

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

Contributo dei coralliti sub-fossili di *Cladocora caespitosa* (L.,1767)(Cnidaria, Scleractinia) ai sedimenti dei fondali circostanti le isole del Golfo di La Spezia.

Candidato:
Simone Ballestracci

Relatore:
Prof. William Cavazza

Tutor:
Dott. Andrea Peirano

Sessione Marzo 2016
Anno Accademico 2014-2015

Questa tesi è stata svolta con il supporto e la collaborazione del Centro Ricerche Ambiente Marino ENEA S. Teresa, La Spezia (Tesi ENEA n° 1927/2015. Tutor Dott. Andrea Peirano).

Ringraziamenti

Desidero porgere i miei più sinceri ringraziamenti al Dott. Andrea Peirano e al Prof. William Cavazza: mi hanno seguito, insegnato e corretto durante tutto il periodo di tesi, da loro ho imparato molto più di quanto mi abbiano detto. Ringrazio il Dottor. Mattia Barsanti per i suoi preziosi insegnamenti e consigli, la signora Tiziana Mannarino per l'impeccabile lavoro d'ufficio che ha svolto. Ringrazio inoltre Lorenzo per le nostre discussioni scientifiche, Davide per i suoi ritrovamenti, Irene e tutti gli amici che mi hanno supportato. Infine desidero dedicare questa tesi alla mia famiglia, specie ai miei genitori.

Indice

	Pag.
Riassunto.....	3
1. Introduzione.....	5
1.1. Inquadramento geografico e geologico dell'area di studio.....	6
1.2. Geologia dei fondali e trasporto del sedimento.....	11
1.3. Inquadramento tassonomico del genere <i>Cladocora</i>	15
1.4. <i>Cladocora caespitosa</i> nel Golfo della Spezia.....	17
2. Materiale e metodi.....	19
2.1. Campionamento.....	19
2.2. Setacciatura per via secca.....	22
2.3. Setacciatura per via umida.....	22
2.4. <i>Sorting</i> con stereomicroscopio.....	23
2.5. Metodo di elaborazione dei risultati.....	24
3. Risultati.....	25
3.1. Analisi granulometrica.....	25
3.2. Analisi composizionale.....	27
4. Discussione.....	30
5. Conclusioni.....	33
6. Bibliografia.....	35
Allegato 1.....	38

Riassunto

I sedimenti superficiali dei fondali circostanti l'arcipelago del Golfo di La Spezia sono stati analizzati dal punto di vista granulometrico e compositivo al fine di ottenere la mappatura delle concentrazioni di coralliti sub-fossili di *Cladocora caespitosa* nel sedimento. Mediante lo studio del sedimento campionato in trentacinque stazioni, sono state individuate tre zone di accumulo di coralliti: (i) in corrispondenza del capo occidentale dell'Isola Palmaria con le concentrazioni più elevate comprese tra il 25 e 55% (ii) sul lato sud-orientale della stessa isola con concentrazioni tra il 10 e 12% e (iii) una fascia contornante l'Isola del Tinetto con quantità inferiori al 3%. La concentrazione anomala di coralliti è il risultato dello scarico di materiali di dragaggio provenienti dal porto di La Spezia, scaricati al largo delle coste occidentali dell'arcipelago tra gli anni '50 e '70 e progressivamente ridistribuiti verso sud-est dalla deriva litorale.

1. Introduzione

La maggior parte dei sedimenti biogenici, cioè derivanti direttamente dall'attività fisiologica degli organismi, si trova negli ambienti marini profondi. Tuttavia anche in ambienti marini costieri e di piattaforma si possono trovare concentrazioni significative di sedimento biogenico, sia alle basse latitudini che nelle fasce climatiche più temperate (e.g. Reading, 1996; Nichols, 1999). Gli organismi capaci di produrre sedimento possono essere importanti indicatori ambientali: (1) la loro presenza/assenza fornisce preziosi indizi sull'attuale situazione ambientale; (2) la presenza e distribuzione del sedimento da essi generato può fornire importanti informazioni in merito agli ambienti fossili e sull'evoluzione ambientale (e.g. Cavazza et al., 2000). In ultima analisi, l'ambiente costiero è il risultato della complessa interazione tra agenti fisici e biologici, con l'ulteriore apporto di prodotti dell'attività antropica.

La presente tesi è stata sviluppata presso il Centro Ricerche Ambiente Marino ENEA di S. Teresa (Lerici, SP), nell'ottica di quantificare e mappare la presenza di coralliti sub-fossili della madrepora *Cladocora caespitosa*, nei sedimenti superficiali dei fondali marini antistanti le tre isole del Golfo della Spezia: Palmaria, Tino e Tinetto. Il progetto è sorto dal riscontro di un'importante concentrazione dei suddetti coralliti nella zona dell'Isola Palmaria in prossimità della Secca di Dante. L'osservazione, effettuata durante un'esercitazione subacquea dei Vigili del Fuoco di La Spezia, è stata riportata alla direzione del Parco Naturale Regionale di Porto Venere che a sua volta l'ha trasmessa al Centro Enea di Santa Teresa, che da anni svolge monitoraggi oceanografici e biologici nella zona.



Figura 1. Accumulo di coralliti sui fondali della Secca di Dante. Si nota la presenza di megaripples (foto di Andrea Peirano).

La ricerca si articola in tre fasi consecutive: 1) campionamento in mare di 35 stazioni poste intorno al sito di concentrazione dei coralliti; 2) processamento dei campioni in laboratorio con analisi granulometrica e quantificazione della parte biogenica; 3) elaborazione di mappe granulometriche e di concentrazione di coralliti per l'intera area indagata.

1.1. Inquadramento geografico e geologico dell'area di studio

L'area di studio è localizzata nel Mar Ligure orientale, più precisamente nel settore occidentale del Golfo della Spezia sui fondali delle tre isole Palmaria, Tino e Tinetto che rappresentano la naturale estensione del promontorio di Porto Venere.

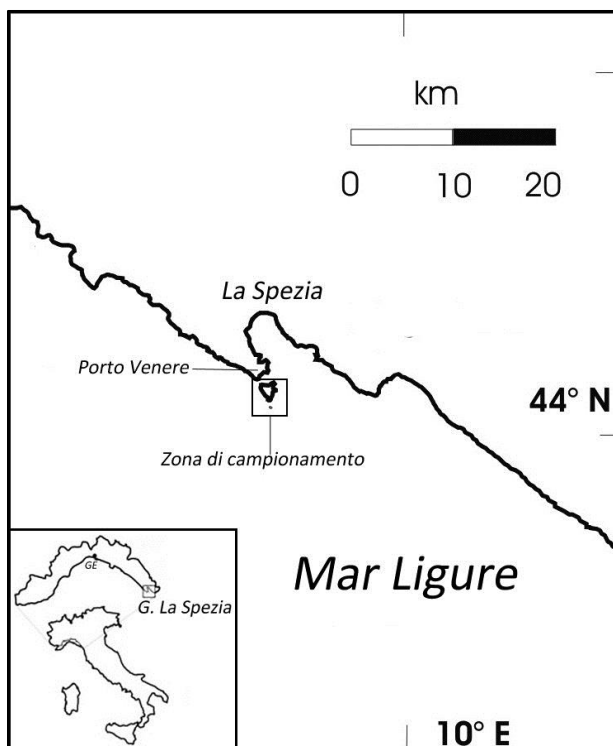


Figura 2. Inquadramento geografico dell'area di studio.

Dal punto di vista strutturale il Golfo della Spezia è formato da due promontori costituiti da grandi strutture anticlinali. L'antiforme del promontorio orientale è delimitata da due grandi faglie dirette, denominate Faglia della Val di Vara e Faglia del Magra, appartenenti al sistema di *graben* della zona. Il promontorio occidentale è invece formato dalla Piegia di La Spezia, anticlinale a vergenza tirrenica. Tali pieghe sono state generate durante una fase tettonica compressiva, culminata nel Miocene superiore e responsabile dell'orogenesi appenninica.

L'intero Appennino Settentrionale è stato successivamente caratterizzato da un sistema di *graben* ed *horst*, generato da una fase distensiva, a partire dal Pliocene superiore, dovuta all'apertura del bacino tirrenico. Le faglie normali responsabili della

distensione sono orientate NO-SE e si sono attivate lungo le superfici di discontinuità di natura inversa, protagoniste della precedente fase tettonica compressiva.

Il Golfo di La Spezia è situato nel contesto geologico dell'Appennino Settentrionale ed è costituito da terreni toscanidi ricoperti stratigraficamente dalle falde liguridi (Raggi, 1985). La geologia della zona è semplificabile unendo tutti i terreni affioranti in tre unità geologiche principali (Figura 3).

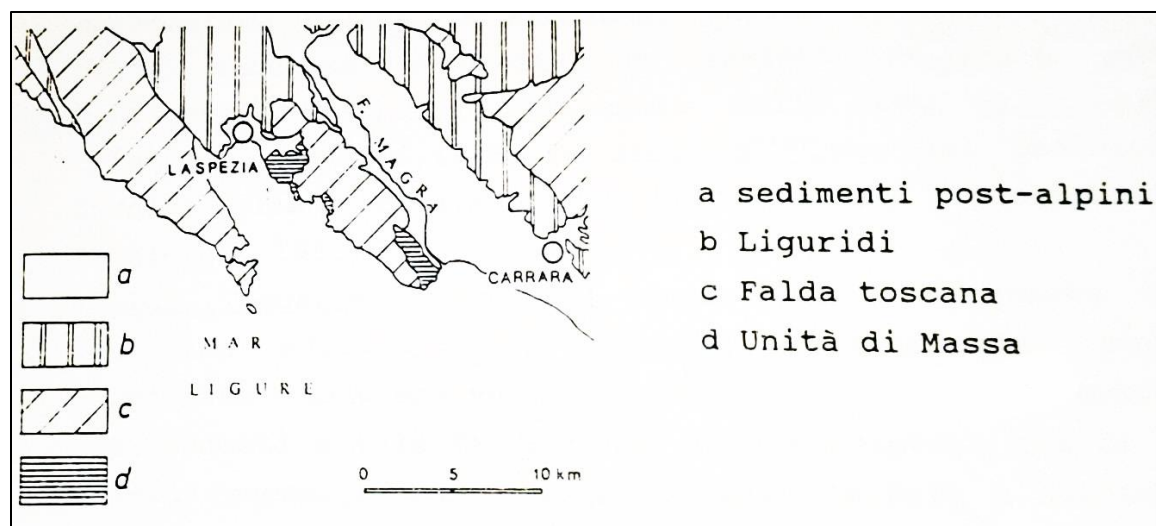


Figura 3. Carta delle unità stratigrafiche affioranti nella provincia di La Spezia (Rau & Tongiorgi, 1985).

Unità di Massa: si tratta dell'unità più profonda e metamorfosata del dominio toscanide appenninico. Nella provincia di La Spezia essa affiora a sud del promontorio orientale, in prossimità di San Terenzo. La sequenza è costituita da un substrato paleozoico di filladi e quarziti, variamente piegate, a cui segue un conglomerato basale (Triassico inferiore) riferibile ad una conoide deposta in condizioni trasgressive. Superiormente è riscontrabile una sequenza trasgressiva di approfondimento di bacino, intercalata da flussi gravitativi provenienti da una vicina piattaforma carbonatica in via d'erosione. La parte superiore dell'unità è invece caratterizzata da un aumento dell'apporto terrigeno che segna l'inizio della regressione medio-triassica (Passeri, 1985).

Falda Toscana: si tratta dell'unità superiore del dominio toscanide. Nella provincia di La Spezia questa unità affiora in ambedue i promontori che cingono il golfo. Essa è costituita da sedimenti con età compresa tra il Triassico e l'Oligocene. La successione presenta, alla base, una sequenza carbonatica di mare basso (Calcare Cavernoso). Con il Triassico superiore inizia una fase distensiva a cui segue la formazione di bacini in via di approfondimento (e.g. Formazione di La Spezia) caratterizzati dalla deposizione di sedimenti pelagici, alternati a piattaforme carbonatiche (Calcare Massiccio). Nel Cretaceo si verifica un accumulo di emipelagiti, con la deposizione degli Scisti Policromi e, successivamente, dei calcari dell'Eocene. Nell'Oligocene inferiore il bacino è caratterizzato da flussi gravitativi di massa, evidenziati dalla presenza di sedimenti torbiditici di provenienza alpina, appartenenti alla Formazione del Macigno.

Liguridi: si tratta dell'unità più interna e geometricamente superiore dell'Appennino settentrionale. La sequenza liguride è costituita alla base dalla sequenza oceanica (serpentiniti e gabbri) dell'oceano tetideo del Giurassico medio. Al di sopra della sequenza oceanica si trova una successione pelagica composta da diaspri, calcari a Calpionelle, Argille a Palombini. La successione pelagica è ricoperta da torbiditi del Cretaceo (Boccaletti et al., 1980).

Le isole Palmaria, Tino e Tinetto rappresentano la naturale estensione del promontorio di Porto Venere, queste sono allineate nel medesimo modo: circa NO-SE (Figura 4).

L'isola Palmaria è separata dalla costa di Porto Venere da un braccio di mare largo da un minimo di 105 metri nella sua bocca occidentale a un massimo di qualche centinaio di metri dalla costa di levante di Porto Venere. Ha forma pressoché triangolare ed è l'isola più grande della Liguria, coprendo una superficie di circa 1,65 km². La vetta più alta è localizzata nella parte orientale dell'isola e raggiunge la quota massima di 185 metri s.l.m.

A sud-est del Capo dell'Isola Palmaria, distanziata da quest'ultima da un canale largo 500 metri e con profondità massima di 28 metri, si trova l'Isola del Tino con forma simile a quella dell'isola precedente ma di dimensioni ridotte, occupa un'area di circa 0,13 km² mentre la vetta è a quota 100 metri s.l.m.

L'ultima isola è il Tinetto, con una superficie di appena 0,006 km² e quota massima di 17 metri s.l.m.. È separata dall'Isola del Tino da un braccio di mare largo circa 80 metri e profondo meno di 10.



Figura 4. Toponimia dell' arcipelago.

L'assetto geologico delle tre isole è riconducibile in generale alla struttura della ben nota piega della Spezia (Capellini, 1862; Federici & Raggi, 1975; Gianmarino & Giglia,

1990) ovvero un'anticlinale rovesciata a vergenza tirrenica il cui asse immerge verso nord-ovest, in cui vi sono embriciate le unità della Falda Toscana (Figura 6).

Gli strati che compongono le tre isole immergono generalmente verso E-SE; tuttavia, a causa di pieghe minori, localmente si possono osservare anche immersioni opposte a quelle generali con inclinazioni tra i 10° e 45°.

Le isole sono percorse da faglie, la maggior parte dirette, che si dispongono secondo le direzioni riferibili ai principali sistemi presenti nell'area del golfo spezzino (Figura 5). I versanti più occidentali sono delle falesie a picco sul mare e sono orientate secondo la direzione NNO-SSE che in questa zona è all'incirca coincidente con la direzione delle faglie immergenti verso sud-ovest, responsabili della dislocazione del substrato pre-pleiocenico della piattaforma continentale (Chelli et al., 2008).

Sono presenti altre faglie dirette a direzione NO-SE con immersione verso nord-est quindi verso l'asse del golfo spezzino. Queste si bloccano contro la grande faglia che borda a occidente il Golfo della Spezia, appartenente ai sistemi di faglie dirette responsabili della strutturazione del sistema di *graben* costituito dalla Val di Magra, Val di Vara e Golfo di La Spezia (Chelli et al., 2008).

Vi è poi un ultimo sistema di faglie orientate NE-SO, direzione antiappenninica, che si rinvergono lungo tutto il promontorio occidentale del Golfo della Spezia. In corrispondenza di tale sistema si rinvergono le principali baie modellate lungo il profilo costiero occidentale del golfo (Chelli et al., 2008).

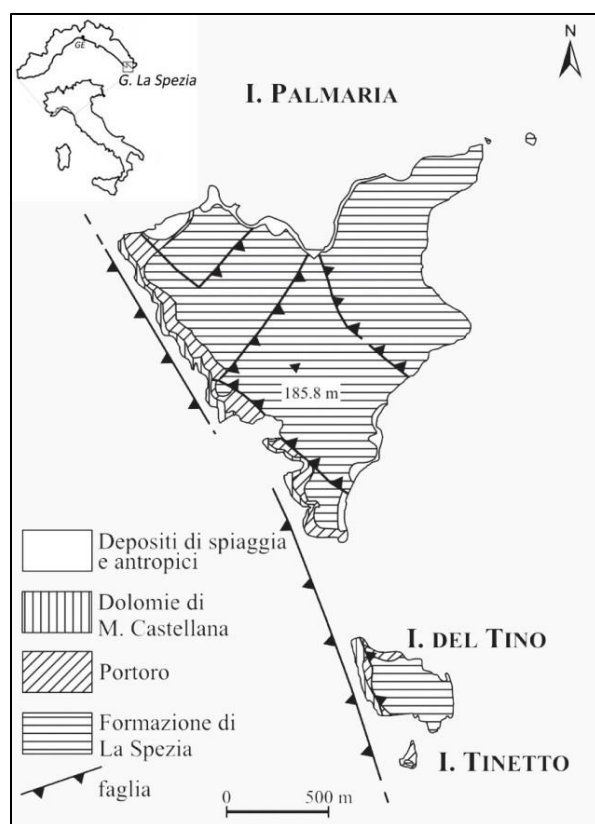


Figura 5. Inquadramento geologico (da Chelli & Pappalardo, 2008, modificato).

Nelle isole affiora il fianco rovesciato della piega di La Spezia e si trovano impilate, in successione inversa, alcune delle rocce più antiche che costituiscono la Falda Toscana

(Chelli et al., 2008). Lungo i versanti delle isole Palmaria e Tino, procedendo dal basso verso l'alto, affiorano le Dolomie di Monte Castellana (Retico superiore?-Hettangiano) alla base dei versanti costieri occidentali, il Portoro (Retico superiore-Hettangiano), poi nella porzione più elevata affiora la Formazione di La Spezia (Norico-Retico superiore). L'Isola del Tinetto è invece composta quasi interamente di Portoro eccetto per una piccola porzione in cui affiora un lembo degli Strati di Grotta Arpaia. Di seguito una breve descrizione dei litotipi affioranti nell'area di studio.

Dolomie di Monte Castellana: sono dolomie calcaree di colore giallo, biancastro; si presentano massive o grossolanamente stratificate. Età: Retico sup.-Hettangiano.

Portoro: costituito da banchi di calcari grigio scuro fino a neri, con strutture nodulari e macchie dolomitiche bianche e gialle, con banchi metrici di dolomie biancastre o giallastre. Età: Retico sup.-Hettangiano.

Formazione di La Spezia: è composta dagli Strati di Grotta Arpaia (Retico), una litofacies argillitico-marnosa, al cui letto si trovano strati di spessore variabile di calcari grigio scuri intercalati a livelli marnosi o dolomitici (Membro dei calcari di Porto Venere), che talvolta diventano veri e propri strati di marne o di dolomie saccaroidi (Membro dei calcari e marne di Monte S. Croce).

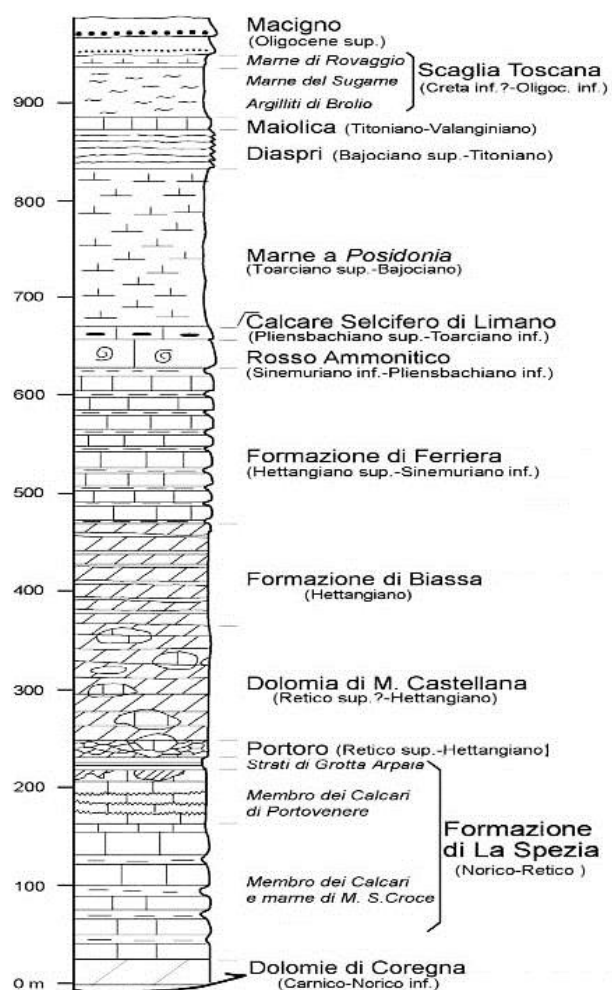


Figura 6. Colonna litostratigrafica riassuntiva delle unità della Falda Toscana (Abbate et al., 2005).

È evidente che nessuna di queste litologie può presentare al suo interno forme fossili di *C. caespitosa* che potrebbero aver contribuito alla formazione dei sedimenti studiati in questa tesi.

1.2. Geologia dei fondali e trasporto del sedimento

La zona di studio si estende da zone prossime alla costa fino a circa 1,5 km verso mare. Essa fa quindi parte della piattaforma interna, la quale presenta una morfologia scarsamente influenzata dall'andamento frastagliato della costa che fa sentire i suoi effetti fino all'isobata dei 25 metri, anche in corrispondenza del Golfo della Spezia e del promontorio di Porto Venere e delle isole Palmaria, Tino e Tinetto (Abbate et al., 2005). In tutta l'area i processi di sedimentazione hanno costituito il principale fattore di morfogenesi per tutto il Quaternario, coadiuvati dagli effetti regolarizzanti dell'erosione conseguente al glacioeustatismo (Abbate et al., 2005).

Morfologicamente è definibile piattaforma esterna quella che ha inizio con la zona che registra una sensibile variazione di pendenza, al fronte di un importante corpo sedimentario tardo-pleistocenico. Quest'altro è ricoperto dai sedimenti recenti di potenza non trascurabile che in parte attenuano la variazione di pendenza (Abbate et al., 2005).

Nei fondali del Golfo della Spezia sono stati individuati cinque diversi tipi di sedimento (vedi figura 7): lutiti, lutiti arenitiche, lutiti molto arenitiche, areniti fini lutitiche, lutiti con coralli (Fanucci et al., 1973). All'interno della rada del golfo, priva di apporti terrigeni diretti, si ha della lutite che passa a lutite arenitica. Quest'ultima si estende verso ovest in una fascia contornante l'Isola del Tino, giungendo a contatto con le lutiti del largo le quali, a loro volta, si avvicinano alla costa (Fanucci et al., 1973). Le lutiti con coralli invece sono presenti soprattutto nella costa orientale del golfo in una fascia che si estende dal litorale di Lerici fino a Marina di Massa verso sud. Non sono note concentrazioni molto elevate di coralliti, l'unica eccezione è un campione di sedimento proveniente dal largo del Tino nel quale i coralliti presenti nella frazione >2mm raggiungono la percentuale del 19,3% (Fanucci et al., 1973). Non è noto di quale specie di corallo si tratti, presumibilmente di coralliti di *C. caespitosa*.

La zona in esame è in buona parte alimentata dagli apporti del fiume Magra. I gruppi litologici presenti nel bacino di tale corso d'acqua rappresentano le rocce madri dei sedimenti della piattaforma costiera prospiciente la foce dello stesso Magra (Anselmi et al., 1983).

La circolazione generale, al di fuori dell'ambito strettamente costiero, è diretta a nord. Il trasporto litorale si sviluppa verso sud-est da Punta Mesco (Monterosso) fino all'altezza di Forte dei Marmi (Anselmi et al., 1983).

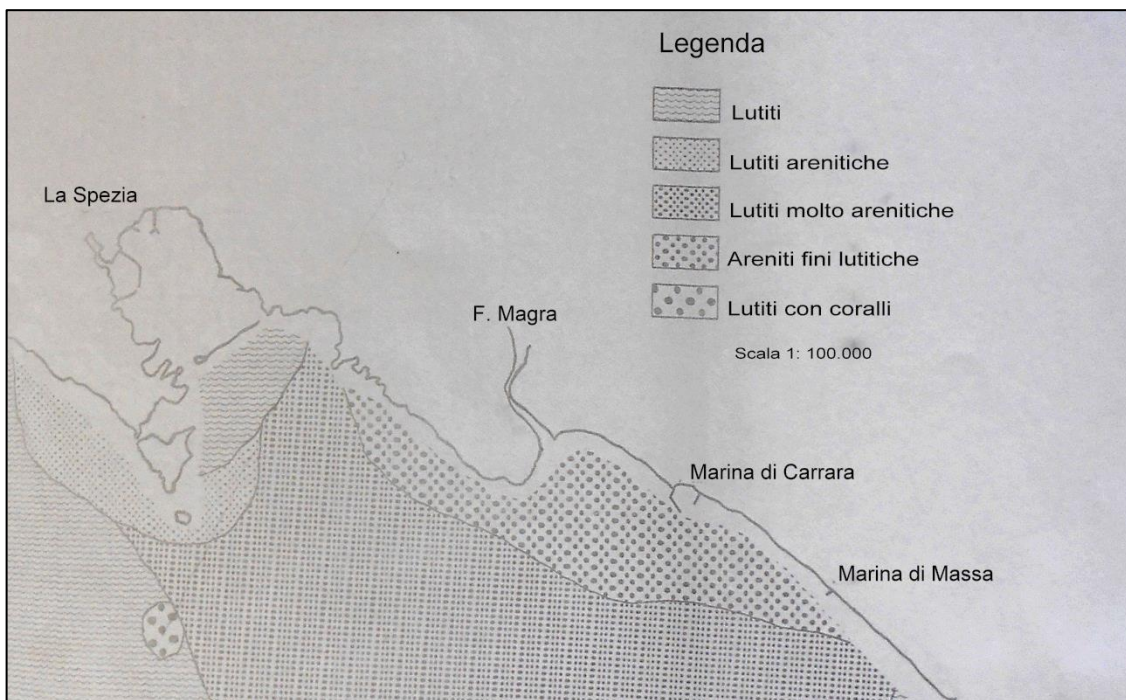


Figura 7. Carta della distribuzione dei sedimenti (da Fanucci et al., 1973, modificato).

I sedimenti dei fondali del Levante Ligure prospicienti alla foce del Magra mostrano una granulometria legata agli apporti del fiume stesso: sedimenti molto grossolani caratterizzano l'interno immediato della foce del fiume e divengono più sottili procedendo verso il largo e lungo costa verso nord-ovest.

Le falesie carbonatiche che affiorano direttamente sul mare producono sedimenti grossolani che vengono depositati alla base delle falesie stesse e, peliti che si depositano a maggior profondità. Le condizioni idrodinamiche particolarmente attenuate giustificano la presenza di sedimenti molto sottili all'interno del Golfo della Spezia (Anselmi et al., 1983)

Secondo le ricostruzioni studiate, i sedimenti, sia i più sottili che i più grossolani, dalla foce del fiume Magra vengono trasportati fino a zone più occidentali del Golfo della Spezia (vedi figura 8).

Il sistema meteo-marino dell'area di studio è caratterizzato prevalentemente da onde provenienti da sud-ovest (onde di libeccio). Le frequenze percentuali annue delle direzioni dei venti che spazzano l'area, mostrano una predominante direzione nord-est e sud-ovest (Istituto Idrografico della Marina, 1978).

Durante le più grandi mareggiate, onde e vento provengono da sud-ovest (Istituto Idrografico della Marina, 1978) permettendo quindi il trasposto di grandi quantità di sedimento dal mare aperto verso le falesie delle isole Palmaria, Tino e Tinetto e al promontorio occidentale di Porto Venere.

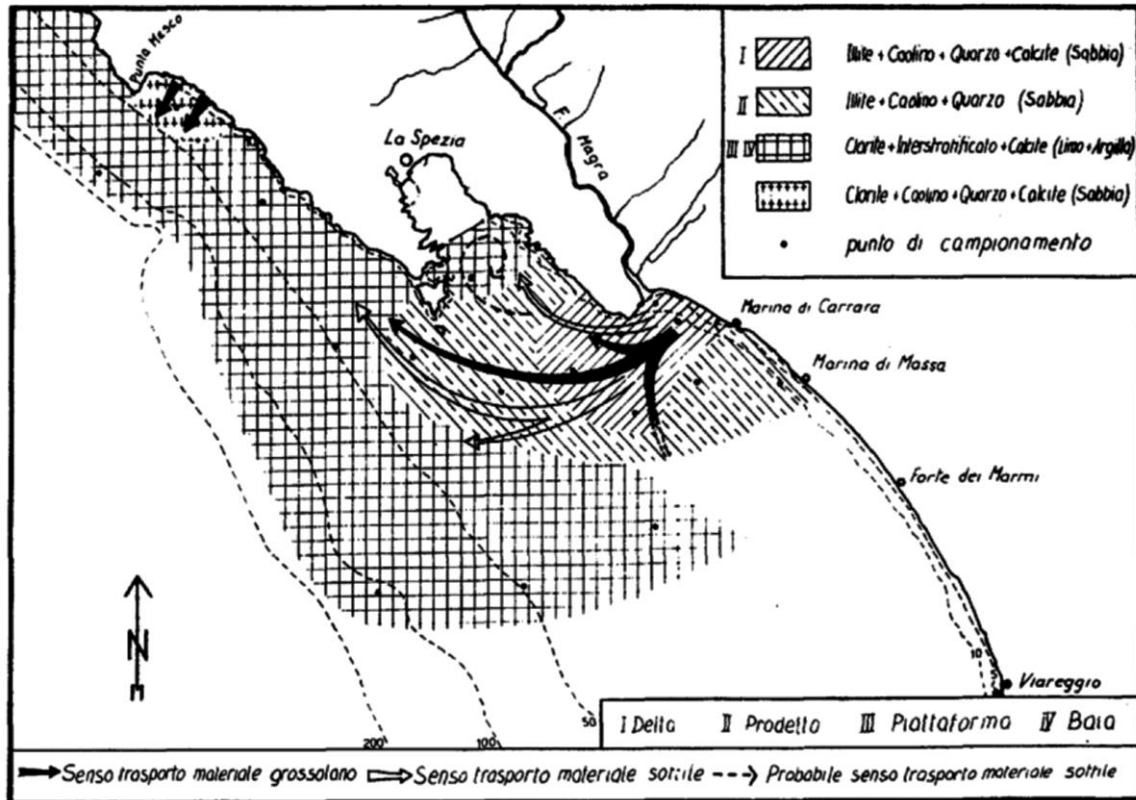


Figura 8. Senso di trasporto del sedimento dalla foce del fiume Magra (da Anselmi et al., 1983).

I fondali sono più profondi nei pressi della costa occidentale (28-30 metri) e rappresentano anche le zone con maggiore acclività, dove le falesie hanno direttamente il piede sul fondo marino. Le profondità minori sono localizzate nei versanti orientali, in concomitanza con le acclività minori nei pressi delle cale principali, come ad esempio nella Cala del Pozzale ed in quella della Maiella.

Dalle batimetrie sono inoltre ben individuabili le secche presenti nell'arcipelago: la Secca di Dante (prospiciente il margine meridionale dell'Isola Palmaria) e la Secca del Tinetto (a meridione dell'isola stessa).

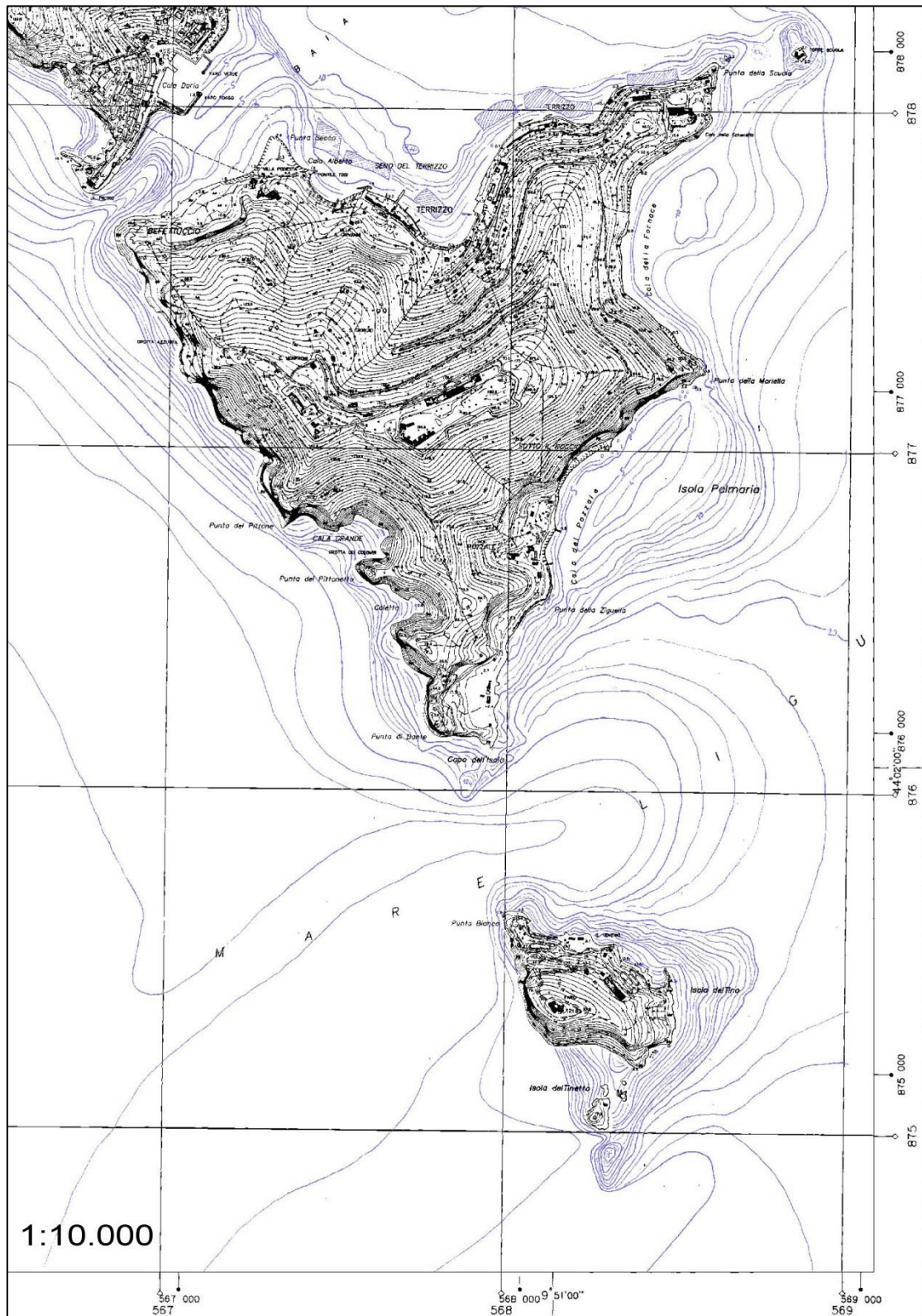


Figura 9. Batimetrie dei fondali dell'arcipelago spezzino (modificato da: carte sito del Parco Naturale Regionale di Porto Venere, <http://www.parconaturalePortoVenere.it/151.asp>).

1.3. Inquadramento tassonomico del genere *Cladocora*

Cladocora è un genere di madrepore (phylum Cnidaria, classe Anthozoa, sottoclasse Hexacorallia, ordine Scleractinia, famiglia Favidae), attualmente sono riconosciute tre specie di *Cladocora*:

- *C. arbuscula* (LESUER, 1821)
- *C. debilis* (MILNE EDWARDS & HAIME, 1849)
- *C. caespitosa* (LINNEO, 1767)

C. arbuscula è diffusa nell'Atlantico occidentale nei fondali della Florida fino a quelli del Sud America, è segnalata in Sud Africa, nel Mediterraneo e nel Pacifico orientale. È zooxantellata ed il suo habitat è compreso nella zona eufotica. Cresce sia su substrati mobili che duri e presenta forme di crescita diverse a seconda dell'ambiente (Zibrowius, 1980).

C. debilis è molto diffusa in Atlantico (dalla Florida al Brasile), in Oceania e lungo la costa occidentale dell'Africa, dal Marocco al Golfo di Guinea. Nel Mediterraneo è stata confermata la sua presenza sulla costa algerina e tunisina, lungo la costa di Monaco e di Marsiglia, nel Golfo di Napoli e lungo la costa adriatica orientale (Kružić et al., 2005). *C. debilis* non si presenta associata a zooxantelle e quindi il suo habitat si estende anche al di sotto della zona eufotica, forma tuttavia colonie più piccole e fragili rispetto alle altre specie (Zibrowius, 1980).

C. caespitosa è un corallo zooxantellato considerato endemico del Mar Mediterraneo anche se due colonie morte sono state segnalate nel nord-est dell'Atlantico (Zibrowius, 1980). Da vivo il corallo presenta polipi di colore marrone chiaro, la forma di crescita è facelloide ovvero i singoli individui che compongono la colonia (i polipi) non sono a contatto tra di loro, questi sviluppano un endoscheletro calcareo con simmetria esamera primitiva (corallite), di forma tubulare con un diametro di 5 mm circa. Lo scheletro si accresce verticalmente per la deposizione continua di carbonato di calcio. Questo corallo genera colonie di forma emisferica con diametro fino a 30 centimetri (Bressan et al., 2009). Con una produzione di carbonato fino a $12.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{y}^{-1}$ questo corallo può essere considerato come uno dei più importanti organismi costruttori di strutture carbonatiche nel Mar Mediterraneo (Peirano et al., 2001).

C. caespitosa è osservabile frequentemente tra i 5-10 metri fino ai 50 metri di profondità, soprattutto vicino alle foci dei fiumi e presso le praterie di *Posidonia oceanica*, nonché in ambienti coralligeni e in substrati solidi. Solitamente le colonie sono composte da pochi membri e sono isolate, tuttavia è possibile osservare anche banchi molto estesi. Quando la densità delle singole colonie è molto elevata queste si fondono tra loro formando i cosiddetti banchi a *C. caespitosa* (Bressan et al., 2009). Questo corallite ha ritmi di accrescimento compresi tra qualche millimetro e il mezzo centimetro all'anno. L'età delle colonie può essere determinata tramite la tecnica detta sclerocronologia, la quale consiste nel sottoporre ad un'analisi radiografica i coralliti di *C. caespitosa*. Le

radiografie del corallo mostrano un'alternanza di bande scure (più dense) e bande chiare (meno dense) corrispondenti ai ritmi di deposizione del carbonato di calcio ad opera del polipo nelle varie stagioni. La banda di carbonato più densa viene deposta in autunno-inverno, mentre quella meno densa in primavera-estate, quindi ogni coppia di bande chiara e scura corrisponde a circa un anno di età: questo fa della *C. caespitosa* un buon indicatore climatico e paleoclimatico.

C. caespitosa è tra i coralli più antichi del Mar Mediterraneo nonché uno degli organismi costruttori presenti in questo mare. Attualmente nel Mar Mediterraneo banchi viventi di *C. caespitosa* comparabili a reef corallini tropicali sono stati scoperti in tre località lungo la costa della Croazia (Figura 10). Il banco più grande si trova all'interno della riserva naturale dell'Isola Mljet (Meleda) ed è composto da centinaia di colonie di *C. caespitosa* che sono fuse assieme e coprono circa 650 m² di fondale marino tra i 4 e 18 metri di profondità (Kružić & Požar-Domac, 2003).



Figura 10. Maggiori depositi fossili o sub-fossili (asterischi) e banchi viventi (cerchietti) di *C. caespitosa* nel Mar Mediterraneo. Con la notazione “+” è indicato il deposito di coralliti sub fossili in studio (da Peirano et al., 2009, modificato).

Si rinvencono resti fossili di *C. caespitosa*, sia in banchi che in veri e propri reef, in tutta l'area circum-mediterranea a partire dal Pleistocene. I giacimenti fossili e sub-fossili più studiati sono stati rinvenuti nelle seguenti località.

- Tra la penisola di Sithonia e Dhiaporos (Mar Egeo), dove i coralliti sono stati datati tra i 5.900 e i 3.200 anni fa (Kühlmann, 1996).
- A sud e a est nella costa dell'Isola di Maiorca, dove sono state rinvenute formazioni fossili sommerse (Cuerda, 1975).
- Nella costa orientale di Capo Bon in Tunisia, dove sono state rinvenute formazioni fossili sommerse (Zibrowius, 1980).

- Nella costa sud-orientale della Spagna, nel bacino di Almería-Níjar sono stati rinvenuti diversi banchi a *Cladocora* emersi intercalati a depositi di delta fluviale e depositi di tempesta (Aguirre et al., 1998). I banchi sono stati datati come tardo pliocenici.
- Nella costa occidentale della Sardegna a capo San Marco sono state rinvenute emerse delle colonie di questo corallite, la datazione effettuata su un esemplare intero, con il metodo U/Th risulta essere di 70.000 anni (D'Orefice et al., 2012).
- Un importante affioramento è stato studiato in località Santa Teresiola nei pressi del Golfo di Taranto. L'affioramento si trova sopraelevato di 12 metri sul livello del mare all'interno di un terrazzo marino, dove si osserva un banco spesso un metro formato da coralliti fossili di *C. caespitosa* composto da numerose e contigue colonie, immerse in una matrice sabbiosa. L'affioramento copre una superficie di circa 0,6 km² e la datazione del banco risulta essere compresa tra 132-116 Ka, tardo Pleistocene (Peirano et al., 2009).

In sintesi *C. caespitosa* è presente in associazioni fossili di acque superficiali nell'area mediterranea in tutto il Quaternario ed è particolarmente frequente nei depositi dei terrazzi del Pleistocene medio-superiore (Spairani, 1995).

1.4. *Cladocora caespitosa* nel Golfo della Spezia

Nel Mar Ligure orientale, colonie sparse e banchi di *C. caespitosa* sono comuni (Peirano et al., 1999). Studi sulla presenza e biologia del corallo sono stati effettuati nel ramo orientale del Golfo della Spezia. Numerose colonie sono state osservate e studiate a Punta Bianca (10 metri di profondità) dove le colonie hanno la più alta densità del golfo: 8 colonie/m² (Peirano et al., 2001). Altre colonie sono state rinvenute alla foce del fiume Magra (5 metri di profondità). Nella parte occidentale del golfo sono state individuate colonie sparse sui fondali dell'Isola Palmaria in località Cala Grande (a 20 metri di profondità). Altre colonie sono state individuate lungo la costa delle Cinque Terre in località Montenero, dove esse hanno densamente popolato il fondale (a profondità compresa tra i 5 e i 10 metri) e a Bonassola dove è presente un piccolo banco a profondità dai 27 ai 29 metri (Peirano et al., 1999).

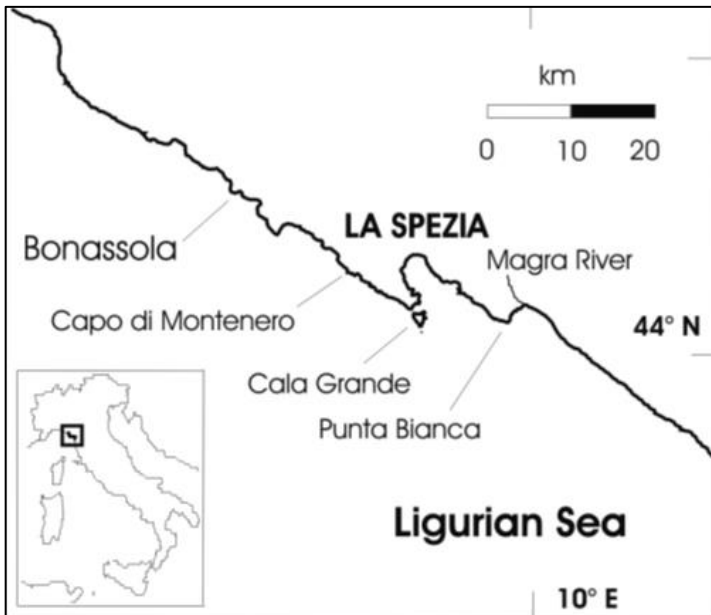


Figura 11. Siti in cui è stata rilevata la presenza di colonie di *C. caespitosa*, (Peirano et al., 1999).

Per quanto riguarda l'area di studio, alcune colonie di *C. caespitosa* sono state osservate, durante immersioni e *snorkeling* personali, in differenti località attorno alle isole, anche se trattasi di poche colonie e sempre solitarie.

- Nella zona settentrionale del Tinetto, due colonie, una di circa 10 cm di diametro, e un'altra di minori dimensioni, entrambe localizzate su substrato roccioso a due metri di profondità.
- Nel Canale di Porto Venere, una colonia morta completamente integra.

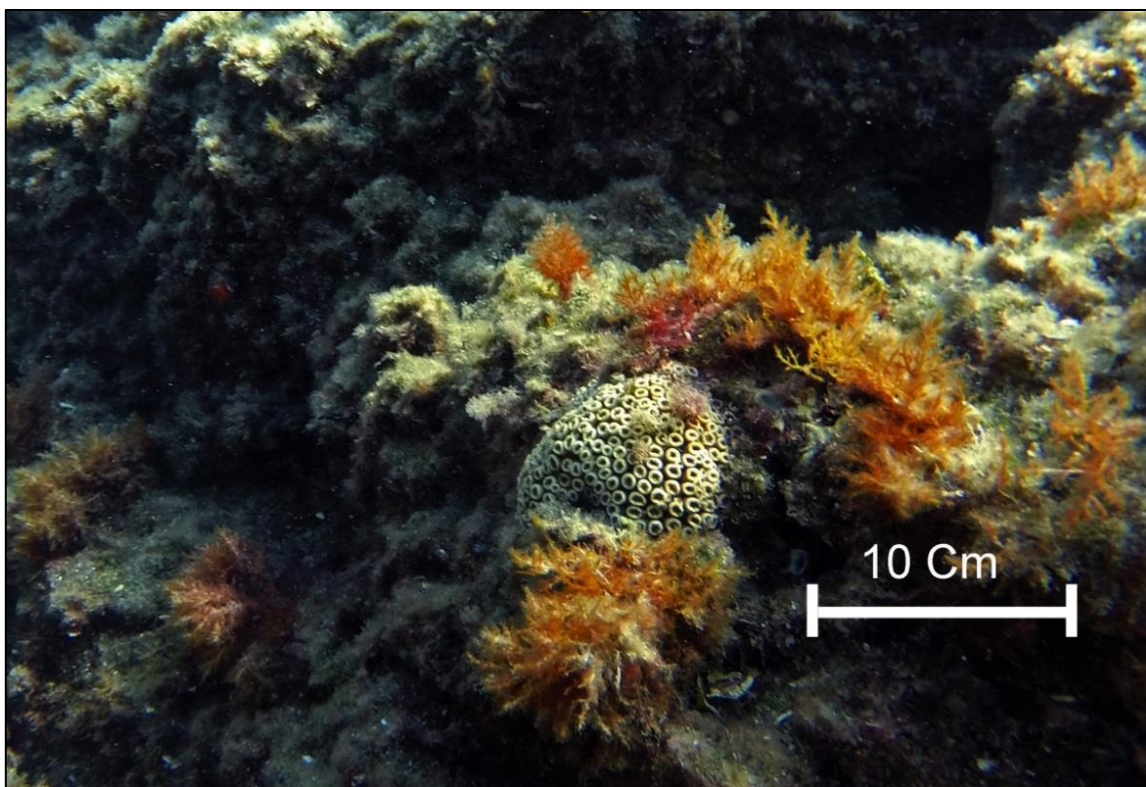


Figura 12. Colonia di *C. caespitosa* su substrato roccioso presso l'Isola del Tinetto (foto di S. Ballestracci)

2. Materiale e metodi

2.1. Campionamento

Prima di procedere alla creazione di un piano di campionamento vero e proprio, sono state analizzate le precedenti osservazioni presenti in bibliografia. Su queste basi è stato preparato un piano di campionamento utilizzando il programma Aquatic secondo le coordinate di latitudine e longitudine in gradi e decimali.

Il campionamento è stato effettuato nei giorni 30/06/2015 e 1/07/2015 con la motobarca *S. Teresa* in dotazione al centro Enea di Santa Teresa. I giorni sono stati scelti sulla base delle condizioni meteomarine ottimali per eseguire il campionamento: poco vento e mare calmo, con onde inferiori al mezzo metro di altezza, per poter ridurre al minimo lo scarroccio della barca e quindi ridurre al minimo lo spostamento del natante durante la fase di campionamento.

Il campionamento è stato effettuato posizionando l'imbarcazione sul punto di campionamento scelto mediante il sistema DGPS e il programma Aquatic.

Il campionamento dei sedimenti è stato eseguito con benna tipo Shipeck, uno strumento appositamente progettato per campionare su fondali incoerenti, sabbiosi o argillosi ma comunque in terreni liberi da ciottoli e materiale grossolano (Capodanno & Molisso, 2008). La parte mobile della benna è costituita da un contenitore di forma semicilindrica che ruota al di sotto del corpo della benna stessa una volta che giunge a contatto con il fondo. Tale rotazione è dovuta a molle che vengono caricate preventivamente con un apposito strumento a forma di ferro di cavallo.

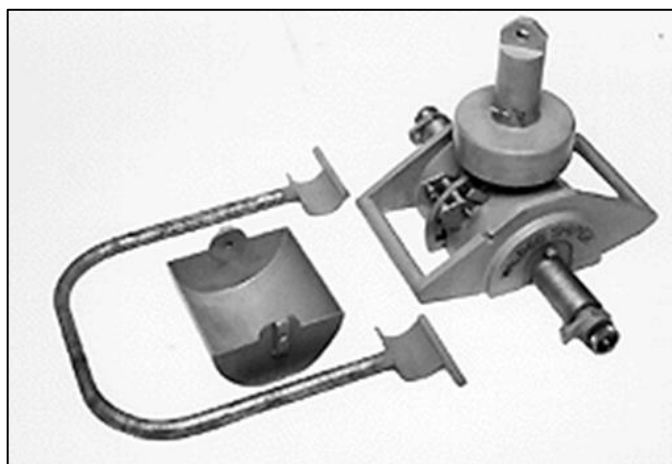


Figura 13. Benna Shipeck. Da sinistra: caricatore, contenitore del sedimento, corpo della benna con peso sovrastante e molle laterali.

I campioni sono stati raccolti in sacchetti di plastica di circa cinque litri di volume e sono stati trasferiti al centro Enea dove sono stati fatti decantare all'interno dei rispettivi sacchetti per cinque giorni al termine dei quali l'acqua in eccesso è stata asportata per sifonature.

I campioni che presentavano maggiore componente grossolana sono stati sottoposti a setacciatura per via secca, mentre per i rimanenti, caratterizzati da granulometrie prevalentemente fini, si è svolta la setacciatura per via umida.

Durante il campionamento programmato, sulla base di alcuni ritrovamenti inaspettati di coralliti, si è ritenuto utile aggiungere alcune stazioni di campionamento C32, C33, C34 e C35 passando dai 31 punti di campionamento originali ai 35 finali (Figura 15).



Figura 14. Campione C5, si notano alcuni coralliti dentro il cucchiaino della benna.

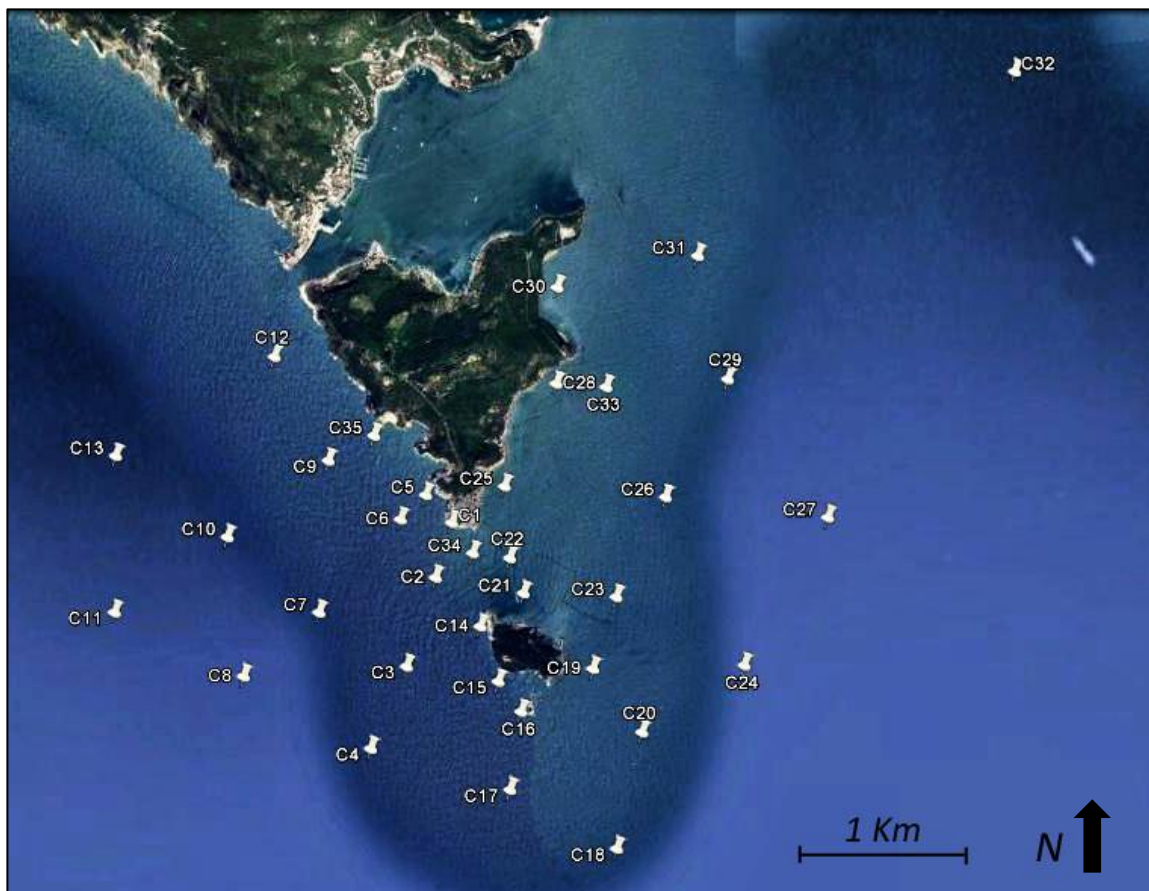


Figura 15. Distribuzione dei punti di campionamento.

Tabella 1. Data, posizione e profondità dei punti di campionamento.

Data	Campione	Longitudine	Latitudine	Profondità (m)
30/06/2015	C1	9° 50.6829' E	44° 2.0015' N	26
30/06/2015	C2	9° 50.6071' E	44° 1.8196' N	28
30/06/2015	C3	9° 50.4736' E	44° 1.5235' N	27
30/06/2015	C4	9° 50.3074' E	44° 1.2501' N	27
30/06/2015	C5	9° 50.5644' E	44° 2.0940' N	25
30/06/2015	C6	9° 50.4457' E	44° 2.0129' N	27
30/06/2015	C7	9° 50.0682' E	44° 1.7031' N	28
30/06/2015	C8	9° 49.7193' E	44° 1.4902' N	28
30/06/2015	C9	9° 50.1122' E	44° 2.2083' N	27
30/06/2015	C10	9° 49.6445' E	44° 1.9538' N	28
30/06/2015	C11	9° 49.1221' E	44° 1.7030' N	29
30/06/2015	C12	9° 49.8620' E	44° 2.5539' N	26
30/06/2015	C13	9° 49.1271' E	44° 2.2236' N	28
30/06/2015	C14	9° 50.8178' E	44° 1.6573' N	27
30/06/2015	C15	9° 50.8995' E	44° 1.4739' N	26
30/06/2015	C16	9° 51.0036' E	44° 1.3734' N	25
30/06/2015	C17	9° 50.9528' E	44° 1.1135' N	25
30/06/2015	C18	9° 51.4462' E	44° 0.9174' N	23
30/06/2015	C19	9° 51.3357' E	44° 1.5162' N	21
30/06/2015	C20	9° 51.5632' E	44° 1.3048' N	23
01/07/2015	C21	9° 51.0149' E	44° 1.7674' N	28
01/07/2015	C22	9° 50.9513' E	44° 1.8846' N	28
01/07/2015	C23	9° 51.4437' E	44° 1.7551' N	22
01/07/2015	C24	9° 52.0362' E	44° 1.5280' N	20
01/07/2015	C25	9° 50.9279' E	44° 2.1229' N	17
01/07/2015	C26	9° 51.6720' E	44° 2.0873' N	19
01/07/2015	C27	9° 52.4233' E	44° 2.0197' N	18
01/07/2015	C28	9° 51.1674' E	44° 2.4643' N	5
01/07/2015	C29	9° 51.9598' E	44° 2.4796' N	17
01/07/2015	C30	9° 51.1741' E	44° 2.7831' N	12
01/07/2015	C31	9° 51.8214' E	44° 2.8899' N	15
01/07/2015	C32	9° 53.2881' E	44° 3.5028' N	13
01/07/2015	C33	9° 51.3968' E	44° 2.4533' N	12
01/07/2015	C34	9° 50.7801' E	44° 1.9009' N	28
01/07/2015	C35	9° 50.3239' E	44° 2.2915' N	15

Nonostante il campionamento sia avvenuto in giornate con mare calmo è stato impossibile evitare un minimo di scarroccio che per alcuni punti-nave ha avuto entità massima compresa tra i 50 e 60 metri, mentre per altri punti la precisione è stata

nettamente superiore, come nei punti di campionamento vicino alla costa e riparati dal vento.

Per avere poi i punti DGPS dove è stato effettivamente svolto il campionamento, si è proceduto analizzando il tracciato effettuato dall'imbarcazione durante i prelievi registrato dal sistema Aquatic. Tale analisi ha permesso di posizionare con accuratezza i punti di campionamento (Figura 15).

Si è potuto constatare che una singola campionatura richiede in media cinque minuti e che per fare un transetto composto da quattro prelievi, tra 20 e 30m di profondità, compresi gli spostamenti lungo il transetto, si impiegano circa 45 minuti.

2.2. Setacciatura per via secca

I campioni da sottoporre a setacciatura per via secca sono stati messi in vaschette di alluminio e asciugati in stufa Oven 400 (Vismara) a 70° C per almeno 24 ore. La presenza di sale nei sedimenti è stata giudicata irrilevante ai fini delle pesate.

Successivamente i campioni sono stati quartati utilizzando un quartatore/divisore a lama fissa in modo da ottenere un subcampione da setacciare di peso 50 ± 10 g.



Figura 16. Quartatore a lama fissa utilizzato.



Figura 17. Setacciatore meccanico AS 200 Digit.

La setacciatura è stata eseguita con il vibrosetacciatore analitico Retsch con 50 oscillazioni al minuto per 15 minuti. I setacci scelti per questa analisi sono due, per separare le classi granulometriche della ghiaia, della sabbia dalla frazione silt+argilla, quindi setacci con maglie rispettivamente di 2 mm e di 0,063 mm di diametro.

2.3. Setacciatura umida

La setacciatura umida è stata effettuata per i campioni che presentavano granulometrie visibilmente più fini, senza la presenza di frazione ghiaiosa e composti maggiormente da sabbia fine e dalla frazione siltoso-argillosa. Il procedimento seguito è stato il seguente.

1. Dai campioni sono stati prelevati dei sub-campioni, tramite l'ausilio di un mini carotatore costituito da un tubo avente diametro di 2 cm e lunghezza di 30 cm. Con un getto d'aria il sub-campione viene espulso dal tubo e inserito in vaschette di alluminio e depositato in stufa a 70°C per 48 ore.
2. Dai campioni secchi vengono prelevati circa 10 g di materiale il quale viene inserito dentro dei *becker* con l'aggiunta di 600 ml di acqua deionizzata e 12 ml (2%) di antiflocculante esametafosfato in soluzione (25 g/l). I campioni vengono quindi agitati per far disaggregare i granuli.
3. I campioni vengono tenuti in soluzione per sei giorni, affinché il materiale in sospensione nel *becker* si depositi completamente, lasciando l'acqua sovrastante limpida. Quindi con l'utilizzo di un tubicino di gomma viene sifonata l'acqua surnatante, lasciando in ogni *becker* circa 200 ml di soluzione e il sedimento da setacciare.
4. Il contenuto di ogni *becker* viene quindi versato su un vaglio di *nylon* per setacciature con luce di 0,063 mm e in un *becker* sottostante si raccoglie la frazione setacciata. Per setacciare tutto il materiale si usa una spruzzetta con la quale si getta acqua deionizzata direttamente sul materiale. Viene spruzzata acqua sulla retina fino a che l'acqua passante al *becker* sottostante non risulta essere limpida, indice del fatto che nel setaccio non è più presente la componente siltoso-argillosa.
5. Il materiale sabbioso trattenuto dal setaccio usato viene depositato in un contenitore di alluminio e messo in stufa per 48 ore a 70°C. Il peso della frazione siltoso-argillosa viene quindi ottenuta per sottrazione dal peso originale del sub-campione.

2.4. Sorting con stereomicroscopio

Le frazioni sabbiose e ghiaiose dei campioni sono state osservate allo stereomicroscopio al fine di riconoscere e separare le seguenti tre componenti: (1) coralliti e frammenti di corallite di *C. caespitosa*, (2) la rimanente frazione di carbonato intrabacinale (conchiglie, balani, etc.) riconoscibile per ornamentazione e strutture e (3) i componenti silicoclastici e quelli carbonatici non riconoscibili (detta genericamente frazione litica). Tali componenti sono stati poi pesati su bilancia PE 360 Mettler con precisione del millesimo di grammo. Le frazioni ghiaiose sono state analizzate interamente. Per le frazioni sabbiose si è proceduto dapprima ricercando e pesando tutti resti di *C. caespitosa*, mentre sulla frazione rimanente si è operato un subcampionamento utilizzando il metodo dei coni, il quale consiste nel disporre ogni singolo campione a forma di cono su una superficie piana dividendolo in quattro settori e prelevandone i due opposti fino ad ottenere il peso voluto, permettendo l'analisi dei frammenti biogenici più minuti su quantità di circa un decimo di grammo. In caso di granuli incerti, questi sono

stati assegnati alla categoria “Litici”. Tutte le quantità analizzate sono state poi riportate in percentuale al peso totale del campione.

La parte siltoso-argillosa dei campioni non è stata analizzata composizionalmente in quanto non vi sono state riconosciute forme visibili e riconoscibili allo stereomicroscopio.

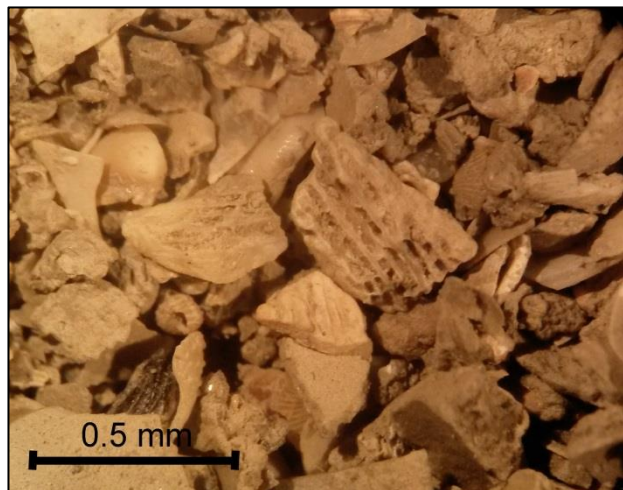


Figura 18. Frammento di corallite di *C. caespitosa* osservato con lo stereomicroscopio.

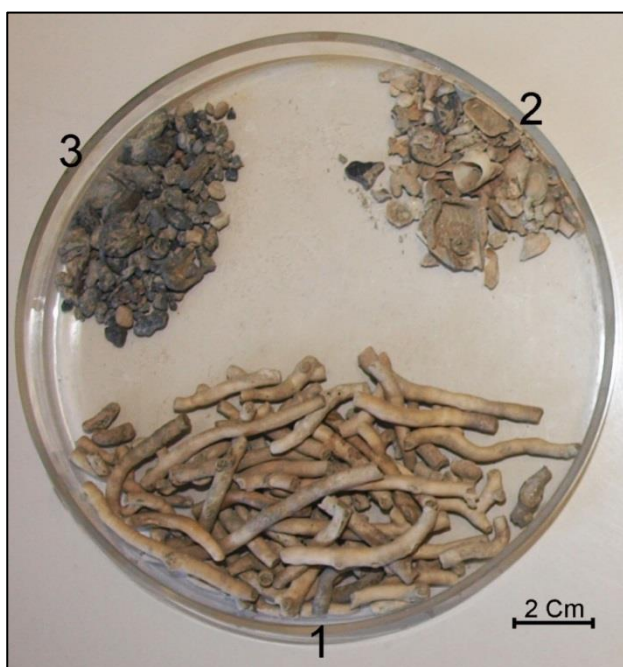


Figura 19. Separazione delle componenti principali nella frazione ghiaiosa: **1** coralliti e frammenti di corallite di *C. caespitosa*, **2** rimanente frazione di carbonato intrabacinale (conchiglie, balani, etc.) e **3** frazione litica (componenti silicoclastici e quelli carbonatici non riconoscibili).

2.5. Metodo di elaborazione dei risultati

I dati ricavati dalle operazioni di setacciatura e dal *sorting* con lo stereomicroscopio sono state riportate in percentuale al peso totale del campione ovvero al 100%, utilizzando fogli di calcolo Excel, con il quale sono stati creati anche dei grafici riassuntivi dei campioni (Allegato 1).

Per creare le mappe su cui sono stati discussi i dati ottenuti è stato utilizzato il programma Quantum GIS (QGIS), un GIS Desktop *open-source* per la gestione, visualizzazione, modifica e analisi di dati geografici. Il programma permette di modificare

e creare diversi tipi di dati geografici, inclusi gli shapefile ESRI, PostgreSQL/PostGIS, GRASS o GeoTiff oltre a creare *layout* di stampa.

3. Risultati

3.1. Analisi granulometrica

I risultati delle setacciature per via secca e per via umida sono esposti in Tabella 2, in valore percentuale per ogni frazione granulometrica (per più dettaglio sui risultati granulometrici, consultare Allegato 1). I dati sono quindi stati inseriti nel programma QGIS, e per ogni campione è stato creato un areogramma con sopra riportata l'abbondanza delle rispettive componenti (Figura 20).

Su 35 campioni raccolti la ghiaia compare in cinque località con valori variabili da 0.26% a 78.81%. A sud e a sud-ovest del Capo dell'Isola Palmaria (campioni C1, C5 e C6) presso la Secca di Dante a profondità comprese tra i 25 e i 27 metri con percentuali tra il 66.9% e 76.86. A est dell'Isola Palmaria (C28 e C33) la percentuale ghiaiosa è rispettivamente di 78.81% e 56.83% a profondità di 5 e 12 metri. A est dell'Isola del Tino (C19 e C23) con valori rispettivamente del 39.29% e 9.48% e a profondità di 21 e 22 metri. A 500 metri a sud dell'Isola del Tinetto (C17) la percentuale di ghiaia risulta essere del 65.22 % a 25 metri di profondità. A sud-ovest dell'Isola del Tino in zone più distali dalla costa (C4 e C8) con percentuali inferiori al 4% a profondità rispettive di 27 e 28 metri.

La sabbia è presente in tutti i campioni con percentuali molto varie, comprese tra 2.94% e 98.66%. Il campione con la più alta percentuale di sabbia è il C35 localizzato ad ovest dell'Isola Palmaria e raccolto alla profondità di 15 metri. Esso è composto al 98.66% di sabbia e la restante percentuale di silt+argilla. Le concentrazioni più rilevanti di questa frazione sono presenti sia in zone prossimali alla costa delle isole sia in zone più distali. Le concentrazioni minori sono invece rinvenute nel canale tra Palmaria e Tino, dove le profondità raggiungono quota -28 metri. La frazione silt+argilla, ad eccezione dei campioni C17 e C28, è presente in tutti i campioni con percentuali variabili tra lo 0.89% e 97.06%. La zona di massima concentrazione di questa frazione risulta essere il canale tra Palmaria e Tino (campioni C21, C22 e C34) in cui le percentuali di silt+argilla sono superiori al 94.38%. Alte percentuali si rinvengono anche nella Cala della Maiella in zone prossimali alla costa, nel campione C30 raccolto a -12 metri di profondità, procedendo verso est (quindi verso l'asse del golfo) le percentuali di silt+argilla restano elevate si notano inoltre importanti concentrazioni nelle zone prossimali alla costa occidentale dell'Isola del Tino. Le concentrazioni minori di questa frazione si riscontrano in zone prossimali alla costa tra la Punta della Maiella e il Capo dell'isola (nella costa esposta a sud-est dell'Isola Palmaria) e tra questa e punta del Pitone nella costa esposta a sud-ovest, inoltre nella zona a est del Tino sempre in condizioni prossimali.

Tabella 2. Pesi percentuali delle tre granulometrie analizzate, con riferimento al tipo di setacciatura effettuato (U = setacciatura per via umida, S = setacciatura per via secca).

Campione	Tipo setacciatura	%Ghiaia	%Sabbia	%Silt+Argilla
C 1	S	66,90	30,55	2,54
C 2	S	0,00	34,46	65,54
C 3	S	0,94	70,38	28,68
C 4	S	3,74	55,84	40,42
C 5	S	77,86	21,24	0,89
C 6	S	75,75	19,91	4,33
C 7	U	0,00	10,06	89,94
C 8	S	2,58	76,58	20,84
C 9	U	0,00	17,36	82,64
C 10	U	0,00	42,00	58,00
C 11	U	0,00	30,92	69,08
C 12	U	0,00	37,25	62,75
C 13	U	0,00	25,47	74,53
C 14	U	0,00	12,80	87,20
C 15	U	0,00	16,46	83,54
C 16	U	0,00	47,86	52,14
C 17	S	65,22	34,78	0,00
C 18	S	0,46	82,55	16,99
C 19	S	34,29	63,25	2,46
C 20	S	0,00	77,87	22,13
C 21	U	0,00	3,33	96,67
C 22	U	0,00	2,94	97,06
C 23	S	9,48	63,94	26,58
C 24	U	0,00	33,53	66,47
C 25	S	4,08	89,15	6,77
C 26	U	0,00	18,54	81,46
C 27	U	0,00	31,82	68,18
C 28	S	78,81	21,19	0,00
C 29	U	0,00	21,89	78,11
C 30	U	0,00	10,91	89,09
C 31	U	0,00	12,00	88,00
C 32	S	0,26	38,69	61,05
C 33	S	56,83	40,08	3,09
C 34	U	0,00	5,62	94,38
C 35	S	0,00	98,66	1,34



Figura 20. Mappa delle percentuali delle frazioni granulometriche considerate nell'area indagata.

3.2. Analisi composizionale

Le analisi effettuate sui campioni separando le tre componenti composizionali principali (*C. caespitosa*, altri carbonati intrabacinali e frazione litica) hanno prodotto i risultati esposti in valori percentuali in Tabella 3.

I coralliti sono stati trovati prevalentemente associati alla frazione ghiaiosa, dove peraltro i coralliti sono facilmente riconoscibili e ben separabili dal resto delle componenti in quanto presentano setti e coste. Frammenti di coralliti sono stati individuati anche nella frazione sabbiosa fino a dimensioni tali da poter riconoscere setti e coste del corallite. La frazione siltoso-argillosa non è stata analizzata.

Sono inoltre state separate dalle altre componenti, le frazioni carbonatiche biogeniche. Sono stati rinvenuti frammenti e conchiglie di bivalvi, frammenti e gusci di gasteropodi, scafopodi, aculei di echinodermi, tubi di anellidi, balani e resti di alghe carbonatiche. Nella frazione sabbiosa sono stati rinvenuti anche degli scheletri di foraminiferi. Inoltre molto frequente è anche la presenza di frammenti di *Posidonia oceanica*.

In tutti i campioni, ad esclusione di C2, C4, C19, C32 e C33, sono state individuate quantità non trascurabili di materiale bituminoso, le cosiddette scorie, ovvero il materiale proveniente da scarti di combustibili usati in tempi passati per la propulsione marina.

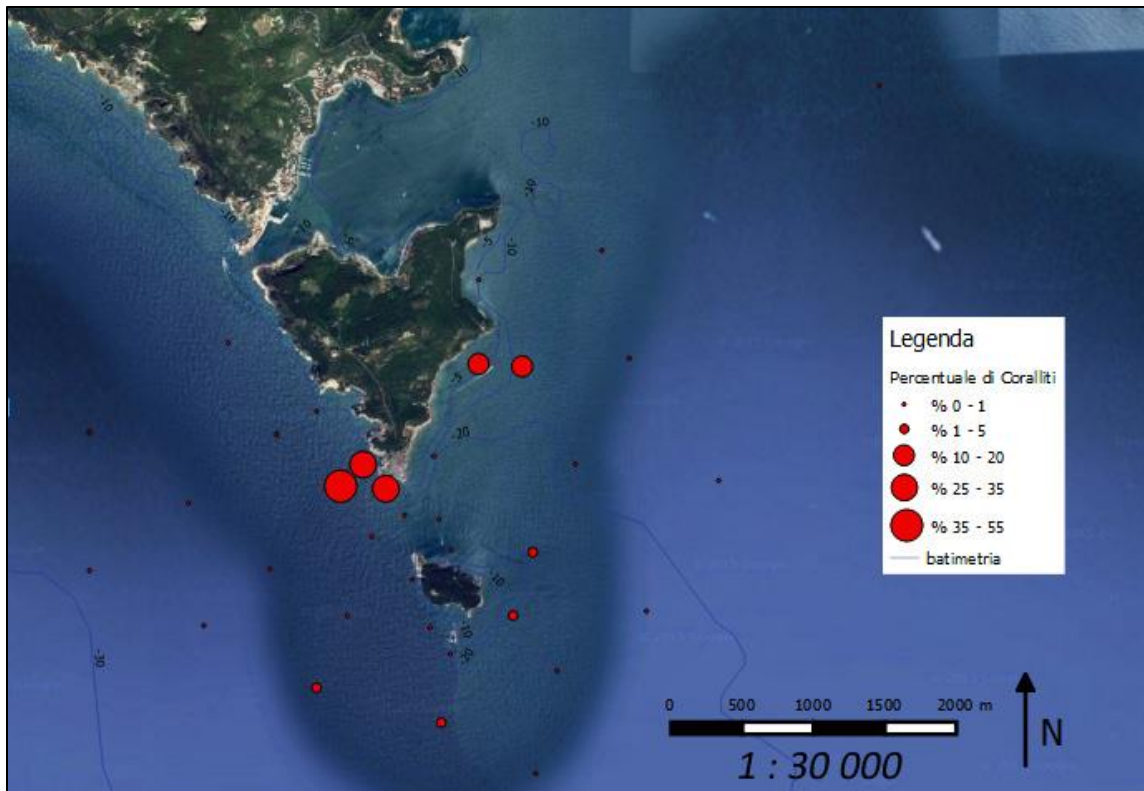


Figura 21. Percentuali di coralliti di *C. caespitosa* in ogni campione nell'area indagata.

Le percentuali più elevate di coralliti si riscontrano nei campioni prospicienti il Capo dell'Isola Palmaria e Punta di Dante C6 (55,07 %), C5 (32,28 %) e C1 (25,64%), raccolti tra i 25 e i 27 metri di profondità. Altre quantità importanti sono state individuate nei campioni a est dell'Isola Palmaria C28 e C33 prelevati alla profondità di 5 e 12 metri (12.16% e 10.24%). Infine altre percentuali rilevanti di coralliti sono state rinvenute nei campioni C17 a sud, C4 a sud-est del Tino e nei campioni C19 e C23 a est della medesima isola con percentuali variabili da un minimo di 1,63% a un massimo di 2,85%.

Tabella 3. Percentuali composizionali dei campioni :%Cladocora la quantità percentuale di coralliti di *C. caespitosa* individuati; con %Altri carbonati la frazione del carbonato intrabacinale rimanente; %Litici la frazione litica la frazione di materiale silicoclastico e di carbonato non riconoscibile; %Silt+argilla materiale non analizzato.

Campione	Ghiaia + Sabbia			%Silt+Argilla
	% Cladocora	% Altri carbonati	%Litici	
C 1	25,64	26,46	45,43	2,54
C 2	0,00	0,00	34,46	65,54
C 3	0,00	24,88	46,44	28,68
C 4	2,21	1,00	56,37	40,42
C 5	32,28	15,82	51,30	0,89
C 6	55,07	4,01	36,73	4,33
C 7	0,00	2,01	8,05	89,94
C 8	0,00	8,75	70,41	20,84
C 9	0,00	3,38	13,98	82,64
C 10	0,00	11,81	30,19	58,00
C 11	0,00	7,28	23,64	69,08
C 12	0,00	2,66	34,59	62,75
C 13	0,00	2,88	22,59	74,53
C 14	0,00	1,35	11,45	87,20
C 15	0,00	1,00	15,46	83,54
C 16	0,00	11,97	35,90	52,14
C 17	1,91	11,95	86,14	0,00
C 18	0,00	2,92	80,09	16,99
C 19	1,63	21,48	74,54	2,46
C 20	0,00	3,34	74,53	22,13
C 21	0,00	1,74	1,59	96,67
C 22	0,00	0,86	2,08	97,06
C 23	2,85	4,72	65,85	26,58
C 24	0,00	11,18	22,35	66,47
C 25	0,00	26,88	66,35	6,77
C 26	0,00	6,18	12,36	81,46
C 27	0,00	6,86	24,96	68,18
C 28	12,16	18,72	69,25	0,00
C 29	0,00	15,02	6,87	78,11
C 30	0,00	6,48	4,43	89,09
C 31	0,00	2,69	9,31	88,00
C 32	0,00	0,98	37,97	61,05
C 33	10,24	26,75	60,47	3,09
C 34	0,00	1,04	4,58	94,38
C 35	0,00	10,96	87,70	1,34

4. Discussione

I risultati granulometrici sono coerenti con analisi sedimentologiche svolte precedentemente da altri autori (Fanucci et al., 1973; Anselmi et al., 1983; Carte sito del Parco di Porto Venere, <http://www.parconaturalePortoVenere.it/151.asp>). Le ghiaie sono state rinvenute nelle zone che presentano la più alta energia, ad esempio nella Secca di Dante oppure in località Il Roccio, dove il fondale risulta relativamente poco profondo. Si può ben individuare una lente sabbiosa a bordatura delle isole Tino e Tinetto da sud-est a nord-ovest. La lente in zone prossimali alla costa diventa prevalentemente siltoso/argillosa, corrispondente a quelle in passato vennero classificate come “Lutiti arenitiche” (Fanucci et al., 1973). Mentre nel lato interno del golfo e nel canale tra Palmaria e Tino prevalgono le granulometrie fini (silt e argilla), il tutto in accordo con le recenti carte del piano del Parco di Porto Venere.

Quantità rilevanti di coralliti si riscontrano in concomitanza con le zone che presentano le granulometrie più grossolane. L'analisi di precedenti pubblicazioni (Fanucci et al., 1973; Spairani, 1995; Peirano et al., 1999; Peirano et al., 2001) non ha evidenziato presenza di accumuli di coralliti dell'entità osservata nella zona di studio.

È noto che la presenza di coralliti morti o sub-fossili nei dintorni delle zone con colonie vive non è molto rilevante, e risulta essere molto scarso dopo il primo metro di distanza dalla colonia (Spairani, 1995). La zona in esame presenta scarsissima quantità di colonie viventi di *C. caespitosa*, che sono del tutto insufficienti a giustificare l'abbondanza di coralliti osservata nei sedimenti superficiali di alcune località. Si propone di seguito un'ipotesi di come possa essersi generata tale abbondanza.

Il porto di La Spezia si colloca nella parte più settentrionale del Golfo. La storia dello sviluppo moderno di questo porto ha origine quando Camillo Benso Conte di Cavour decise nel 1860 di avviare la costruzione del più grande arsenale d'Italia. Pochi anni dopo, nacque lo scalo mercantile (<http://www.geroli.com/blu/rmPorto.htm>). Da allora il porto è cresciuto sino a diventare uno degli scali principali del Mar Mediterraneo, particolarmente specializzato nella movimentazione dei *container* con navi di grosso, medio e piccolo tonnellaggio. Negli ultimi anni il porto è inoltre diventato approdo di navi passeggeri e da crociera.

Dalla sua creazione, il porto ha subito ampliamenti prevalentemente verso mare e negli anni, con l'aumentare della grandezza delle navi, si sono rese necessarie ricorrenti opere di dragaggio del fondale marino, per garantire autonomia di manovra alle navi. Nel 1970, a seguito di lavori di dragaggio per lo scavo di un canale nella zona di manovra, furono asportati circa 2.500.000 m³ di materiale, che è stato scaricato ad ovest dell'Isola Palmaria (Fanucci et al., 1973). Quest'area è stata utilizzata come discarica di materiali di dragaggio e di rifiuto provenienti dal porto, ad iniziare dagli anni '50 fino agli '80. A riprova di ciò questa area di discarica e quelle limitrofe presentano un elevato contenuto

di bitumi con valori superiori a 400 p.p.m e mai inferiori a 100 p.p.m. (Fanucci et al., 1973). Quanto asportato dal porto e depositato nella zona in esame risultava composto sia da materiale fine di sedimenti recenti, che da altro materiale prelevato da strati più profondi, frutto di condizioni ambientali del tutto differenti. Quest'ultimo è conseguenza di un sistema deposizionale che si è stabilito all'interno del Golfo della Spezia durante l'Olocene, quando una grossa barra sabbiosa ha isolato la parte più interna del Golfo, creando un ambiente del tutto particolare a sedimentazione originariamente coralligena (*patch-reefs*) e poi mista, terrigena-biogenica (Abbate et al., 2005).

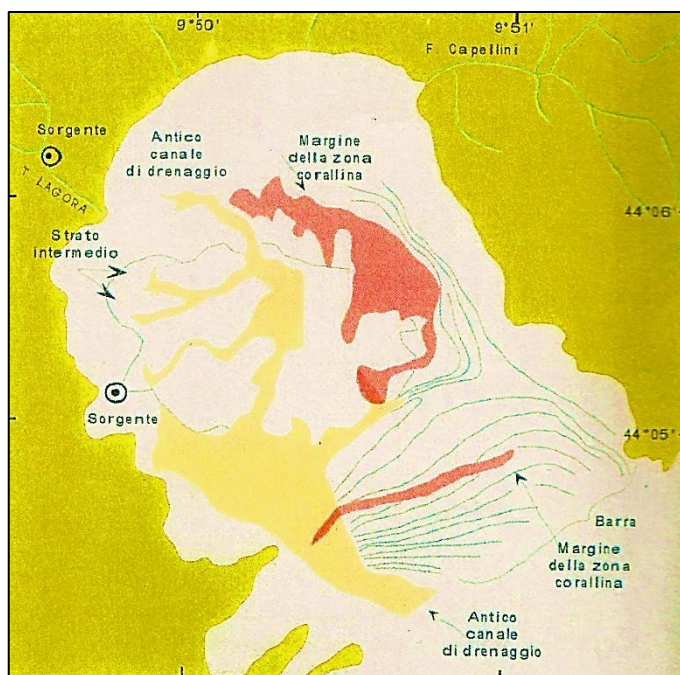


Figura 22. Schema della situazione paleogeografica e paleoambientale della parte interna del Golfo di La Spezia durante una particolare fase climatica olocenica (da Breslau & Edgherton, 1972, modificato).

Durante una campagna geologica, realizzata dalla ditta Ferrari De Nobili S.r.l., per l'ampliamento verso mare di una delle banchine portuali nella parte più nord orientale del porto, sono stati effettuati 17 sondaggi geologici a mare, spinti a profondità comprese tra i 20 e 40 m dal fondale marino. Partecipando attivamente alla campagna geologica ho avuto l'opportunità di studiare dettagliatamente la stratigrafia del Golfo. In uno strato a carattere limo-sabbioso, sotto la copertura di sedimenti più recenti spessa da due a cinque metri, ho rilevato abbondanti resti di coralliti di *C. caespitosa* unitamente a frammenti e gusci di bivalve e gasteropodi. Questo strato olocenico, generatosi durante il periodo di sedimentazione coralligena, in alcune zone ha spessore molto esiguo e presenta una sottile copertura di fango, a causa dei precedenti dragaggi. Di seguito è riportata una stratigrafia tipo del Golfo della Spezia realizzata durante il periodo di lavoro presso la ditta citata (Figura 23).

Il materiale dragato e scaricato ad occidente dell'arcipelago spezzino in passato, si è successivamente ridistribuito sotto l'azione della deriva litoranea (diretta verso sud-est), addossandosi alla costa delle isole, generando quindi il quantitativo anomalo di coralliti osservato nei fondali dell'arcipelago stesso.

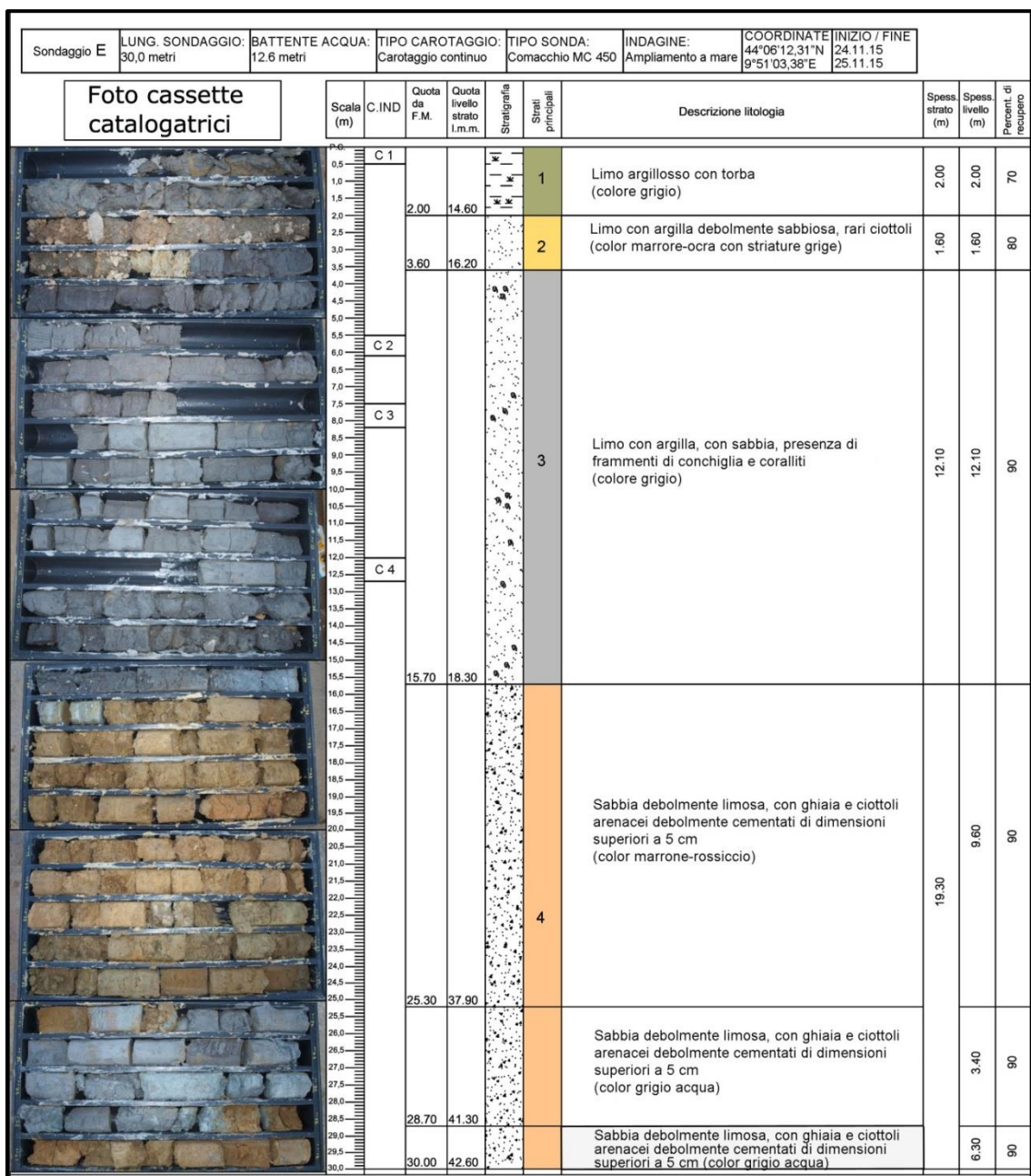


Figura 23. Sezione geologica tipo dei fondali del Golfo della Spezia (da relazione geologica ditta Ferrari de Nobili, 2015, modificato).

In figura 24 è riportato un dettaglio dello strato 3 in cui si può vedere un frammento di corallite di *C. caespitosa* con gusci e frammenti di bivalve, immersi in matrice limo-sabbiosa, lo strato risulta quindi composizionalmente correlabile ai campioni raccolti presso la Secca di Dante (campioni C5, C6 e C1).



Figura 24. Dettaglio dello strato 3 in cui si riscontra la presenza di coralliti di *C. caespitosa*.

5. Conclusioni

Lo studio realizzato ha avuto lo scopo di (i) mappare la concentrazione di coralliti di *C. caespitosa* nei fondali antistanti le Isole del Golfo della Spezia, definendo aree soggette maggiormente all'accumulo di questo tipo di sedimenti; (ii) svolgere analisi e valutazioni granulometriche sui campioni raccolti; (iii) definire un'ipotesi per giustificare l'abbondanza di coralliti osservata.

Le analisi sono state eseguite su 35 campioni prelevati a profondità comprese tra 5 e 29 metri, in zone prossimali e distali dalle coste dell'arcipelago spezzino.

Le analisi granulometriche sono state svolte separando le tre granulometrie principali considerate: ghiaia, sabbia e silt+argilla. Materiale ghiaioso è stato rinvenuto con percentuali comprese tra il 4 e il 70% in zone prossimali alla costa (Secca di Dante, Il Roccio, a sud e a est del Tino) ovvero nelle zone con la più alta energia. Materiale sabbioso è invece presente in tutti i campioni con percentuali molto varie comprese tra il 3 e il 98%, le concentrazioni minori di questa frazione si individuano nel canale tra l'isola Palmaria e quella del Tino.

La frazione siltoso/argillosa è presente in tutti i campioni, ad esclusione di C17 e C28, le concentrazioni più rilevanti, quasi il 100%, sono localizzate al centro del canale tra Palmaria e Tino, dove le condizioni idrodinamiche sono particolarmente attenuate.

Le valutazioni composizionali hanno permesso l'individuazione di tre zone di accumulo di coralliti di *C. caespitosa*. La zona di fondale caratterizzata maggiormente da questa presenza è situata in prossimità delle falesie sud-orientali dell'Isola Palmaria dove in tre campioni le percentuali di coralliti variano dal 25 al 55%. Un'alta percentuale di coralliti indica un'ulteriore zona di accumulo in prossimità della località Il Roccio, dove

le percentuali sono comprese tra il 10 e il 12%, infine i coralliti sono presenti in una fascia a bordatura dell'isola più meridionale con quantità inferiori al 3%.

I coralliti si rinvenivano associati prevalentemente a materiale ghiaioso e sabbioso.

L'ipotesi formulata nella tesi, per spiegare l'abbondanza di coralliti nel sedimento si basa sulla deposizione ad occidente dell'arcipelago spezzino di materiale di dragaggio proveniente dal Porto di La Spezia. I dragaggi hanno coinvolto strati depositi in un ambiente a sedimentazione coralligena caratterizzata dalla presenza del corallo *C. caespitosa* (come osservato durante la campagna di sondaggi geologici effettuati nell'area portuale).

Per confermare l'ipotesi sostenuta sarebbero necessari ulteriori approfondimenti come datare i coralliti raccolti durante lo svolgimento della tesi e confrontarli con campioni di coralliti provenienti dagli strati olocenici dell'attuale rada del porto di La Spezia.

La distribuzione dei coralliti di *C. caespitosa* e la presenza di bitumi nell'area indagata è espressione diretta della deriva litorale, che in questo tratto di costa si sviluppa verso sud-est. Le grandi quantità di sedimenti scaricati al largo delle coste occidentali dell'arcipelago spezzino, tra gli anni '50 e '70, hanno modificato in modo non trascurabile la composizione dei sedimenti presenti nei fondali dell'attuale Parco Naturale Regionale di Porto Venere.

6. Bibliografia

- Abbate E., Fanucci F., Benvenuti M., Bruni P., Cipriani N., Fazzuoli M., Morelli D., Pandelli E., Papini M., Sagri M., Reale V. & Vannucchi P. (2005) Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50 000, Foglio 248 La Spezia. APAT, Dipartimento difesa del suolo- Servizio Geologico d'Italia, 204 pp.
- Aguirre J., Jiménez A.P. (1998) Fossil analogues of presentday *Cladocora caespitosa* coral banks: Sedimentary setting dwelling community, and phonomy (Late Pliocene, W Mediterranean). *Coral Reefs* 17: 203-213.
- Anselmi B., Brondi A., Ferretti O., Felletti A. (1983) Studio granulometrico e mineralogico dei sedimenti della piattaforma costiera compresa fra Punta Mesco e Viareggio. Atti IV Congresso Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia. Chiavari, 36:1-22.
- Boccatelli M., Coli M., Decandia F. A., Gianni E. & Lazzarotto A. (1980) Evoluzione dell'Appennino Settentrionale secondo un nuovo modello strutturale. *Memorie Società Geologica Italiana*, 21:1-160.
- Breslau L.R., Edgerton H.E. (1972) The Gulf of La Spezia, Italy; A case History of Seismic-Sedimentologic Correlation. *The Mediterranean Sea; A Natural Sedimentation Laboratory*, Stanley D.J., ed., Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson and Ross, 177-188 pp.
- Bressan G., Chemello R., Gravina M. F., Gambi M. C., Peirano A., Cocito S., Rosso A., Tursi A. (2009) Altre principali biocostruzioni. In G. Relini (a cura di), *Biocostruzioni marine, elementi di architettura naturale*. Ministero dell' ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM), museo friulano di storia naturale, Arti Grafiche Friulane/imoco spa, Udine, 22: 89-114.
- Capellini G. (1862) Etude stratigraphiques et paleontologiques sur l'infralias dans les montagnes du Golfe de La Spezia. *Bulletin de la Societe Géologique de France*, 19 ser 2: 675-678.
- Capodanno M., Molisso F., (2008) Technical Report: Metodi e tecniche in calcimetria. IACM, CNR. Disponibile su: http://eprints.bice.rm.cnr.it/2904/1/Capodanno_Molisso_technical_Report_2008.pdf ultimo accesso il 24/9/2015.
- Cavazza W., Immordino F., Moretti L., Peirano A., Ruggiero R. (2000) Sedimentological parameters and seagrasses distributions as indicators of anthropogenic coastal degradation at Monterosso Bay (Ligurian sea, NW Italy). *Journal of Coastal Research*, 12(2): 295-305.
- Chelli A., Pappalardo M. (2008) Geomorphological mapping, a basic tool for interpreting rock coasts landforms: an example from Eastern Liguria (Italy). *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, 31: 3-19.

- Chelli A., Pappalardo M., Callegari F. (2008) Rapporti fra livelli di carsificazione e paleo-linee di riva nelle isole del Golfo della Spezia (Liguria Orientale). *Atti Società toscana Scienze naturali Memorie, Serie A*, 113: 25-37.
- Cuerda B. J. (1975) *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos, Palma de Mallorca, 471 pp.
- D'Orefice M., Graciotti R., Lo Mastro S., Muraro C., Pantaloni M., Soligo M., Tuccimei P. (2012) U/Th Dating of a *Cladocora caespitosa* from Capo San Marco marine Quaternary deposits (Sardinia, Italy). Disponibile su: <http://www.researchgate.net/publication/270574157> ultimo accesso il 20/11/2015.
- Fanucci F., Fierro G. Grosso F., Piacentino G. B. (1973) Contributo di un' indagine sedimentologica a ricerche ecologiche nel Golfo di La Spezia. Istituto Idrografico della Marina. Istituto di Geologia, Università degli studi di Genova, 17 pp.
- Federici P.R., Raggi G. (1975) Una nuova interpretazione della tettonica dei monti della Spezia. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 94: 945-960.
- Gianmarino S., Giglia G. (1990) Gli elementi strutturali della piega di La Spezia nel contesto geodinamico dell'Appennino settentrionale. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 109: 683-692.
- Istituto Idrografico della Marina (1978) Il vento e lo stato del mare lungo le coste italiane e dell'Adriatico. Istituto Idrografico della Marina, Genova, 1: 58.
- Kružić P., Požar-Domac A. (2003) Banks of the coral *Cladocora caespitosa* (Anthozoa Scleractinia) in the Adriatic Sea. *Coral Reefs*, 22:536.
- Kružić P., Radić I., Požar-Domac A. (2005) First record of *Cladocora debilis* (Cnidaria:Anthozoa) in the Adriatic Sea. Laboratory for Marine Biology, Department of Zoology, Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia. Disponibile su: [http://www.researchgate.net/profile/Petar_Kruic/publication/231756532_First_record_of_Cladocora_debilis_\(Cnidaria_Anthozoa\)_in_the_Adriatic_Sea/links/5408b7490cf2187a6a6c8e67.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Petar_Kruic/publication/231756532_First_record_of_Cladocora_debilis_(Cnidaria_Anthozoa)_in_the_Adriatic_Sea/links/5408b7490cf2187a6a6c8e67.pdf) ultimo accesso il 30/08/2015.
- Kühlmann D.H.H. (1996) Preliminary report on Holocene sub-marine accumulation of *Cladocora caespitosa* (L.1767) in the Mediterranean. *Göttinger Arb. Geol. Paläont., Sb*, 65-69.
- Nichols G. (1999) *Sedimentology and stratigraphy*. Blackwell, 355 pp.
- Passeri L. (1985) Il Trias dell'Unità di Punta Bianca. *Memorie Accademia Lunigianese di Scienze Giovanni Capellini LIV-LVI*: 1-1004.
- Peirano A. Morri C. Bianchi C.N. (1999) Skeleton growth and density pattern of the zooxanthellate scleractinian *Cladocora caespitosa* (L.) from the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 185: 195-201.
- Peirano A., Morri C., Bianchi C.N., Metalpa R. (2001) Biomass, carbonate standing stock and production of the Mediterranean coral *Cladocora caespitosa* (L.). *Facies*, Erlagen, 44:75-80.

- Peirano A., Kružić P., Mastronuzzi G. (2009) Growth of Mediterranean reef of *Cladocora caespitosa* (L.) in the Late Quaternary and climate interferences. *Facies*, Springer-Verlag, 55:325-333.
- Raggi G. (1985) Evoluzione Plio-Pleistocenica del bacino del fiume Magra. *Memorie Società Geologica Italiana*, 30: 35-62.
- Rau A., Tongiorgi M. (1985) La successione di Punta Bianca; un esempio di rift abortivo del Trias. *Memorie Società Geologica Italiana*, 30: 115-125.
- Reading H. G. (1996) *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science.
- Spairani F. (1995) Biometria ed accrescimento di *Cladocora Caespitosa* (L., 1767) (Cnidaria, Scleractinia) nel Mar Ligure Orientale, Università degli studi di Genova, 125 pp.
- Zibrowius H. (1980) Les Scléactiniaires de la Méditerranée et de l'Atlantique nord-oriental. *Mémoire Institute océanographique*, 11: 1-284.

Allegato 1

Risultati analisi granulometriche con areogrammi.

