



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA, DELL'AMBIENTE E DELLA VITA
CORSO DI LAUREA IN BIOLOGIA ED ECOLOGIA MARINA

BIOCOSTRUZIONI A CORALLI BIANCHI DELLA LIGURIA: DISTRIBUZIONE, BIOCENOSI E VULNERABILITÀ

Relatori:

Prof.ssa Marzia Bo

Dott. Francesco Enrichetti

Correlatore:

Prof. Giorgio Bavestrello

Candidato:
Sebastiano Rosso

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

INTRODUZIONE

BIOCENOSI PROFONDE DEL MEDITERRANEO

STRUTTURA ED ECOLOGIA DELLE BIOCOSTRUZIONI A CORALLI
BIANCHI

STORIA BIOGEOLOGICA DEI REEF A CORALLI BIANCHI

DISTRIBUZIONE MEDITERRANEA DELLE PROVINCE

CONOSCENZE IN MAR LIGURE

OBIETTIVI

MATERIALI E METODI

CAMPAGNE ROV DI RACCOLTA DATI

ANALISI DI IMMAGINE

PARAMETRI CONSIDERATI

RISULTATI

MAPPATURA DELLE BIOCOSTRUZIONI

CARATTERIZZAZIONE BIOCENOTICA DEI SITI

STRUTTURA DI POPOLAZIONE E STATO DI SALUTE

DISCUSSIONE

BIBLIOGRAFIA

INTRODUZIONE

BIOCENOSI PROFONDE DEL MEDITERRANEO

Gli ecosistemi marini profondi rappresentano l'ambiente acquatico più vasto della Terra e comprendono i fondali e la colonna d'acqua situati a batimetrie maggiori dei 200 m, dalla piattaforma continentale alle fosse oceaniche (Danovaro et al., 2013).

Gli ambienti profondi sono posti in larga parte al di sotto del termoclino permanente; hanno quindi proprietà chimico-fisiche (salinità, temperatura etc.) caratterizzate generalmente da una variabilità piuttosto ristretta. In particolare, le temperature raggiungono un valore minimo di 2-4 °C. La temperatura, determinando variazioni di densità e di viscosità dell'acqua, può influenzare le correnti e i moti del mare ed ha grande influenza sulla vita degli organismi marini. Il valore della densità è compreso tra i 1,008 e 1,030 g/cmc, mentre la salinità si mantiene costante intorno a 35/36 per mille (Brooke et al., 2013).

Un punto di vista comunemente condiviso è che l'intera biocenosi profonda del Mediterraneo ha subito un completo rimodellamento tra il termine del Miocene e l'inizio del Pliocene a seguito della "Crisi di salinità messiniana". L'inizio della crisi di salinità è posto sulla base di dati biostratigrafici e geocronologici a circa $5,96 \pm 0,02$ milioni di anni fa, ed ebbe luogo contemporaneamente in tutto il bacino del Mediterraneo. Quest'ultimo rimase completamente isolato rispetto all'Oceano Atlantico a causa della chiusura dello stretto di Gibilterra (Chimienti et al., 2019).

Il Mediterraneo è un bacino semi-chiuso da un punto di vista idrologico in quanto comunica solo limitatamente con l'Oceano Atlantico e (tramite opere antropiche) con gli altri bacini adiacenti (Mar Rosso). La sua caratteristica distintiva principale, di particolare interesse in questo contesto, riguarda il profilo termico; la temperatura, infatti, anche alle massime profondità non scende al di sotto di circa 13°C ed è definito quindi bacino omeotermo. Tali valori di temperatura derivano dal fatto che la sella dello Stretto di Gibilterra, poco profonda (situata a circa 300 m di profondità), limita l'entrata di acque fredde più profonde e di larve abissali riducendo quindi la diversità della fauna batiale mediterranea (Danovaro et al., 2013).

La conoscenza dei popolamenti profondi è tuttavia relativamente scarsa e, ad oggi, una porzione estremamente limitata di tali popolamenti è stata oggetto di studio.

Il bentos Mediterraneo viene tradizionalmente diviso in due sistemi (fitale ed afitale) sulla base della presenza della componente vegetale in grado di compiere fotosintesi (Peres & Picard, 1964). Ciascun sistema comprende determinati piani, ognuno dei quali caratterizzato da condizioni chimico-fisiche omogenee e da condizioni ecologiche costanti o variabili regolarmente entro i limiti del piano stesso. Ogni piano a volte è suddiviso in orizzonti, per evidenziare variazioni locali entro il piano stesso (Fig. 1).

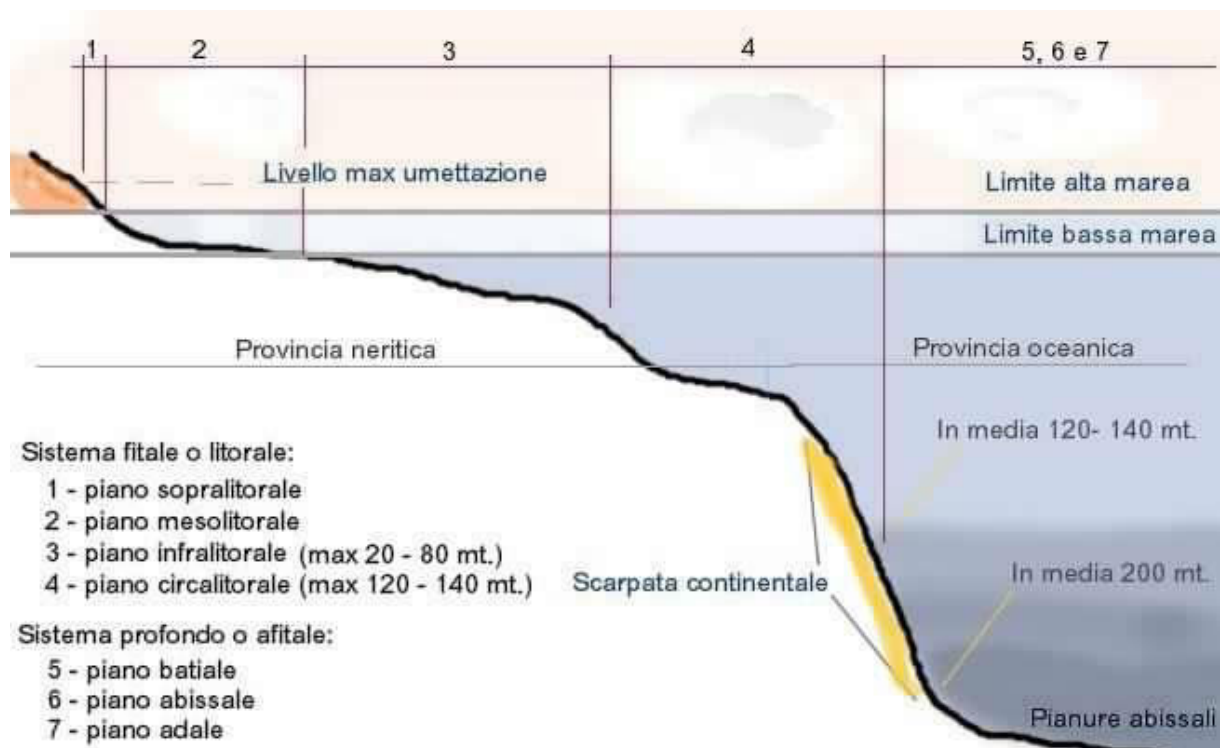


Fig. 1: rappresentazione del modello Peres & Picard, 1964 sulla zonazione del Mediterraneo.

I primi quattro piani costituiscono il sistema fitale o litorale (8% dei fondali marini), ovvero quel sistema caratterizzato dalla presenza della vegetazione e sono, nell'ordine:

- Piano sopralitorale: si tratta di quella zona raggiunta solo occasionalmente dagli spruzzi del moto ondoso e comprende organismi che esigono, o sono in grado di

sopportare, una emersione continuativa. L'estensione di tale piano dipende dalla morfologia delle coste che influenza le caratteristiche del moto ondoso: più alte sono le onde, più arretrato sarà tale piano. Verticalmente tale piano si estende anche per 3 o 4 metri (nel caso in cui la costa sia rappresentata da pareti rocciose verticali), mentre se la costa è pianeggiante, allora la sua estensione può ridursi anche a poche decine di centimetri. Gli organismi che popolano tale piano necessitano comunque di un forte tasso di umidità. Sono presenti alcuni crostacei isopodi come *Ligia italica*, detritivoro un tempo molto diffuso tra le fessure delle rocce (Relini et. al., 1986). Sulle pareti rocciose troviamo alghe microscopiche come cianobatteri, alghe verdi e diatomee. Alcuni cianobatteri sono endolitici e contribuiscono ad accelerare i processi di disgregazione delle rocce. Presenti numerosi ciliati, rotiferi, crostacei copepodi (*Harpacticus fulvus*), coleotteri e le larve di *Aedes mariaae* (Culicidi), che sopportano una salinità che supera il 110 per mille. Valori così elevati di salinità si raggiungono nelle pozze di marea, a causa dell'evaporazione dell'acqua, creando così mini-ecosistemi con condizioni per la vita degli organismi davvero particolari e soprattutto estremamente difficili (alto tasso di salinità, alte temperature). Le pozze di marea appartengono quindi al piano sopralitorale.

- Piano mediolitorale o mesolitorale: è la zona intertidale, compresa cioè tra il limite superiore e inferiore delle maree. Tale piano può essere più o meno esteso e questo dipende dall'escursioni delle maree stesse. Gli organismi che lo popolano tollerano emersioni ed immersioni periodiche, mentre non sono in grado di tollerare emersioni o immersioni continuative. Nel Mediterraneo tale piano è poco esteso con l'eccezione dell'alto Adriatico e del Golfo di Gabes in Tunisia. L'orizzonte superiore, simile alla spray zone del piano superiore o sopralitorale, si caratterizza per la presenza di cirripedi come *Chthamalus stellatus* e *C. montagui*, soprattutto nelle zone maggiormente esposte all'azione degli spruzzi, mentre quelle più calme ospitano patelle (*Patella rustica* e *P. ferruginea*) e alghe calcifughe come la rodofita *Rissoella verruculosa* (Relini et. al., 1986). Se le rocce sono calcaree la specie è sostituita da *Ralfsia verrucosa*. In condizioni di idrodinamismo favorevole, la specie dominante di questo piano,

almeno in alcune zone, risulta essere il mitilo o cozza *Mytilus galloprovincialis*, associata spesso all'alga verde *Ulva*.

- Piano infralitorale: va dal limite inferiore delle basse maree fino al limite compatibile con la formazione delle fanerogame, o più in generale, al limite compatibile con la formazione di alghe fotofile. La variabilità dell'estensione di questo piano è tale che nei mari del Nord si aggira fino 15-20 m, 40-50 m per il Mediterraneo e fino 70-80 m. per i mari tropicali. Il fattore che influenza l'estensione di tale piano è la trasparenza delle acque che incide sulla capacità della luce di raggiungere determinate profondità. Piani infralitorali molto estesi si hanno in alcune zone della Sardegna, dove la trasparenza delle acque permette alle alghe fotofile di crescere sin quasi a 50 metri, mentre in prossimità del delta del Po tale profondità è inferiore ai 10 metri. Lo sviluppo delle biocenosi del piano infralitorale dipende dal tipo di fondale e dall'idrodinamismo. Su fondi duri dominano le alghe del genere *Cystoseria*, al di sotto delle quali si possono trovare rodoficee come *Ceramium rubrum* e *Jania rubens* (Relini et. al., 1986). La componente animale è ben rappresentata da briozoi, cirripedi, vermetidi e idrozoi. La copertura da parte delle alghe del genere *Cystoseira* varia stagionalmente e si ha un picco primaverile seguito da un declino estivo. Se il fondale è interessato da tassi di sedimentazione elevati, si sviluppano altre specie del genere *Cystoseira*, feoficee come *Padina pavonica* attorno alle quali pascolano molluschi, policheti crostacei ed echinodermi. Se il fondale è mobile, le biocenosi che si sviluppano dipendono dalla granulometria del sedimento. Nel medio Adriatico tale zona appare spesso come un deserto (biocenosi delle sabbie fini), anche se è ricca di molluschi come vongole, cannolicchi, telline, crostacei, policheti ecc... Le specie di bivalvi che vivono associati a questa biocenosi, comprendono *Chamelea gallina*, *Tapes aurea*, *Donax semistriatus*, *Spisula subtruncata*, *Corbula gibba* e *Macra glauca*; tra i gasteropodi vi sono *Ciclonassa neritea*, *Hinia reticulata*, *Acteon tornatilis* e *Nassa mutabilis*; tra i crostacei *Diogenes pugilator* e *Liocarcinus vernalis*; tra gli anellidi *Owenia fusiformis* (G. Relini et. al., 1986).

- Piano circalitorale: si estende dal limite inferiore del piano precedente fino ai limiti compatibili con la vita vegetale delle alghe sciafile. In alcuni casi il limite inferiore di tale piano può arrivare fino a 120-140 m. Coincide quasi con il limite della scarpata continentale. Le grandi alghe verdi sono sostituite dalle alghe rosse, di piccole dimensioni e perlopiù calcaree (Relini et. al., 1986). Esse necessitano di un substrato di impianto (rocce, ghiaia), di scarso idrodinamismo e di pochissima luce. Le alghe rosse calcaree edificano i cosiddetti coralligeni e, durante la stagione estiva, quando la luce raggiunge determinate profondità, si impiantano anche alghe verdi come *Halimeda tuna* e l'alga *Flabellia petiolata*. Il coralligeno indica una biocenosi a dominanza di alghe a tallo calcareo. In Mediterraneo, lungo le pareti a forte pendenza dislocate a profondità relativamente basse, che ricevono poca luce e non risentono del moto ondoso superficiale, possono esservi alcune specie che si trovano anche nel piano circalitorale. Un tempo era facile osservare in queste zone il famoso corallo rosso *Corallium rubrum*, *Parazoanthus axinellae* e moltissime specie di gorgonie, spugne e briozoi, tra questi: *Eunicella cavolini*, *Leptogorgia sarmentosa*, *Paramuricea clavata* per le gorgonie; *Tethya aurantium*, *Axinella cannabina* per le spugne; *Myriapora truncata*, *Pentapora foliacea* per i briozoi. Su pareti verticali queste biocenosi, pur essendo simili a quelle di profondità, non raggiungono spessori considerevoli, solo qualche centimetro; quindi, non è corretto parlare di coralligeno; le stesse biocenosi possiamo osservarle anche in grotta, poiché manca la luce e non risentono del moto ondoso. Oltre il coralligeno delle zone profonde, che ospita una fauna comunque ricca e diversificata, abbiamo i fondali fangosi che ospitano molte specie di echinodermi, crostacei come scampi e molti altri organismi bentonici che vivono infossati (bivalvi, scafopodi, policheti, ecc). Se il fondale è roccioso, si hanno invece le grandi biocenosi madreporiche, prive di alghe simbiotiche a causa della scarsità di luce (Relini et. al., 1986).

- I restanti piani (batiale, abissale e adale) costituiscono il sistema profondo o afitale, privo cioè di vegetazione. È caratterizzato però da una vita animale molto ricca; costituiscono quelli che sono definiti ecosistemi profondi. Il piano

batiale è un piano del dominio bentonico che si estende lungo la scarpata continentale a profondità tra i 200 e i 2000 metri. La fotosintesi clorofilliana non può avvenire a intensità luminose così basse; dunque, gli organismi vegetali sono del tutto assenti. Sono comuni pesci ed invertebrati bioluminescenti dotati di fotofori. Le specie ittiche più abbondanti sono i pesci lanterna, i barracuda e le specie del genere *Cyclothone* (Relini et. al., 1986). Il piano abissale è un piano del dominio bentonico che si estende tra i 2000 ed i 6000 metri di profondità. In questa zona vivono i più noti pesci abissali come, ad esempio, il melanoceto ed altre rane pescatrici abissali, l'inghiottitore nero, il pesce tripode o l'anguilla pellicano oltre ad invertebrati altrettanto particolari come il calamaro gigante (Relini et. al., 1986). La zona adale, infine, detta anche zona delle fosse oceaniche, è il dominio pelagico che comprende le più profonde fosse dell'oceano. Si ritiene che quasi tutte le creature che vivono a queste profondità traggano nutrimento dalla neve marina o, nei pressi di sorgenti termali, da varie reazioni chimiche. La mancanza di luce e la tremenda pressione creano condizioni estremamente ostili, a cui solo poche specie si sono adattate. Dato che nessun raggio di luce solare giunge fino a questo strato, le creature abissali hanno vista molto ridotta o, al contrario, occhi molto grandi con cui colgono solamente i bagliori bioluminescenti. Quasi tutti gli animali che vivono sul fondo sono privi di pigmentazione, dato che qualunque colorazione sarebbe inutile in un ambiente senza luce. Tra gli animali più comuni della zona adale vi sono meduse, pesci vipera, vermi tubo, cetrioli di mare (Relini et. al., 1986).

Un punto di svolta nello studio delle comunità bentoniche del circolitorale profondo del Mediterraneo è stato l'utilizzo, su ampia scala, di veicoli filoguidati (ROV). Tramite questo mezzo, è stata ottenuta una notevole quantità di informazioni sulle foreste di coralli profondi, i cui principali componenti sono gorgonie, antipatari e sclerattinie. Molto più scarse invece sono le informazioni ROV riguardanti il megabenthos di fondo molle, di cui i ceriantari sono un importante esponente, poiché sulle vaste piane fangose gli organismi tendono a non aggregarsi e sono più difficili da individuare.

L'ambiente marino profondo è caratterizzato da un'elevata biodiversità; la componente bentonica in particolare è in larga parte dominata da consumatori di sostanza organica depositatasi sul fondo a seguito dei processi che interessano la colonna d'acqua sovrastante (Danovaro et al., 2013). Gli ambienti profondi sono essenzialmente dei sistemi eterotrofi con bilancio energetico negativo e il funzionamento delle comunità presenti è legato soprattutto alla disponibilità di sostanza organica proveniente dagli strati superficiali.

Secondo gli studi effettuati da RAC/SPA (The Regional Activity Centre for Specially Protected Areas), gli habitat oscuri mediterranei rappresentano ecosistemi peculiari da proteggere a causa della loro fragilità e vulnerabilità e in quanto ospitano diversi habitat da conservare secondo la Direttiva Habitat 92/43 (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2015). In questo senso, oltre a costituire nuove aree protette, si è recentemente promossa una campagna di sensibilizzazione verso gli ambienti marini profondi.

Nella zona batiale mediterranea sono molto frequenti le biocostruzioni profonde. Le biocostruzioni sono strutture biogeniche derivate dall'apposizione continua, su ampia scala temporale, di scheletri carbonatici (più raramente silicei) da parte della compagine viva. Le biocostruzioni sono habitat complessi che aumentano il volume, la complessità e l'eterogeneità dell'habitat primario. In Mediterraneo, il più rappresentativo di questi habitat biogenici è quello formato da sclerattinie, in particolare *Madrepora oculata*, *Desmophyllum dianthus* e *Lophelia pertusa*, nonché la meno cospicua *Dendrophyllia cornigera* (Bianchi C.N., 2001). Anche le spugne possono formare importanti habitat biogenici, con dense aggregazioni di individui (es. gli esattinellidi *Tretodictyum reisiwigi* e *Farrea bowerbanki*) (Bianchi C.N., 2001). I bivalvi del genere *Neopycnodonte* comprendono specie longeve, che raggiungono grandi dimensioni e formano dense aggregazioni in numerosi ambienti, dai fondali incoerenti ai terrazzamenti rocciosi verticali (Bianchi C.N., 2001). Infine, molto presenti sono anche serpulidi (in particolare *Serpula vermicularis*) e i brachiopodi (es. *Gryphus vitreus*, *Megerlia truncata*), che possono formare cospicue bioconcrezioni o accumuli anche su rocce batiali, come all'interno o nelle vicinanze di habitat dominati dai coralli d'acqua fredda (CWC) (Bianchi C.N., 2001).

STRUTTURA ED ECOLOGIA DELLE BIOCOSTRUZIONI A CORALLI BIANCHI

I coralli bianchi o coralli profondi (in inglese *Cold Water Corals* o CWC) sono specie pressoché ubiquitarie che vivono a diverse latitudini, dalle regioni tropicali a quelle polari, tra i 200 e i 1000 m di profondità. Il loro nome deriva dal fatto che il loro habitat si estende nelle zone profonde degli oceani in acque appunto fredde. In Mediterraneo le formazioni madreporiche sono essenzialmente caratterizzate da tre specie: *Lophelia pertusa*, *Desmophyllum dianthus* (Famiglia Caryophylliidae) e il corallo *Madrepora oculata* (Famiglia Oculinidae) (Fig. 2) (Chimenti et. al., 2019).

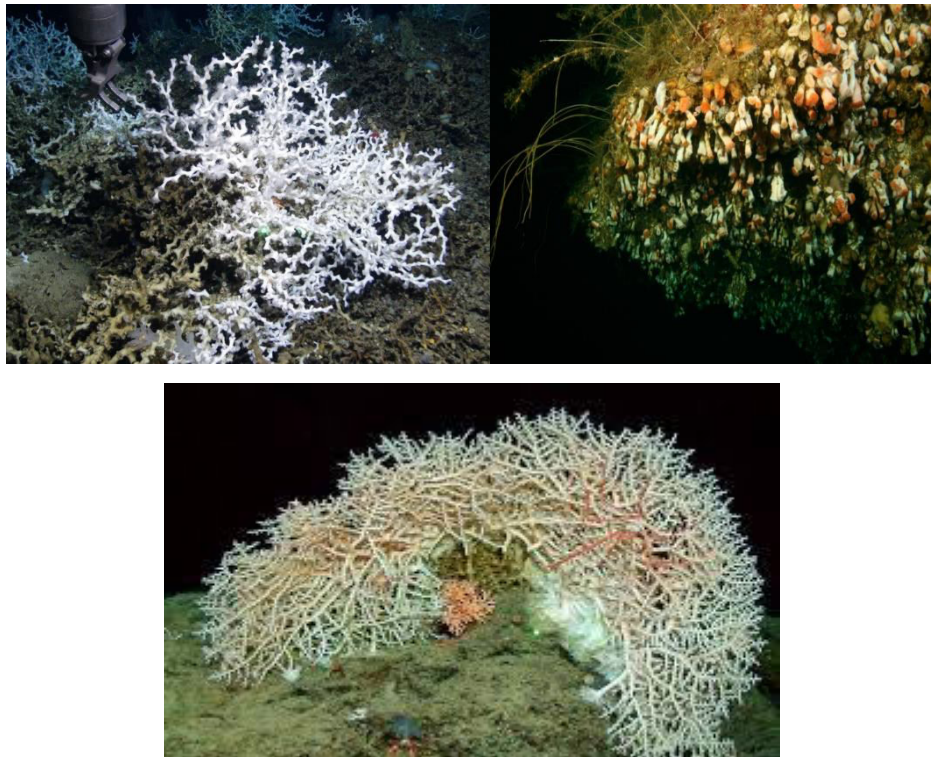


Fig. 2. Immagini dei coralli *Lophelia pertusa*, *Desmophyllum dianthus* e *Madrepora oculata*

I coralli bianchi si sviluppano principalmente su substrati duri (rocciosi o consolidati), lungo i bordi dei canyon o sopra rilievi, dove l'eterogeneità del pendio garantisce un intenso flusso idrodinamico. Le parti viventi di solito sono ridotte alla parte più distale delle biocostruzioni. I coralli di acque profonde crescono più lentamente dei coralli

tropicali. Si stima un'estensione lineare del polipo di circa 10 millimetri all'anno, al contrario alcuni coralli ramificati di acque poco profonde, possono superare i 10–20 cm/anno.

Gli habitat mediterranei a CWC sono ecosistemi di acque profonde strutturalmente complessi che formano un'intricata rete di cornici e interstizi, fornendo nicchie trofiche e luoghi di riparo non solo per le larve, ma anche per una grande varietà di organismi, inclusi quelli commercialmente importanti e specie minacciate. Alcune delle specie associate comprendono spugne, policheti, cnidari, briozoi, crostacei, molluschi, pesci, echinodermi e brachiopodi (e.g., Henry and Roberts 2017). Si stima che i reef di coralli bianchi ospitino una diversità biologica tre volte più elevata che nell'ambiente circostante (D'Onghia et al. 2012).

Un recente censimento ha riportato che la biodiversità combinata per la CWC mediterranea comprende ca. 520 specie con un alto apporto di spugne, policheti (ciascuno ca. 90 spp.), seguiti da cnidari (ca. 80 spp.), briozoi (ca. 75 spp.), crostacei (ca. 60 spp.), molluschi (ca. 50 spp.), pesci (ca. 50 spp.), echinodermi (ca. 20 spp.) e brachiopodi (7 spp.) (Rueda et. al., 2019). Alcuni taxa si trovano costantemente (ad esempio, i policheti *Eunice norvegica* e *Metavermlia multicristata*, il gasteropode *Coralliophila richardi*, i bivalvi *Asperarca nodulosa*, *Delectopecten vitreus*, *Spondylus gussonii* e *Heteranomia squamula*). All'interno degli cnidari, gli idrozoi (ad es. *Acryptolaria conferta*, *Clytia linearis*, *Halecium labrosum*, il simbiote *Ectopleura sp.*) e soprattutto gli antozoi sono molto comuni, compresi le sclerattinie (es. *Stenocyathus vermiformis*, *Caryophyllia calveri*, *Dendrophyllia cornigera* e *Javania cailleti*), coralli neri (ad es. *Leiopathes*), attinie (ad esempio, *Amphianthus dohrnii*, *Protanthea simplex*, e alcionacei (es. *Callogorgia verticillata*, *Acanthogorgia hirsuta*, *Nicella granifera*, *Muriceides lepida*). Pennatulacei e anche le gorgonie (es. *Isidella elongata*) sono comuni in fondi morbidi vicini. Tra i policheti, accanto all'onnipresente commensale *Eunice norvegica*, numerosi sono i serpulidi (es. *Serpula vermicularis*) che svolgono il ruolo di costruttori secondari negli habitat CWC. Mentre molti bivalvi sono spesso presenti in numerosi siti, si annoverano pochi gasteropodi (Es, *Danilia tinei*, *Putzeysia wiseri* e *Mitrella pallaryi*), alcuni parassiti sul tessuto del corallo. Tra i taxa sessili, anche i briozoi (ad es. *Herentia hyndmanni*, *Scrupocellaria delilii* e *Glabrilaria*

pedunculata) e brachiopodi sono frequentemente osservati ad alta densità (es. *Gryphus vitreus*, *Megerlia truncata*, *Terebratulina retusa* e *Novocrania anomala*).

Infine, i CWC conservano nei loro scheletri di aragonite importanti informazioni paleo-ambientali delle proprietà fisico-chimiche dell'acqua di mare in cui sono cresciuti, permettendo ricostruzioni degli ambienti profondi oceanografici del passato (Barrier et al., 1996; Vertino et al., 2003).

STORIA BIOGEOLOGICA DEI REEF A CORALLI BIANCHI

Il Mar Mediterraneo profondo è caratterizzato da una situazione odierna molto peculiare dovuta in larga parte alla sua travagliata storia geologica (Vertino et al., 2014). Si tratta infatti di un bacino che è stato soggetto ad importanti vicissitudini geologiche, climatiche ed oceanografiche registrate negli ultimi 6 milioni di anni (Vertino et al., 2014). Le sclerattinie sono ampiamente utilizzate per ricostruire la storia degli oceani, grazie al fatto che le strutture carbonatiche che formano rimangono ben conservate nella documentazione geologica. Essendo particolarmente sensibili alle condizioni ambientali, hanno subito diversi cambiamenti sia in termini di tassi di crescita, elementi accumulati, ma anche diversità e distribuzione nel corso del tempo. In particolare, è nota la bassa abbondanza odierna della fauna mediterranea a sclerattinie (circa 25 generi e solo 33 specie) rispetto all'elevata diversità e abbondanza che esisteva nel Miocene medio-alto (oltre 80 generi e centinaia di specie) (e.g., Vertino 2003; Roberts et al., 2009; Robinson et al., 2014) (Fig. 3). La Crisi di Salinità Messiniana (MSC) sembra aver spazzato via la maggior parte delle popolazioni del Mediterraneo (Taviani 2002, 2004).

Diverse possibili cause, talora contrastanti, sono state prese in considerazione per spiegare la chiusura della connessione con l'Atlantico. Tre sono le principali ipotesi: i) movimento inverso delle faglie crostali, conseguente all'attività di falde tettoniche; ii) abbassamento del livello marino, stimato in circa 60 m, in seguito all'inizio di una glaciazione; iii) sollevamento tettonico dell'area. È largamente accettata la concorrenza di tutti e tre questi fenomeni (Krijgsman et al., 1999). Quando si ebbe la riapertura dello stretto, all'inizio del Pliocene, le acque dell'Atlantico si riversarono in grande quantità

entro un canale relativamente stretto, reintroducendo specie atlantiche (Krijgsman et al., 1999; Bianchi et al., 2012).

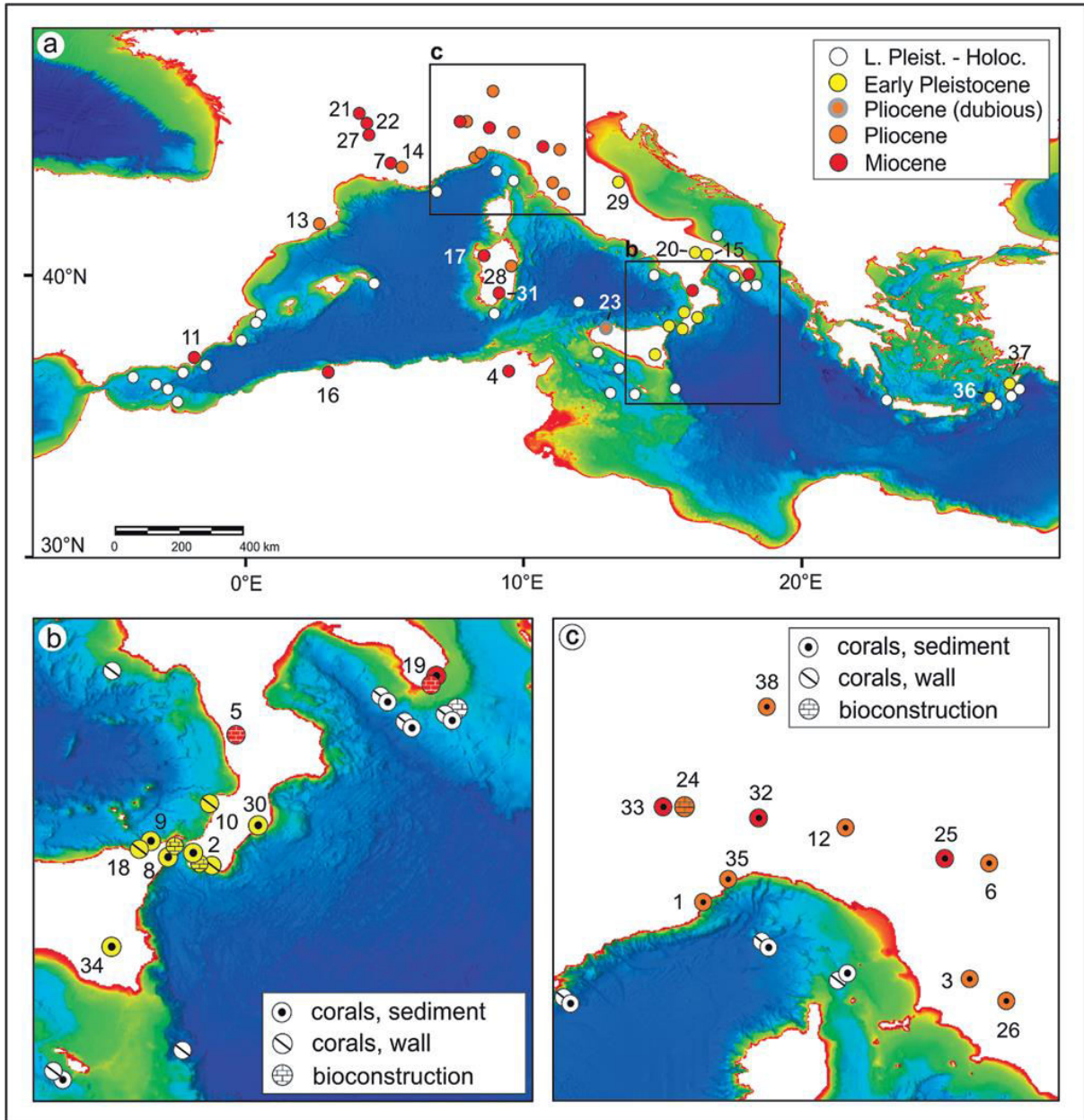


Fig. 3 Mappa panoramica che mostra la distribuzione spatio-temporale dei siti CWC.

Un approccio molto diffuso per studiare la storia bioecologica degli organismi è lo studio delle tanatocenosi. Con il termine tanatocenosi si indica l'insieme degli organismi

fossili che si trovano dentro o sopra un sedimento, in un determinato luogo. Una tanatocenosi consiste di due gruppi (Di Geronimo et. al., 2001):

- componenti autoctone, che rappresentano una parte della biocenosi originaria (cioè degli organismi che popolavano l'ambiente), fossilizzatasi *in situ*;
- componenti alloctone, cioè fossili di organismi che non popolavano normalmente il paleo-ambiente, ma vi sono giunti per trasporto attivo o passivo, restando fossilizzati insieme alle componenti autoctone.

Tra le tanatocenosi riconosciute nel Mar Mediterraneo, molto diffuse sono quelle formate dai coralli bianchi *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata* e *Desmophyllum dianthus*, che possono produrre sia bioermi tridimensionali che frammenti sparsi o aggregati. Alcune specie di grandi bivalvi batiali, come *Neopycnodonte zibrowii*, *Acesta excavata* e *Spondylus gussonii*, sono responsabili di tanatocenosi su terreni duri verticali o sub-verticali, spesso in associazione con quelli costituiti da Cold-Water Coralli (CWC) (Di Geronimo et. al., 2001).

Le tanatocenosi coralline nel Mar Mediterraneo si riscontrano in un ampio range batimetrico (150-2500 m), ma la maggior parte dei record si trova tra i 400 m e i 1000 m, quindi a profondità maggiori (Di Geronimo et. al., 2001).

Riassumendo, si può affermare che la composizione della fauna corallina mediterranea ha subito tre principali modifiche dal Miocene superiore (e.g., Vertino 2003; Roberts et al., 2009; Robinson et al., 2014), portando alla distribuzione odierna (Fig. 4):

- Miocene – Pliocene: diminuzione della diversità specifica delle sclerattinie.
- Pliocene –Pleistocene: diminuzione della diversità a livello di genere, scomparsa di taxa di tipo indo-pacifico.
- Pleistocene – Olocene: diminuzione a livello di genere specialmente per coralli di acque fredde profonde.

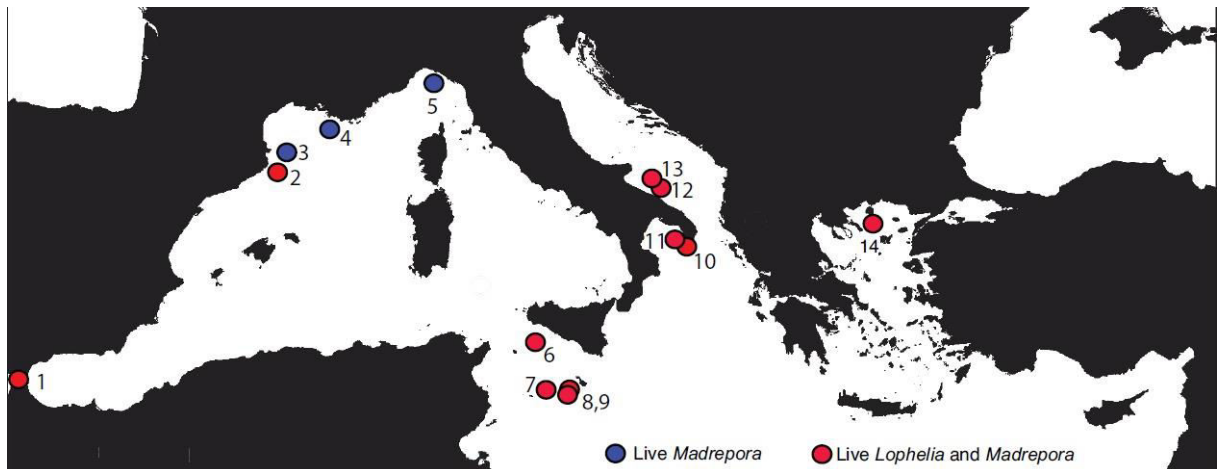


Fig. 4: Distribuzione odierna delle comunità coralline profonde del Mediterraneo (Freiwald et al., 2009).

A mantenere la distribuzione odierna dei coralli bianchi concorrono anche le correnti e gli scambi di masse d'acqua che interessano il Mediterraneo. In particolare, la corrente Levantina interessa proprio le batimetrie preferite da tali comunità e la sua esistenza, dovuta alla morfologia del bacino, concorre alla sopravvivenza dei coralli bianchi CWC, grazie, tra le altre cose, ad un apporto di ossigeno in profondità (Chimenti et al., 2019).

L'acqua atlantica in ingresso dallo Stretto di Gibilterra, più fredda ma meno salata dell'acqua del Mediterraneo, va a collocarsi nel primo strato della colonna d'acqua. Le correnti, diramandosi, trasportano massa d'acqua atlantica sia nel settore occidentale, sia nel settore orientale del bacino. A causa dell'elevato tasso di evaporazione l'acqua si modifica e, cedendo calore latente all'atmosfera, diventa più salata e densa formando, nel settore orientale del bacino, l'acqua Levantina. Quest'ultima, sprofondando, va a formare lo strato intermedio della colonna d'acqua (300-600 metri). (Freiwald et al., 2009). L'acqua Levantina fluisce in direzione occidentale lungo le coste della Puglia e della Calabria e passando per il Canale di Sicilia risale lungo le coste tirreniche verso Nord. Giunti al Golfo del Leone, i forti venti di Maestrale sottraggono calore allo strato superficiale innescando moti convettivi e facendo formare acque molto dense che andranno a ossigenare i fondali profondi del bacino. Il Golfo del Leone non è l'unica area di formazione di acque dense ma ce ne sono altre nel bacino di Levante. Il tempo impiegato dalla massa d'acqua per compiere l'intero giro del bacino fino ad uscire dallo Stretto di Gibilterra è di circa 70 anni. Di seguito è riportato uno schema illustrante le

principali correnti che interessano il settore centrale del Mediterraneo (Fig. 5) (Millot, 2005, Astraldi et al., 2002; Millot e Taupier-Letage, 2005).

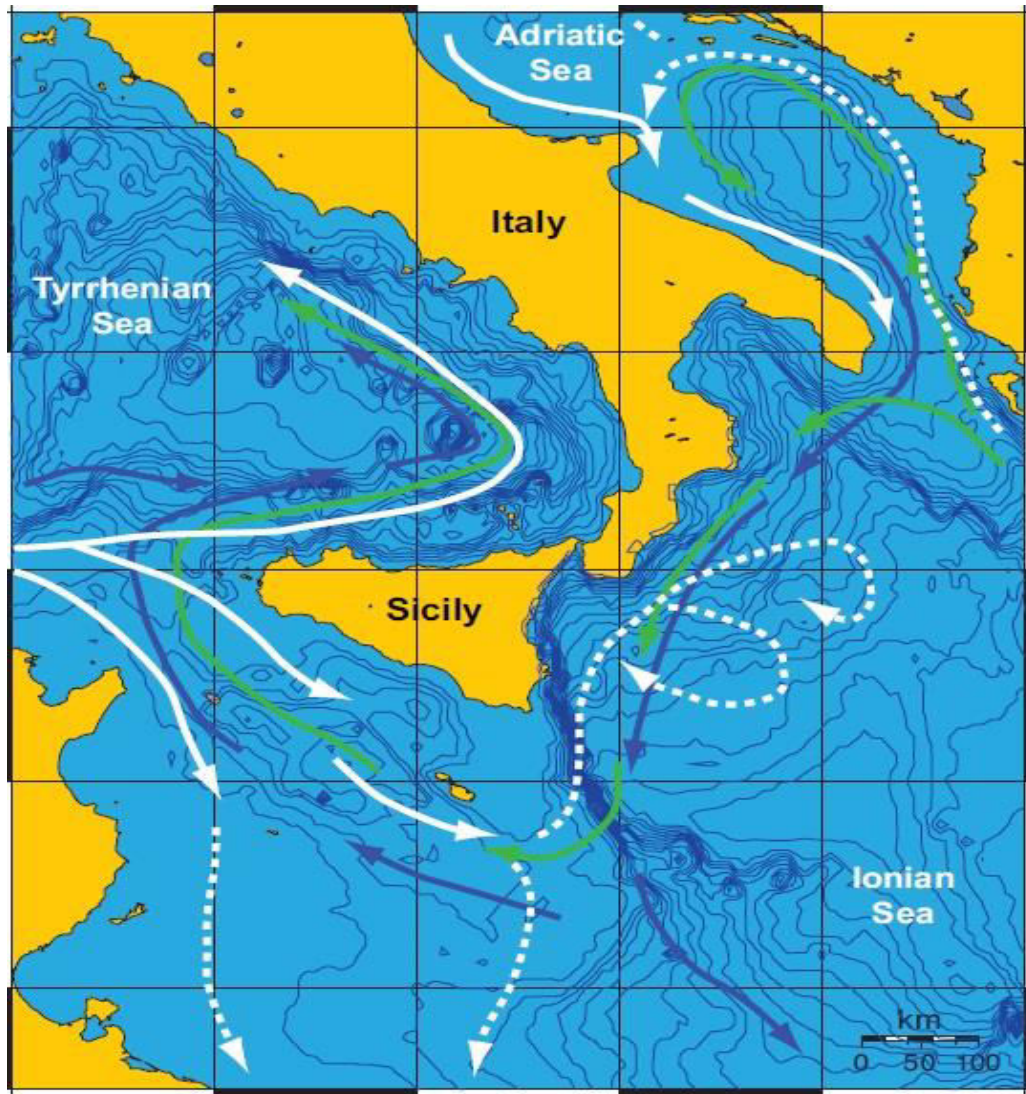


Fig. 5: Freccie bianche tratteggiate = circolazione delle acque superficiali modificate dall'Atlantico. Freccie verdi = circolazione intermedia dell'acqua del levantino. Freccie blu = circolazione in acque profonde delle profondità del Mediterraneo orientale.

DISTRIBUZIONE MEDITERRANEA DELLE PROVINCE

Allo scopo di descrivere meglio la distribuzione del CWC in Mediterraneo, sono state riconosciute delle province, ovvero aree caratterizzate da una grande densità e crescita di coralli bianchi (Taviani et al. 2011a).

Il vero significato biogeografico del termine proviene dalla Botanica, che definisce provincia “una suddivisione fitogeografica di una regione caratterizzata da specie vegetali dominanti di simile storia passata”, o ancora “una zona biogeografica caratterizzata da un 25–50% flora o fauna endemica” (Lincoln e Clark, 1998). Il concetto è stato poi applicato nel contesto batiale in riferimento a zone con crescita lussureggiante di coralli a formare estese biocostruzioni, sebbene non esistano dei limiti quantitativi di riferimento.

Ad oggi sono state individuate 8 province caratterizzate dalle due principali specie di CWC che formano la struttura, ovvero *Madrepora oculata* e *Lophelia pertusa* (Taviani et al., 2017). Queste province si trovano (Fig. 6): nel Mar Ionio settentrionale (Santa Maria di Leuca), nel Mar Adriatico sudoccidentale (Bari Canyon), nel Canale di Sicilia (Malta Sud), nel Canale di Sardegna (Sud Sardegna), nel sistema di canyon nel Golfo del Leone, nel Mare di Alborán orientale e nel Canale di Corsica.

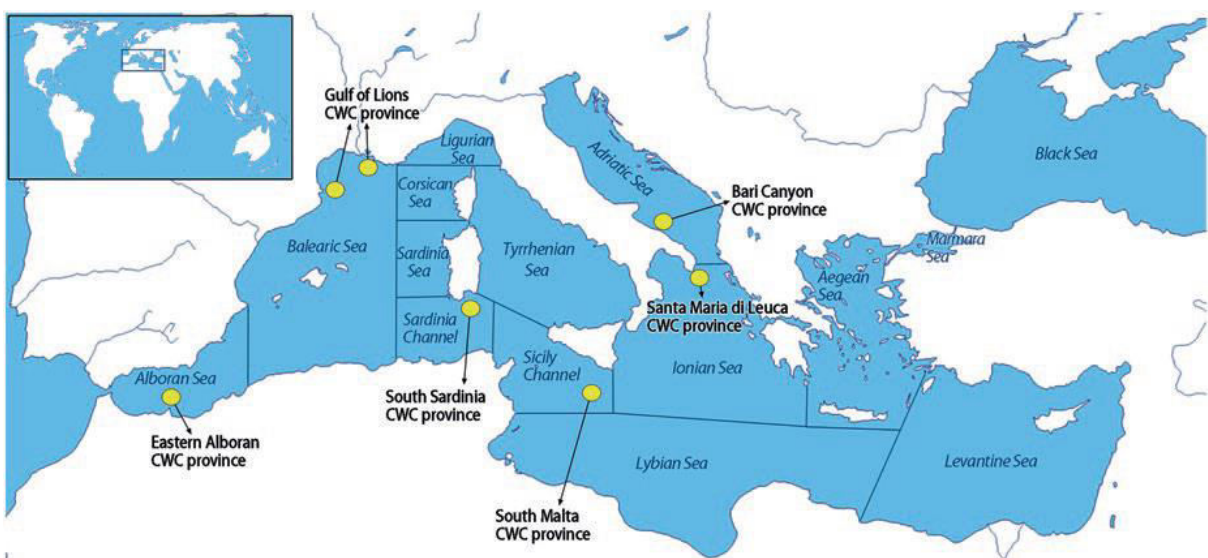


Fig. 6: Localizzazione di 7 delle province CWC descritte fino ad oggi (Chimienti et al., 2019).

La provincia sarda è caratterizzata da una spettacolare crescita corallina, dominata dalle ramificazioni di *Madrepora oculata* a una profondità di 380–460 m. Molto comune è anche la presenza del solitario *Desmophyllum dianthus* e l'occasionale presenza di *Lophelia pertusa*. Questa provincia si trova tra le province del Mediterraneo centrale (Bari Canyon, Santa Maria di Leuca, South Malta) e del Mediterraneo occidentale e settentrionale. Come per tutte le altre province sviluppatesi nel Mediterraneo, la provincia sarda è influenzata dall'Acqua Intermedia Levantina. Di seguito (Fig. 7) è riportata in dettaglio la localizzazione della provincia in oggetto (Taviani et al., 2017).

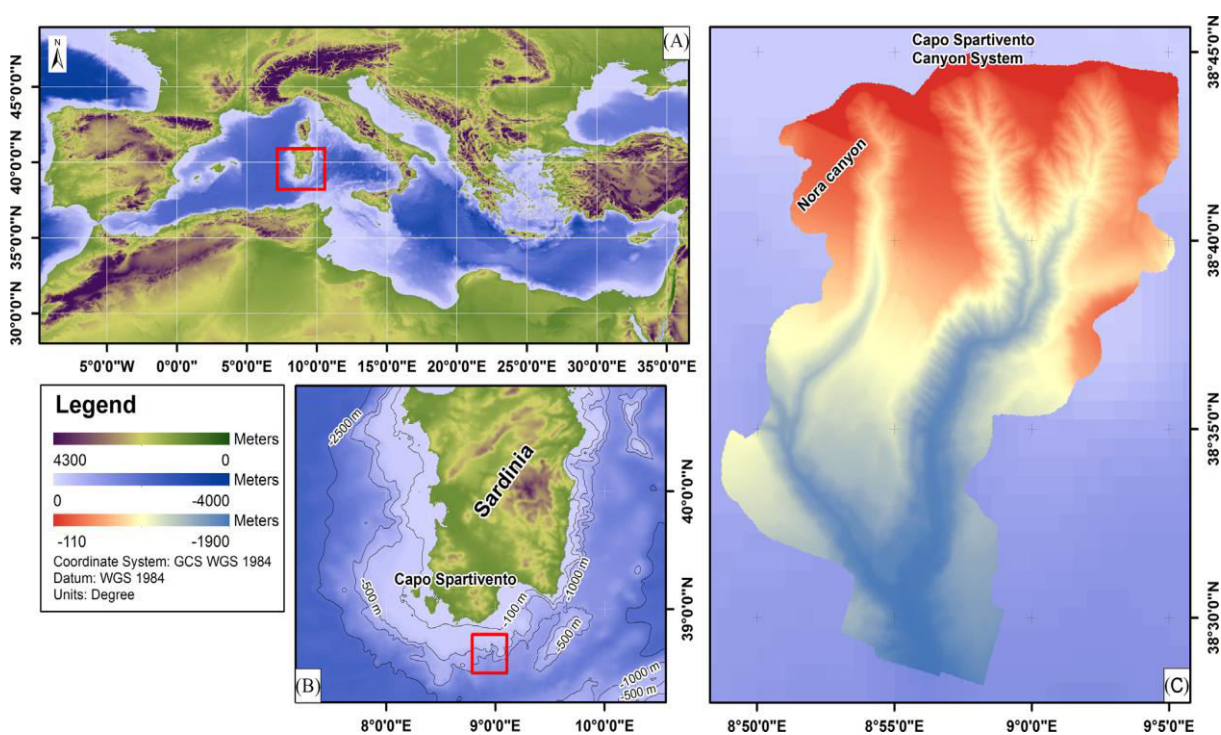


Fig. 7: (A) Localizzazione geografica dell'area di studio all'interno del Mar Mediterraneo. (B) Il margine sud-continentale della Sardegna e l'ubicazione del sistema del Canyon di Capo Spartivento. (C) Il Modello Digitale Batimetrico proveniente da GEBCO.

La provincia del Mar Ionio settentrionale è una grande provincia che si sviluppa su un'area di circa 1000 km², da 300 a 1100 m di profondità al largo di Capo Santa Maria di Leuca. Questa provincia è di gran lunga l'area di acque profonde meglio studiata del

Mar Mediterraneo e l'habitat a CWC per il quale è disponibile la maggior parte delle informazioni, essendo stata oggetto di numerosi progetti di ricerca e oceanografica (Chimienti et al., 2019). Le indagini acustiche, i campionamenti e le osservazioni con ROV rivelano che questa provincia CWC è caratterizzata da una alternanza di contesti ricchi e poveri di corallo. La provincia di Santa Maria di Leuca è popolata da *M. oculata*, *L. pertusa* e *Desmophyllum dianthus*, nonché dall'alcionaceo *Callogorgia verticillata*, con un picco di densità riscontrabile tra 500 e 700 m di profondità (Tursi et al., 2004; Mastrototaro et al., 2010; Chimienti et al., 2019).

Per quanto riguarda il Mar Adriatico sud-occidentale, il Canyon di Bari ha una morfologia a doppio ramo asimmetrico, orientato verso est-ovest al largo della città di Bari e caratterizzato da fianchi sub-verticali nella sua parte meridionale e meno ripidi verso nord. La batimetria si estende tra i 200m e i 1700m, e le specie dominanti sono *Madrepora oculata* (280m – 600m), *Desmophyllum dianthus* (490m – 664m) e *Lophelia pertusa* (306m – 640m) (Chimienti et al., 2019).

Nel Canale di Sicilia i CWC si presentano maggiormente tra i 200m e i 1000m di profondità, insediandosi sulle scarpate delle isole vulcaniche. Questa provincia CWC è altamente strutturata, con *M. oculata*, *D. dianthus* e *L. pertusa* che compaiono a 300m, raggiungono il picco tra 390m e 650m e si protraggono fino a 1000m (Chimienti et al., 2019).

Nell'ampio canyon catalano-provenzale-ligure si estendono due province molto importanti. In particolare, il Golfo del Leone è attualmente considerato il nucleo di questa grande provincia, dove i CWC si sono stabiliti sulle verticali pareti di questo margine continentale a forma di mezzaluna. Quest'area è solcata da numerosi canyon che raggiungono i 2000m di profondità, mostrando una densità di CWC tra le più alte rilevate. Comunità sviluppate di CWC sono state rilevate in particolare sui due canyon Cap de Creus e Lacaze-Duthiers. La comunità è dominata da *M. oculata*, mentre *L. pertusa* e *D. cornigera* sono meno comuni, essendo presenti come colonie isolate o piccole patch (Chimienti et al., 2019).

Nel Canale di Corsica sono state individuate diverse colonie mediante mappatura batimetrica multibeam, a una profondità di 400–430 m, con dimensioni comprese tra 70 e 330 m, raggiungendo altezze massime di 25 m (Angeletti et al., 2020). L'area si trova

tra la Corsica e l'Arcipelago Toscano. Il Canale della Corsica è molto stretto (10–35 km di larghezza), poco profondo (profondità massima di circa 900 m a sud) e orientato da nord a sud (Fig. 8)

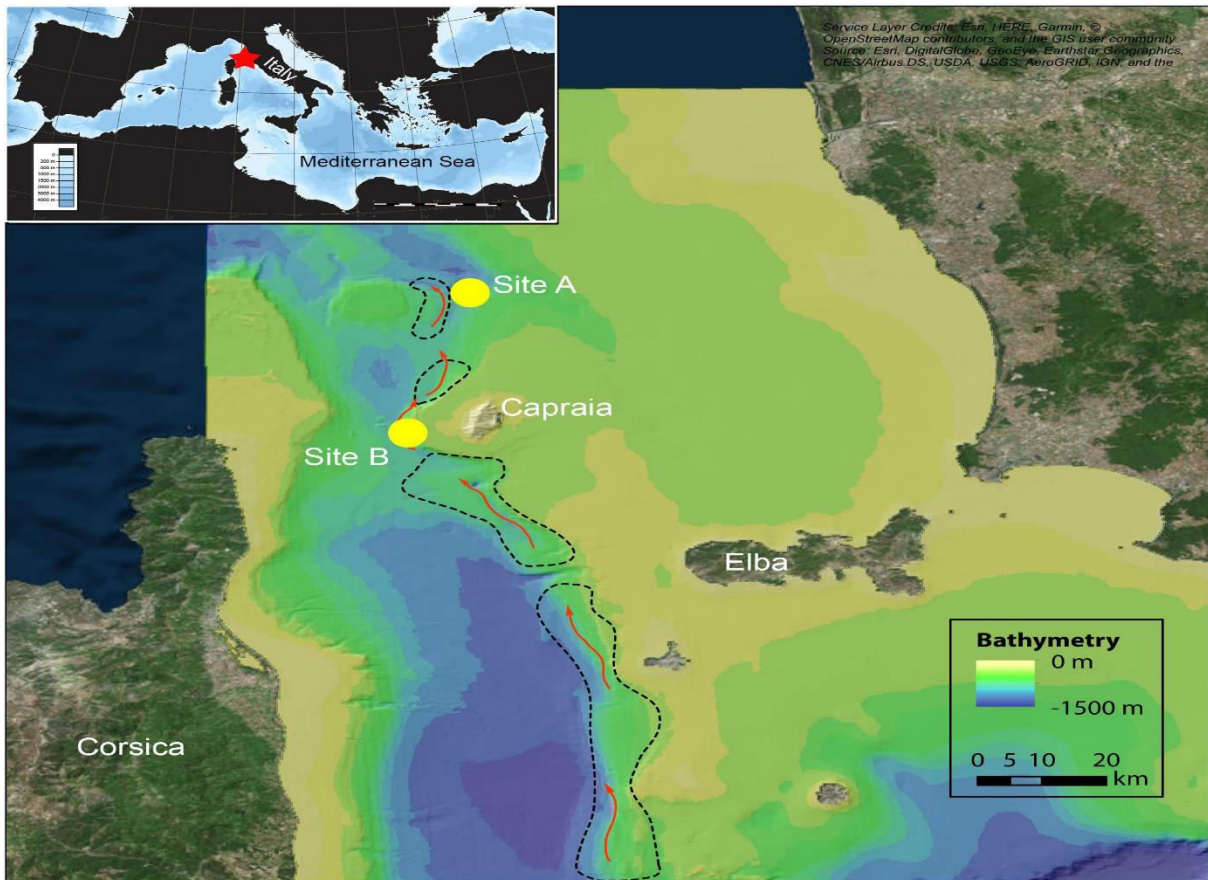


Fig. 8: Mappa di localizzazione del Canale di Corsica che mostra l'area più stretta del canale tra la Corsica e l'Arcipelago Toscano. Le frecce rosse indicano il percorso principale dell'Acqua Intermedia Levantina. I cerchi gialli indicano i due siti esplorati.

In questa zona è stata rilevata una fitta crescita di coralli, con una predominanza della sclerattinia *Madrepora oculata* come biocostruttore principale e *Lophelia pertusa* subordinato. *Desmophyllum dianthus* e *Javania cailletii* sono presenti, portando il computo complessivo delle specie macro e megabentoniche a 50 specie.

L'ultima provincia si trova nel Mare di Alborán, in particolare, questa area è dominata da montagne sottomarine a profondità comprese tra 200m e 680 m. La comunità CWC dello Stretto di Gibilterra può essere considerata una provincia extra-mediterranea distinta perché le particolari condizioni oceanografiche, dovute principalmente all'acqua

che scorre dall'Oceano Atlantico al Mediterraneo, fanno sì che le comunità si sviluppino a profondità inferiori (Chimienti et al., 2019).

Recentemente sono state scoperte comunità a CWC anche nel Golfo di Napoli, (Taviani et al., 2019). Sono state condotte indagini su veicoli telecomandati nel Canyon Dohrn a circa 12 NM al largo dell'area metropolitana di Napoli e sono stati rilevati hotspot di biodiversità bentonica a ca. 400 m di profondità. I fondali duri sono caratterizzati da un'elevata abbondanza di specie carismatiche, come l'habitat dominato da *Madrepora oculata*, *Lophelia pertusa* e *Desmophyllum dianthus*, in associazione con i bivalvi di grandi dimensioni *Acesta excavata* e *Neopycnodonte zibrowii*. Diverse specie di macroinvertebrati sono state osservate a profondità di 350–470 m. A differenza di quanto finora osservato nel Mar Mediterraneo, dove gli habitat dei coralli di acqua fredda sono prevalentemente caratterizzati da *M. oculata*, qui *L. pertusa* è la specie più abbondante, soprattutto sul versante nord-occidentale. Sono state rilevate anche cospicue popolazioni di coralli solitari, tra cui *Javania cailleti* e *Desmophyllum dianthus*. Tali coralli solitari si depositano su sporgenze rocciose formando dense aggregazioni con i tentacoli rivolti verso il basso. Altrettanto abbondante è l'anemone di mare *Protanthea simplex*, spesso associato a coralli solitari o insediato su *M. oculata* e *L. pertusa*. È stata scoperta anche la presenza di grandi bivalvi in associazione con CWC, ovvero *Acesta excavata* e l'ostrica gigante di acque profonde *Neopycnodonte zibrowii* (Taviani et al., 2019).

In Mar Ligure cenni storici e carte nautiche hanno suggerito per oltre 150 anni la presenza di biocostruzioni morte, principalmente *Madrepora oculata*, (Fanelli et al., 2017; Enrichetti et al., 2018). Solo nel 2013, rilevamenti multibeam, Side Scan Sonar (SSS) e veicoli telecomandati (ROV) sono stati impiegati nel Canyon di Levante (Fig. 9), per valutare occorrenza, distribuzione e stato di conservazione dei coralli bianchi. Sono state rilevate numerose tracce di reti a strascico e piccole colonie morte e sepolte (alte 10 cm) a 300–500 m. Più in profondità, tra 525 e 575 m, dense popolazioni viventi, colonie alte 1 m di *Madrepora oculata* sono state rinvenute sui fianchi del Canyon. I siti profondi hanno mostrato colonie capovolte o impigliate dalle attività di pesca con palangari (Fanelli et al., 2017).

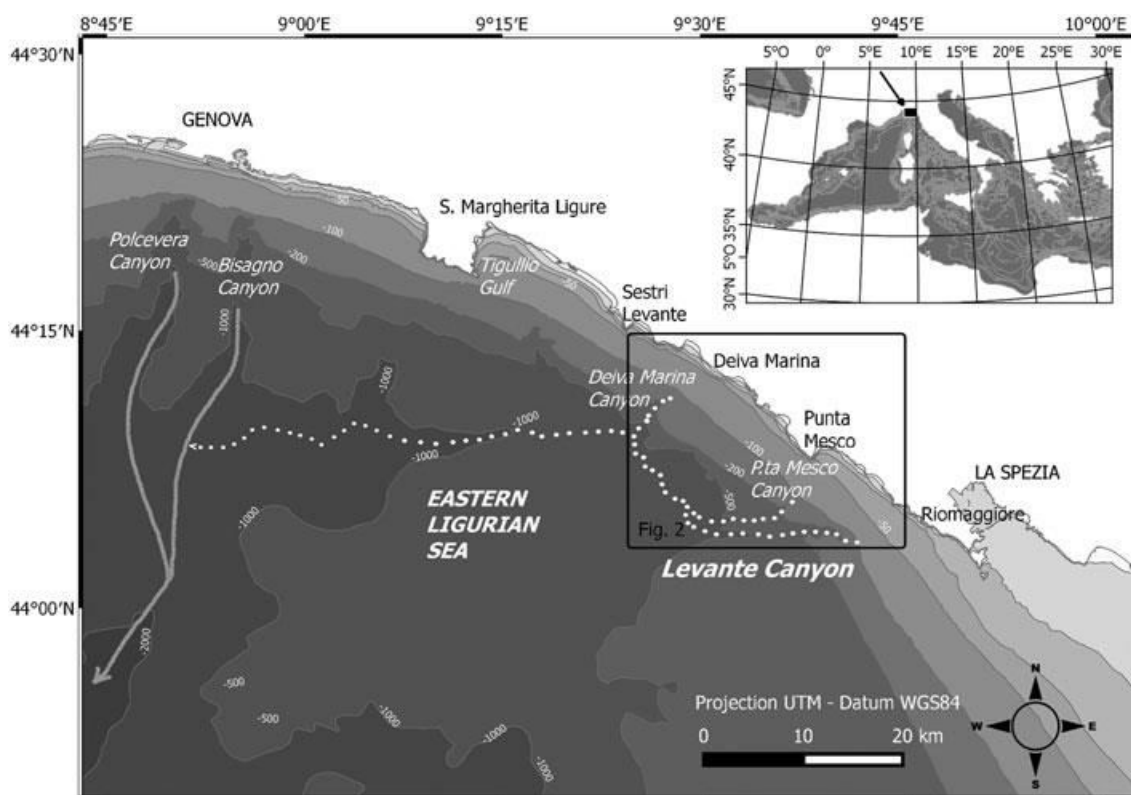


Fig. 9: il Canyon di Levante nel Mar Ligure Orientale (Mediterraneo NW) e i suoi affluenti (P. ta Mesco e Deiva Canyon della Marina). La linea bianca tratteggiata indica la linea d'impluvio del canyon, conflueno infine con il Canyon Bisagno al largo della città di Genova.

Nel 2017 nell'ambito di rilievi ROV sul fronte di Portofino, viene caratterizzata per la prima volta anche la biocostruzione sub-fossile dell'area, un vasto reef impattato parzialmente dalla pesca al gambero rosso (Enrichetti et al., 2018).

CONOSCENZE IN MAR LIGURE

Il Mar Ligure è un profondo bacino del settore più settentrionale del Mediterraneo occidentale che presenta peculiari caratteristiche idrodinamiche e meteo-oceanografiche (Cattaneo-Vietti et al., 2010). Le coste del Mar Ligure sono tra le più urbanizzate e industrializzate del litorale italiano: le principali cause di disturbo sono lo sviluppo urbano litoraneo, le attività portuali e le attività di pesca professionale e ricreativa.

Il Mar Ligure è delimitato a ovest dal Golfo del Leone e dal Bacino Algero-Provenzale, e ad est dal Mar Tirreno settentrionale e dal Canale di Corsica. Il bacino ligure è

costituito dalle porzioni settentrionali di due distinti sistemi geologici, di diversa origine ed evoluzione (Fig. 9). La parte occidentale è caratterizzata da una piattaforma continentale molto stretta. La parte orientale è costituita da una copertura sedimentaria di notevole spessore, accumulatasi a seguito della tettonica distensiva post-tortoniana del Tirreno settentrionale (Cattaneo-Vietti et al., 2010). Questo particolarissimo contesto geodinamico ha prodotto complesse interazioni tra i due sistemi, che attualmente si sovrappongono nel Golfo di Genova. I bacini occidentale e orientale del Mar Ligure differiscono per fisiografia, ampiezza e inclinazione dei loro margini continentali, per le specifiche tendenze evolutive del loro substrato roccioso, per i relativi processi di copertura sedimentaria e di subsidenza e, infine, per gli effetti della neotettonica. I Margini Alpini sono caratterizzati da pendii ripidi tagliati da numerosi canyon. Il Margine corso ha caratteristiche simili, ma si differenzia dal Margine Alpino per il suo minor carico sedimentario. Il Margine Appenninico, ad est dell'area montana e dell'estensione verso il mare di Capo Corso, è invece costituito da una piattaforma di lieve pendio. La piattaforma continentale è simile in entrambi i settori liguri perché il substrato, che si approfondisce in modo distensivo dal margine continentale, è quasi completamente ricoperto da depositi sedimentari accumulati negli ultimi 2-3 milioni di anni (Fig. 10).

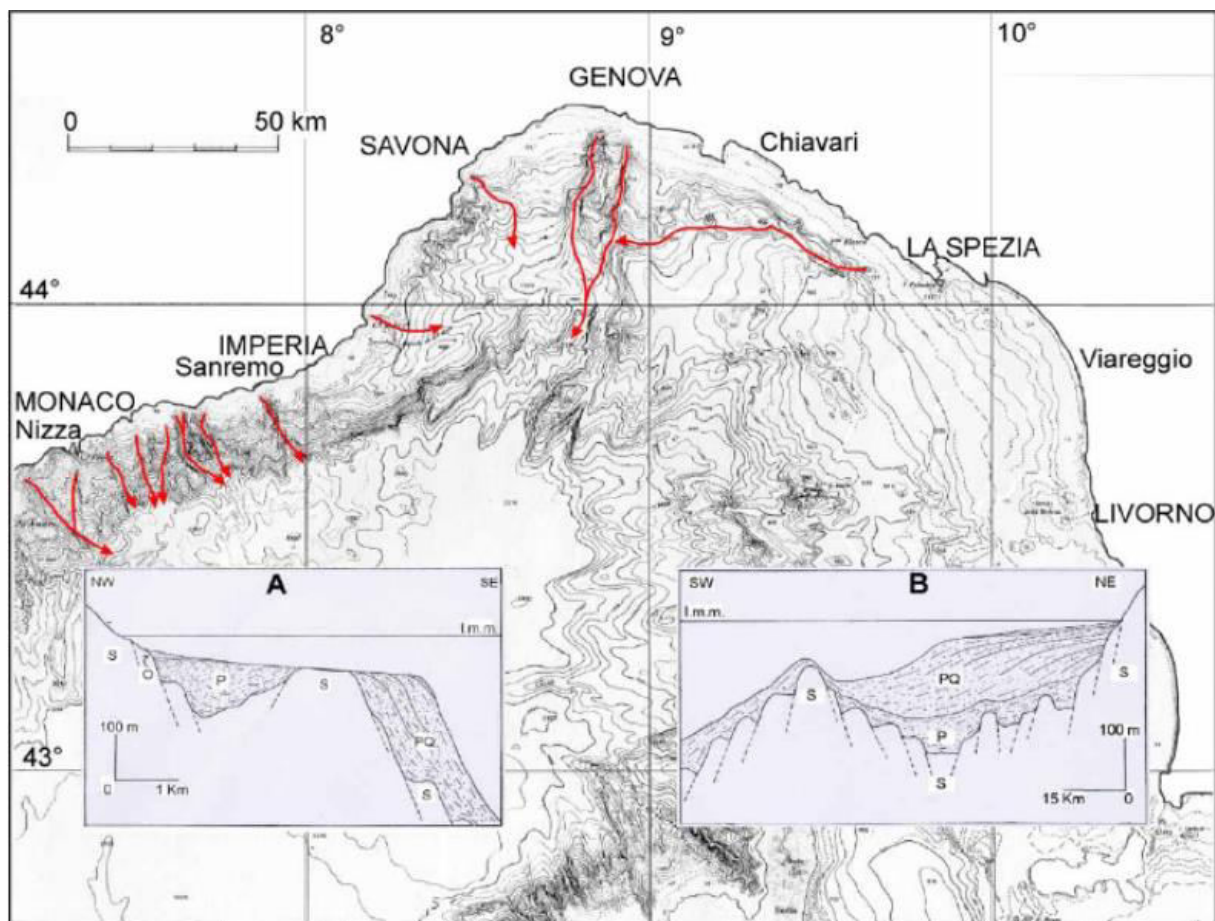


Fig. 10: Caratteristiche fisiografiche del Mar Ligure. Modello di piattaforma continentale alpina (A) e appenninica (B). Vengono inoltre riportati gli assi dei principali canyon. S, substrato; P, Sedimenti pliocenici; PQ, Sedimenti Plio-Quaternari; O, Sedimenti olocenici (dalla carta n. 1250, ed. 1960, dell'Istituto Idrografico della Marina).

Per quanto riguarda l'aspetto idrodinamico, Il Mar Ligure è considerato uno dei bacini più freddi del Mediterraneo occidentale, di conseguenza presenta diverse peculiarità dal punto di vista della composizione specifica e nella fisionomia del biota marino (Cattaneo-Vietti et al., 2010). Il Mar Ligure è una delle aree più dinamiche del Mediterraneo. La formazione di acqua densa in quest'area in inverno determina il grado di ossigenazione della parte profonda del Mediterraneo occidentale, in modo simile a quanto osservato nel Mar Adriatico nel Mediterraneo orientale. Il Mar Ligure è dominato da un'ampia e ben definita circolazione antioraria alimentata da due correnti distinte: la Corrente Tirrenica e la Corrente del Mediterraneo occidentale. (Cattaneo-Vietti et al., 2010). La prima, tipicamente invernale, penetra nel Mar Ligure attraverso il

Canale di Corsica con cadenza annuale, mentre la seconda, di capacità circa doppia, scorre lungo le coste occidentali della Corsica. In generale, si osservano flussi tirrenici maggiori negli inverni più freddi e viceversa. Tali differenze sono legate all'Oscillazione del Nord Atlantico (NAO): valori particolarmente negativi di questo indice corrispondono al più alto flusso d'acqua dal Tirreno al Mar Ligure, mentre valori positivi dell'indice si riferiscono al flusso più basso.

Nel Mar Ligure, le prime informazioni sui CWC risalgono al 1960, quando il Ministero della Marina Mercantile italiano commissionò un'ampia mappatura del territorio marino italiano (Fusco, 1968). L'obiettivo era quello di fornire alle flotte pescherecce liguri e tirreniche delle carte affidabili e aggiornate che identificassero i fondali di pesca costieri conosciuti e i possibili ostacoli. L'incarico fu affidato al Sottotenente Nicola Fusco, il quale, nei successivi dodici anni, portò a termine con successo otto mappe di pesca. Queste carte riportavano un vasto numero di informazioni, tra cui batimetria, aree di pesca, rifiuti militari, affioramenti rocciosi, relitti e caratteristiche biologiche, comprese le strutture dei coralli (Fig. 11). Dodici aree coralline sono state segnalate dal Mar Ligure (500-700 m di profondità) grazie alle informazioni fornite dai pescatori, che occasionalmente recuperavano scheletri come parte della cattura accessoria (Rossi et al., 1958). Inconsapevolmente, questa è stata la prima mappa di distribuzione su larga scala di questo ambiente nel Mar Mediterraneo. L'importanza di questo documento, tuttavia, è rimasta quasi del tutto ignorata dalla comunità scientifica per decenni, fino a quando le moderne indagini in acque profonde, hanno permesso di esplorare simili ecosistemi del bacino e gli scienziati hanno iniziato a rivalutarne il significato, 50 anni dopo la sua pubblicazione. Recenti indagini nelle profondità del Mar Ligure hanno svelato reef viventi, specie rare e biocenosi uniche, unite ad una cospicua impronta antropica (Fanelli et al., 2017; Enrichetti et al., 2018). Questi risultati supportano un potenziale non divulgato per importanti scoperte, tuttavia, finora, nessuno ha mai tentato di indagare sull'intera cintura di CWC identificata dal Fusco.

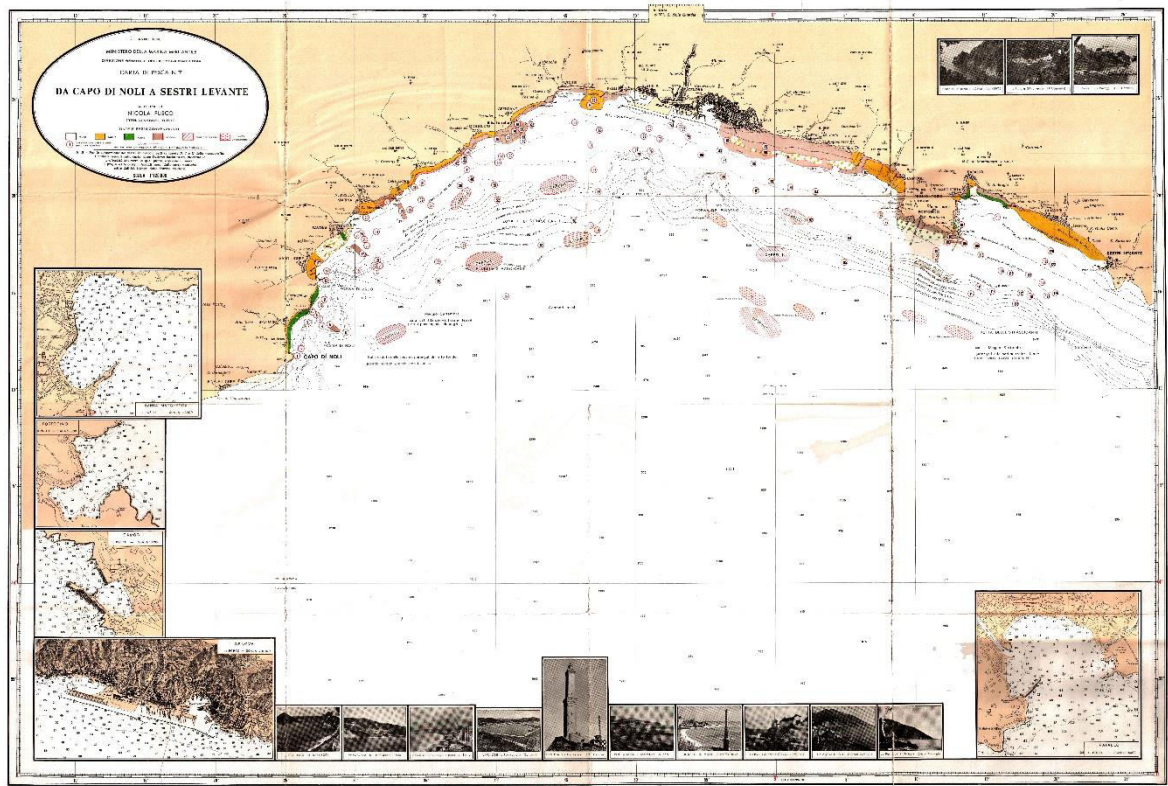


Fig. 11: mappatura del Mar Ligure di Nicola Fusco (1968) riportante batimetria, aree di pesca, rifiuti militari, affioramenti rocciosi, relitti e caratteristiche biologiche, comprese le strutture dei coralli.

OBIETTIVI DEL LAVORO

Da quanto enunciato nel capitolo precedente, si capisce che poche e frammentarie sono le conoscenze dei coralli bianchi nel Mar Mediterraneo. Tra l'autunno del 2013 e l'estate del 2014 viene confermata la presenza di numerose colonie vive, afferenti alla specie *Madrepora oculata* (in associazione con *Desmophyllum dianthus*) (ENEA e Marina Militare per la ricerca di coralli nel Mar Ligure, 12 maggio 2014). Le colonie, nonostante appaiano in buono stato di salute (altezze variabili tra 50 cm e oltre un metro, elevata complessità strutturale), presentano segni di impatto della pesca con palangari, testimoniata da numerosi fili di nylon abbandonati tra le colonie e da alcuni rami spezzati. Durante la prospezione con ROV nel giugno 2014 si è inoltre comprovata l'elevata biodiversità presente nelle formazioni rispetto all'ambiente circostante, con l'evidenza di numerose specie di crostacei decapodi, pesci ed echinodermi, associate ai banchi.

Era dunque chiara la necessità di un censimento delle aree individuate dal Fusco nel 1968, di una loro dettagliata mappatura e di predisporre azioni appropriate per la tutela e conservazione di tali habitat. L'esigenza risulta ancora più urgente se consideriamo che, nonostante il Mediterraneo profondo ospiti circa il 7% della biodiversità marina dell'intero pianeta e che la scarpata copra una porzione dominante dell'intero bacino (circa il 70%), mancano quasi totalmente, fatta eccezione per la provincia a coralli bianchi di Santa Maria di Leuca in Puglia, mappature accurate di questi ambienti bentonici profondi.

In particolare, prendendo come riferimento le mappature effettuate dal Fusco, questo progetto si prefigge come obiettivo quello di ampliare le conoscenze delle biocenosi profonde del mar Ligure, concentrandosi sulle comunità a CWC. Questo progetto è basato sulla possibilità unica che abbiamo oggi, grazie al progresso tecnologico, di guardare nel regno profondo e svelarne i segreti, dando una nuova prospettiva al quadro globale degli oceani che funzionano su diverse scale temporali. Gli obiettivi principali di questo progetto sono:

- Mappare l'estensione attuale dei dodici bioermi di Fusco e valutare la presenza di popolazioni viventi,
- Ripercorrere la storia geologica dei bioermi negli ultimi millenni,
- Valutare il grado di connettività tra la fauna profonda ligure e quella atlantica,
- Valutare l'attrattiva dei bioermi nei confronti della fauna stanziale e in visita,
- Quantificare la pressione antropica,

- Valutare lo stato di salute degli ecosistemi e identificare adeguate azioni di conservazione.

MATERIALI E METODI

CAMPAGNE ROV DI RACCOLTA DATI

Per raggiungere gli obiettivi del progetto sono state utilizzate diverse metodologie, tutte derivate dal panorama tecnologico di nuova generazione dell'indagine in acque profonde:

- Sonar a scansione laterale (SSS), operante alla frequenza di 50 kHz, larghezza del fascio 2°x60° e portata massima 1500 m,
- Veicolo telecomandato (ROV Multipluto) dotato di luci stroboscopiche, una videocamera ad alta definizione, un grabber montato su un braccio manipolatore, un sensore di profondità, una bussola e un sistema di localizzazione acustico,
- Lander video/fotocamera senza esche composto da una telecamera temporizzata ad alta risoluzione (4K) e un sistema di illuminazione che consente di riprendere un lasso di tempo lungo.

Per i campionamenti sono state scelte quattro aree: Genova Plateau, Portofino, Sestri Levante e Monterosso. Per ognuna di queste sono state individuate varie zone del Fusco in cui eseguire le immersioni ROV da cui estrapolare i dati. Di seguito vengono riportate le campagne ROV eseguite nelle varie zone, con relativa data, posizione geografica, range di profondità e durata dell'immersione (Tab. 1).

Area	Fusco	Dive	Depth range (m)	Project	Date	Time start	Time end	Durata	x	y	Depth min	Depth max	Note
Ponente	F1												Capo Mele W
	F2												Capo Mele E
Genoa Plateau	F3	DIVE41	708-752	BIOMOUNT 2018	11.08.18	00:39	01:20	00:41	8,9177	44,3147	708	752	Bisagno
	F3	DIVE42	502-609	BIOMOUNT 2018	12.08.18	10:51	11:45	00:54	8,9032	44,3078	502	609	Bisagno
	F4	nd											Banchetto W
	F5a	Dive05	689-691	CURIOSITY DRIVEN	19.06.21	16:13	17:37	01:24	9,0493	44,2220	689	691	Fusco 5 sud
	F5b	Dive06	521-525	CURIOSITY DRIVEN	22.06.21	12:42	13:14	00:32	9,0845	44,2624	521	525	NE Fusco 5
Portofino	F6	nd											
	F7a	DIVE1	728-779	BIOMOUNT 2017	15.06.17	11:05	13:05	02:00	9,2277	44,2090	728	779	Fusco 7
	F7a	Dive01	642-653	CURIOSITY DRIVEN	15.06.21	09:44	11:38	01:54	9,2366	44,2051	642	653	Fusco 7
	F7a	Dive02	792-797	CURIOSITY DRIVEN	15.06.21	13:58	14:20	00:22	9,2249	44,2024	792	797	Fusco 7 deep
	F7a	Dive03	704-747	CURIOSITY DRIVEN	15.06.21	16:35	18:18	01:43	9,2395	44,1982	704	747	Fusco 7 est
	F7a	Dive04	711-719	CURIOSITY DRIVEN	16.06.21	12:50	14:26	01:36	9,2372	44,1988	711	719	Fusco 7 est bis
	F7b	DIVE2	423-466	BIOMOUNT 2017	15.06.17	16:42	17:45	01:03	9,2948	44,2335	423	466	Canyon Entella
Sestri Levante	F8	nd											
	F9a	Dive13	570-608	CURIOSITY DRIVEN	12.10.21	10:28	11:52	01:24	9,3918	44,1635	570	608	Fusco 9
	F9b	Dive10	667-715	CURIOSITY DRIVEN	11.09.21	10:43	12:19	01:36	9,3750	44,1563	667	715	Extra1_SE
	F10a	Dive14	690-733	CURIOSITY DRIVEN	12.10.21	14:04	15:39	01:35	9,4102	44,1445	690	733	Fusco 9 sud
	F10a	DIVE41	350-504	ARPAL/ISPRA 2015	28.08.15	09:05	12:30	03:25	9,4318	44,1590	350	504	Fusco 9
	F10a	Dive11	525-640	CURIOSITY DRIVEN	13.09.21	12:00	13:39	01:39	9,4417	44,1390	525	640	Fusco 10
	F10b	Dive12	445-479	CURIOSITY DRIVEN	13.09.21	15:14	16:29	01:15	9,4292	44,1475	445	479	Costantini1
Monterosso	F11	nd											
	F12a	Dive07	545-577	CURIOSITY DRIVEN	09.09.21	13:57	15:57	02:00	9,5195	44,0635	545	577	Fanelli
	F12a	Dive08	502-557	CURIOSITY DRIVEN	10.09.21	10:19	11:41	01:22	9,5233	44,0673	502	557	Fanelli NE
	F12a	Dive09	538-564	CURIOSITY DRIVEN	10.09.21	14:12	15:37	01:25	9,5310	44,0616	538	564	Fanelli E
	F12b	DIVE27	487-507	ARPAL/ISPRA 2016	08.09.16	12:37	14:10	01:33	9,5316	44,0557	487	507	Fanelli SE

Tabella 1: campagne ROV eseguite nelle varie zone, con relativa data, posizione geografica, range di profondità e durata dell'immersione.

ANALISI DI IMMAGINE

Le molteplici immagini raccolte dai video sono state filtrate manualmente ed individualmente in modo da eliminare dati ridondanti o nulli, fino ad ottenere 40 immagini rappresentative per ogni zona del Fusco. Successivamente sono state selezionate le immagini che meglio raffiguravano le specie caratteristiche per eseguire un tipo di analisi qualitativo e quantitativo in seguito discusso, allo stesso modo sono state isolate le immagini che raffiguravano impatti antropici evidenti. Sul resto delle immagini sono state eseguite analisi quantitative, valutando l'abbondanza in percentuale

di corallo vivo e morto, frammenti di corallo, roccia e sabbia, oltre a tenere sempre presente il tipo di substrato dominante riconosciuto e il grado di inclinazione del fondale.

Sono stati raccolti dati a varie profondità e le singole immagini sono state studiate usando il programma “ImageJ”. Tale programma permette di analizzare nel dettaglio i fotogrammi raccolti e quantificare i parametri di interesse. Eventuali immagini riportanti zone d’ombra prive di dati utili, sono state ritagliate, in modo da ottenere un formato di partenza che fosse coerente con i dati d’interesse.

Per quanto riguarda le analisi effettuate sulle specie strutturanti, sono state prese misure metriche sulle altezze delle colonie e degli individui, basandosi su un riferimento metrico garantito dal ROV. ImageJ permette infatti di usare un riferimento metrico reale per calcolare le dimensioni di elementi di interesse in un’immagine.

PARAMETRI CONSIDERATI

Studiando le immagini di ciascuna immersione sono stati valutati molteplici parametri, al fine di risalire all’abbondanza, diversità e stato di salute delle biocenosi profonde.

In primo luogo, è sempre stata registrata la profondità in cui venivano estrapolate le immagini. Questo permette di avere un riferimento batimetrico per studiare la zonazione degli organismi e poter trarre le relative conclusioni.

Il successivo parametro considerato è stata la copertura di corallo bianco, con analisi sia qualitative che quantitative. Infatti, oltre a distinguere e quantificare la presenza di corallo vivo e corallo morto, si è tenuto conto anche del substrato dominante (*Madrepora oculata*, *Desmophyllum dianthus* e *Lophelia pertusa*). Questo ha permesso di ottenere due grafici che mettono in relazione le diverse aree: un grafico basato sul rapporto corallo vivo/corallo morto e un grafico che mostra le specie dominanti nelle diverse zone, permettendo di avere un quadro generale su quali specie siano presenti maggiormente e dove. La distinzione corallo vivo/corallo morto è stata fatta per poter trarre conclusioni, per esempio, sul tasso di ripresa e sugli stati di salute degli ambienti, in relazione anche ad eventuali effetti antropici.

Si è poi analizzato il tipo di substrato, distinguendo tra roccia e sabbia e tenendo conto del grado di frammentazione dei coralli, andando a quantificare i frammenti degli stessi che si riscontravano nelle immagini. Il tipo di substrato, messo in relazione alle evidenze di coralli bianchi riscontrate, permette di capire qual è il substrato preferenziale di tali organismi. Il grado di frammentazione, invece, suggerisce quale sia l'impatto antropico nelle aree di pesca con reti a strascico. Anche questi parametri sono stati inseriti in un istogramma riassuntivo per trarre le conclusioni in seguito discusse.

Le specie strutturanti riscontrate nelle immagini sono state registrate e, contando il numero di individui e colonie per ciascuna foto, ne è stata calcolata la densità come rapporto N° colonie/individui m^{-2} . Le classi principali riscontrate sono state: foraminiferi, spugne, idrozoi, ceriantari, antipatari, attiniari, zoantari, sclerattinie, gorgonacei, stoloniferi, anellidi, molluschi, crostacei, echinodermi, brachiopodi, tunicati, condroitti e teleostei. Il grafico che mostra la densità di tali specie, relazionato ai precedenti inerenti al tipo di substrato e al substrato dominante, permette di costruire un quadro generale sugli habitat profondi, ricostruendo anche quelle che sono le associazioni tra coralli profondi e specie caratteristiche e trarre conclusioni sul ruolo ecologico.

Per le specie strutturanti riscontrate, è stato calcolato il parametro taglia/frequenza, costruendo il relativo grafico per ciascuna di esse. Questo è stato possibile sempre utilizzando il programma ImageJ e usando un riferimento metrico reale riportato in ciascuna immagine. Il grafico risultante mostra per ogni specie le classi dimensionali e le relative abbondanze per ciascuna di esse in percentuale. Questo permette, avendo come riferimento il range dimensionale ottimale per ciascuna specie conosciuto dalla bibliografia, di trarre conclusioni su quali specie siano in fase di crescita o declino, sullo stato di frammentazione e di salute.

Infine, l'impatto antropico è stato valutato per ciascuna immersione contando il numero di oggetti antropici riscontrati in ciascuna foto. È stato anche considerato il numero di specie strutturanti trovate impigliate in reti o lenzi da pesca. I due relativi grafici permettono di ottenere un quadro generale sull'impatto antropico in ciascuna area e ottenere conferme sui motivi di eventuali cattivi stati di salute o alti tassi di

frammentazione. Di seguito vengono riportate delle figure esemplificative per il calcolo dei suddetti parametri (Fig. 12-17).

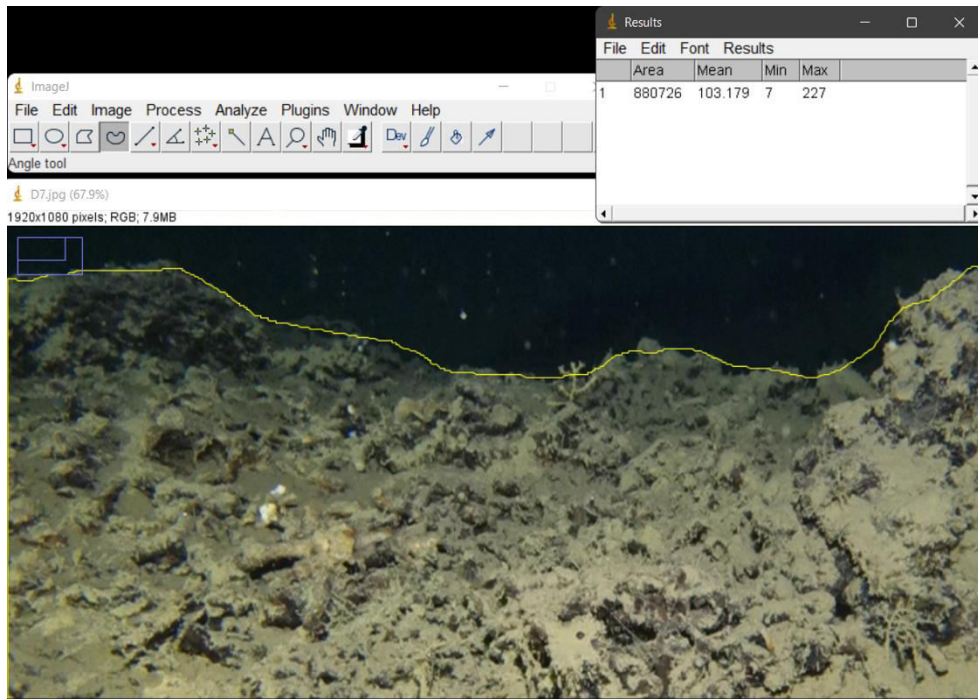


Fig. 12. Misurazione del parametro copertura a biocostruzioni.

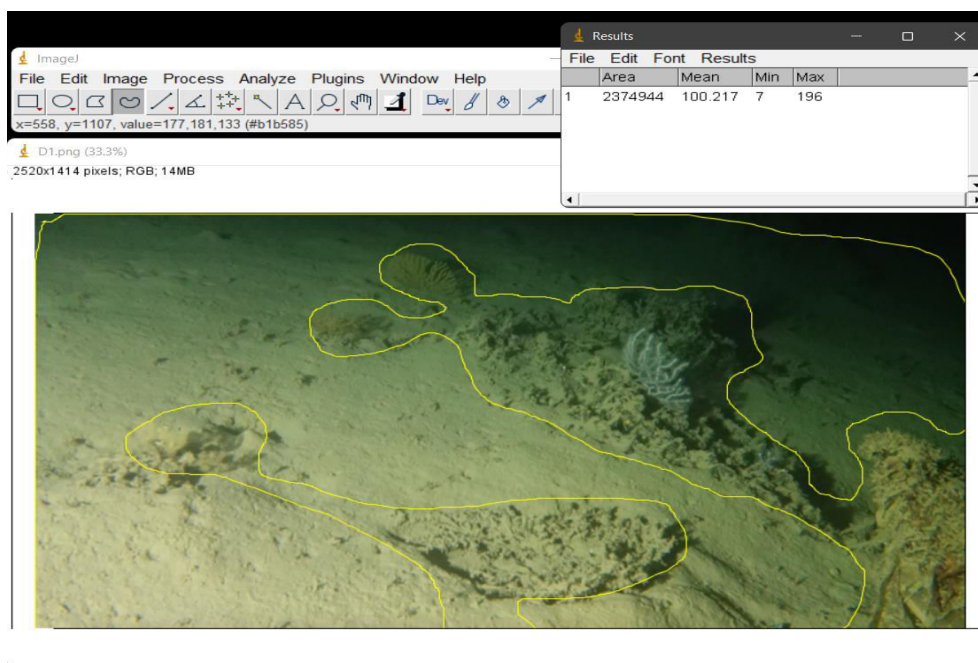


Fig. 13. Misurazione del parametro substrato fangoso.

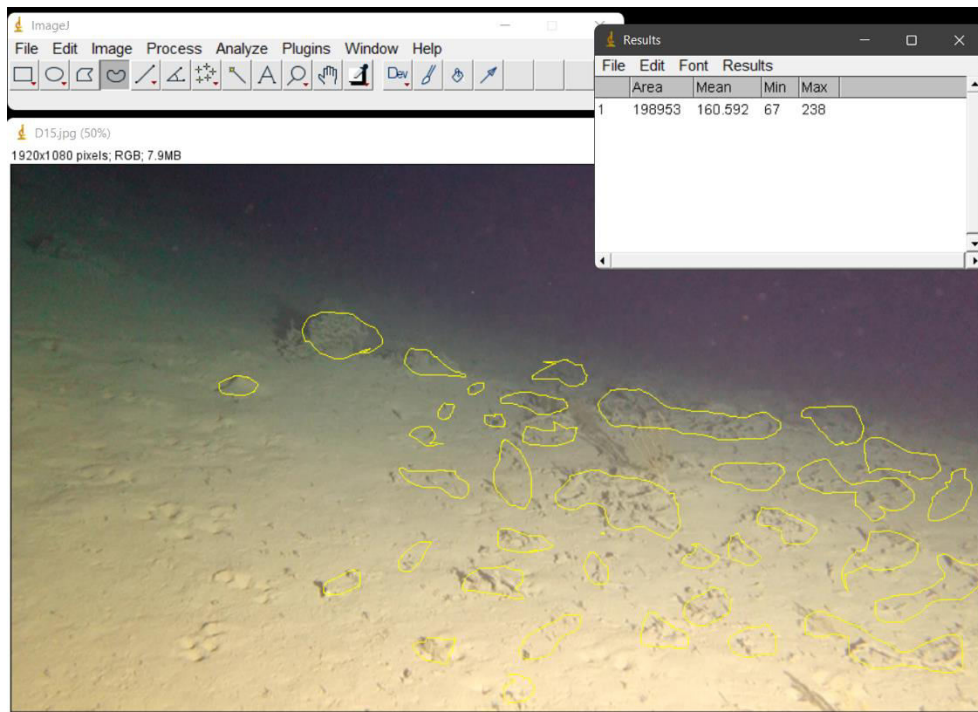


Fig. 14. Misurazione del parametro coral rubble.

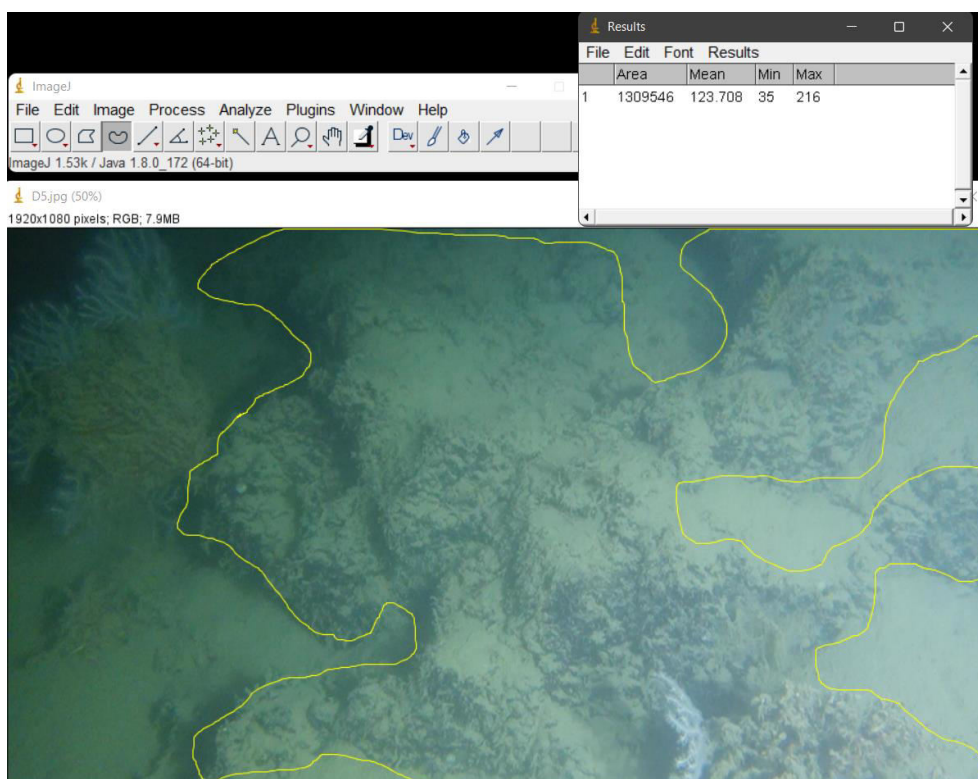


Fig. 15. Misurazione del parametro substrato roccioso.

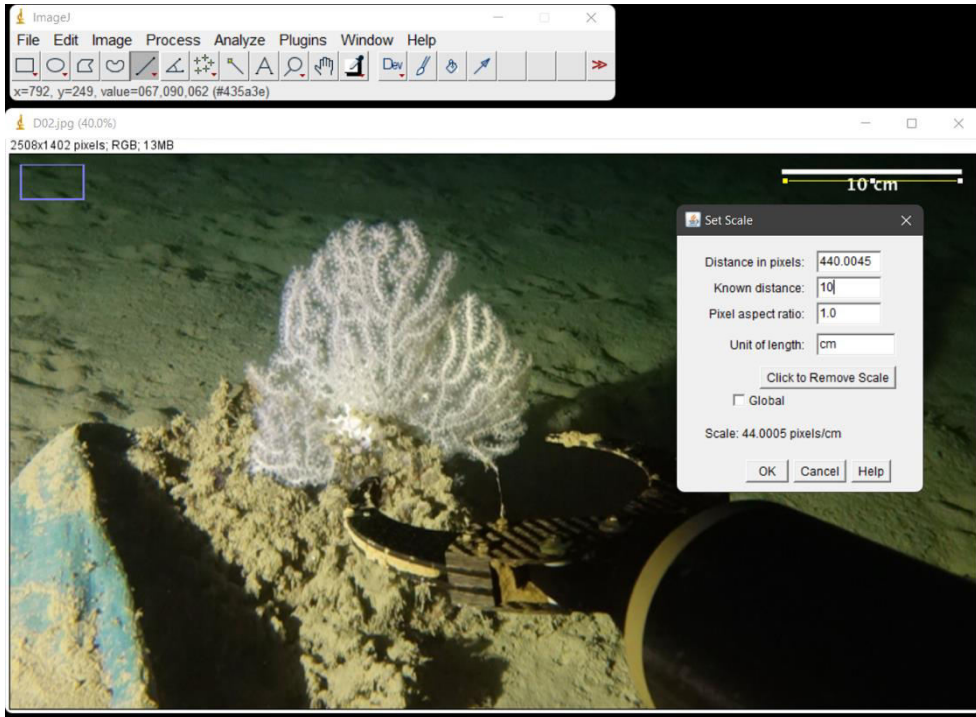


Fig. 16. Calcolo di equiparazione pixel/cm tramite riferimento metrico.

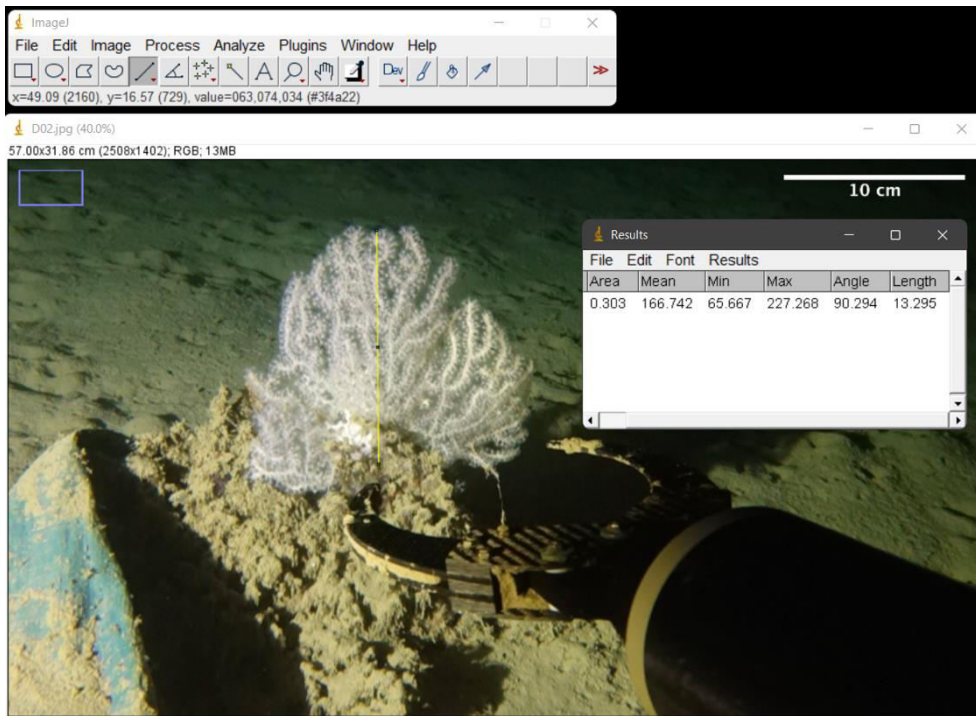


Fig. 17. Misurazione del parametro altezza per le specie strutturanti.

RISULTATI

MAPPATURA DELLE BIOCoSTRUZIONI

Delle 10 aree del Fusco presenti nel Levante ligure, tra Genova e Monterosso (Fig. 18), quattro presentavano evidenti tracce di biocostruzioni all'interno o in prossimità dei confini indicati nel 1967 (F5a_Genova, F7a_Portofino, F9, F10_Sestri Levante). Una ulteriore zona a biocostruzioni è stata individuata a sud della zona F12, fuori Monterosso. Tali biocostruzioni sono state individuate tramite scandaglio SSS e tramite interpolazione dei dati batimetrici del fondale con le rotte dei pescatori per individuare le zone (anche esterne alle aree del Fusco) che potessero ospitare, sulla base delle caratteristiche topografiche, oceanografiche e di frequentazione) tale tipo di ambiente. Si tratta di piccoli mound di poche decine di metri di diametro e qualche metro di elevazione (F5a), mound estesi per diverse decine di metri ed elevati per un paio di metri (F12) oppure imponenti reef estesi per centinaia di metri ed alti anche 3-4 m (F7a, F9).

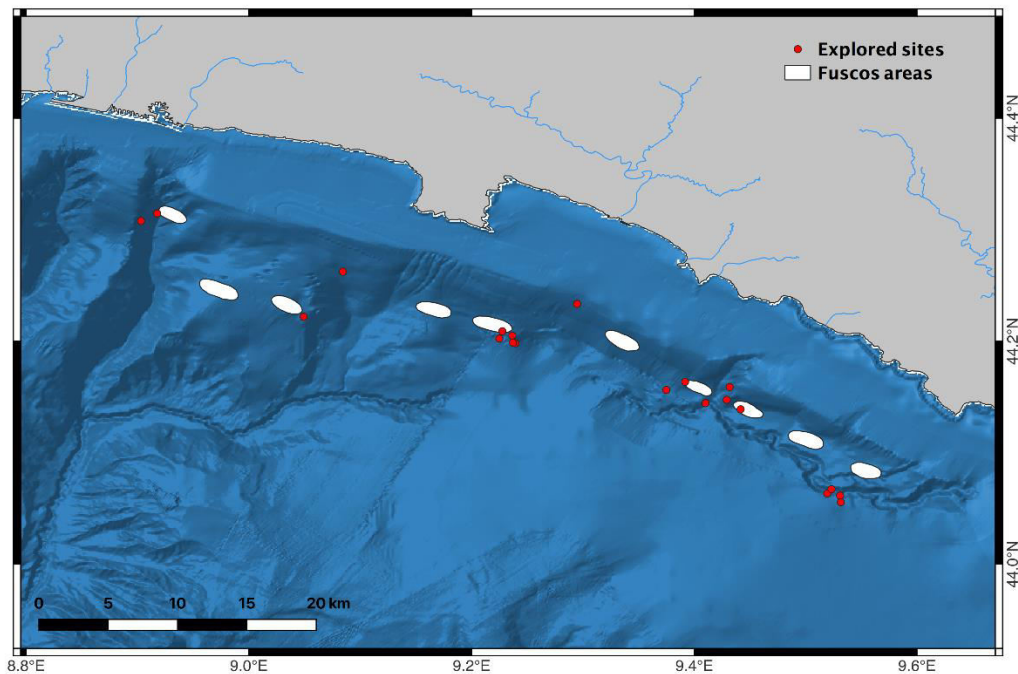


Fig. 18. Siti di esplorazione in relazione alle aree del Fusco, denominati da F3 (primo ad ovest) a F12 (ultimo ad est).

La distribuzione delle biocostruzioni è stata studiata in proporzione al contesto ambientale medio in cui venivano osservate, considerando quindi anche la presenza di substrato (roccioso o fangoso/sabbioso) e il grado di frammentazione del corallo (coral rubble) (Fig. 19).

Risulta evidente la povertà in termini di biocostruzioni nell'area di Genoa Plateau, in cui domina invece un substrato fangoso lievemente inclinato dominato in alcuni punti (F5a) da coral rubble (circa 40%) (Fig. 19). Diversa invece la situazione nelle altre aree, dove si riscontra in tutte la presenza di biocostruzioni, specialmente a Portofino (F7a) (fino al 70% del substrato analizzato), Sestri Levante (dal 10% al 60%) e con meno continuità a Monterosso (attorno al 40%). Il substrato fangoso si mantiene omogeneo in termini di abbondanza in tutte e tre le zone, mettendo in evidenza il rapporto inversamente proporzionale che questo ha con le biocostruzioni: dove questo domina, le biocostruzioni sono assenti. Si riscontra infine una zona rocciosa particolarmente estesa a Sestri Levante (F10, versante est del canyon). Le biocostruzioni a levante sono su substrati da moderatamente ad altamente inclinati.

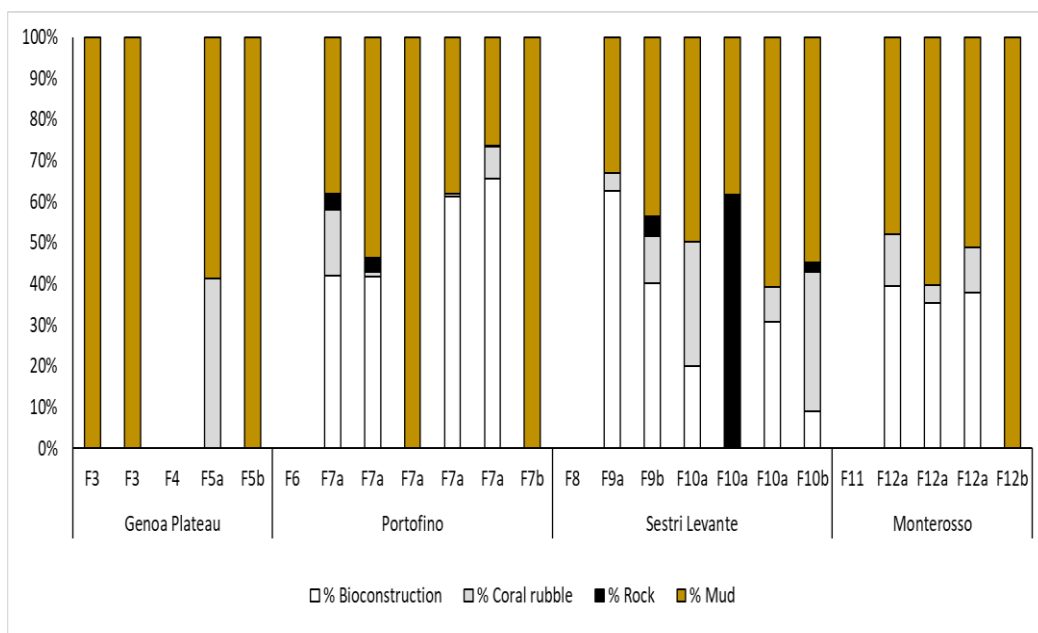


Fig. 19. Abbondanza media percentuale delle biocostruzioni rilevate nelle quattro aree di studio, grado di frammentazione (coral rubble) e tipo di substrato (roccioso e fangoso).

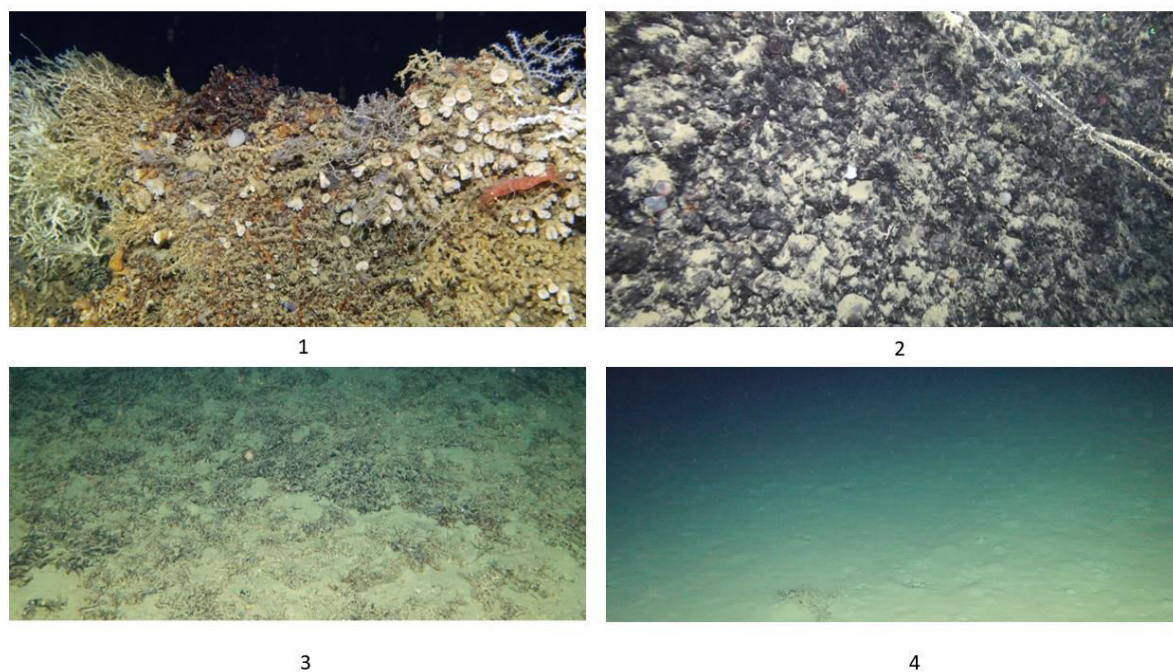


Fig. 20. Rappresentazione esemplificativa di substrato a biocostruzioni (1), roccioso (2), coral rubble (3) e fangoso (4).

Successivamente, nelle zone ospitanti substrato biogenico (biocostruzioni e rubble) è stata effettuata la distinzione tra corallo vivo e morto (Fig. 21). Ovviamente sul Plateau di Genova (dove in effetti si era trovato solo coral rubble), il substrato biogenico è interamente morto. Più interessanti i casi a Levante a partire dal reef di Portofino (dove è stata riscontrata una piccolissima percentuale di corallo vivo) ai reef di Sestri e Monterosso con una percentuale di corallo vivo variabile tra il 10% e il 20%, in accordo con la natura stessa della biocostruzione che mantiene una porzione morta sub-fossile (Fig. 21).

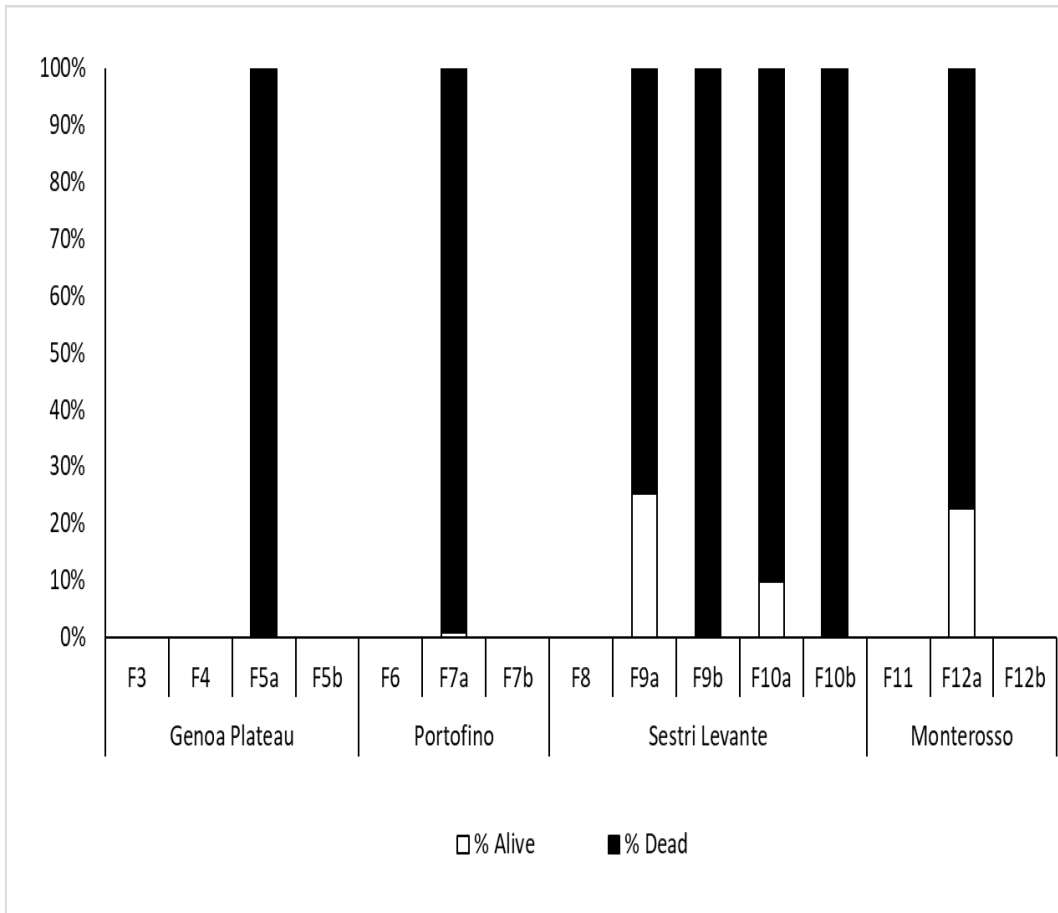


Fig. 21. Abbondanza media percentuale di corallo vivo e morto nelle quattro aree di studio.

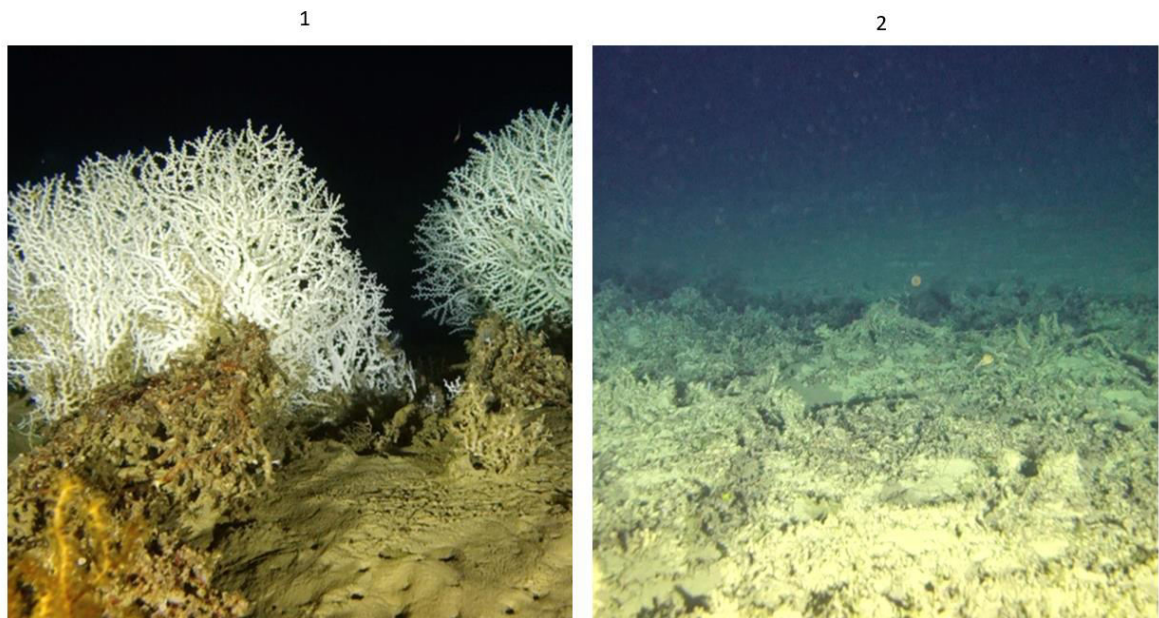


Fig. 22. Distinzione tra corallo vivo (1) e morto (2).

CARATTERIZZAZIONE BIOECENOTICA DEI SITI

Dopo aver ottenuto una rappresentazione generale della distribuzione dei reef, si è inserita nello studio una caratterizzazione biocenotica della fauna associata alle biocostruzioni con particolare riguardo per le specie strutturanti (spugne e cnidari antozoi) che rappresentano dei buoni indicatori dello stato ambientale di questi ecosistemi. Per le specie strutturanti sono state valutate densità relativa e struttura demografica delle popolazioni, mentre per le specie associate è stata considerata abbondanza e ricchezza specifica.

In primo luogo, sono state considerate le tre specie di sclerattinie costruttrici (*M. oculata*, *L. pertusa*, *D. dianthus*) (Fig. 18), considerandone l'abbondanza media in percentuale per ciascuna area di studio estrapolata dall'analisi delle immagini. Genoa Plateau conferma la dominanza di coral rubble, aggiungendo l'informazione che quest'ultimo è composto interamente da frammenti di *L. pertusa*. Quest'ultima risulta dominante anche a Portofino e assente nelle altre due aree a Levante, mediamente più superficiali. *D. dianthus* si osserva per il 10% circa solo a Portofino e in una sub-area di Sestri Levante, mentre *M. oculata* è dominante in queste due aree (Fig. 23).

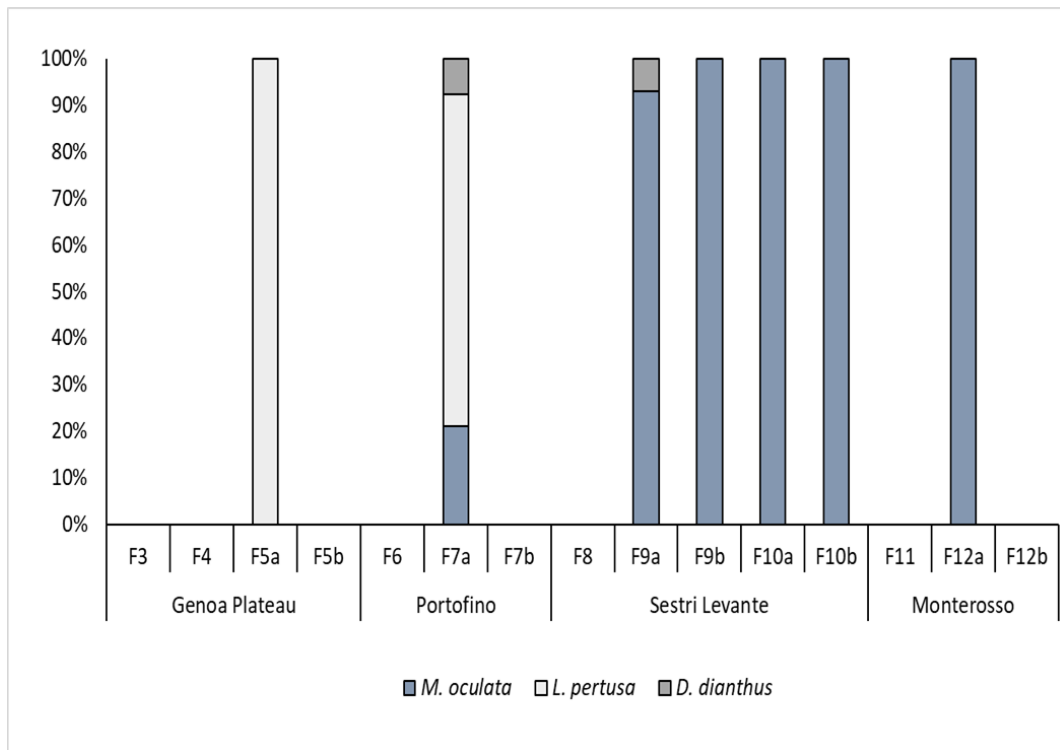


Fig. 23. Abbondanza media percentuale delle tre specie di sclerattinie costruttrici (*M. oculata*, *L. pertusa*, *D. dianthus*).

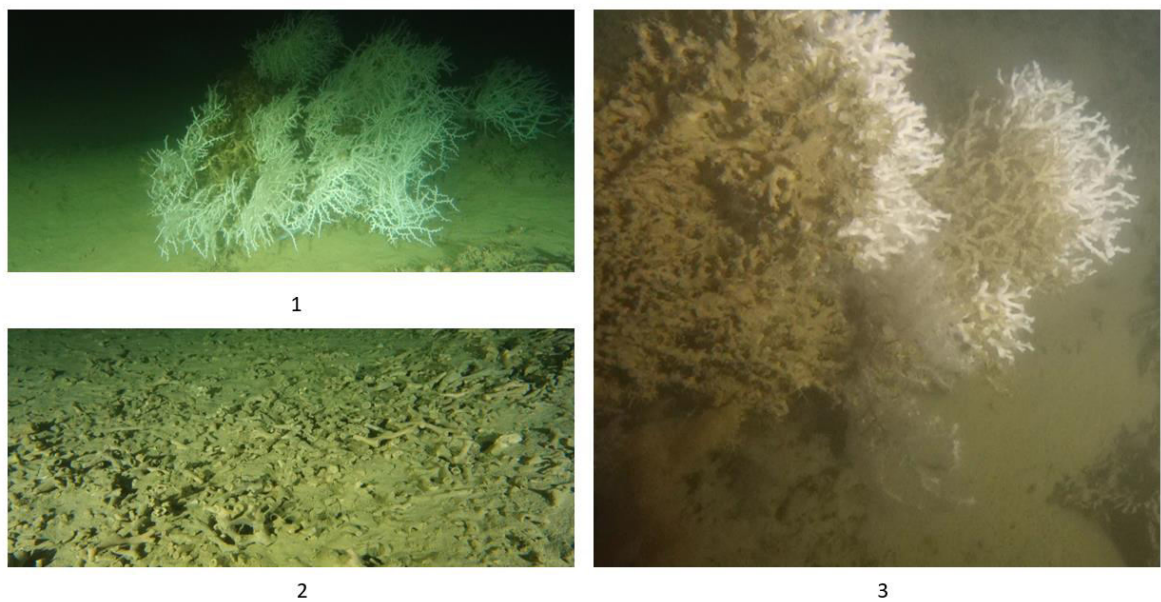


Fig. 24. Rappresentazione esemplificativa di un reef *M. oculata* (1), frammenti di *L. pertusa* (2) e reef di *L. pertusa* (3).

Relativamente alle altre specie strutturanti (5 antozoi gorgonacei, 2 antozoi antipatari, 1 demospongia massiva) si osserva la totale assenza sul Plateau di Genoa, mentre Monterosso riporta una bassa densità di specie osservate (di cui *M. lepada* risulta essere la specie più comune su fondo duro e *I. elongata* su fondo fangoso) (Fig. 25). *M. lepada* è la specie più abbondante anche nelle altre due aree, in particolare una vasta foresta è stata osservata nel sito F9a dove si osservano densità medie di oltre 15 colonie m⁻². Portofino e Sestri Levante ospitano foreste plurispecifiche (6-7 specie strutturanti). Le specie più abbondanti sono *A. hirsuta*, *P. coronata* e *P. massiliensis*, trovate sia su coral rubble che sulle biocostruzioni morte. Dense popolazioni della spugna *P. monilifera* si osservano solo nella zona F10. Tra i coralli neri, *Parantipathes* sp. è la specie più comune nelle varie aree esplorate.

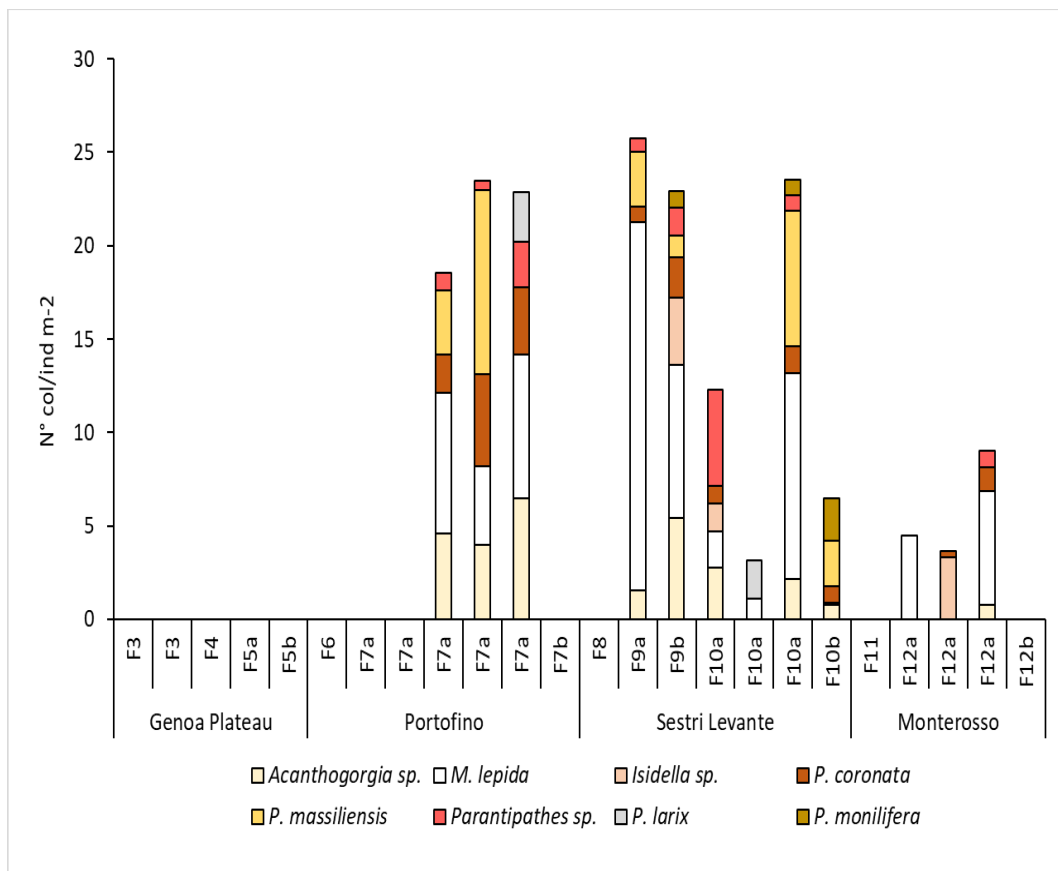


Fig. 25. Densità medie delle principali specie strutturanti rilevate nelle quattro aree di studio.

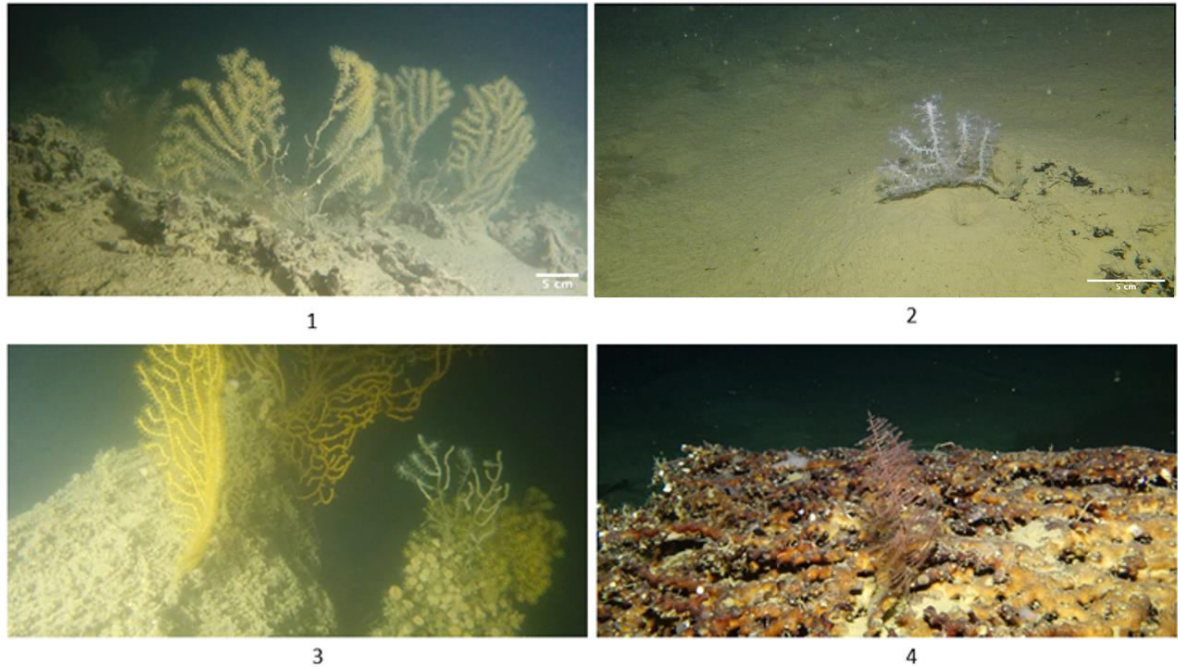


Fig. 26. Specie strutturanti esemplificative di *Acanthogorgia* sp. (1), *M. lepida* (2), *P. coronata* (3) e *Parantipathes* sp. (4).

Dopo aver analizzato le specie strutturanti, lo studio ha preso in considerazione le specie associate, al fine di ricostruire in modo completo il funzionamento degli habitat profondi.

Prima si è valutata la ricchezza specifica in generale, contando il numero di specie associate presenti in ciascuna area (Fig. 27). La ricchezza specifica più bassa si osserva nell'area del Plateau di Genoa (6-15 specie), mentre si attesta attorno a 23-42 nelle rimanenti zone, con livelli particolarmente elevati nell'area di Sestri (Fig. 27).

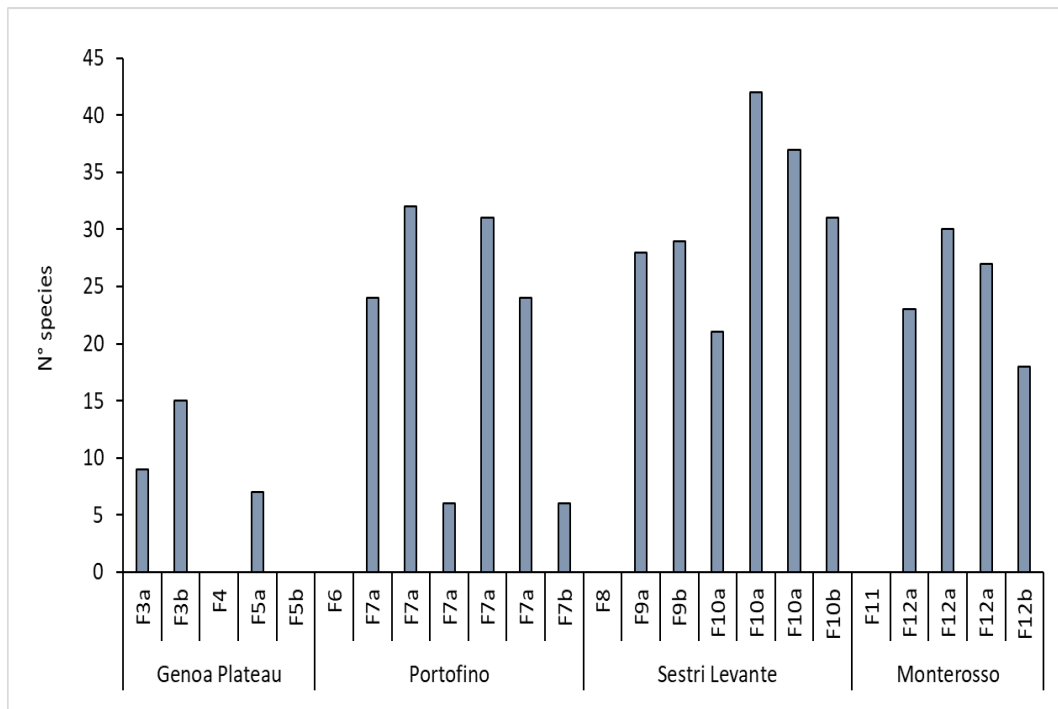


Fig. 27. Ricchezza specifica generale del numero di specie associate nelle quattro aree di studio.

È stata quindi valutata la distribuzione dei singoli taxa nelle varie aree (Fig. 22-27).

Genoa Plateau si conferma povera di specie, registrando solo un numero moderato di osteitti (Fig. 33) e in minima parte echinodermi (Fig. 32), crostacei (Fig. 31) e anellidi (Fig. 30). L'area di Sestri Levante si dimostra la più ricca di specie associate, con numeri che si mantengono medio/alti per tutti i taxa e abbastanza omogenei in tutte le sub-aree, tranne per gli osteitti (Fig. 33), per i quali si registra una diminuzione generale con un unico picco nella sub-area F10a. Anche Portofino mostra un particolare andamento: si riscontra una povertà generale di specie associate in tutte le sub-aree, tranne per la F7a in cui si registra un relativamente alto numero di tutte le specie.

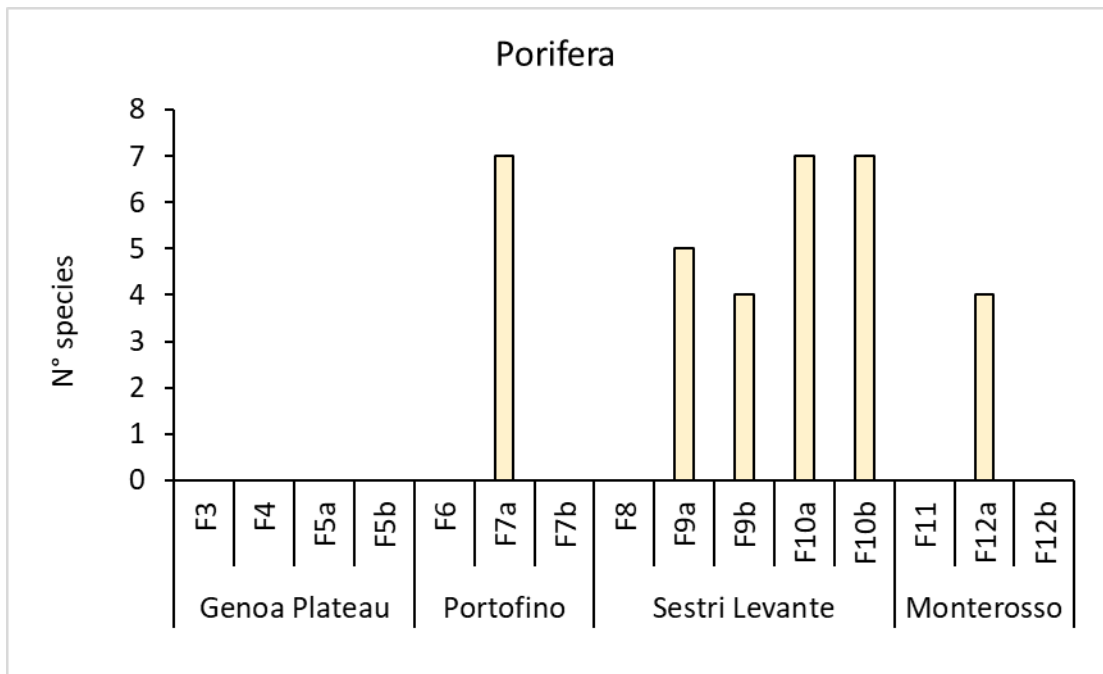


Fig. 28. Ricchezza specifica dei poriferi nelle quattro aree di studio.

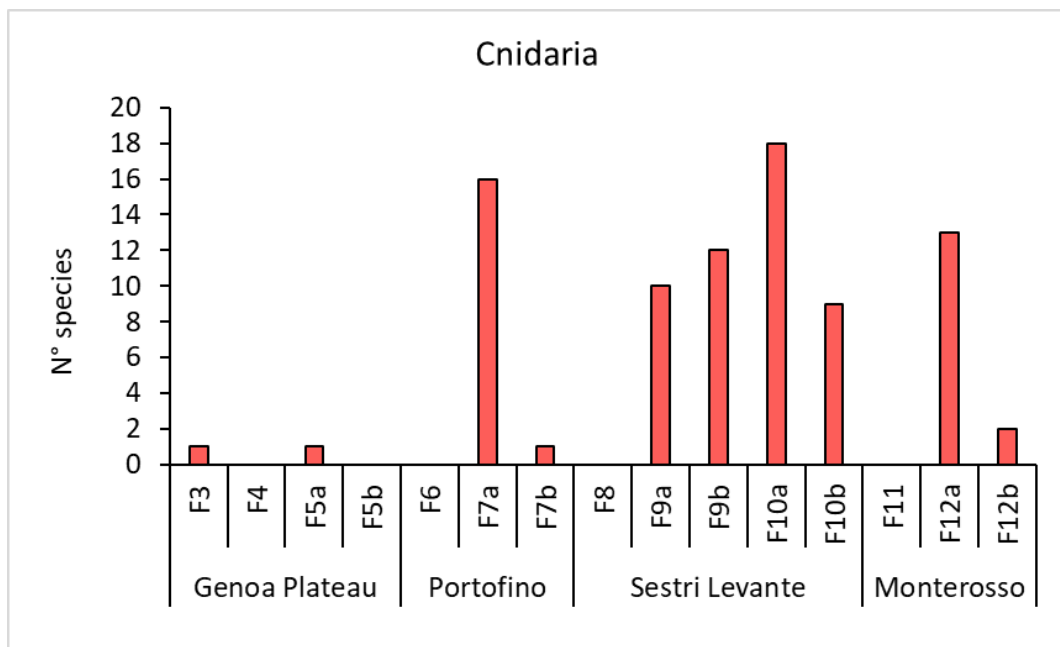


Fig. 29. Ricchezza specifica degli cnidari nelle quattro aree di studio.

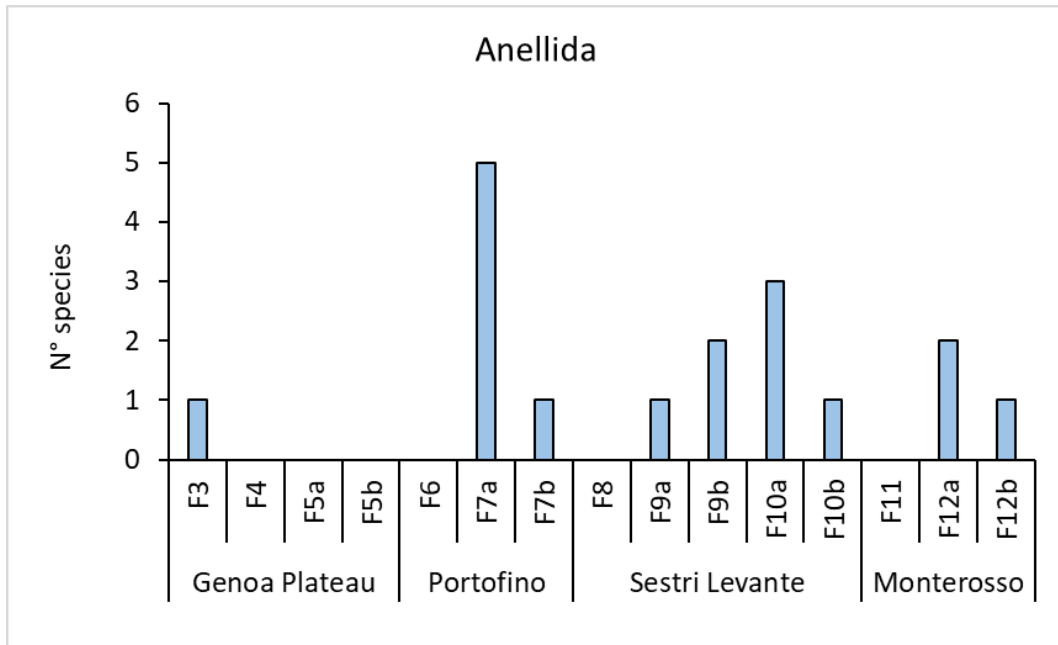


Fig. 30. Ricchezza specifica degli anellidi nelle quattro aree di studio.

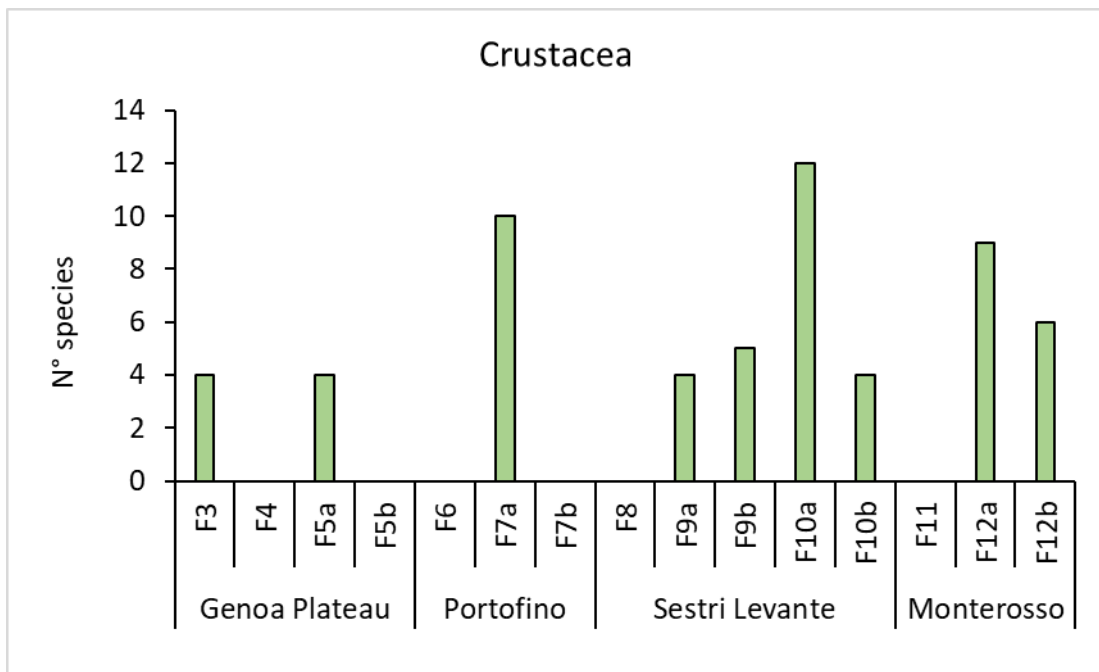


Fig. 31. Ricchezza specifica dei crostacei nelle quattro aree di studio.

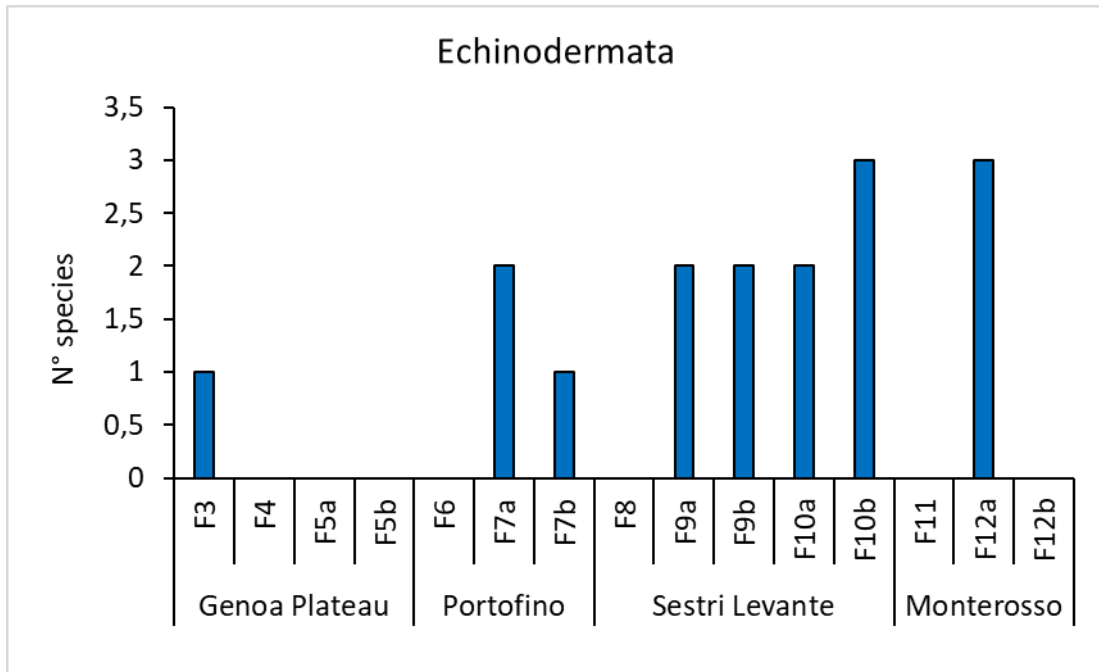


Fig. 32. Ricchezza specifica degli echinodermi nelle quattro aree di studio.

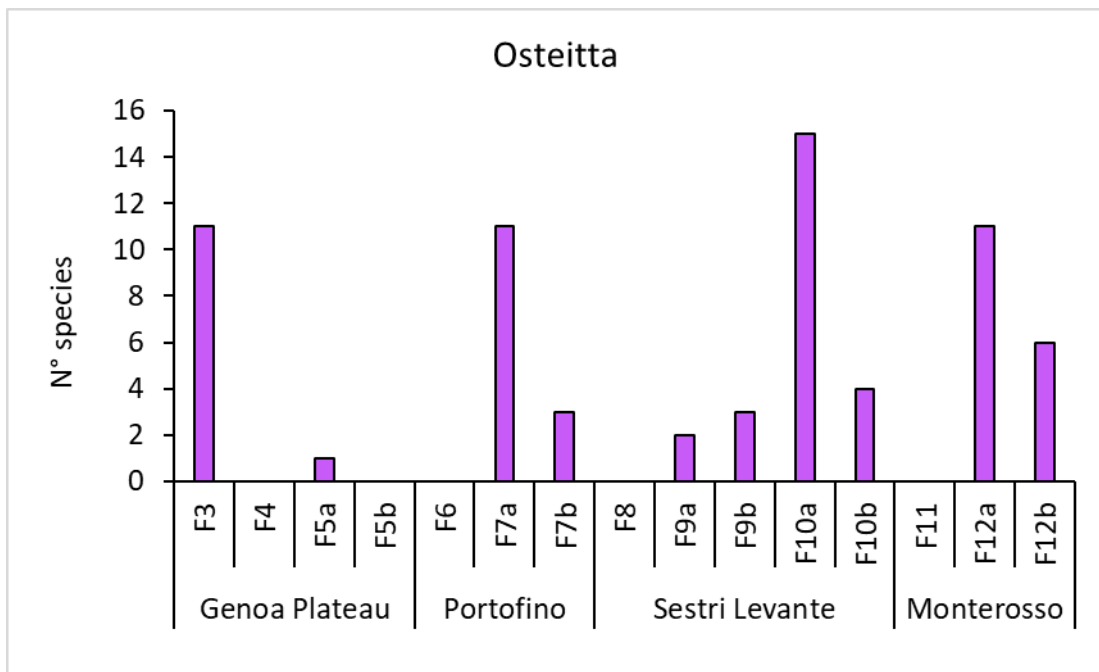


Fig. 33. Ricchezza specifica degli osteitti nelle quattro aree di studio.

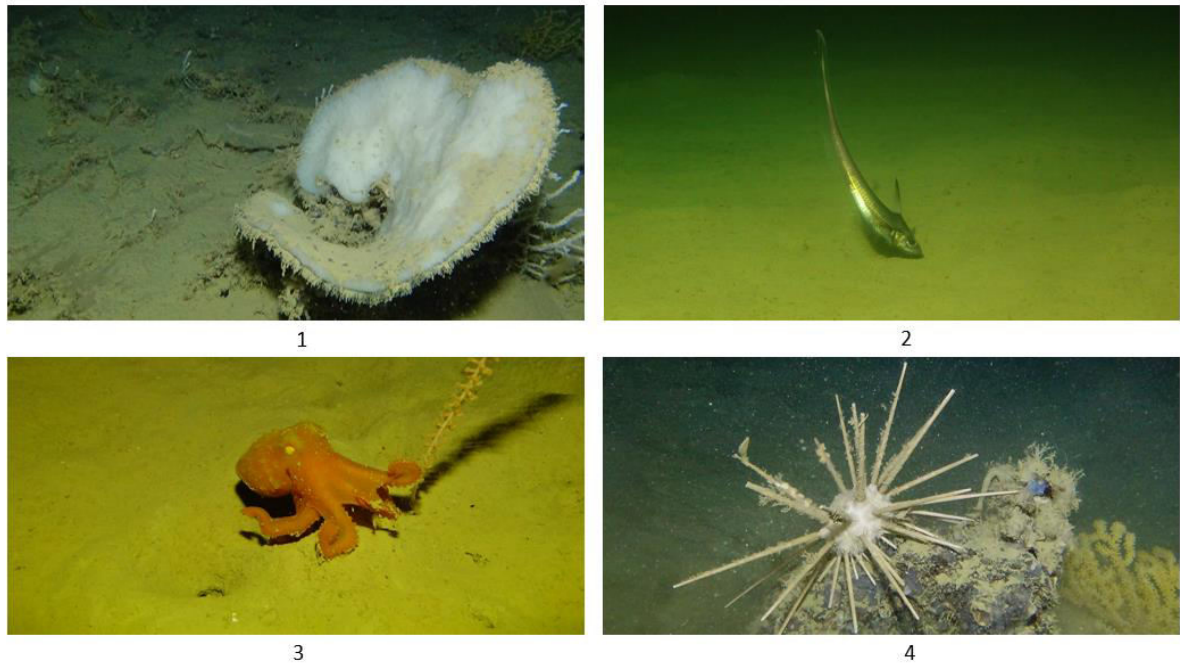


Fig. 34. Immagini esemplificative di alcune specie carismatiche, *Pachastrella monilifera* (1), *Nezumia cf. aequalis* (2), *Pteroctopus tetracirrhus* (3), *Cidaris cidaris* (4).

STRUTTURA DI POPOLAZIONE E STATO DI SALUTE

Al fine di valutare l'impatto antropico della pesca profonda (strascico e palangari ricreativi) in queste zone, sono stati considerati due parametri.

In primo luogo, per ogni specie strutturante osservata è stato costruito un grafico taglia/frequenza, che permette di capire quali sono le classi dimensionali più frequenti e capire quindi lo stato delle popolazioni (Fig. 35-43).

Dai grafici sottostanti si può notare come le classi dimensionali giovanili siano le più frequenti, mentre vi è una progressiva diminuzione in termini di abbondanza man mano che le classi dimensionali aumentano. Questa tendenza si osserva per tutte le specie strutturanti osservate, soprattutto *M. lepada* (Fig. 38) dove gli individui giovanili sono molto frequenti mentre quelli adulti quasi assenti. D'altro canto, *Parantipathes* sp.

(Fig. 40) sembra mostrare la tendenza opposta, con classi dimensionali variabili e ugualmente frequenti, con una dominanza di individui adulti in una sub-area di studio (F7a).

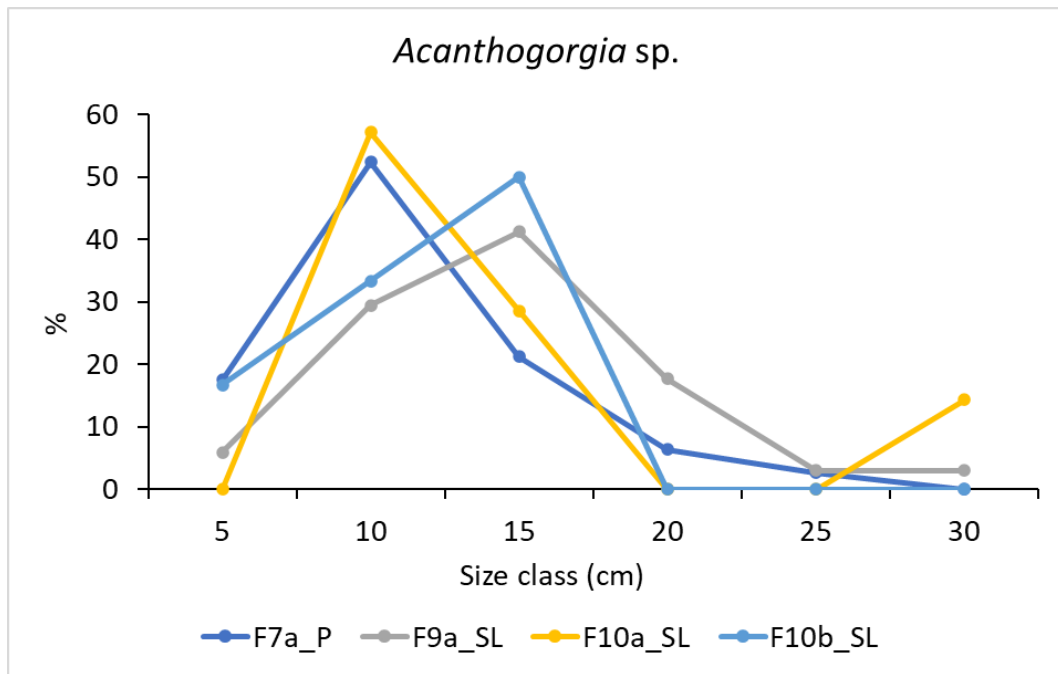


Fig. 35. Distribuzione taglia/frequenza *Acanthogorgia* sp.

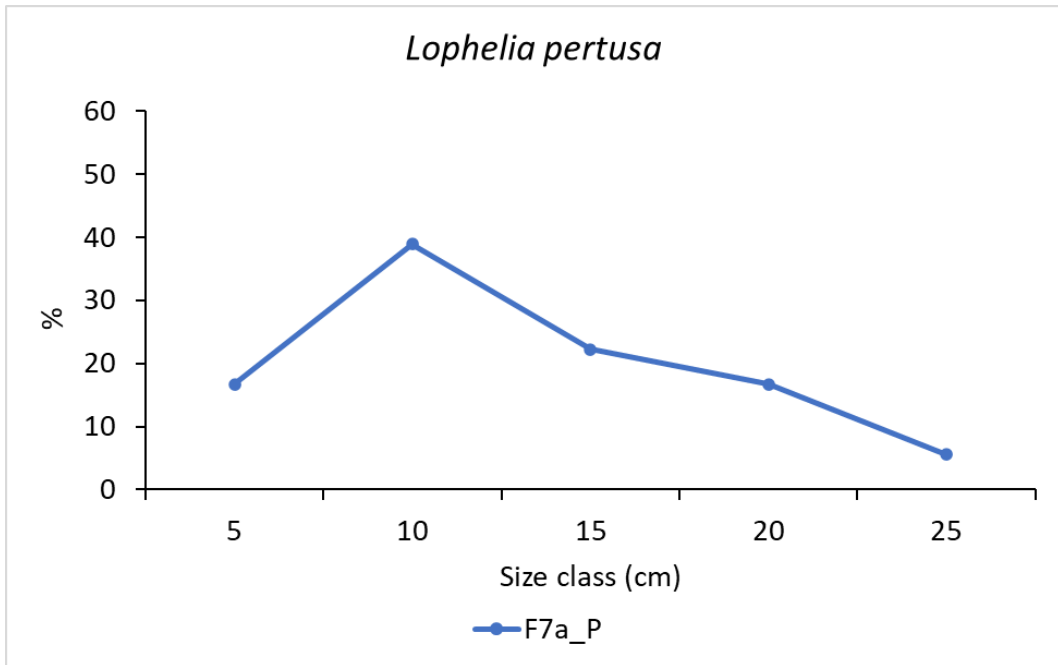


Fig. 36. Distribuzione taglia/frequenza *Lophelia pertusa*.

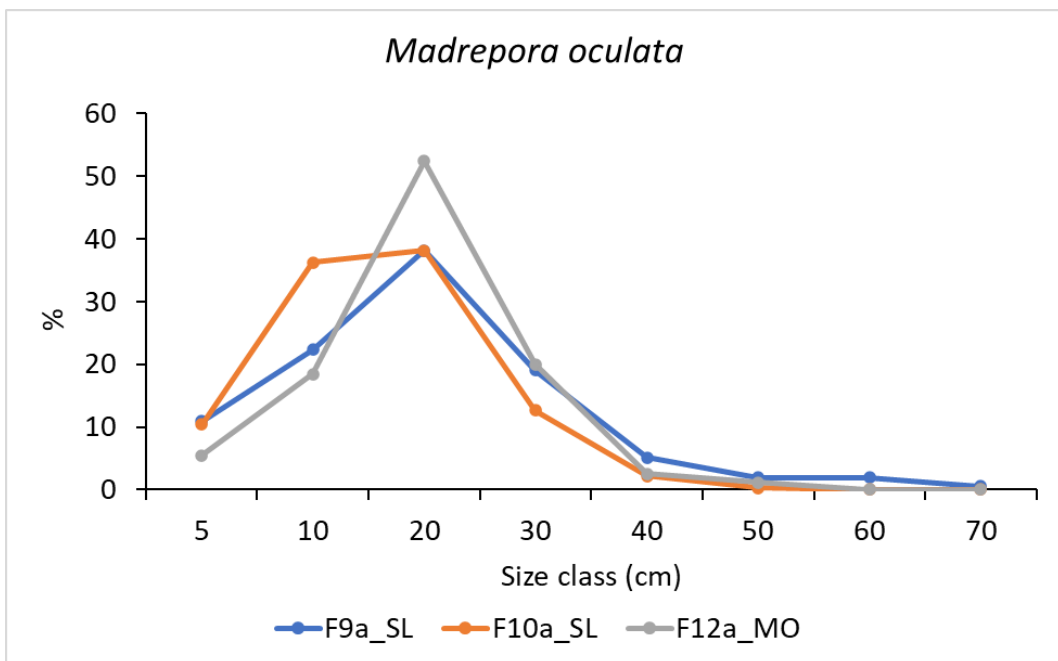


Fig. 37. Distribuzione taglia/frequenza *Madrepora oculata*.

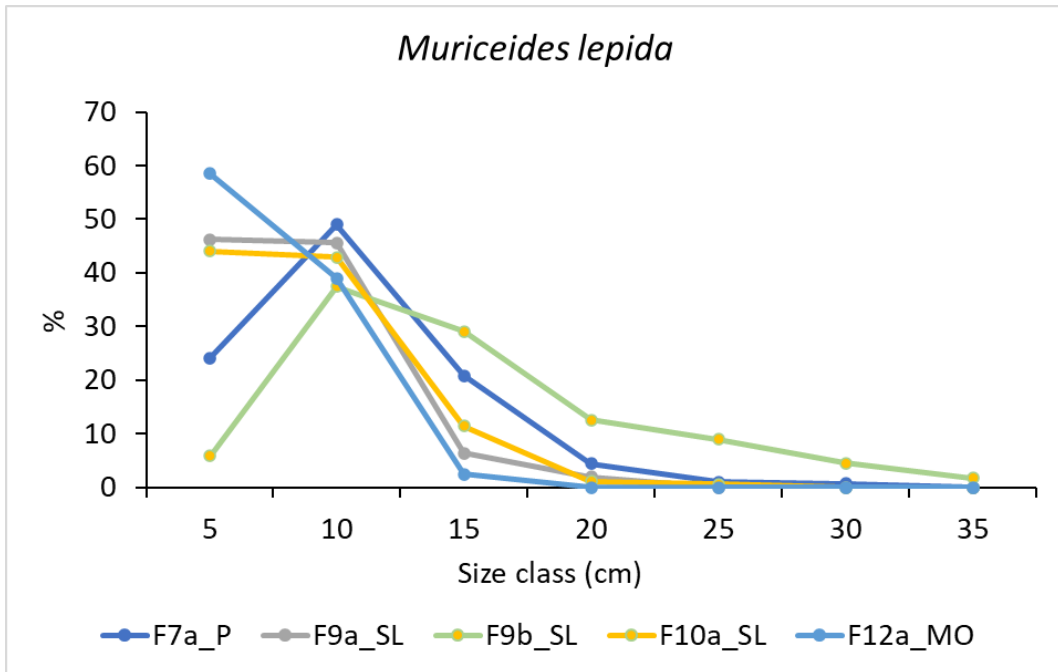


Fig. 38. Distribuzione taglia/frequenza *Muriceides lepida*.

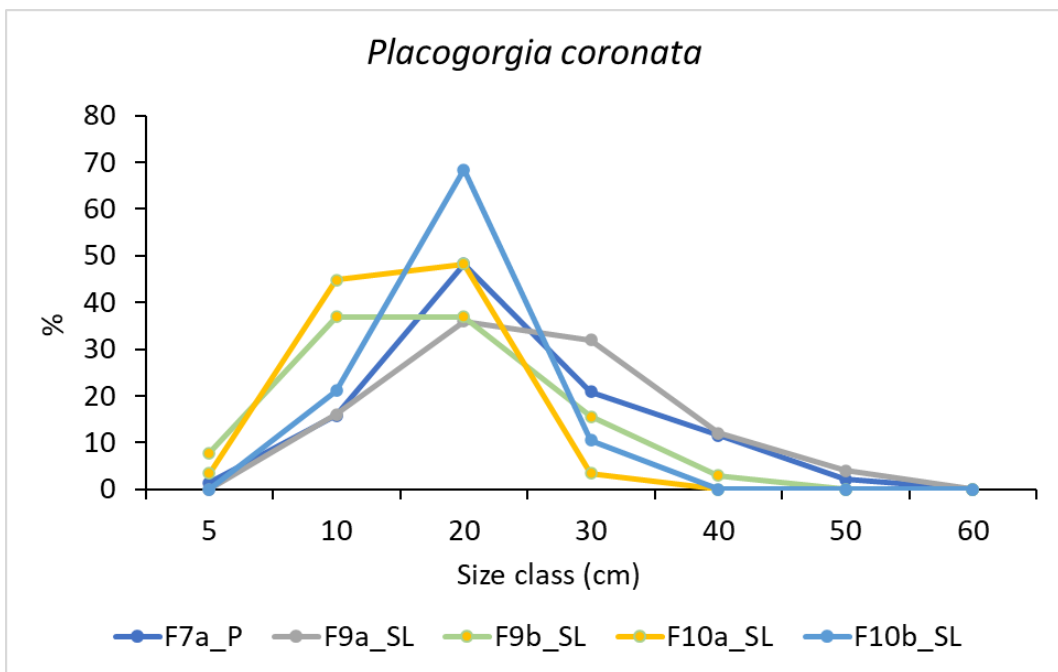


Fig. 39. Distribuzione taglia/frequenza *Placogorgia coronata*.

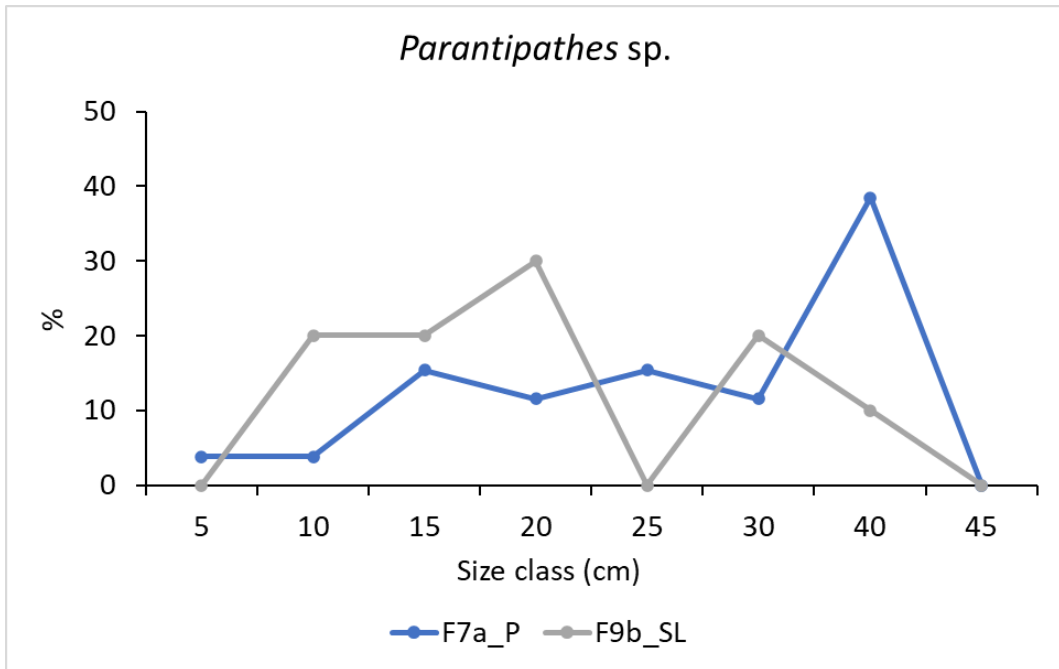


Fig. 40. Distribuzione taglia/frequenza *Parantipathes sp.*

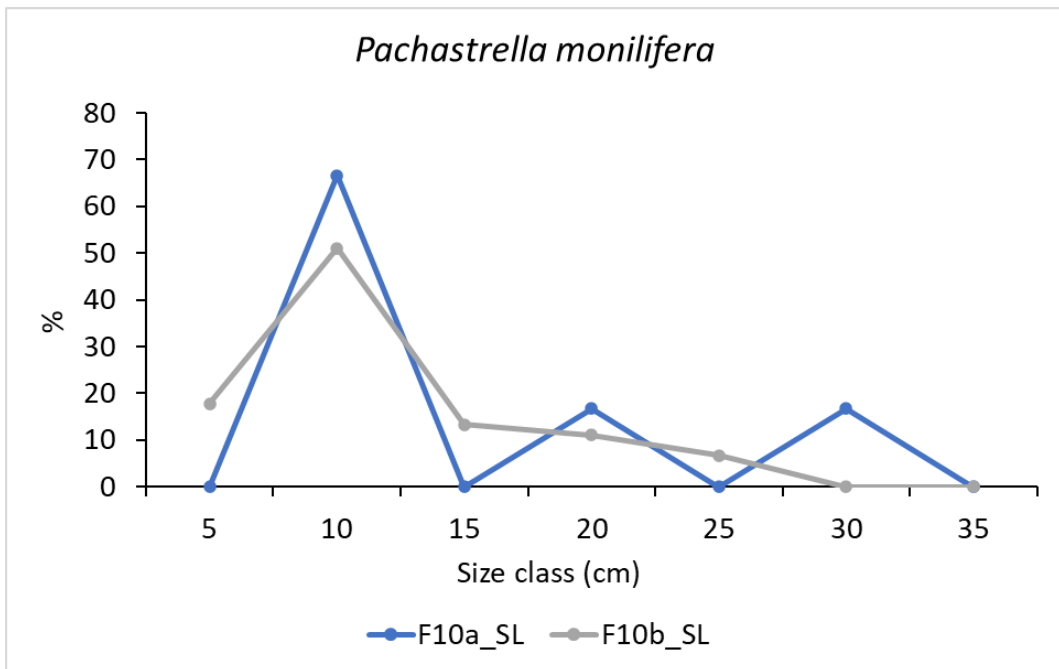


Fig. 41. Distribuzione taglia/frequenza *Pachastrella monilifera*.

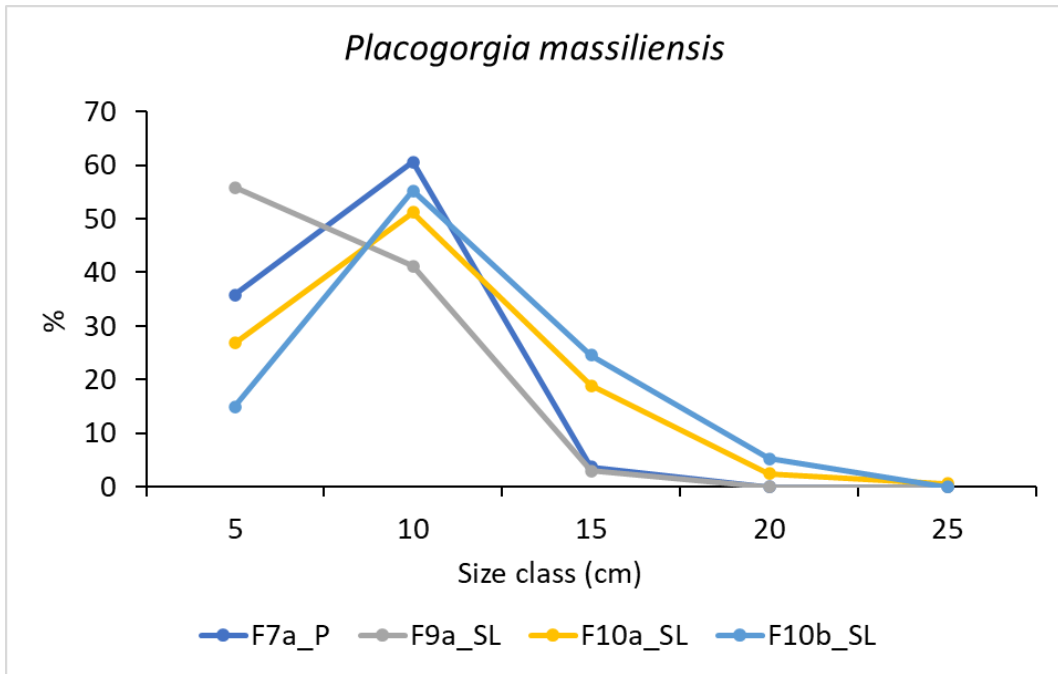


Fig. 42. Distribuzione taglia/frequenza *Placogorgia massiliensis*.

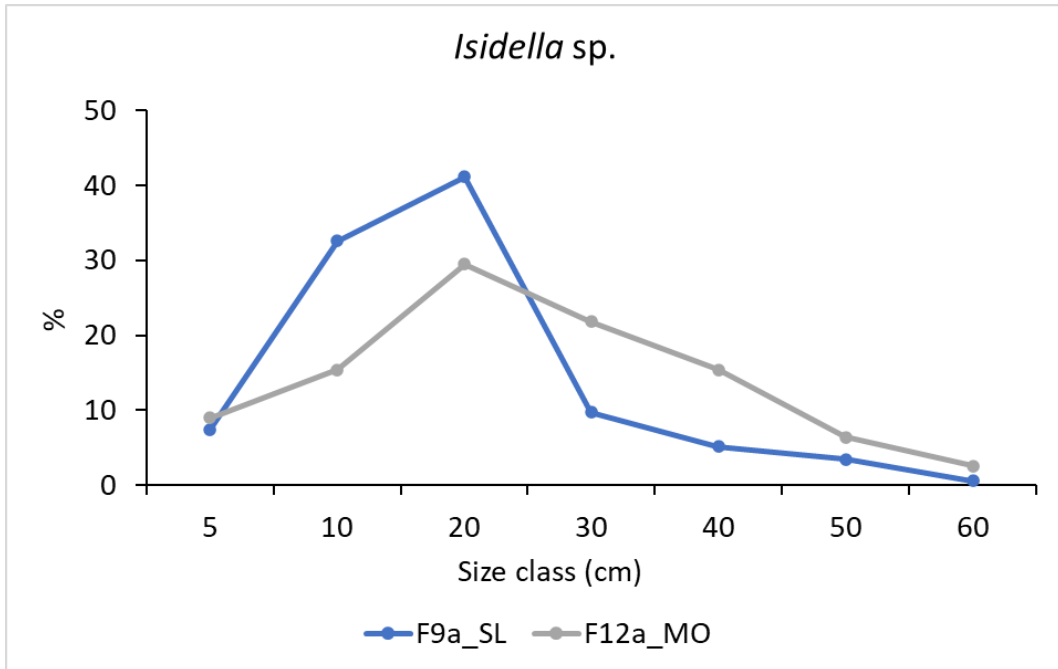


Fig. 43. Distribuzione taglia/frequenza *Isidella sp.*

Un indicatore diretto di impatto antropico è rappresentato dalla densità di oggetti legati alla pesca o comunque provenienti da costa e perduti sul fondo. Il primo grafico (Fig. 44) riporta il numero di oggetti antropici rilevati, quantificati per ciascuna area. Tali oggetti sono stati classificati in due categorie: rifiuti urbani generici (*urban litter*) e attrezzi da pesca abbandonati, smarriti o scartati (*Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear, ALDFG*). Entrambe le categorie risultano predominanti a Sestri Levante (con picchi di densità per ettaro di 1180,26 e 375,54 rispettivamente per la spazzatura generica e gli attrezzi da pesca), diminuendo a Monterosso e a Portofino. Genoa Plateau risulta quasi incontaminata da questi oggetti, mostrando poche quantità rilevate. Da menzionare è la sub-area F9b di Sestri Levante, la quale riporta il più alto valore di spazzatura osservato, mentre valori di ALDFG si mantengono simili e discretamente elevati sia a Sestri Levante che a Monterosso, con valori minimi a Portofino.

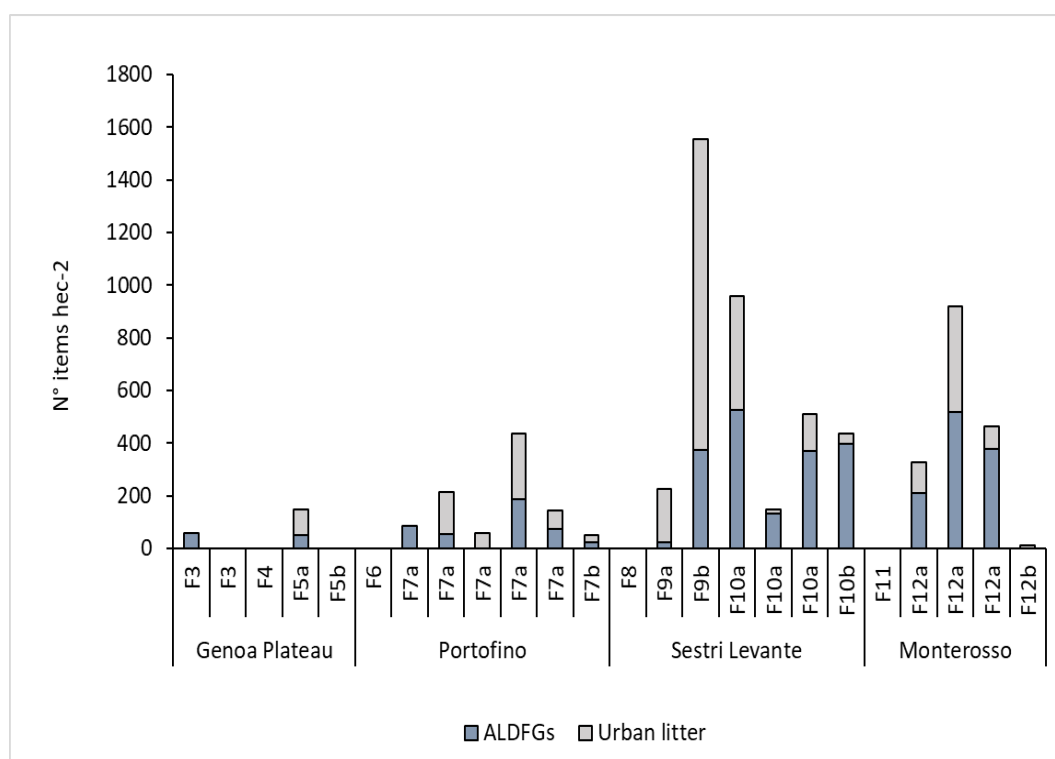


Fig. 44. Numero di oggetti antropici rilevati, quantificati per ciascuna area, suddivisi in rifiuti urbani generici (*urban litter*) e attrezzi da pesca abbandonati, smarriti o scartati (*Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear, ALDFG*).

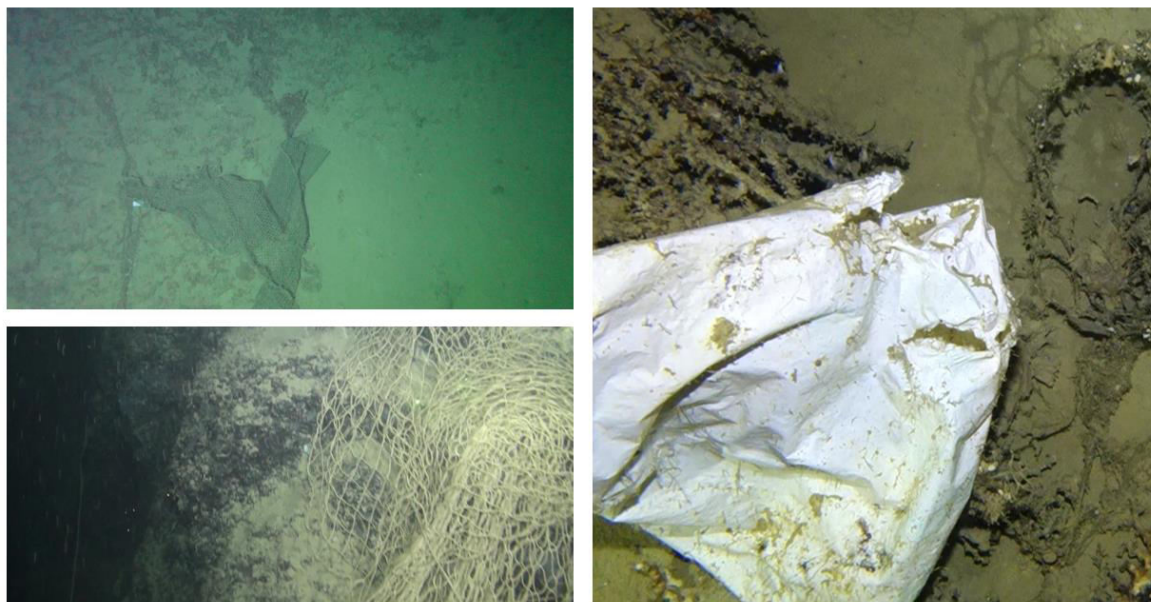


Fig. 45. Immagini esemplificative di oggetti da pesca persi e rifiuti urbani.

Dopo una quantificazione generale degli oggetti antropici rilevati in ciascuna area, si è analizzato il parametro legato all'impigliamento diretto degli attrezzi sulle biocostruzioni e sulle specie strutturanti in generale .

La percentuale di impigliamenti su biocostruzioni coralline sul totale degli impigliamenti osservati è mediamente alta in tutte le zone con l'eccezione dell'area genovese dove non c'è una biocostruzione (Fig. 46). In questa area sono numerose le tracce lasciate dai divergenti degli strascichi. Nelle altre aree i valori sono relativamente alti (20-100%), specialmente a Portofino e a Sestri Levante dove i valori si mostrano simili tra loro.

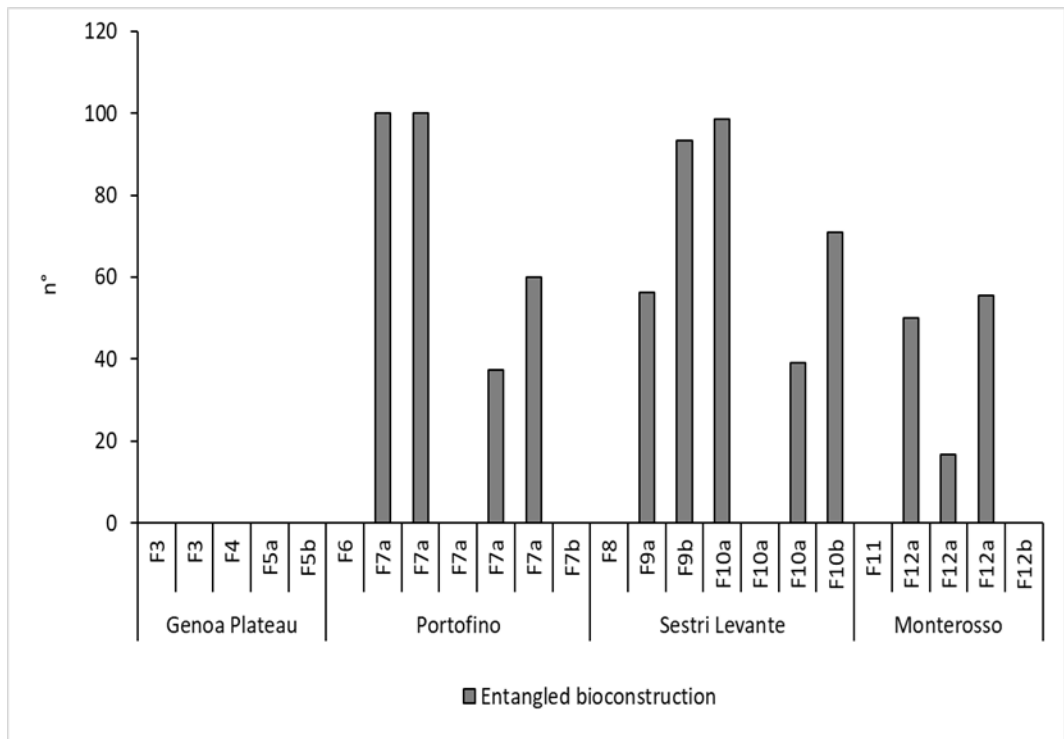


Fig. 46. Numero di biocostruzioni trovate impigliate in oggetti da pesca nelle quattro aree di studio.

La Fig. 47 specifica la natura delle strutturanti impigliate in oggetti da pesca, dividendole in antozoi e sclerattinie. Si osserva una netta prevalenza di gorgonie impigliate nell'area di Portofino, mentre una maggiore percentuale di madreporo impigliate a Sestri e Monterosso.

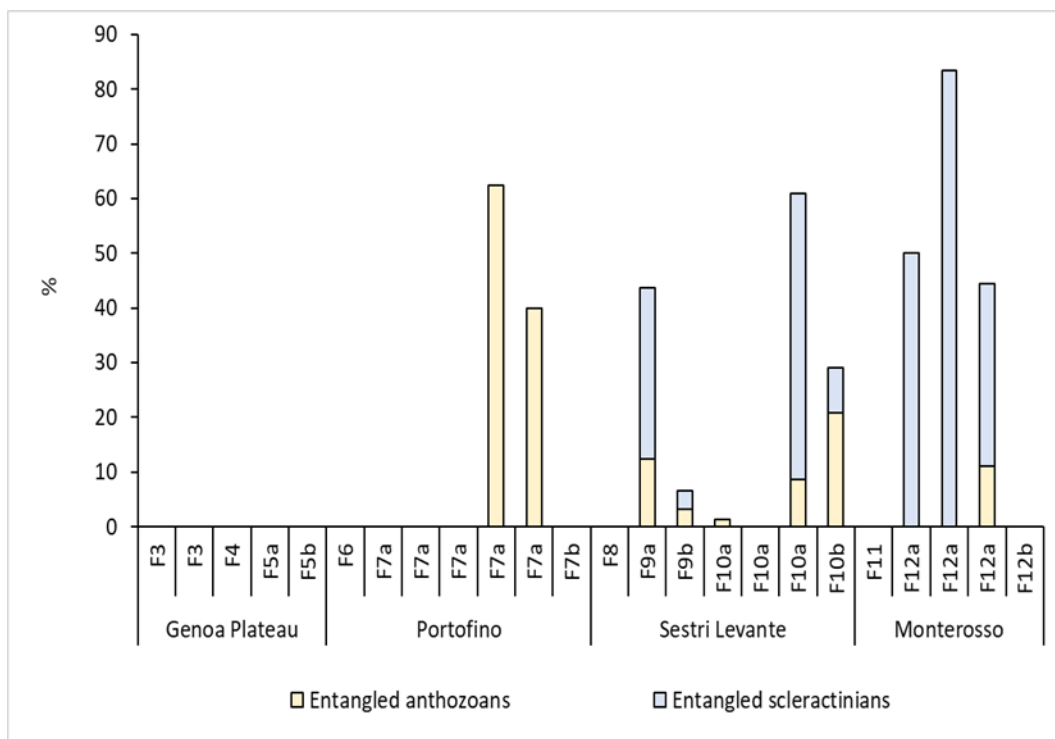


Fig. 47. Rapporto percentuale tra antozoi e sclerattinie rimaste impigliate in oggetti da pesca nelle quattro aree di studio.

Infine, la Fig. 48 fornisce un quadro sulla percentuale di antozoi morti rispetto al totale delle colonie contate nelle varie zone. Interessante notare come la sub-area F12a di Monterosso, nonostante riporti meno oggetti antropici e meno biocostruzioni impigliate rispetto alle altre aree, mostri il più alto tasso di mortalità. Un alto tasso di mortalità si registra anche a Portofino, mentre a Sesti Levante mantiene valori modesti.

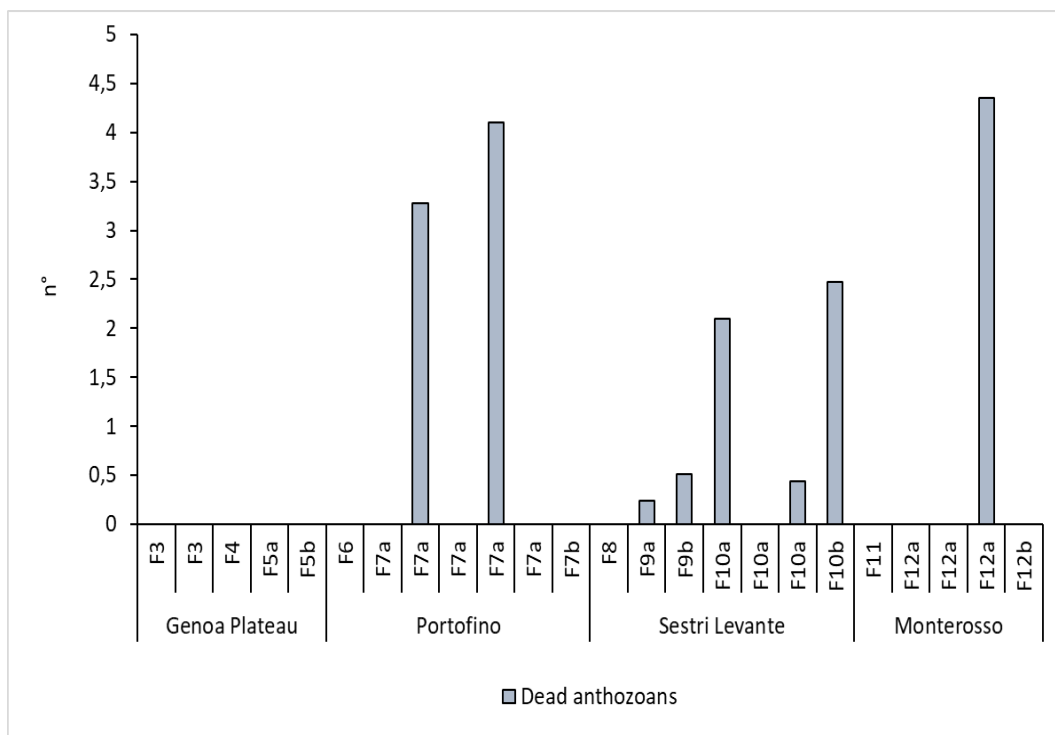


Fig. 48. Percentuale di antozoi morti rispetto al totale delle colonie contate nelle varie zone.

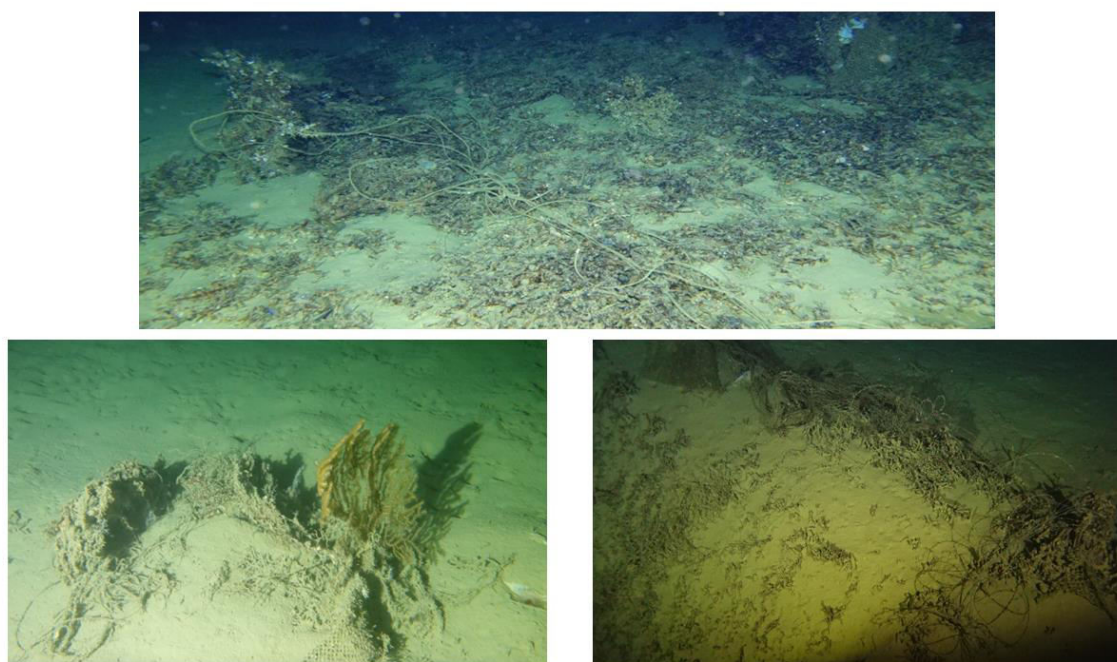


Fig. 49. Rappresentazione esemplificativa di alcune biocostruzioni impigliate.

DISCUSSIONE

Questo lavoro ha permesso di caratterizzare per la prima volta in maniera estensiva la zona a coralli bianchi profondi del levante ligure, una regione caratterizzata da un sistema complesso di canyon e attraversato da forti correnti cicloniche della massa d'acqua levantina ricca di ossigeno e di nutrienti (Fanelli et al., 2016; Enrichetti et al., 2018). Delle 10 aree del Fusco presenti nella regione oggetto di studio, tra Genova e Monterosso, quattro presentavano evidenti tracce di biocostruzioni all'interno o in prossimità dei confini indicati nel 1967 (F5a_Genova, F7a_Portofino, F9, F10_Sestri Levante). Una ulteriore zona a biocostruzioni è stata individuata a sud della zona F12, fuori Monterosso. Si tratta di importanti siti a corallo in buona parte caratterizzati da grande elevazione e quindi grande tridimensionalità. Rispetto alle informazioni esistenti sono state fatte le seguenti osservazioni: la zona genovese è caratterizzata da piccoli mound corallini prevalentemente frammentati, si tratta di zone di circa 20 m di diametro mai rilevati in precedenza (Fig. 50A). La zona di Portofino ospita una cresta corallina di circa 9km² (Fig. 50B). Si tratta di una biocostruzione quasi interamente morta come rilevato in precedenza (Enrichetti et al., 2018), sebbene siano state osservate colonie vive di *L. pertusa*, di fatto il record più a levante del Mar Ligure (Fabri et al., 2014, 2019).

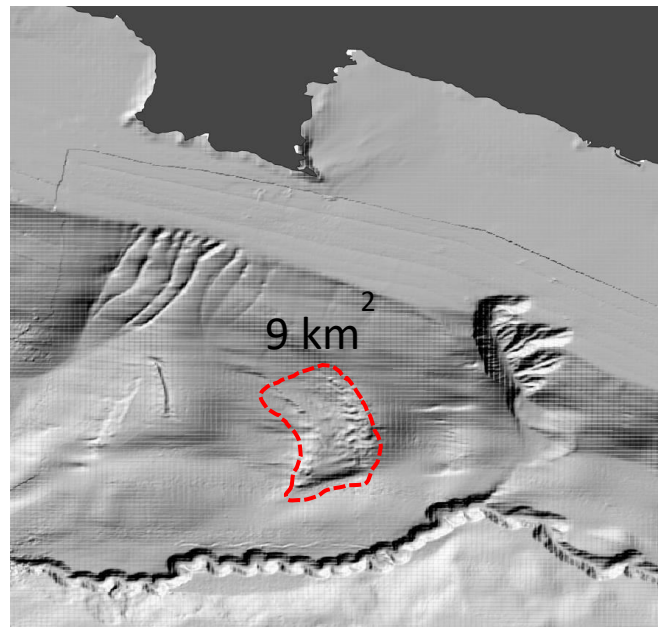
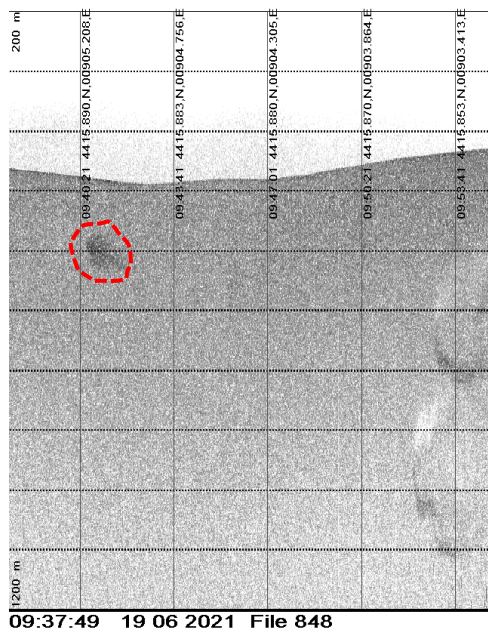


Fig. 50. A) piccoli mound corallini nella zona genovese. B) cresta corallina di circa 9km² rilevata a Portofino.

A Monterosso è stata visitata sia la zona a coralli nota (Fanelli et al., 2016), sia zone adiacenti nuove, in particolare i mound a coralli sul versante nord del canyon. La zona a coralli di Sestri, una delle più estese, risulta invece completamente nuova. Alcune segnalazioni di corallo nel bycatch erano note nella zona di Deiva Marina (Fanelli et al., 2016), ma non era mai stata osservata la zona sorgente, localizzata sui pendii semi-verticali del canyon prospiciente Deiva.

Le zone del Fusco prive di biocostruzioni possono considerarsi tali per due ragionevoli motivi: i) perché non le hanno mai ospitate (e quindi il Fusco erroneamente tracciava tali aree in zone di riporto di materiale corallino tramite strascico da zone adiacenti, come in F4, F6, F11, F12) oppure, ii) come nel Plateau di Genova (F4, F5) ricco di piccoli mound, perché sono state asportate meccanicamente dagli attrezzi nel tempo.

I dati di copertura suggeriscono come la zona del Plateau di Genoa sia completamente frammentata. Ciò, insieme alla presenza di tracce dei divergenti, supporta un esteso impatto antropico da parte delle numerose strascicanti che passano nell'area. È noto che i mound di corallo si sviluppano su aree di substrato roccioso molto limitate riducendo la necessità di imponenti gradoni rocciosi per l'insediamento (Tursi et al., 2004; Chimienti et al., 2019; Grinyo et al., 2020). Questa zona è rilevante dal punto di vista naturalistico poiché è interamente costituita da frammenti di *L. pertusa*.

Nelle restanti aree, l'abbondanza di biocostruzioni si mantiene più o meno simile, con livelli medi intorno al 50% rispetto all'osservato e valori leggermente inferiori per Monterosso. Non mancano sub-aree dominate dal fango e quindi prive di coralli; tuttavia, un valore alto di frammentazione come sul Plateau di Genova non si riscontra nelle altre zone.

La percentuale di corallo vivo è particolarmente significativa sia nella zona di Sestri che nella zona di Monterosso, rappresentando quindi aree di crescita geologicamente più recenti. A questo si aggiunge anche la loro crescita in zone decisamente più impervie dal punto di vista topografico (sui fianchi del canyon) che le protegge indirettamente dallo strascico, fenomeno noto anche in altri contesti (Bo et al., 2015). Di contro, queste zone sono maggiormente interessate da attività di pesca artigianale e ricreativa tramite lenze, trovate in abbondanza sul fondale (Bo et al., 2014).

Per quanto riguarda l'entità dei coralli profondi, *M. oculata* risulta la più abbondante, con *L. pertusa* ritrovata solo a Portofino e Genova. I risultati sulla taglia/frequenza lasciano intendere che gli individui giovanili siano predominanti. Ciò è in accordo con l'andamento medio delle popolazioni profonde, suggerendo da una parte eventi di colonizzazione stabili e dall'altra parte anche un costante impatto sulle colonie di taglie maggiori, più facilmente impattabili dagli attrezzi da pesca (Mytilineou et al., 2014).

La diversità delle specie strutturanti riscontrate si mantiene elevata ed omogenea in tutte le aree, con una dominanza di *M. lepada*, seguita da *P. massiliensis* (qui studiata per la prima volta nel suo ambiente naturale) e *Acanthogorgia hirsuta*. Queste specie sfruttano il substrato secondario offerto dalle biocostruzioni, in articolare la frazione morta, elevandosi dal substrato fangoso (Rueda et al., 2019).

La zona più ricca di specie associate risulta Sestri Levante, in virtù dell'estensione delle biocostruzioni sia su fondale verticale che orizzontale in una zona a forte corrente. L'ambiente tridimensionale offre un gran numero di zone di rifugio sia per invertebrati che vertebrati (Rueda et al., 2019). Anche i reef fossili mantengono il loro ruolo di oasi di biodiversità, rendendo eterogeneo l'ambiente circostante e offrendo fonti di riparo e substrato. Per quanto riguarda l'abbondanza delle singole specie associate, non si registra una particolare specie dominante, tutte risultano equamente distribuite nelle varie zone.

Infine, per quanto riguarda l'impatto antropico, i grafici che quantificano i rifiuti urbani e gli oggetti da pesca trovati mostrano come questi siano più abbondanti a Sestri Levante, a giustificare l'ipotesi precedente che si tratti di un'area particolarmente ricca di biodiversità e quindi sfruttata. Monterosso invece si colloca in seconda posizione per il ritrovamento di oggetti antropici, mentre a Genoa Plateau e Portofino ne sono stati trovati minime quantità. Il caso di Genova, tuttavia, si spiega in quanto l'assenza di una vera e propria biocostruzione impedisce anche l'impigliamento delle reti. Alti livelli di impigliamento sono stati trovati nella zona di Portofino, una regione molto sfruttata dalla pesca da diversi decenni. Le tracce che si osservano sul fondo possono quindi essere imputate ad almeno 70 anni di sfruttamento antropico. La zona è anche particolarmente tridimensionale, con biocostruzioni alte anche 3-4m e quindi più facilmente impattabili. Anche Sestri Levante mostra valori simili e discretamente alti di biocostruzioni impigliate, mentre Monterosso leggermente inferiori.

L'impatto su Monterosso è stato tuttavia più elevato in proporzione rispetto alle altre zone; infatti, dal grafico che riporta il numero di antozoi morti, Monterosso assume i valori più alti. Monterosso si trova in una zona particolarmente impervia e limitata, abbastanza lontana da costa e quindi in generale meno frequentata. Ciò fa intendere come sussistano diversi fattori (topografia, correnti, elevazione, sforzo di pesca, tipo di pesca, ...) che influenzano lo stato di salute delle biocostruzioni e delle specie associate, unitamente ad una diversa capacità degli ambienti di riprendersi dallo stress, una diversa resistenza e resilienza. Infatti, il numero di biocostruzioni impigliate e oggetti antropici trovati non è direttamente proporzionale al numero di biocostruzioni morte.

Questo studio dovrebbe essere un incoraggiamento a proteggere e tutelare queste zone, oasi di biodiversità, perché così facendo si tutelano in modo indiretto anche tutte le altre specie associate che senza l'ambiente biogenico non potrebbero sopravvivere.

BIBLIOGRAFIA

Angeletti, L., Prampolini, M., Foglini, F., Grande, V., & Taviani, M. (2020). Cold-water coral habitat in the Bari Canyon System, Southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea). In *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (pp. 811-824). Elsevier.

Astraldi, M., Gasparini, G. P., Vetrano, A., & Vignudelli, S. (2002). Hydrographic characteristics and interannual variability of water masses in the central Mediterranean: a sensitivity test for long-term changes in the Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(4), 661-680.

Barrier P, Di Geronimo I, La Perna R, et al (1996) Taphonomy of deep-sea hard and soft bottom communities: the Pleistocene of Lazzàro (southern Italy). In: Meléndez G, Blasco MF, Pérez I (eds) Communication Reunion de Tafonomia y Fossilización, Zaragoza, 1996.

BIANCHI C.N., 2001. Bioconstruction in marine ecosystems and Italian marine biology. *Biologia Marina Mediterranea* 8, 112-130.

Bianchi, C. N., Morri, C., Chiantore, M., Montefalcone, M., Parravicini, V., & Rovere, A. (2012). Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change. *Life in the Mediterranean Sea: a look at habitat changes*, 1, 55.

Bo M, Bava S, Canese S, et al (2014) Fishing impact on deep Mediterranean rocky habitats as revealed by ROV investigation. *Biol Conserv* 171:167–176.

Bo M, Bavestrello G, Angiolillo M, et al (2015) Persistence of pristine Deep-Sea coral gardens in the Mediterranean Sea (SW Sardinia). *PLoS One* 10: e0119393.

Chimienti, G., Bo, M., Taviani, M. and Mastrototaro, F., 2019. 19 occurrence and biogeography of mediterranean cold-water corals. In *Mediterranean cold-water corals: Past, present, and future* (pp. 213-243). Springer, Cham.

Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Ben Rais Lasram, F., Aguzzi, J., Ballesteros, E., Bianchi, C.N., Corbera, J., Dailianis, T. and Danovaro, R., 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PloS one*, 5(8), p.e11842.

DI GERONIMO I., ROSSO A., LA PERNA R., SANFILIPPO R., 2001. Deep-sea (250–1,550 m) benthic thanatocoenoses from the southern Tyrrhenian Sea. In: *Mediterranean Ecosystems*. Springer, Milan, 277–287.

D'Onghia, G. (2019). 30 Cold-Water corals as shelter, feeding and life-history critical habitats for fish species: ecological interactions and fishing impact. In *Mediterranean cold-water corals: Past, present, and future* (pp. 335-356). Springer, Cham.

Enrichetti F, Bavestrello G, Coppari M, Betti F, Bo M. *Placogorgia coronata* first documented record in Italian waters: Use of trawl bycatch to unveil vulnerable deep-sea ecosystems. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst*. 2018;1–15.

Fabri, M.C., Pedel, L., Beuck, L., Galgani, F., Hebbeln, D. and Freiwald, A., 2014. Megafauna of vulnerable marine ecosystems in French mediterranean submarine canyons: Spatial distribution and anthropogenic impacts. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 104, pp.184-207.

Fabri, M.C., Vinha, B., Allais, A.G., Bouhier, M.E., Dugornay, O., Gaillot, A. and Arnaubec, A., 2019. Evaluating the ecological status of cold-water coral habitats using non-invasive methods: an example from Cassidaigne canyon, northwestern Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 178, p.102172.

Fanelli, E., Delbono, I., Ivaldi, R., Pratesi, M., Cocito, S., & Peirano, A. (2017). Cold-water coral *Madrepora oculata* in the eastern Ligurian Sea (NW Mediterranean): Historical and recent findings. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(5), 965-975.

Freiwald, A., Beuck, L., Rüggeberg, A., Taviani, M., Hebbeln, D., & R/V Meteor Cruise M70-1 Participants. (2009). The white coral community in the central Mediterranean Sea revealed by ROV surveys. *Oceanography*, 22(1), 58-74.

Grinyó, J., Garriga, A., Soler-Membrives, A., Santín, A., Ambroso, S., López-González, P.J. and Díaz, D., 2020. Soft corals assemblages in deep environments of the Menorca Channel (Western Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, 188, p.102435.

Henry, L.A., and Roberts, J.M., 2017. Global biodiversity in cold-water coral reef ecosystems. *Marine animal forests: the ecology of benthic biodiversity hotspots*, pp.235-256.

Krijgsman, W., Hilgen, F. J., Raffi, I., Sierro, F. J., & Wilson, D. S. (1999). Chronology causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 400(6745), 652-655.

Lincoln RJB, Clark GA (1998) A dictionary of ecology, evolution, and systematics. Cambridge University Press, Cambridge, p 361.

Millot, C. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea: evidence, debates, and unanswered questions. *Scientia marina*, 69(S1), 5-21.

Millot, C., & Taupier-Letage, I. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea. *The Mediterranean Sea*, 29-66.

Mytilineou Ch, Smith CJ, Anastasopoulou A, et al (2014) New cold-water coral occurrences in the Eastern Ionian Sea: Results from experimental long line fishing. *Deep-Sea Res Part 2 Top Stud Oceanogr* 99:146–157.

Pérès J. M. e J. Picard, 1964 - Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Bull. N. 31, fasc. n. 47 : 5-137.

G. Relini, A. Peirano, L. Tunesi, 1986 - Notes on the trawlable bottom communities in the central and eastern part of the Ligurian Sea. *Boll. Mus. ht. Biol. Univ. Genova* 52 suppl., 139-161 (1986).

Roberts JM, Wheeler A, Freiwald A, et al (2009) *Cold-water corals: the biology and geology of deep-sea coral habitats*. Cambridge University Press, New York, p 334.

Robinson LF, Adkins JF, Frank NA, et al (2014) The geochemistry of deep-sea coral skeletons: a review of vital effects and applications for palaeoceanography. *Deep-Sea Res Part 1 Oceanogr Res Pap* 99:184–198.

RUEDA J.L., URRA J., AGUILAR R., ANGELETTI L., BO M., GARCÍA-RUIZ C., ..., TAVIANI M., 2019. Cold-water coral associated fauna in the Mediterranean Sea and adjacent areas. In: *Mediterranean cold-water corals: past, present, and future*. Springer, Cham, 295-333.

Taviani M (2002) The Mediterranean benthos from late Miocene up to present: ten million years of dramatic climatic and geologic vicissitudes. *Biol Mar Medit* 9:445–463.

Taviani M, Angeletti L, Antolini B, et al (2011a) Geo-biology of Mediterranean deep-water coral ecosystems. In: Brugnoli E, Cavaretta G, et al (eds) *Marine research at CNR*. Dipartimento Terra e Ambiente, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, pp 705–720.

Taviani, M., Angeletti, L., Canese, S., Cannas, R., Cardone, F., Cau, A., ... & Tessarolo, C. (2017). The “Sardinian cold-water coral province” in the context of the Mediterranean coral ecosystems. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 145, 61-78.

Taviani, M., Angeletti, L., Cardone, F., Montagna, P., & Danovaro, R. (2019). A unique and threatened deep water coral-bivalve biotope new to the Mediterranean Sea offshore the Naples megalopolis. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.

Tursi, A., Mastrototaro, F., Matarrese, A., Maiorano, P., & D'onghia, G. (2004). Biodiversity of the white coral reefs in the Ionian Sea (Central Mediterranean). *Chemistry and Ecology*, 20(sup1), 107-116.

UNEP-MAP-RAC/SPA. 2015. Action Plan for the conservation of habitats and species associated with seamounts, underwater caves and canyons, aphotic hard beds, and chemo-synthetic phenomena in the Mediterranean Sea. Dark Habitats Action Plan. Ed. RAC/SPA, Tunis: 17pp.

Vertino A (2003) Sclerattiniari plio-pleistocenici ed attuali del Mediterraneo. PhD dissertation, University of Messina.

Vertino, A., Savini, A., Rosso, A., Di Geronimo, I., Mastrototaro, F., Sanfilippo, R., ... & Etiopo, G. (2010). Benthic habitat characterization and distribution from two representative sites of the deep-water SML Coral Province (Mediterranean). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57(5-6), 380-396.

Vertino A, Stolarski J, Bosellini FR, et al (2014) Mediterranean corals through time: from Miocene to present. In: Goffredo S, Dubinsky Z (eds) *The Mediterranean Sea: its history and present challenges*. Springer, Dordrecht, pp 257–274.

Vietti, R. C., Albertelli, G., Aliani, S., Bava, S., Bavestrello, G., Cecchi, L. B., ... & Wurtz, M. (2010). The Ligurian Sea: present status, problems, and perspectives. *Chemistry and Ecology*, 26(S1), 319-340.

Vietti, R. C., Albertelli, G., Aliani, S., Bava, S., Bavestrello, G., Cecchi, L. B., ... & Wurtz, M. (2010). The Ligurian Sea: present status, problems, and perspectives. *Chemistry and Ecology*, 26(S1), 319-340.