:

Associazioni datoriali della Pesca AGCI Sicilia, UNCI Sicilia, Federpesca Ricerca&Sviluppo, Confcooperative Sicilia, ANAPI, Legacoop PescaSicilia, UNICOOP Sicilia

PROGETTO GRAFICO, EDITING, STAMPA:

Gruppo Moccia S.p.A.

Febbraio 2015



REGIONE SICILIANA
Assessorato regionale dell'Agricoltura,
dello sviluppo rurale e della pesca mediterranea
Dipartimento della pesca mediterranea
Assessorato Territorio e Ambiente
Dipartimento Ambiente



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Consiglio Nazionale
delle Ricerche

ARPA SICILIA
AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE



WWW.CAULERPASICILIA.IT