

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di laurea magistrale in BIOLOGIA MARINA

***Analisi dei popolamenti bentonici profondi delle coste
occidentali della Calabria***

Tesi di laurea in **Habitat marini rischi e tutela**

Relatori

Prof. Marco Abbiati

Presentata da

Silvia Pace

Correlatori

Prof. Fabiano Gamberi (CNR-ISMAR Bologna)

(III sessione)

Anno Accademico 2011-2012

SOMMARIO

1.INTRODUZIONE.....	3
1.1 OBIETTIVI DELLA CAMPAGNA OCENOGRAFICA.....	3
1.2 ECOLOGIA DEI COLD SEEP.....	5
1.3 PATTERN GEOLOGICI.....	12
1.4 PATTERN BIOLOGICI.....	15
2. MATERIALI E METODI.....	18
2.1 PIANO DI CAMPIONAMENTO.....	18
2.2 METODI DI CAMPIONAMENTO.....	24
2.2.1 RACCOLTA DEI DATI GEOLOGICI.....	24
2.2.2 RACCOLTA DEI DATI BIOLOGICI.....	26
3. RISULTATI.....	32
3.1 ANALISI SUL MACROBENTHOS.....	32
3.2 ANALISI SULLA SOSTANZA ORGANICA.....	51
4. DISCUSSIONE.....	57
5. CONCLUSIONE.....	60
BIBLIOGRAFIA.....	62

1.INTRODUZIONE

1.1 OBIETTIVI DELLA CAMPAGNA OCEANOGRAFICA

La presente tesi si inserisce nell'ambito di un progetto del CNR – ISMAR che prevede l'acquisizione di dati batimetrici ad alta risoluzione in corrispondenza dei fondali marini antistanti le coste della Calabria occidentale, a profondità comprese tra i 500-1000 metri, lungo gran parte della piattaforma esterna e scarpata continentale, per una copertura di 30 Km N-S e 20 Km E-S, compresi tra le latitudini 38°40' - 39°20' e le longitudini 15°00' - 16°00'. La zona era stata già oggetto di ricerche durante due precedenti crociere nel 1996 e nel 1999 che hanno raccolto dati per mezzo di sistemi di ecoscandaglio multibeam Kongsberg-Simrad EM12 e EM120 (Gamberi, Rovere, 2010). L'area di studio interessa la scarpata superiore, il Bacino di Paola intra-scarpata, la dorsale di Paola, la scarpata intermedia, la piana di Lamantini-Alcione e altre scarpate che segnano il confine con il bacino del temuto Marsili, il più grande vulcano sottomarino d'Europa. Dalle analisi dei dati ottenuti delle suddette crociere è emersa la presenza di *mud diapir* e di due *mud volcano* denominati Mojsisovics e Richthofen, dal nome dei due geologi rispettivamente austriaco e tedesco, che verranno in seguito indicati con MMV e MVR. Lo scopo della presente ricerca è stato quello di indagare i popolamenti macrobentonici di profondità raccolti durante la Campagna Oceanografica a bordo della N/O Urania del CNR-ISMAR che era in missione per acquisire ulteriori informazioni inerenti la zona di interesse suddetta.



Fig.1 Localizzazione dei punti di campionamento.

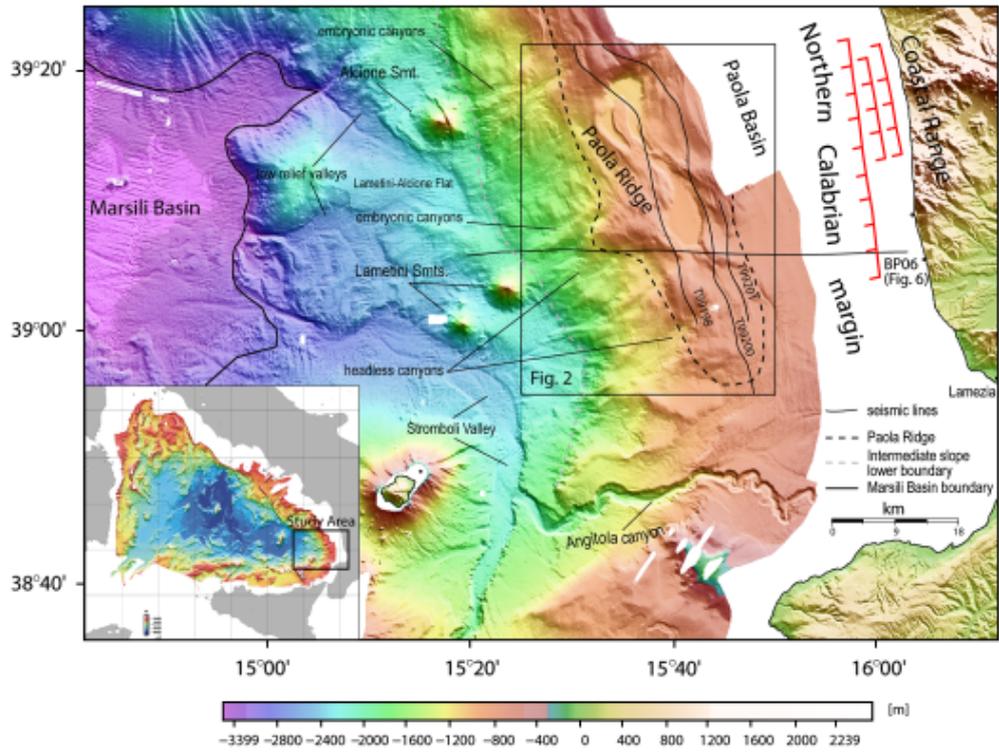


Fig.2 Batimetria del Mar Tirreno sud-orientale (Guarnieri,2006).

1.2 ECOLOGIA DEI COLD SEEPS

La biologia degli ambienti profondi off shore è una scienza relativamente giovane. Prima del XIX° secolo, non si sapeva quasi nulla degli ambienti marini profondi. La rivoluzione industriale, la nascita della teoria dell'evoluzione e la posa di cavi telegrafici, ha portato alla prima spedizione biologica in acque profonde nel XIX° secolo, con la scoperta di vita abbondante e diversificata nelle profondità dell'oceano. Il XX° secolo ha visto l'individuazione nei sedimenti di acque profonde di elevata ricchezza di specie (Hessel and Sanders, 1967), come nei camini idrotermali e nei così detti *cold seeps* (infiltrazioni fredde) (Paull. et al., 1984), che comprendono gli habitat descritti nella presente tesi. La conoscenza delle profondità marine, che sono gli ecosistemi più vasti, sconosciuti e meno accessibili al mondo, permetterà di comprendere meglio la biodiversità associata a questi habitat e il funzionamento dei mari profondi. Tradizionalmente il Mar Mediterraneo è una delle zone più studiate in quanto *hot spot* di diversità specifica terrestre e costiera, ma in ritardo rispetto ad altre regioni del mondo, negli studi delle sue acque profonde. Il presente studio si pone come obiettivo quello di comprendere il potenziale ruolo dell'eterogeneità spaziale sulla diversità macrobentonica negli ambienti marini profondi del Mar Tirreno a largo delle coste occidentali della Calabria, più precisamente nel Bacino di Paola. Lo studio delle comunità macrobentoniche associate ai diversi tipi di habitat come *mud volcano* o *pockmark* sono importanti per la comprensione delle funzioni ecosistemiche del mare profondo.

Per macroinvertebrati bentonici si intendono tutti gli organismi invertebrati con dimensione lineare, misurata sull'asse maggiore, superiore a 0,5 millimetri, che vivono a contatto con il fondo o nel sedimento (ISPRA, 2009).

Da un punto di vista ecologico, questi organismi svolgono un ruolo fondamentale nei processi funzionali degli ecosistemi acquatici, sia marini, d'acqua dolce che di transizione, ed hanno una posizione chiave all'interno delle reti trofiche essendo contemporaneamente e prevalentemente decompositori e/o filtratori e costituendo le prede per i livelli trofici superiori (Griffiths, 1991). La struttura tassonomica e di taglia delle comunità di macroinvertebrati bentonici presenti in un sito sono il risultato di un insieme di fattori biotici ed abiotici che integrano i cambiamenti ambientali nelle caratteristiche fisiche, chimiche ed ecologiche del loro habitat sia su scala spaziale che temporale.

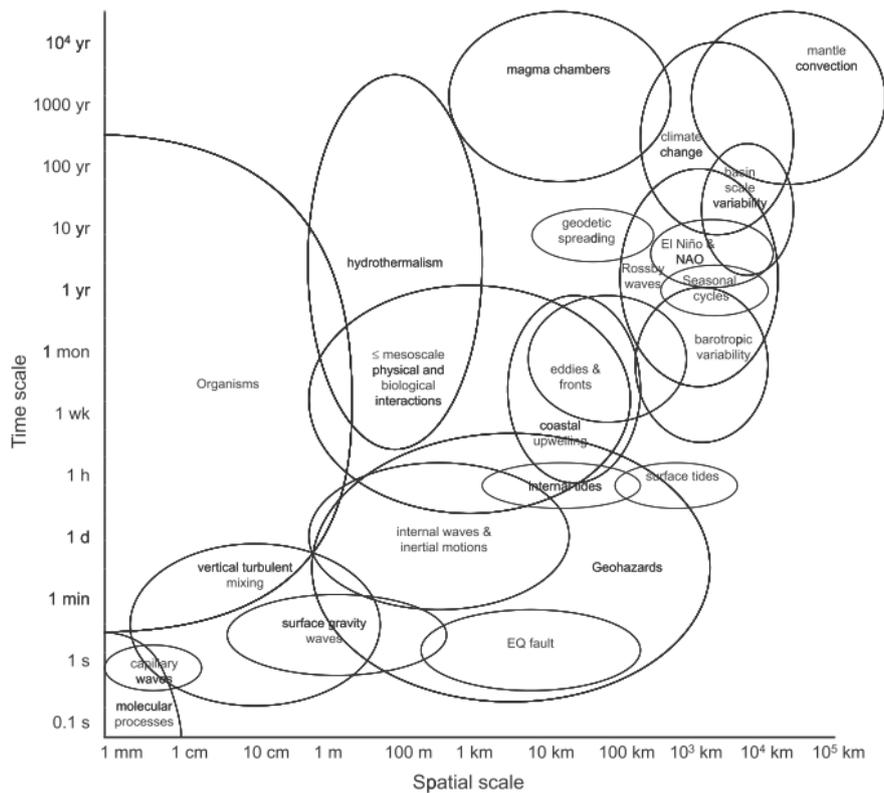


Fig. 3 grafico che illustra la sovrapposizione di scale dei maggiori processi marini e terrestri (Dickey e Chang, 2001).

Il mare profondo non è quiescente e le variazioni ambientali con diverse scale temporali (Fig.3) sono molto importanti nella strutturazione delle comunità bentoniche. Il fondo marino è sottoposto ad una serie di disturbi che operano attraverso una scala temporale molto ampia. Lungi dall'essere un sistema stabile il mare profondo è punteggiato nel tempo e nello spazio da una serie di potenti driver, che includono l'affondamento del phytodetrito, le emissioni da bocche vulcaniche, grandi carcasse che precipitano, correnti che generano torbidità e possono contribuire allo stress da ossigeno; così come gli impatti antropici dovuti alla pesca e al prelievo minerario non devono essere trascurati. L'eterogeneità di un margine continentale presenta diverse forme (Fig.4) interconnesse che lo rendono un sistema estremamente complesso.

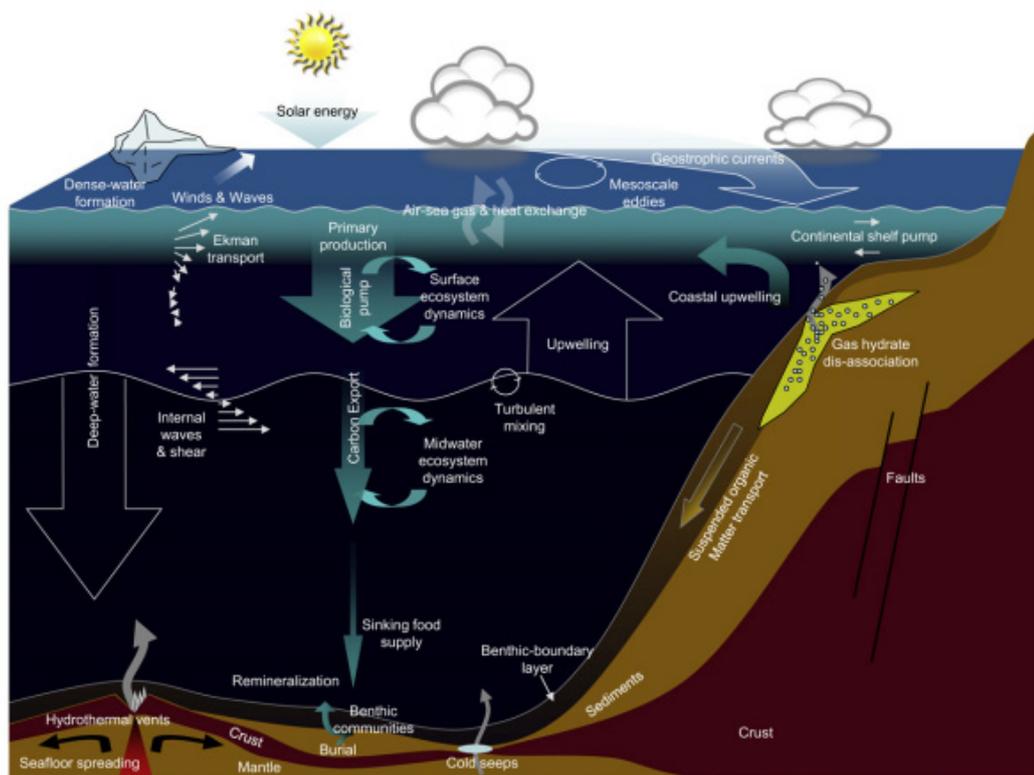


Fig.4 Maggiori processi in ambiente marino, con le interconnessioni tra le dinamiche dell'atmosfera, della superficie dell'oceano, della pompa biologica, del mare profondo, della superficie terrestre (Ruhl et al., 2011).

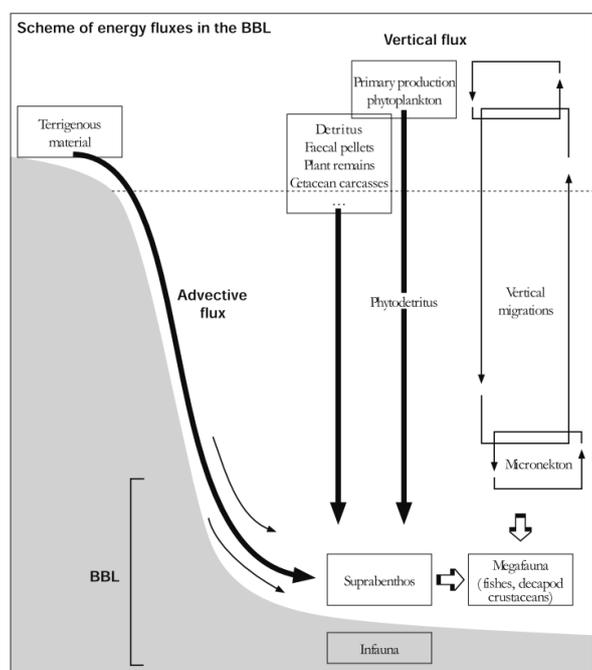


Fig. 5 Bentic Bounday Layer (BBL) e flussi di biomassa annessi.(IUCN, 2004).

Il sedimento costituisce l'ambiente predominante nel mare profondo, occupa circa il 96% dei fondali oceanici, ed è nutrito dalla pioggia di detrito che proviene dalle acque superficiali e viene trasportato dalle correnti, esso si divide in terrigeno e pelagico. Il disfacimento continentale comporta la produzione di materiali che vengono soggetti a spostamento verso il basso, grazie all'azione degli agenti di trasporto quali la gravità, il vento, le acque di dilavamento e quelle incanalate, i ghiacciai e le correnti marine.

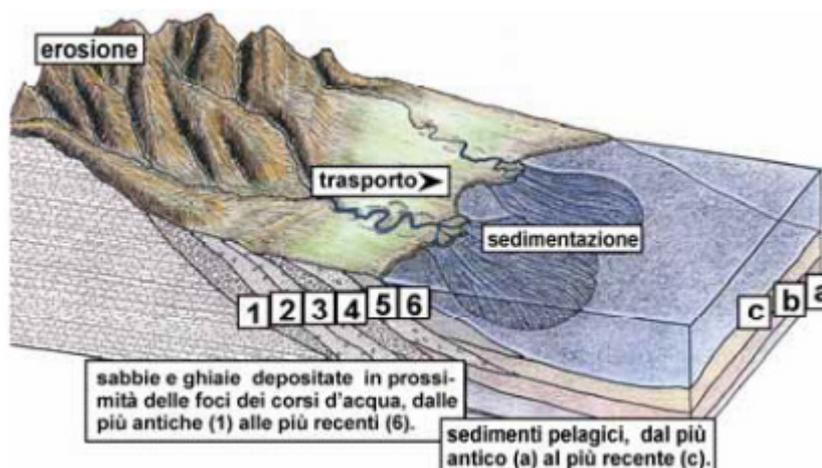


Fig. 6 Rapporto tra ambienti continentali, dove prevalgono erosione e trasporto, e ambienti marini dove prevale la sedimentazione.

Una componente dei sedimenti e delle rocce sedimentarie, di solito presente in quantità accessorie, è rappresentata dalla sostanza organica, di origine vegetale ed animale, che si accumula insieme al materiale inorganico in forma di spoglie e frammenti di organismi morti (soprattutto in ambienti acquatici eutrofizzati). La sostanza organica ha un ruolo importante nei processi diagenetici; in certi casi può originare giacimenti di idrocarburi e di carbone.

Le rocce sedimentarie, a seconda delle modalità di deposito, degli ambienti di formazione e della composizione, possono essere approssimativamente distinte in tre grandi categorie:

- *rocce detritiche* (clastiche); derivano da detriti litologici ottenuti dal disfacimento di rocce preesistenti (rocce madri);
- *rocce organogene*; accumuli di materiali calcarei, silicei, carboniosi costituenti resti di organismi vegetali ed animali;
- *rocce chimiche*; derivano da precipitazione (passaggio dalla fase di soluzione a quella solida) di soluti diversi in ambienti acquatici saturi o ipersaturi.

I sedimenti delle profondità oceaniche, in particolare, sono caratterizzati da:

- *fanghi a globigerine*; accumuli di gusci calcarei di Foraminiferi

(di cui un gruppo importante è costituito dalla famiglia dei Globigerinidi) e di coccoliti (organismi unicellulari flagellati con guscio calcareo), attualmente diffusi negli oceani Atlantico settentrionale e Indiano e nella porzione polinesiana del Pacifico;

- *fanghi rossi*; ricchi di SiO_2 di Fe_2O_3 (che conferisce ai depositi un colore rossastro), con abbondanti noduli di manganese; sembrano di origine eolica e vulcanica (polveri depositate sulla superficie degli oceani e poi sedimentata), forse anche cosmica, ma potrebbero derivare in parte dalla dissoluzione di microrganismi calcarei planctonici; costituiscono depositi estesi, soprattutto sui fondali degli oceani Pacifico, Indiano ed Atlantico centrale;
- *fanghi a radiolari*; affini ai precedenti, ma più ricchi di resti di radiolari (Protozoi), di diatomee (alghie unicellulari) e di spicole di spugne; abbondanti negli oceani Pacifico centrale e Indiano centro - orientale;
- *fanghi a diatomee*; ricchi di frustuli (gusci) di diatomee; si trovano sui fondali dei mari antartici.

Le particelle organiche derivano da quattro tipi di fonte principali: polveri fini, phytodetrito macroalghe e fanerogame, legno terrestre e carcasse di vertebrati. Queste vengono consumate dalla fauna e incorporate nel sedimento per bioturbazione o trasportate altrove dalla corrente. Il paesaggio sottomarino è assai vario, con alcune tipiche morfologie dovute a trasporto solido quale, ad esempio, le correnti di torbida. Sulla piattaforma continentale si depositano materiali detritici portati al mare dai fiumi; si formano così sedimenti che, con il tempo, possono assumere potenze piuttosto consistenti. Tali materiali si accumulano, anche in grande quantità, sull'orlo della piattaforma. Essi possono essere notevolmente incrementati in occasione di piene eccezionali che comportano un accumulo eccessivo di detriti, il cui peso diventa quindi sufficiente per farli precipitare lungo la scarpata continentale, verso le profondità batiali. L'innesco di questo fenomeno può essere causato da scosse sismiche che alterano un equilibrio già precario dei depositi sulla piattaforma. Si determina quindi una discesa verso le maggiori profondità di una notevole massa di detriti. Gli ambienti batiali in particolare sono più vicini alla terra e sono spesso caratterizzati da pendii ripidi, topografia irregolare, maggiore eterogeneità dei sedimenti, forti pressioni e quindi soggetti a maggiori cambiamenti. Questi includono flussi di POC altamente variabile, frane di sedimenti, correnti, tempeste bentoniche e ingressi organici dai fiumi e dai sistemi di canyon. Diversi fattori biologici e ambientali sono stati proposti per spiegare i cambiamenti della diversità delle specie con la profondità.

Quelli più frequentemente invocati sono:

- granulometria dei sedimenti ed eterogeneità del substrato,
- caratteristiche di produttività, contenuto organico o microbico,
- risorse alimentari,
- disponibilità di ossigeno,
- regimi attuali,
- disturbi catastrofici.

Mentre le pianure batiali dipendono dall'arrivo del materiale organico superficiale, gli ecosistemi chemiosintetici possono utilizzare fonti di energia in situ, quali solfuro d'idrogeno o metano. Alla base di questi ecosistemi ci sono batteri metanotrofi e tiotrofici. Alcuni di loro vivono in simbiosi con cozze (metanotrofi), vongole, vermi tubolari (tiotrofici). Queste sostanze chimiche possono avere quindi un'origine geologica (*cold seeps* ad es.) o un'origine biogenica come una carcassa di balena morta, un tronco. Sebbene nella maggior parte delle sorgenti fredde vivano specie diverse da quelle presenti nei camini idrotermali, di solito sono filogeneticamente correlate e utilizzano una fonte simile di energia simbiotica batterica. Anche se non tutti gli organismi della fauna bentonica in habitat idrotermali basano il loro trofismo su sostanza organica derivante dalla chemiosintesi, è stato riconosciuto che le comunità sono fortemente dipendenti dalla natura chimica del fluido di sfogo (Van, Dover, 2000). Cambiamenti nella chimica di sfogo dei fluidi, o di quantità di metano dalle sorgenti fredde, guideranno cambiamenti nei processi di successione delle comunità associate. Tali ambienti sperimentano una combinazione di drivers biologici e geologici molto complessa. La maggior parte degli idrocarburi che fuoriescono dal sedimento mantengono le comunità dei *cold seeps*, oltre alla presenza di sedimenti molli, vi è la precipitazione del carbonato autigenico che forma il paesaggio con costrutti tipici dei *cold seeps*. In questi ecosistemi sono state scoperte alla base della scarpata della Florida, lungo un pendio nel Golfo del Messico, delle comunità chemiosintetiche (Paull et al. 1984). Negli ultimi anni *mud volcanoes* (vulcani di fango) e *pockmarks* associati ai fluidi di gas sui margini continentali hanno impiegato un notevole sforzo di ricerca (Foucher et al. 2009). Le comunità delle sorgenti fredde comprendono taxa chemiosintetici caratteristici come bivalvi, mitili, crostacei, policheti, nematodi e foraminiferi. Il ben studiato Haakon Mosby Mud Volcano (HMMV) nel Mare di Barents, presenta una zona centrale fangosa priva di organismi e con forti concentrazioni di metano, una zona interna caratterizzata con densità variabile dal batterio *Beggiatoa* spp., ed una zona esterna con policheti, a volte accompagnati da *Beggiatoa* spp. (Gebruk et al. 2003; Soltwedel et al. 2005). Il HMMV è un vulcano di fango molto attivo caratterizzato da alti tassi di fuoriuscite di metano che provocano colate di fango su una scala temporale di alcuni anni (Foucher et al., 2009) che possono perturbare

gravemente le comunità bentoniche che occupano le parti più esterne del vulcano di fango. Nonostante ciò, il loro impatto sulle comunità bentoniche e gli effetti a lungo termine sulla biodiversità degli ambienti marini profondi sono a tutt'oggi sconosciute. La nostra interpretazione delle dinamiche del sistema è estremamente difficile data la mancanza di dati. Il recente sviluppo della 'Global Change Science', alimentato dalle preoccupazioni sui cambiamenti climatici, richiede una visione olistica da parte degli ecologi e, non meno importante, l'interazione tra le varie scienze dalla geologia alla biologia è urgente e indispensabile per comprendere il funzionamento degli ecosistemi profondi. Un biologo è interessato agli organismi che vivono all'interno del substrato, ma un chimico, un fisico o un geologo sono più interessati alla natura chimico-fisica dei materiali di cui è composto il fondo. I due tipi di studio sono complementari: gli organismi che non penetrano in profondità sono adattati a quel particolare ambiente fisico, quindi un biologo che studia il comportamento della fauna di fondo, richiede informazioni riguardanti i tipi di deposito superficiale del fondo.

1.3 PATTERN GEOLOGICI

Il Mediterraneo in acque profonde è molto 'giovane' rispetto ad altri oceani. Durante il Messiniano (Miocene Superiore) il flusso di acqua tra l'Atlantico e il Mediterraneo è stato interrotto, a seguito di movimenti tettonici delle placche europea e africana, portando ad un quasi completo prosciugamento del Mediterraneo tra 5,7 e 5,4 milioni di anni fa (crisi di salinità messiniana). L'evento paleogeografico più importante dell'area mediterranea è rappresentato proprio da questa crisi di salinità, durante la quale il Mediterraneo rimane completamente isolato e si dissecca, permettendo così la deposizione di notevoli spessori di calcare, gesso e salgemma. I sali evaporitici sono stati riscontrati in tutti i bacini e costituiscono un orizzonte sismico riflettente di notevole importanza stratigrafica. Lo scambio di acqua tra i due mari è stato restaurato nel Pliocene inferiore, dando luogo ad una fauna marina del Mediterraneo notevolmente simile a quella dell'Atlantico nel Pliocene e Pleistocene. L'attuale fauna del Mediterraneo di acque profonde è meno correlata alla fauna batiale atlantica di quanto non lo fosse nel Pleistocene (Barrier et al., 1989), a causa del mancato ingresso in Mediterraneo delle fredde profonde acque atlantiche (e fauna connessa) (Salas, 1996). Bouchet e Taviani (1992) hanno postulato che l'impoverimento di fauna del Mediterraneo profondo è relativamente recente (post-glaciale Pleistocene), e che l'insorgenza delle attuali condizioni idrologiche nell'Olocene abbia portato ad uno sterminio quasi completo della ricca fauna glaciale di acque profonde, che era più simile alla fauna presente in Atlantico, in particolare per i taxa stenoali. Nel Tirreno centro-meridionale, a ridosso dell'arco calabro, i dati dei sismologici indicano la presenza di terremoti a ipocentri intermedi e profondi che individuano una zona sismicamente attiva, immergente a NO, lunga circa 200 km, spessa 50 km e che arriva a una profondità di 500 km; essa ha una forma concava e segue l'andamento curvilineo dell'arco calabro-peloritano. La massima attività sismica è concentrata a una profondità compresa tra 250 e 300 km. Nella piana batiale la crosta ha spessori variabili da 9 a 15 km, mentre la litosfera è spessa circa 30 km. Questo notevole assottigliamento indica l'esistenza di un attivo "processo di oceanizzazione" del Mar Tirreno che ha portato alla formazione di due bacini: uno caratterizzato da un vulcanismo con lave a chimismo tholeiitico (settore centrale, bacino del Magnaghi-Vavilov) e l'altro con prodotti vulcanici ad affinità calcalkalina (settore sud-orientale, bacino del Marsili e di Palinuro, Isole Eolie). Nonostante ancora largamente inesplorato con tecniche geofisiche moderne, l'Arco Calabro era ritenuto un potenziale target di grande interesse per lo studio dei *cold seeps* sia per la sua origine tettonica che per la sua analogia con la Dorsale Mediterranea, un prisma di accezione che è risaputo contenere una vasta gamma di fenomeni di risalite fluide e gassose

(es. *pockmarks*, *chimneys*, *mud volcanoes*) (Camerlenghi *et al.*, 1992). I vulcani di fango condividono solo la forma a cono dei classici vulcani magmatici, hanno dimensioni molto minori e sono generati da processi completamente diversi, che non coinvolgono materiale magmatico, ma risalite fangose fredde e gas, e sono quindi controllati da processi a temperature e pressioni molto più basse. Nonostante ciò, come accade per i loro cugini magmatici, la forma dei vulcani di fango è strettamente legata alla reologia (la deformazione e il flusso) del materiale eruttato nel tempo. Possiamo infatti avere strutture che vanno dai coni di fango classici (se il fango è più denso) ai *mud pie* (torte di fango) (se il fango è più fluido), oppure a forme che accompagnano risalite fluido-gassose fredde quali i *pockmark* (piccole depressioni coniche), le *brine pools* (pozze di materiale salmastro) e i camini di deiezione. L'importanza dei vulcani di fango è stata messa in evidenza da studi recenti che hanno sottolineato come questi vulcani funzionino come strutture di sfiato nei sedimenti superficiali marini in zone in cui abbiamo grosse convergenze tettoniche con accumulo di gradiente geotermico e concentrazioni fluido-gassose. I ricercatori dell' ISMAR-CNR , per la prima volta nel Mar Tirreno, con lo studio di Gamberi e Rovere (2010) illustrano come i dati batimetrici e quelli sulla riflettività del fondo siano un complemento ai dati sismici nell'interpretazione ed identificazione di *mud diapirism* e *mud volcano* del margine continentale calabro occidentale. Così nel versante nord della Calabria troviamo la dorsale di Paola che si estende verso il mare da 700m di profondità, mentre il bacino intrascarpata di Paola presenta picchi ad una profondità batimetria di circa 600m. La batimetria è stata rilevata con sistemi multibeam, uniti a dati sulla riflessività del fondo e sismica. L'arco di Paola è costituito da creste circolari o allungate animate da trasparenti facies sismiche che vengono interpretate come diapiri di fango (*mud diapir*). Questi hanno un raggio dell'ordine di 5 km e si elevano di 200m dal fondo del mare. La forma allungata dei diapiri è prova di una tettonica che influenza i percorsi sfruttati dalle strutture rialzanti. Il più recente ricoprimento di unità sismiche del rilievo topografico associato ai diapiri ha dimostrato che la crescita del diapiro è attualmente quiescente. Campi di *pockmarks* e le prove di gas rilasciato dai sedimenti sono dovuti al degassamento dei diapiri inattivi. I due *mud volcanoes*, mostrati dall' alto backscatter (riflettività) dei fluidi alimentati da aree circolari con caratteristica di collasso, sono presenti anche sulla parte superiore di uno dei diapiri dormienti. Il solo diapiro che è attivamente in aumento e deforma il mare non è associato con *pockmarks*. Così è possibile ipotizzare una relazione tra l'espulsione dei fluidi dalla massa diapirica e l'arresto di crescita del diapiro. L'aumentato di inclinazione del fondo è causato dall'ascesa del diapiro e dalla presenza di gas all'interno della successione sedimentaria che promuove l'instabilità dei sedimenti, come mostrato da uno spesso deposito di crollo e da numerose cicatrici di

deperimento di massa. A volte, i diapiri salgono in coincidenza con faglie distensive che deviano le evaporiti del Messiniano. Le strutture di fango remobilizzato si trovano lungo una cintura NW – SE caratterizzata da un'attiva di faglia estensiva. Vi sono processi biologici simili a molte province di *mud diapir* e *mud volcano* del Mediterraneo, che consistono in una risorsa di rocce madri pre-messiniani mobilitate lungo le fasce distinte di deformazione tettonica attiva.

1.4 PATTERN BIOLOGICI

Il benthos raggruppa tutte quelle specie animali e vegetali che vivono a stretto contatto con il fondo marino, sulla superficie o all'interno di esso (Marchetti, 1993). Il benthos di fondo mobile (sabbia e fango) è costituito da tutti gli organismi che vivono sul sedimento (epifauna) o al suo interno (infauna). I popolamenti macrobentonici di fondo molle, oggetto di studio, sono quelli costituiti da organismi di dimensioni superiori a 0,5 mm o comunque in grado di essere trattenuti da setacci di tali dimensioni (Holme e Mc Intyre, 1971,1984; Gray 1981); il limite minimo di 0,5 mm per il macrobenthos è comunque generalizzato ed alcuni autori ritengono più adatto un valore di 1 mm (Gray, 1981; Cognetti e Sarà, 1972; Cognetti et al., 2000; Castelli et al., 2003). Gli habitat di fondo molle sono i più comuni nei mari e negli oceani, rivestono una grande importanza dal momento che svolgono un ruolo fondamentale nel fornire cibo per uomini, uccelli, pesci e nell'influenzare i cicli biogeochimici ed inoltre sono più facilmente soggetti ad impatto antropico diretto (Ellis *et al.*, 2000). Per questo motivo le comunità macrobentoniche di fondo molle sono diventate uno dei più comuni oggetti di studio per valutare gli effetti degli impatti ambientali (Gray, 1981). In particolare, in questo caso di studio andremo ad indagare quello che è definito come "sistema afitale", dove i vegetali mancano e la luce è insufficiente o assente. Il sistema afitale, definito anche "sistema profondo", comprende le seguenti suddivisioni o piani: piano batiale, piano abissale e piano adale o ultra-abissale. L'area di campionamento rientra nel piano batiale che si estende, in genere, per tutta la scarpata continentale, 150-200 mt sino 2500-3000 mt.

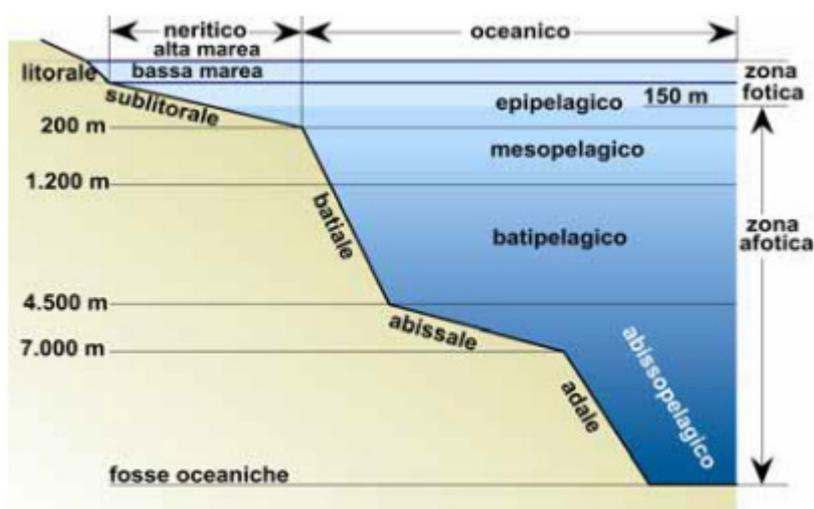


Fig.7 Suddivisione degli ambienti marini pelagici e bentonici.

Gli organismi del benthos contraggono con il substrato relazioni di tipo alimentare (trofico). Il rapporto con il fondo può essere più o meno stretto, più o meno costante, e a volte il margine che divide questi organismi da quelli del plancton e del necton è piuttosto sfumato.

Essendo il benthos a contatto con il fondo, esso è condizionato dalle caratteristiche fisiche del substrato stesso. Altri fattori che svolgono un ruolo fondamentale nello strutturare il benthos sono la luce, l'idrodinamismo, il contenuto di sali minerali, di ossigeno e di sostanze nutritive che caratterizzano quelli che sono definiti i fattori abiotici. A questi bisogna poi aggiungere i fattori di tipo biotico, legati alla presenza di altre specie vegetali o animali in grado di condizionare il popolamento bentonico. Per ogni organismo, all'interno di una comunità, l'ambiente a cui esso è soggetto sarà il risultato di complesse interazioni tra fattori biotici e abiotici. L'ambiente abiotico o fisico dipende da parecchi fattori: geologia, topografia, posizione sulla terra (variazioni latitudinali di luce e temperatura), clima e condizioni meteorologiche e catastrofi (terremoti). L'ambiente biotico è sperimentato da un individuo sottoforma di interazioni con altri organismi. Questi comprendono organismi conspecifici (effetti intraspecifici) e individui di molte altre specie (effetti interspecifici). Il substrato può avere una differente struttura e costituzione mineralogica e, se mobile, una differente granulometria, cioè un diverso diametro dei granuli.

I substrati mobili sono quelli i cui elementi costitutivi sono spostabili gli uni rispetto agli altri. A seconda della loro granulometria si distinguono elementi che vanno dai ciottoli (da qualche centimetro a 25 cm) fino alle argille colloidali più fini (meno di un micron), passando attraverso le ghiaie, le sabbie, le melme. Questi substrati, chiamati sedimenti, si presentano spesso mescolati in una stessa area (sabbia melmosa, ghiaia melmosa, ecc.). Molto schematicamente, si può dire che le dimensioni medie degli elementi costitutivi di un sedimento decrescono via via che ci si allontana dalla riva, nel senso che a partire da questa si incontreranno successivamente, andando verso il largo, ciottoli, ghiaie, sabbie, melme. Questo è legato principalmente alle caratteristiche idrodinamiche dell'area. Nella zona più costiera, soggetta ad un maggior moto ondoso, il sedimento è continuamente rimescolato, e la frazione più fine asportata. Più al largo, in condizioni di moto ondoso ridotto, la frazione più fine del sedimento, trasportata dalle correnti, ha la possibilità di depositarsi e accumularsi sul fondo.

I *mud volcano* sono *cold seeps*, in cui la fuoriuscita di gas e fluidi è associata a strutture 3D di fango che aumentano l'eterogeneità spaziale e potenzialmente alterano il funzionamento degli ecosistemi bentonici. Nonostante gli sforzi di Fredj e Laubier (1985) per quanto riguarda lo studio degli aspetti qualitativi della composizione della macrofauna bentonica del Mar Mediterraneo profondo, i dati quantitativi sono scarsi. Diversi studi hanno descritto condizioni di scarsa abbondanza e bassa diversità di invertebrati marini nel Mediterraneo orientale. Lo Stretto di Gibilterra è una potenziale barriera fisica per la colonizzazione da

parte di larve bentoniche della fauna atlantica, ma non è una barriera impenetrabile. Macpherson (2002) e Gail (2004) suggeriscono che la fauna del Mediterraneo è più diversificata rispetto a quella dell'Atlantico e mostra un notevole endemismo. La prima prova biologica di vita macrobentonica in ambienti ridotti fu la presenza di *Lucinidae vesicomidae* spp. e conchiglie sulla cima del vulcano di fango Napoli, situato a 1.900 m di profondità sulla dorsale mediterranea nella zona di subduzione della placca africana (Corselli e Basso, 1996). I *cold seeps* in Mediterraneo sembrano rappresentare un habitat ricco caratterizzato da ricchezza di specie di megafauna (ad esempio, gasteropodi) o da dimensione eccezionale di alcune specie, come spugne (*Rhizaxinella pyrifer*) e granchi (*Chaceon mediterraneus*), rispetto ai loro omologhi di fondo. Questo contrasta con la bassa abbondanza e diversità degli abissi del Mediterraneo orientale in macro e mega fauna. Le comunità di cold seeps nel Mediterraneo, tra cui specie endemiche chemiosintetiche e fauna associate, differiscono dalle altre comunità dei *cold seep* note nel mondo a livello di specie, ma anche per l'assenza del grande bivalve del genere *Calypptogena* o *Bathymodiolus* (Sibuet et al., 1998, 2002). L'isolamento dei *cold seeps* del Mediterraneo da quelli dell'Oceano Atlantico dopo la crisi messiniana ha portato allo sviluppo di comunità uniche, che possono differire per composizione e struttura da quelli nell'Oceano Atlantico. Nei sistemi di sorgenti fredde, la struttura trofica è completamente diversa, dato che i batteri chemioautotrofi alimentano la comunità bentonica con una supplementare fonte di cibo che non si trova in ecosistemi eterotrofi. I dati disponibili per il bacino del Mediterraneo sono troppo limitati per fare un paragone, ma la ricchezza di specie è probabilmente inferiore rispetto ad un qualsiasi altro sistema (Danovao et al. 2010).

2. MATERIALI E METODI

2.1 PIANO DI CAMPIONAMENTO

La zona investigata durante la Campagna oceanografica ISMAR-CNR a bordo della N/O Urania, dal 26 agosto con partenza da Napoli e arrivo l'8 settembre a Messina, è suddivisibile in sei aree come visto in figura qui sotto: sono stati effettuati 27 campionamenti con box corer (BC) in 6 aree e sono stati indagati quattro tipi di habitat:

- Mud volcano (n°10 BC totali) in area 1 e 3.
- Pockmarks su diapiro di fango (n°9 BC totali) in area 4 e 5 e Pockmarks isolati (n°2 BC totali) in area 6.
- Frana del RMV (n°4 BC totali) in area 1 e 3.
- Tipici del fondale profondo che non presentano particolari tipologie di attività geologica (n° 2 BC totali) in area 2 e 3.

Durante tutto il corso della campagna le condizioni meteo sono state ottimali consentendo così di lavorare più agevolmente.

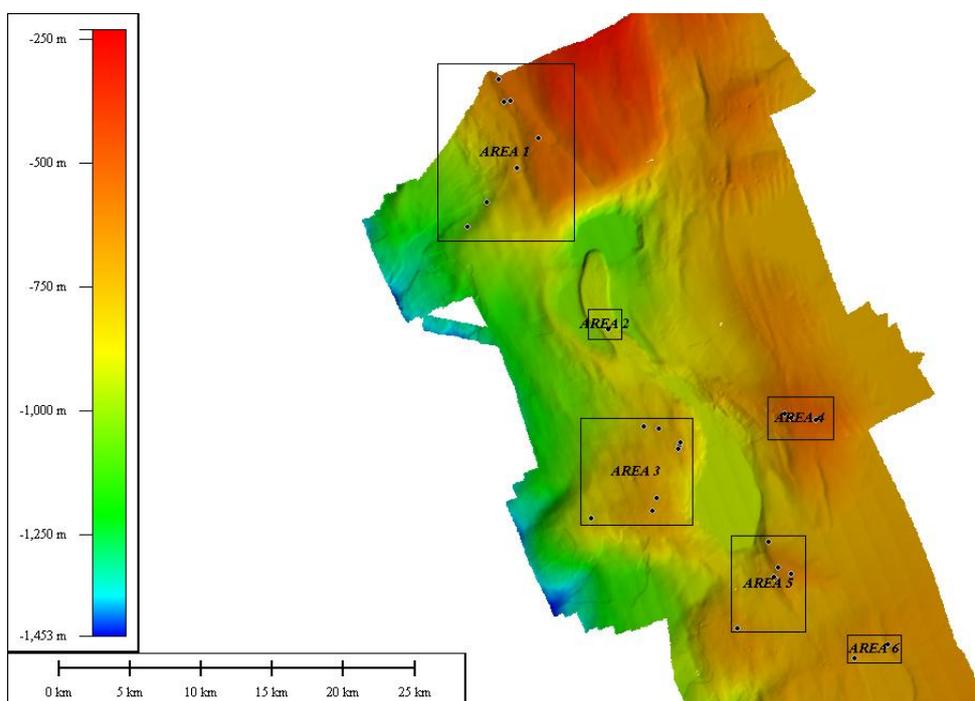


Fig.8 Mappa dei siti di campionamento nel Mar Tirreno, Bacino di Paola, Calabria occidentale.

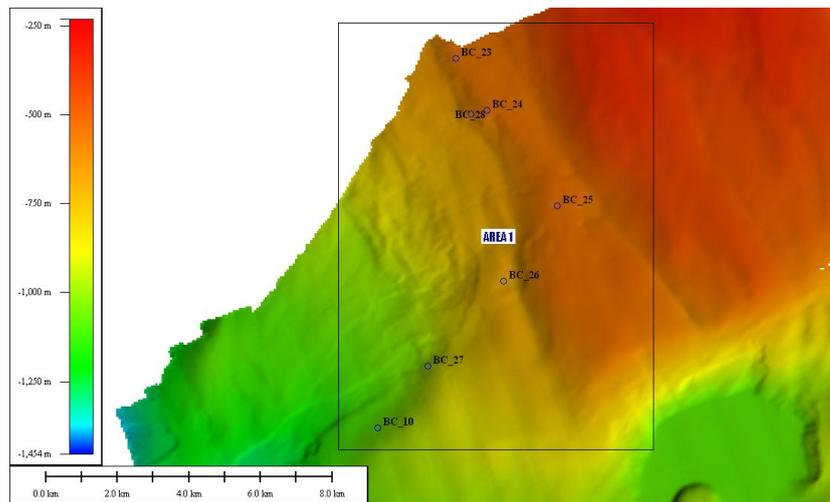


Fig.9 Area 1

Nell'area 1° possiamo distinguere i BC 23-24-25-28 appartenenti all'habitat Richthofen mud volcano (centro attivo), mentre i BC 26-27-10 appartengono all'habitat di tipo frana sempre del Richthofen mud volcano.

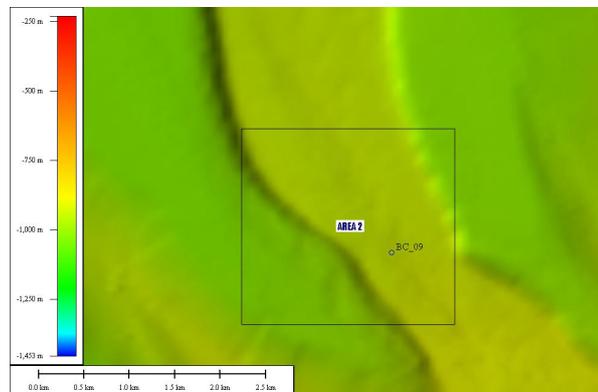


Fig. 10 Area 2

Nell'area 2 troviamo il BC 9 isolato, come primo habitat tipico.

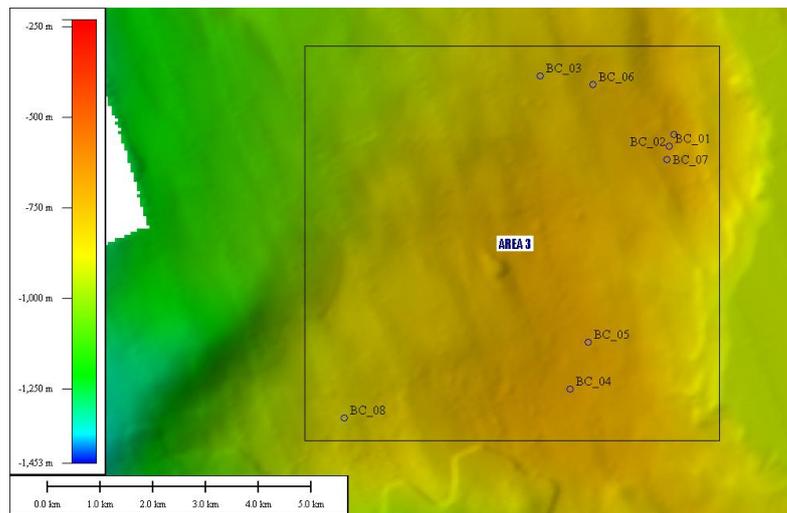


Fig.11 Area 3

Nell'area 3 troviamo rispettivamente i BC 3 come secondo habitat tipico,
 i BC 1-2-6-7 campionati nell'habitat Richthofen mud volcano RMV
 i BC 5-4 campionati nell'habitat Mjsisovics mud volcano MMV
 il BC 8 appartenente all'habitat di tipo frana del Richthofen.

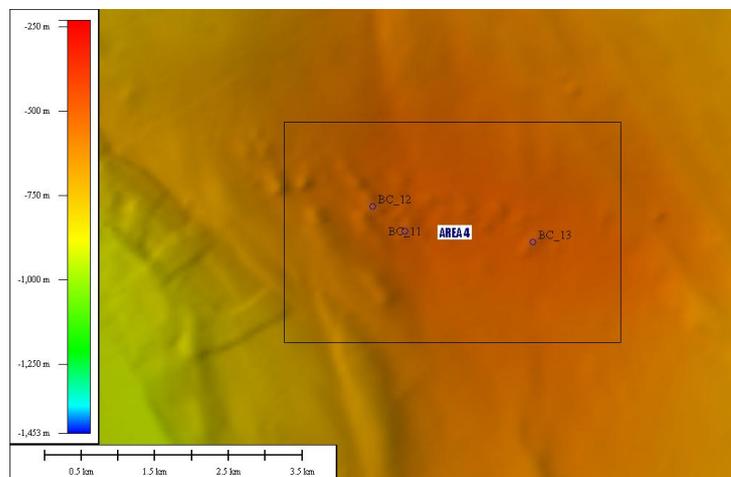


Fig.12 Area 4

In area 4 troviamo i BC 11-12-13 appartenenti all'habitat tipo pockmark su diapiro1 (centro disattivo).

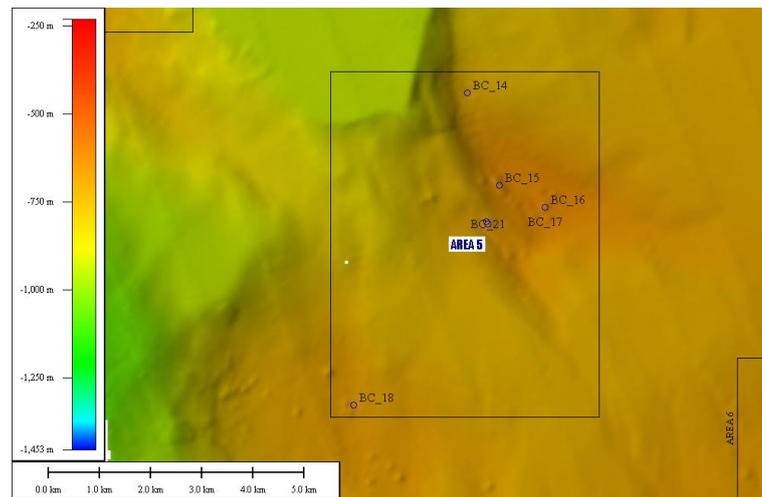


Fig. 13 Area5

Nell'area 5 i BC 14-15-17-21-22 appartengono tutti all'habitat di tipo pockmark su diapiro 2 (centro disattivo), mentre il BC 18 appartiene all'habitat pockmark su diapiro 3, sempre disattivo.

Il BC 16 è risultato nullo ai fini del campionamento.

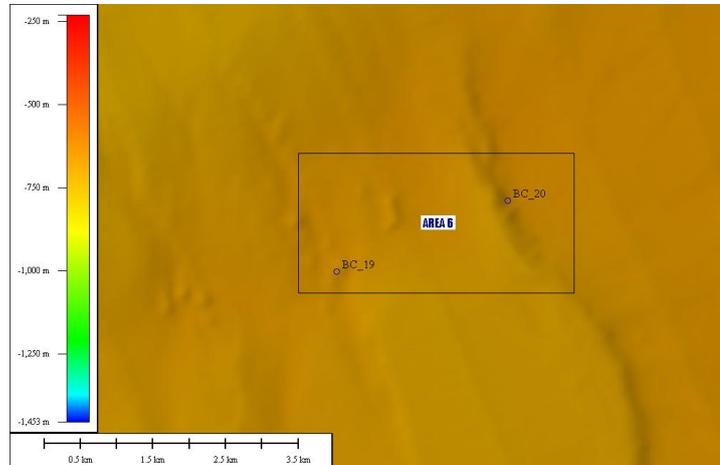


Fig. 14 Area 6

Nella'area 6 troviamo infine i BC 19-20 che appartengono all'habitat tipo pocmark isolati.

Tab.1 Coordinate UTM33 e in gradi decimali (datum wgs84) dei punti di campionamento dei box corer.

NAME	DATA	ORA(utc)	PROF(metri)	EST(x)	NORD(y)	Lat °N	Lon °E
BC_01	27/08/2011	9,27	727	555895,3	4336584,0	39,1766924	15,6471138
BC_02	27/08/2011	12,47	726	555981,1	4336811,0	39,1787327	15,6481256
BC_03	27/08/2011	14,24	809	553458,3	4337924,3	39,1889227	15,6190075
BC_04	28/08/2011	8,18	728	554012,7	4331964,0	39,1351822	15,6249512
BC_05	28/08/2011	11,16	709	554362,6	4332851,0	39,1431532	15,6290708
BC_06	28/08/2011	13,12	761	554454,7	4337761,1	39,1873899	15,6305321
BC_07	28/08/2011	14,55	728	555852,8	4336328,3	39,1743910	15,6466010
BC_08	29/08/2011	8,12	862	549741,0	4331407,9	39,1304259	15,5754877
BC_09	29/08/2011	11,29	934	550932,5	4344739,2	39,2504805	15,5902764
BC_10	29/08/2011	13,49	1062	541058,2	4351998,4	39,3164140	15,4762866
BC_11	30/08/2011	8,25	529	563737,9	4338488,0	39,1933089	15,7380822
BC_12	30/08/2011	9,41	556	563305,2	4338822,8	39,1963569	15,7331039
BC_13	30/08/2011	11,09	520	565476,3	4338337,8	39,1918263	15,7581968
BC_14	31/08/2011	11,52	729	562215,3	4329786,7	39,1150169	15,7196536
BC_15	31/08/2011	13,16	657	562837,8	4327967,3	39,0985786	15,7266846
BC_16	31/08/2011	14,44	635	563728,3	4327537,6	39,0946423	15,7369419
BC_17	31/08/2011	15,12	634	563725,8	4327536,3	39,0946305	15,7369123
BC_18	01/09/2011	7,4	678	559995,4	4323643,6	39,0598194	15,6934353
BC_19	01/09/2011	9,28	679	568200,3	4321582,8	39,0406484	15,7880534
BC_20	01/09/2011	11,51	678	570543,7	4322561,2	39,0492786	15,8152305
BC_21	01/09/2011	13,32	694	562606,7	4327209,7	39,0917690	15,7239428
BC_22	01/09/2011	14,07	695	562585,0	4327253,4	39,0921641	15,7236959
BC_23	02/09/2011	7,33	576	543243,9	4362363,7	39,4097036	15,5023083
BC_24	02/09/2011	8,35	571	544093,7	4360915,5	39,3966114	15,5120834
BC_25	02/09/2011	9,47	551	546074,6	4358233,2	39,3723390	15,5349040
BC_26	02/09/2011	12,03	704	544574,2	4356118,1	39,3533603	15,5173445
BC_27	02/09/2011	13,31	951	542456,6	4353728,6	39,3319361	15,4926175
BC_28	02/09/2011	15,15	609	543659,1	4360812,0	39,3957008	15,5070299

Tab. 2 Suddividendo i campioni in tipo di habitat, area e replica otteniamo la matrice:

NAME	DATA	ORA(utc)	mt	LON WGS 84	LAT WGS 84	HABITAT	AREA	REPLICA
BC_03	27/08/2011	14:24	809	15,619007	39,188922	STANDARD	3	
BC_09	29/08/2011	11:29	934	15,590276	39,25048	STANDARD	2	
BC_11	30/08/2011	08:25	529	15,738082	39,193308	D1 POCKMARKS centro disattivo	4	1
BC_12	30/08/2011	09:41	556	15,733103	39,19639	D1 POCKMARKS centro disattivo	4	2
BC_13	30/08/2011	11:09	520	15,758196	39,191826	D1 POCKMARKS centro disattivo	4	3
BC_14	31/08/2011	11:52	729	15,719653	39,115016	D2 POCKMARKS centro disattivo*	5	1
BC_15	31/08/2011	13:16	657	15,726685	39,098578	D2 POCKMARKS centro disattivo*	5	2
BC_17	31/08/2011	15:12	634	15,736912	39,09463	D2 POCKMARKS centro disattivo*	5	3
BC_21	01/09/2011	13:32	694	15,723943	39,091769	D2 POCKMARKS centro disattivo*	5	4
BC_22	01/09/2011	14:07	695	15,723695	39,092164	D2 POCKMARKS centro disattivo*	5	5
BC_18	01/09/2011	07:40	678	15,693435	39,059819	D3 POCKMARKS centro disattivo	5	1
BC_19	01/09/2011	09:28	679	15,788053	39,040648	POCKMARKS ISOLATI	6	1
BC_20	01/09/2011	11:51	678	15,81523	39,049279	POCKMARKS ISOLATI	6	2
BC_23	02/09/2011	07:33	576	15,502308	39,409703	R1 MUD VOLCANO centro attivo*	1	1
BC_24	02/09/2011	08:35	571	15,512083	39,396611	R1 MUD VOLCANO centro attivo*	1	2
BC_25	02/09/2011	09:47	551	15,534904	39,372339	R1 MUD VOLCANO centro attivo*	1	3
BC_28	02/09/2011	15:15	609	15,507029	39,3957	R1 MUD VOLCANO centro attivo	1	4
BC_01	27/08/2011	09:27	727	15,647113	39,176692	RICHTHOFEN MUD VOLCANO centro attivo	6	1
BC_02	27/08/2011	12:47	726	15,648125	39,178732	RICHTHOFEN MUD VOLCANO centro attivo	6	2
BC_06	28/08/2011	13:12	761	15,630532	39,187389	RICHTHOFEN MUD VOLCANO centro attivo*	6	3
BC_07	28/08/2011	14:55	728	15,646601	39,174391	RICHTHOFEN MUD VOLCANO centro attivo*	6	4
BC_04	28/08/2011	08:18	728	15,624951	39,135182	MOJSISOVICS MUD VOLCANO centro attivo*	3	1
BC_05	28/08/2011	11:16	709	15,62907	39,143153	MOJSISOVICS MUD VOLCANO centro attivo*	3	2
BC_10	29/08/2011	13:49	1062	15,476287	39,316414	R1 FRANA	1	1
BC_26	02/09/2011	12:03	704	15,517344	39,35336	R1 FRANA	1	2
BC_27	02/09/2011	13:31	951	15,492617	39,331936	R1 FRANA	1	3
BC_08	29/08/2011	08:12	862	15,575487	39,130425	RICHTHOFEN FRANA	3	1

2.2 METODI DI CAMPIONAMENTO

2.2.1 RACCOLTA DEI DATI GEOLOGICI.

La nave oceanografica Urania è gestita dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Ha un'autosufficienza di 45 giorni e può ospitare un massimo di 36 uomini tra personale scientifico ed equipaggio. La gamma di velocità per il rilevamento continuo varia tra 1.5 e 11 nodi. Il sistema di propulsione è costituito da due eliche a passo variabile azionate da due motori da 1000 KW e da un'elica prodiera da 220 KW. La nave è equipaggiata con un sistema di posizionamento dinamico Simrad per manovre di precisione.



Fig.15 Nave oceanografica Urania.

La nave ospita laboratori per analisi, campionamento geologico, laboratori chimici e radiologici e consente l'elaborazione di dati di navigazione, geofisici e quelli acquisiti con il R.O.V. (Remote Operated Vehicle) e con la sonda multiparametrica. Gli strumenti geofisici comprendono un profilatore Chirp Datasonic, uno Sparker, un profilatore Sub-Bottom da 3.5 KHz, un Uniboom, un sonar a scansione laterale da 100 - 500 KHz e un magnetometro. Per quel che riguarda i sistemi di campionamento (operanti fino alle massime profondità del Mediterraneo) sono disponibili campionatori a gravità ed a pistone, box corer, benne (Shipek e Van Veen) e draghe. E' inoltre possibile utilizzare sonde multiparametriche e multicampionatori, CTD, dispositivi per analisi biologiche.

Lo strumento principale utilizzato dai geologi durante la campagna oceanografica consiste in un ecoscandaglio multi fascio (multibeam sonar) che emette un ventaglio di impulsi acustici ad alta frequenza trasversali alla rotta della nave e che, retrodiffusi dal fondo, tornano alla sorgente e vengono convertiti in punti quotati. I dati ottenuti vengono elaborati attraverso complesse procedure di calcolo e successivamente visualizzati come carta delle isobate, rilievi ombreggiati o superfici tridimensionali. Per questo durante la campagna oceanografica la nave seguiva rotte parallele avanti e indietro per ottenere un profilo batimetrico completo.

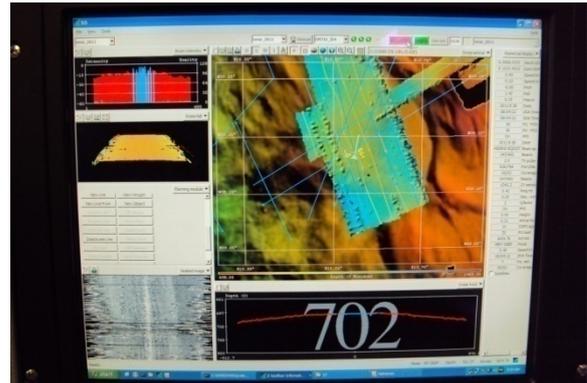
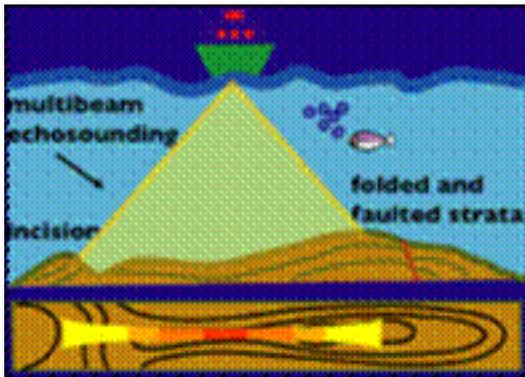


Fig.16 Es.sistema di acquisizione multibeam.

Fig.17 Es. SIS utilizzato per il multibeam.

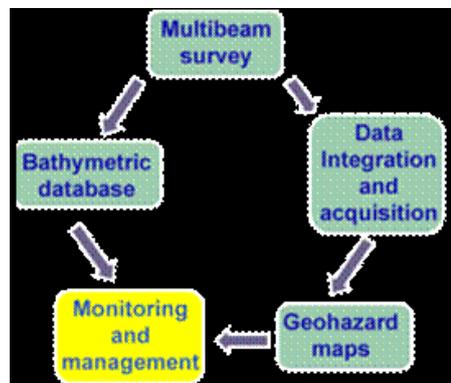


Fig.18 Schema che chiarisce l'implementazione dei dati ai fini di ottenere un database della batimetria dei fondali per monitoraggio e gestione.

Durante la campagna oceanografica i geologi hanno raccolto carote di campioni per mezzo di carotatori a gravità, per poter svolgere ulteriori indagini nell'area di studio.



Fig.19 Carotatore a gravità a bordo di Urania

Sono state inoltre prelevate due carote di campioni geologici da tutti i box corer.

2.2.2 RACCOLTA DEI DATI BIOLOGICI

Dopo avere deciso, in base allo scopo del lavoro, il piano di campionamento, si procede ad individuare la strumentazione più adatta agli scopi del lavoro stesso e al tipo di sedimento da prelevare. Scelto il campionatore più adeguato, con la determinazione della superficie (o volume) e del numero di repliche, si procede alla raccolta ed al trattamento dei campioni.

In generale, la raccolta ed il trattamento di un campione di macrobenthos prevedono le seguenti fasi principali: prelievo, setacciatura, fissazione, conservazione.

Per il prelievo del macrobenthos di fondo molle, si è utilizzato lo strumento box corer, particolarmente adatto per studi quantitativi, necessari per un'adeguata caratterizzazione delle comunità bentoniche. Strumenti come i box corer permettono di ottenere quantità ben definite di sedimento e quindi di ottenere una notevole riproducibilità del campione, permettono inoltre di ottenere informazioni più precise sulla distribuzione degli organismi e, campionando esemplari più integri, una valutazione più accurata della biomassa (Castelli et al., 2003). Il box corer a disposizione sull'Urania ha una struttura in ferro zincato di 2.5x2.7x1.5 di dimensioni, la pentola cilindrica ha un diametro di 32 cm di un'altezza di 52 cm, 42 litri di volume e una superficie di campionamento di 800 cm². il sistema di armamento comprende il dispositivo di sgancio della colonna che alloggia masse e pentola che si infligge nel sedimento una volta che la struttura tocca il fondo, grazie al movimento del braccio scorrevole su cui alloggianno le masse e la pentola. È importante che il box arrivi sul fondo in assetto orizzontale, quindi il peso e la scelta del tipo di box va valutata anche in base alla profondità e alle correnti di fondo, che potrebbero mettere in crisi l'assetto di box troppo leggeri. Durante la fase di recupero la trazione del cavo attiva la rotazione della zappa solidale alla struttura che va a chiudere la parte inferiore della pentola preservando il sedimento campionato, e attiva il recupero del box corer. La struttura alla quale viene montata

la pentola è provvista di due sportellini la cui funzione è quella di impedire la compressione del sedimento durante la penetrazione e di preservare l'acqua, impedendo il mescolamento con la colonna d'acqua durante la risalita. Una delle caratteristiche più importanti del box corer è la facilità di armamento e di smontaggio pentola, data dalla possibilità di smontare la zappa e mantenerla solidale alla pentola fino alla fine delle operazioni di sub-campionamento.



A



B

Fig.20 (A e B) Foto del box corer utilizzato durante i campionamenti.



Fig.21 Pc collegato al box corer che permette di seguire le fasi di discesa e salita dello strumento.

Alla riemersione del box corer biologi e geologi erano pronti per le rispettive raccolte di campioni, in maniera tempestiva.



Fig.22 Box corer alla riemersione pronto per l'estrazione dei campioni biologici e geologici.

Per ogni box corer, per quanto riguarda la parte biologica, sono stati prelevati dalla superficie del sedimento:

- una carotina di sedimento di 3-5 cm per analisi sulla sostanza organica, conservati in barattoli PVC e posti in freezer alla temperatura di -20°C .
- una carotina di sedimento di 3-5 cm per le analisi sulla granulometria.
- due carotine di sedimento di 3-5 cm per analisi sulla meiofauna.



Fig.23 Foto estrazione carotina di sedimento.

Come detto nel 2.2.1 anche i geologi hanno prelevato 2 carote dal sedimento raccolto con box corer, oltre a campioni con carotatore nella medesima area investigata dai box corer, durante la risalita degli strumenti era inevitabile non sentire l'odore di gas (metano, zolfo) presenti nei siti attivi a *mud volcano*. Una volta terminate le operazioni iniziali, con foto annesse, inizia per i biologi il duro lavoro di setacciatura che, nel presente studio, vede l'impiego di una batteria di setacci da 1mm e 0,5 mm proprio per selezionare la taglia di organismi indagati in questa ricerca, ovvero il macrobenthos.

Il campione va sottoposto a setacciatura allo scopo di eliminare l'acqua, i sedimenti fini e quant'altro non necessario per la ricerca in questione. Il campione deve essere completamente rimosso dal campionatore e collocato in una bacinella di dimensioni appropriate.

Allo scopo di sciogliere il materiale presente nel campione e posto nella bacinella, può essere sciacquato e sciolto con delicatezza prima di finire nel setaccio. Una valida alternativa, particolarmente indicata per i sedimenti di natura argillosa, è lo scioglimento delicato del campione nella bacinella stessa, dopo avere aggiunto acqua di mare per un volume pari a quattro-cinque volte quello del campione. L'acqua può essere spruzzata direttamente sul campione tramite un ugello tipo doccia purché la pressione non sia tale da danneggiare gli animali. Una volta raggiunto il livello desiderato, il campione va agitato molto delicatamente fino al suo quasi totale scioglimento.

È importante non insistere troppo, per non danneggiare gli animali. I piccoli noduli di materiale argilloso che generalmente rimangono andranno sciolti tramite un getto d'acqua durante l'operazione di vagliatura.

La vagliatura consiste nel fare passare il campione sciolto in acqua attraverso un setaccio. Per separare la macrofauna, il setaccio deve avere una maglia con aperture quadrate di 1 mm oppure di 0,5 mm (Eleftheriou e Holme, 1984; Kingston e Riddle, 1989). Per gli studi di monitoraggio ambientale, è in genere preferibile utilizzare setacci da 1 mm come miglior compromesso tra la rappresentatività dei risultati ottenuti, e lo sforzo e i costi sostenuti (Buchanan *et al.*, 1974; Hartley, 1982; Ferraro *et al.*, 1989); la frazione di macrobenthos che viene perduta con tale sistema non provoca infatti significative distorsioni ai principali parametri della comunità (Kingston e Riddle, 1989; Cognetti e Cognetti, 1992). In casi particolari, quando si suppone siano importanti quantitativamente le componenti macrobentoniche di dimensioni inferiori al millimetro (ad esempio in presenza di elevati tassi di arricchimento organico che favorisce l'abbondanza di forme "opportuniste" generalmente caratterizzate da piccole dimensioni) o quando sia importante il rilevamento del reclutamento di forme giovanili, è opportuno invece utilizzare anche setacci con maglie da 0,5 mm in aggiunta ai precedenti (Cognetti e Cognetti, 1992); in questo caso è necessario utilizzare una batteria di setacci in modo da mantenere separate le frazioni trattenute dal setaccio con maglie di 1 mm da quella compresa tra tale setaccio e quello con maglie da 0,5 mm. L'utilizzazione di setacci di diverse dimensioni permette ovviamente di trattenere un diverso numero ed una diversa tipologia di organismi macrobentonici. Al termine della setacciatura il materiale rimanente viene trasferito, con estrema cautela, in appositi contenitori e fissati con una soluzione di aldeide formica tamponata in acqua di mare al 4% (generalmente indicata come formalina al 10%). Ogni campione è stato poi debitamente etichettato con pennarello

indelebile e fissata al barattolo con nastro adesivo. Riposti in apposite casse per il trasporto verso l'Università di Bologna e poi Ravenna, dove sono state condotte le prime analisi sul macrobenthos e sulla sostanza organica. Una volta trasportati in laboratorio i campioni, prima di procedere all'analisi sono stati privati della formalina, debitamente smaltita, e rilavati sotto cappa aspirata, posti in un beker e colorati con il Rosa Bengala per far risaltare la sostanza organica. Al microscopio binoculare sono stati individuati e separati mediante l'uso di pinzette gli organismi macrobentonicici poi preservati in eppendorf con formalina al 4% e debitamente etichettati. Mediante l'utilizzo di uno stereomicroscopio è stato possibile fotografare gli organismi, posti in piastra Petri, per poterli identificare meglio.

Per quanto riguarda l'analisi della sostanza organica, sono state condotte tutte le pesate necessarie al calcolo della LOI% con bilancia elettronica cinque decimale:

- tara del contenitore in ceramica
- peso umido del campione scongelato
- peso secco del campione posto ad essiccare per 24 ore a 70°C
- peso delle ceneri, dopo un ciclo di 8 ore a 450°C

la Loss On Ignition (L.O.I.) è il metodo più comunemente usato per una valutazione del contenuto di sostanza organica e carbonati nei suoli.

Il peso perduto durante le reazioni è facilmente misurabile, pesando, con una bilancia di precisione, i campioni prima e dopo il riscaldamento, ed è strettamente correlato al contenuto di sostanza organica e di carbonati contenuti nel suolo.

La procedura è consistita in 2 fasi: nella prima un'aliquota di campione, pari a circa 10 g, è stata pesata in un crogiuolo di ceramica e posta ad asciugare in stufa ad una temperatura di 80° C per 24 ore. Con questo processo è stata persa l'acqua di imbibizione del suolo. Il valore di tale perdita di peso è stato calcolato usando la seguente equazione:

$$\% \text{ H}_2\text{O di imbibizione} = [(DM_{20} - DM_{80}) / DM_{20}] \times 100$$

dove: DM_{80} = peso del campione dopo il riscaldamento a 80°C;

DM_{20} = peso del campione a temperatura ambiente.

Nel secondo step il crogiuolo è stato posto in muffola per circa 8 ore e portato ad una temperatura di 450°C. La L.O.I. è stata calcolata tramite l'equazione:

$$\% \text{ LOI}_{450} = [(DM_{80} - DM_{450}) / DM_{20}] \times 100$$

dove: LOI_{450} = LOI a 450°C espressa in percentuale;

DM_{80} = peso del campione dopo il riscaldamento a 70°C;

DM_{450} = peso del campione dopo la combustione a 450°C;

Tab.3 Tabella delle pesata registrate mediante il programma WinWedge-Pro.

Sample	tara		peso umido+tara		peso secco+tara		ceneri+tara		peso umido	
BC01	18,69584	g	24,87733	g	21,41311	g	21,25755	g	6,18149	g
BC02	22,44493	g	26,02115	g	23,791	g	23,69508	g	3,57622	g
BC03	18,76599	g	23,75496	g	20,91187	g	20,73124	g	4,98897	g
BC04	17,59337	g	22,59804	g	20,0361	g	19,90586	g	5,00467	g
BC05	22,39342	g	27,74764	g	24,7667	g	24,62766	g	5,35422	g
BC06	18,55110	g	23,00544	g	20,13432	g	20,04198	g	4,45434	g
BC07	19,23749	g	26,55717	g	22,90301	g	22,62828	g	7,31968	g
BC08	22,56854	g	28,64213	g	25,42631	g	25,20171	g	6,07359	g
BC09	23,27552	g	28,56583	g	25,58932	g	25,40914	g	5,29031	g
BC10	23,12243	g	29,28776	g	26,03111	g	25,90605	g	6,16533	g
BC11	20,45058	g	25,88049	g	22,96463	g	22,80999	g	5,42991	g
BC12	19,34362	g	27,56638	g	23,33687	g	23,1015	g	8,22276	g
BC13	19,45447	g	27,0354	g	23,08983	g	22,84159	g	7,58093	g
BC14	23,92063	g	33,16772	g	28,58548	g	28,29768	g	9,24709	g
BC15	23,53028	g	33,60741	g	29,30949	g	29,02343	g	10,07713	g
BC17	23,17897	g	33,07301	g	28,70482	g	28,35826	g	9,89404	g
BC18	19,45465	g	28,18325	g	23,72361	g	23,44781	g	8,7286	g
BC19	22,81173	g	29,01033	g	25,66843	g	25,45727	g	6,1986	g
BC20	18,79953	g	36,07136	g	29,63202	g	29,15452	g	17,27183	g
BC21	18,77869	g	24,49871	g	21,65244	g	21,44412	g	5,72002	g
BC22	19,51897	g	30,66376	g	25,36762	g	25,01881	g	11,14479	g
BC23	19,16454	g	27,03383	g	22,38798	g	22,25095	g	7,86929	g
BC24	23,84145	g	35,7769	g	30,61718	g	30,28681	g	11,93545	g
BC25	23,63178	g	28,88671	g	25,43876	g	25,34947	g	5,25493	g
BC26	23,07733	g	29,79107	g	26,06964	g	25,89047	g	6,71374	g
BC27	23,65651	g	32,33904	g	27,88543	g	27,72697	g	8,68253	g
BC28	23,90577	g	34,10251	g	29,95114	g	29,67972	g	10,19674	g

3. RISULTATI

3.1 ANALISI SUL MACROBENTHOS

Le analisi sul macrobenthos hanno riguardato il materiale trattenuto dai setacci con maglia di 1 millimetro, di seguito viene riportata la tabella con gli organismi rinvenuti in ogni box corer campionato. Dalla prima analisi della tabella emerge chiaramente la scarsità di individui che caratterizza questi campioni e che non permette lo svolgimento di eventuali analisi statistiche ma che può comunque portare a considerazioni generali di tipo qualitativo, che data l'originalità delle aree investigate e la scarsità di letteratura sul tema rappresentano comunque un importante contributo per la conoscenza del benthos profondo del Mediterraneo. Sono state indagate sei aree e quattro tipi diversi di habitat. Nei 27 box corer, ovvero 27 campioni per il macrobenthos, sono stati isolati 9 taxa per un totale di 100 organismi. I taxa rinvenuti in ordine di abbondanza sono:

- Phylum Phoronida con 31 esemplari
- Ordine Coronata con 29 esemplari
- Classe Polychaeta con 10 esemplari appartenenti a 7 famiglie
- Subphylum Crustacea con 11 esemplari
- Phylum Porifera con 5 esemplari
- Phylum Mollusca con 5 esemplari
- Phylum Bryozoa con 2 esemplari
- Phylum Nematoda con 1 esemplare
- Phylum Nemertea con 1 esemplare

Non sono stati classificati il phylum dei Foraminifera, delle sostanze grigie apparentemente inorganiche e dei fili con palline (vedi foto BC 2) apparentemente organici. Risulta comunque evidente una eterogeneità in termini di abbondanza tra habitat di tipo attivo (*mud volcano*) e non attivo (*pockmarks* su *mud diapir*). Infatti nei primi il numero di specie è estremamente scarso e i ritrovamenti riguardano specie appartenenti alle famiglie dei Phoronida, Sipunculida, all'ordine dei Coronata mentre la presenza di foraminiferi risulta quasi nulla. Mentre negli habitat di tipo non attivo il numero di specie aumenta. Seppur esiguo, il numero degli organismi e la varietà di specie sembrano essere maggiori nei siti a *pockmarks* rispetto ai siti a *mud volcano*. In particolare sono molto più abbondanti in ricchezza di specie e abbondanza i BC 15 e 21 nei siti a *pockmarks* su diapiro. E' interessante il ritrovamento in tutte le aree ed in 10 dei 27 box corer totali prelevati di materiale

probabilmente resti di plastica. La classificazione degli organismi nella maggior parte dei casi si è limitata alla famiglia o all'ordine. Di seguito la tabella riassuntiva degli organismi ritrovati per ogni box corer e le foto con le specie più importanti rinvenute in ogni box corer.

Tab.4 Riassunto dei ritrovamenti macrobentonici in ogni box corer divisi per tipo di habitat.

N° BC	Phoronida	Sipunculida	ordine Coronata	Polychaeta	Crustacea	Nematoda	Nemertea	Mollusca	Porifera	N.I. grigio plastica	Foraminifera	Bryozoa	N.I. Fili con palline
BC11	1	1	1					1		sì	sì	1	
BC12								2			sì		
BC13	1		3					1			sì	1	sì
BC14		4	1			1				sì			sì
BC15	2	1	1	2	2				1				
BC17									1		sì		
BC18		1									sì		
BC21	12			2	5		1				sì		
BC22	2	2	5						1		sì		
BC8	2									sì			
BC10	3			1						sì	sì		
BC26	3	3	3						1				
BC27	1	3		2				1					
BC1	1		1		2					sì			
BC2	1	1	2							sì			sì
BC4			6						1	sì			
BC5			4										
BC6													
BC7										sì			
BC23				1							sì		
BC24				1									
BC25													
BC28	2	1	1										
BC3				1	1					sì	sì		
BC9													
BC19		3			1								
BC20			1							sì	sì		

Legenda:

Tipico
Pockmarks isolati
Frana
Mud volcano
Pockmarks su mud diapir

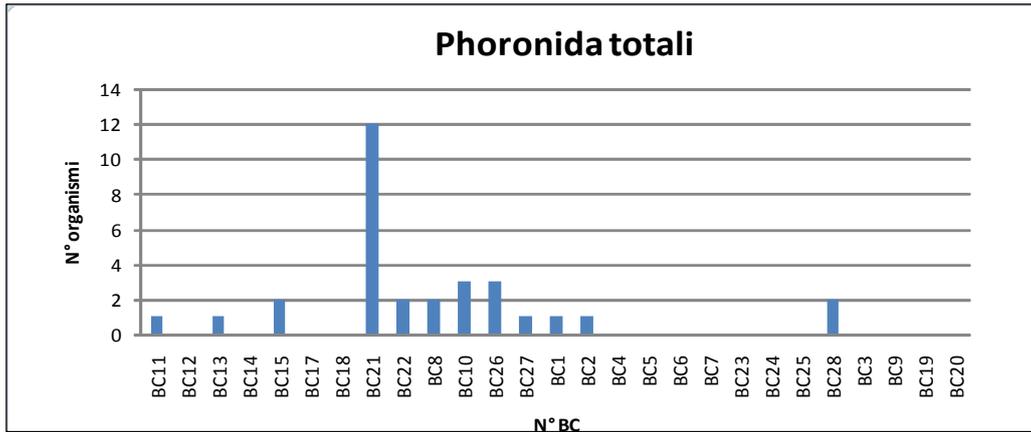


Fig.24 Istogramma degli organismi del phylum Phoronida in ogni BC.

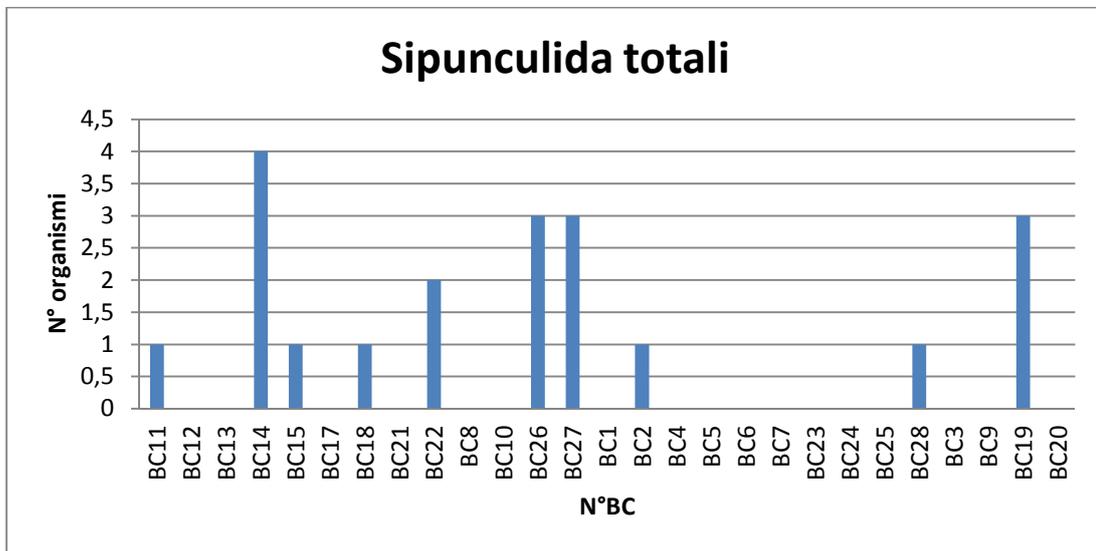


Fig.25 Istogramma dei Sipunculida nei diversi BC.

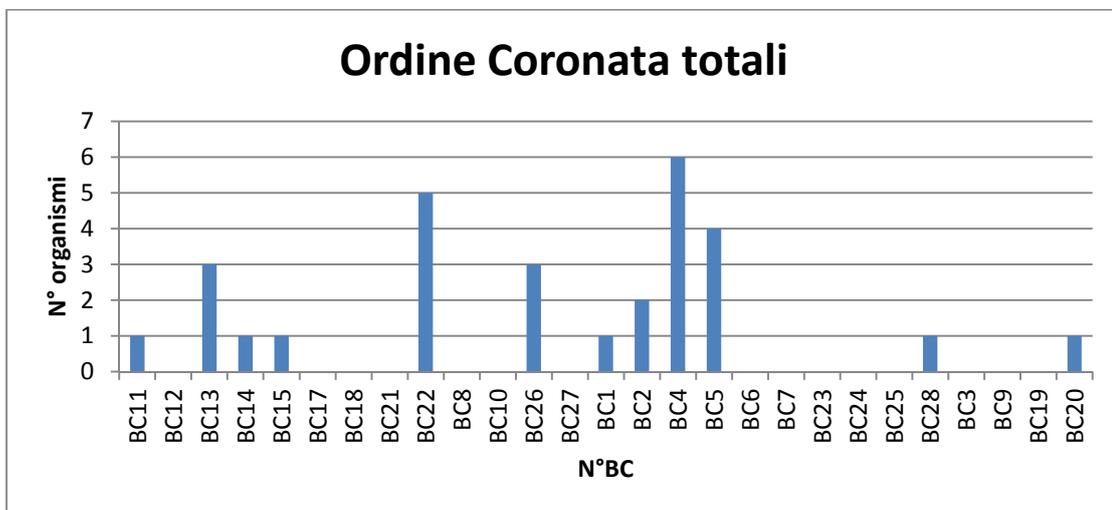


Fig.26 Istogramma degli organismi dell'ordine Coronata nei diversi BC.

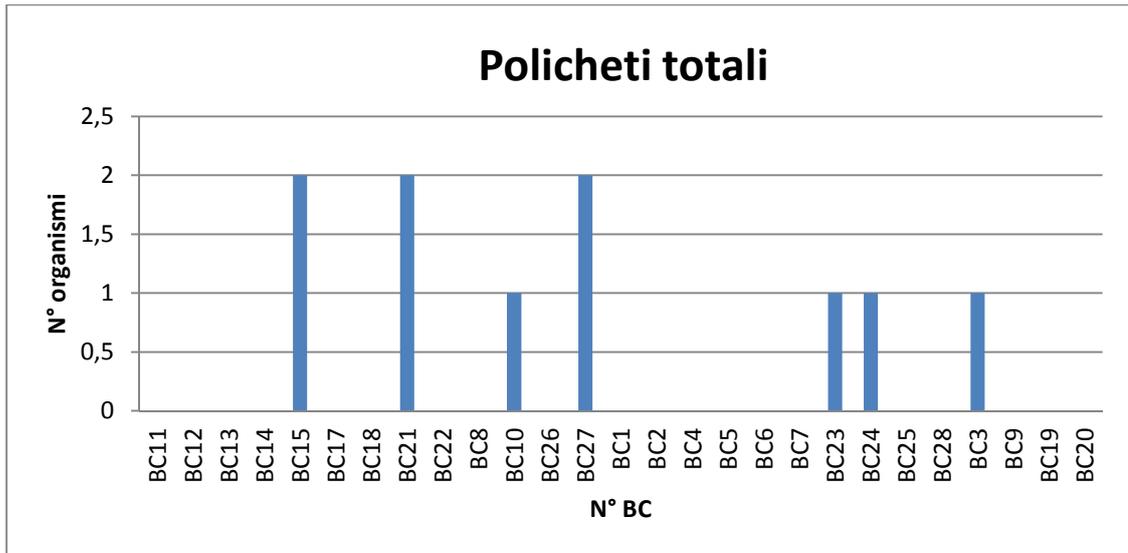


Fig.27 Istogramma degli organismi appartenenti alla classe dei Policheti in ogni BC.

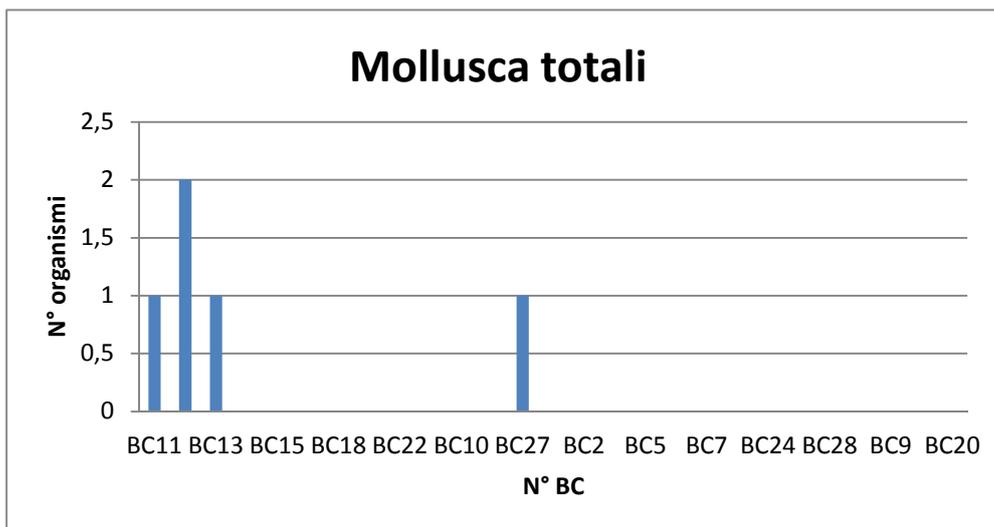


Fig.28 Istogramma degli organismi del phylum Mollusca ritrovati nei 27 BC.

Tra i vari taxa analizzati meritano particolare attenzione la classe dei Polychaeta rappresentati dalle famiglie:

- Cirratulidae: su 26 sp. 15 sono state registrate nel settore 3.
- Onuphidae: su 26 sp. solo 8 sono state finora registrate nel settore 3.
- Glyceridae: su 11 sp. ben 10 vengono registrate nel settore tirrenico.
- Lunbrineridae: su 28 sp. 13 sono state riscontrate nel settore 3.
- Nereididae: è divisa in 3 sottofamiglie di cui la Nereididinae è la più numerosa con ben 38 sp. Di 26 presenti i Tirreno.

- Terebellidae: diviso in 3 sottofamiglie di cui la più numerosa è la Amphitritinae con ben 27 sp. di cui 13 registrate nel settore 3.
- Nephtyidae: presenta 15 sp. Di cui 7 registrate nel settore 3.

Mentre tra i Crustacea troviamo l'anisopode dell'ordine Tanaidacea, gli isopodi Anthuridae e Cirrolanidae e i decapodi Callianassidi. Per quanto riguarda i Tanaidacei, queste specie sono rappresentative della tanaifauna mediterranea centro occidentale, molto meno di quella orientale. Differenze qualitative sembrano esistere fra i popolamenti adriatici e quelli a ponente e a sud della penisola. L'interesse ecologico e biogeografico del gruppo è notevole: nelle nostre acque si incontrano infatti, con distribuzioni abbastanza nette, taxa tipici delle latitudini boreali e della fascia subtropicale; forme cieche interstiziali, abitatrici degli alti fondali, e forme di superficie, infeudate alle alghe fotofile ed ai posidonieti. Particolarmente ricchi sono i popolamenti a Tanaidacei delle aree lagunari e portuali, dove si incontrano taxa cosmopoliti ad altissima frequenza, alcuni dei quali migrano passivamente col fouling sulle chiglie dei natanti o sul carapace di tartarughe e cetacei. Nonostante la relativa e ben documentata ricchezza faunistica, la conoscenza in assoluto dei Tanaidacei dei mari italiani (ma forse soprattutto del Mediterraneo centro-occidentale) è tutt'altro che soddisfacente ed appare decisamente peggiore rispetto a quella di altri Peracaridi: manca infatti un'opera organica sul gruppo, la cui conoscenza per il Mediterraneo centrale e l'Adriatico si basa su elenchi parziali e segnalazioni sparse. Gli Isopodi costituiscono un ordine monofiletico che comprende circa 10.000 specie (Schultz, 1982) suddivise in 10 sottordini. Il sottordine Phreatoicidea, che comprende specie dulcacquicole ed è considerato il più primitivo, presenta una distribuzione di tipo gondwaniano mentre il sottordine Calabozoidea è costituito da un'unica specie stigobia venezuelana. I restanti 8 sottordini sono rappresentati in Italia e nei mari che la circondano dalle 572 specie, di cui Anthuridae e Cirrolanidae sono stati individuati nel settore 3 (Tirreno) dei nove settori biogeografici in cui è diviso il Mediterraneo (Bianchi, 2004). I crostacei dell'ordine Decapoda sono prevalentemente marini e si trovano dalla zona di marea alle maggiori profondità del piano abissale. Nei mari italiani sono presenti, oltre alla gran parte delle specie proprie del bacino del Mediterraneo (d'Udekem d'Acoz, 1999), di cui alcune di notevole valore per la pesca, anche un limitato numero di specie alloctone. La sistematica dei decapodi per i livelli superiori alla famiglia, è ancora oggetto di discussione, poiché i risultati dei recenti studi di biologia molecolare non sempre sono in accordo con i tradizionali raggruppamenti basati su caratteri morfologici. L'unico esemplare tra i decapodi della famiglia dei Callianassidae cfr con *Callix lobata* non è ancora stato registrato nel settore 3.

Di seguito le foto dei ritrovati macrobentonici divisi per tipo di habitat e N° di BC.

- Siti attivi a *mud volcano*:

FOTO BC 1



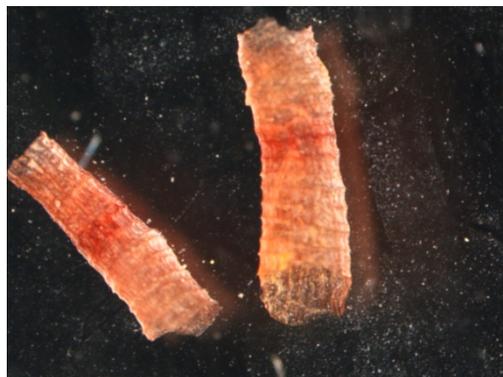
Esempio di bioturbazione e di fango color rosso (emipelagico) che denota ambienti di tipo ossidante.



Nel BC1 sono stati rinvenuti 2 esemplari di Calanoidi
possibile contaminazione da acqua di lavaggio di superficie.



Phylum Phoronida



Ordine Coronata

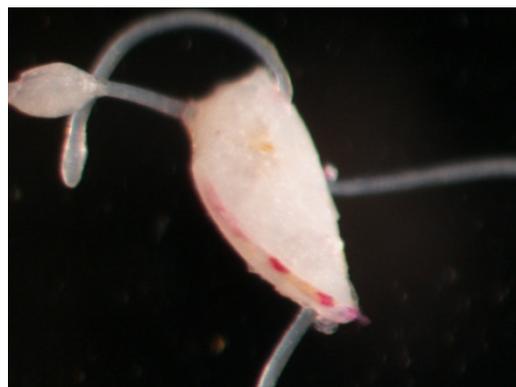


Es. di presenza grigia nominati in tabella come N.I. forse plastica

FOTO BC 2



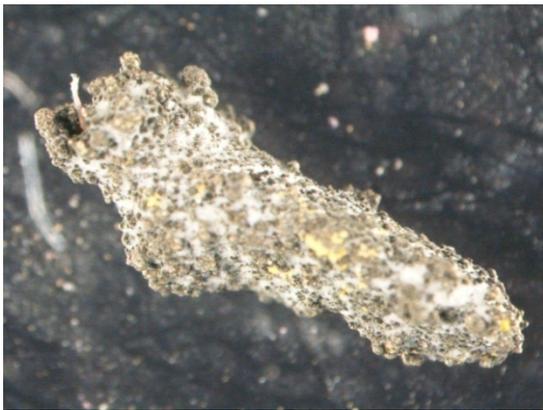
In questa foto si può notare il fango rosso emipelagico (sulla superficie del box) e il fango grigio di tipo pelagico sottostante.



Organismo non identificato indicato in tabella come fili con palline N.I.



Ordine Coronata



Phylum Phoronida

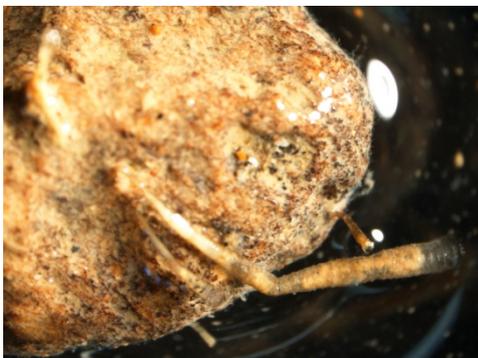


Particolare ingrandimento



Spicola di spugna N.I. (11.25X)

FOTO BC 4



Ordine Coronata cfr. *Nausithoe* sp.

FOTO BC 23



Polichete Fam. Cirratulidae

FOTO BC 24

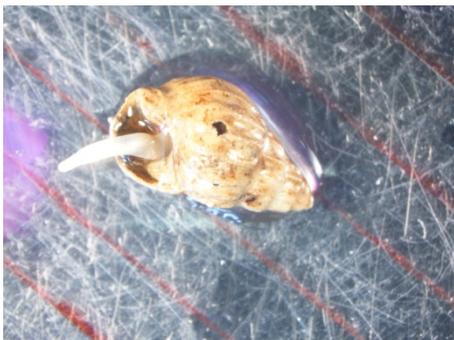


Polichete Fam. Onuphidae



Particolare ingrandimento

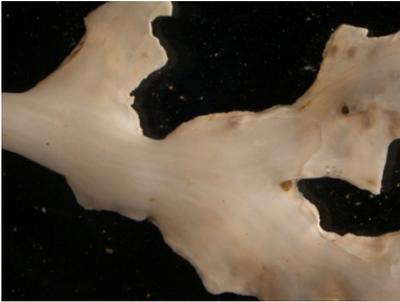
FOTO BC 28



Esemplare di gasteropode (cfr.fam. Nassariidae) contenente un Sipunculidae Cfr. *Aspidosiphon* spp.

- Siti non attivi a pockmarks su diapiro:

FOTO BC11



Probabile resto di corallo N.I.



Ordine Coronata



Fam. Sipunculida cfr. *Aspidosiphon* sp.

FOTO BC13



Phylum Phoronida

FOTO BC 14



Fam. Sipunculida

Phylum Nematoda

FOTO BC 15



Fam. Sipunculida



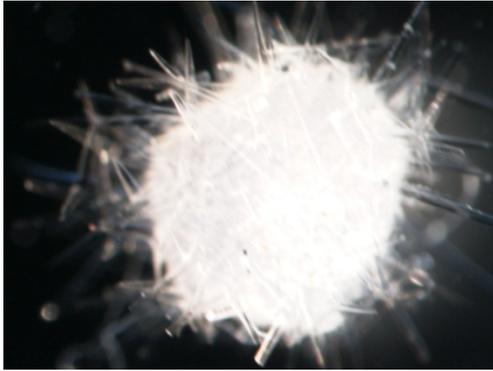
Polichete Fam. Glyceridae



Anisopode ordine Tanaidacea



Polichete Fam. Lunbrineridae



Spugna N.I.



particolare delle spicole



Isopode Fam. Anthuridae



Fam. Sipunculida

FOTO BC 21



Decapode Callianassidae cfr. *Calliax lobata*



Polichete Fam. Nereididae



Particolare



Phylum Phoronida



Isopode Anthuridae



Nemertea

FOTO BC 22



Fam. Sipunculida



Ordine Coronata



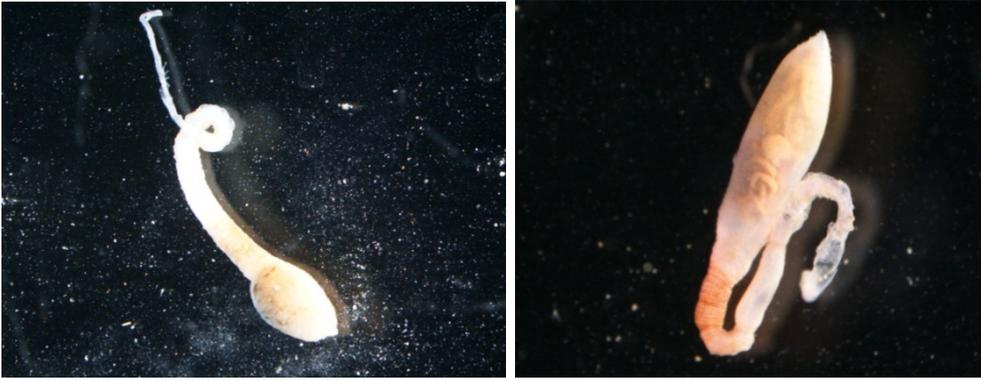
Spugna N.I.

• **Siti a pockmarks isolati:**

FOTO BC 19



Isopode Fam. Cirolanidae gen. *Cirolana* sp.



Due esemplari del Phylum Sipunculida

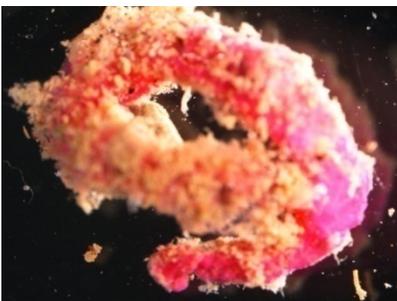
- **Siti a frana del RMV:**

FOTO BC8



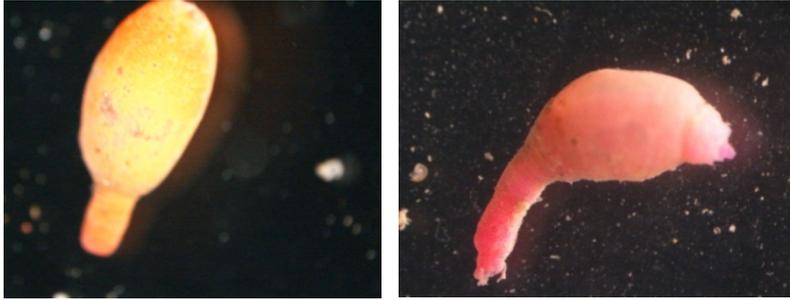
Phylum. Phoronida

FOTO BC 10



Polichete Fam. Terebellidae

FOTO BC 26



Due esemplari del Phylum Sipunculida



Spugna N.I.

FOTO BC 27



Due esemplari del Phylum Sipunculida



Sequenza di quattro foto del Polichete Fam. Nephtyidae

- **Habitat tipici:**

FOTO BC 3

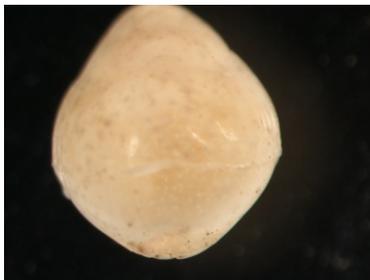
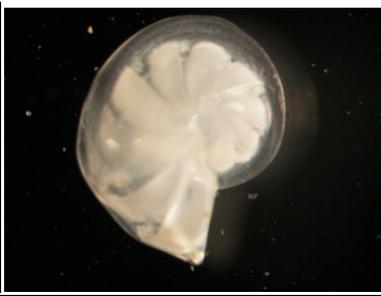
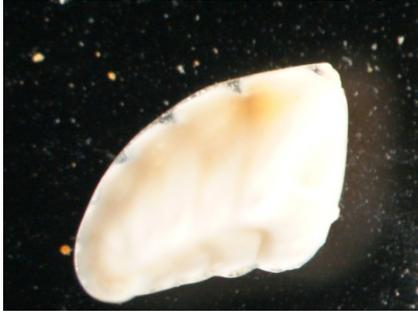


Polichete Fam. Cirratulidae



Anisopode ordine Tanaidacea

FOTO Foraminifera N.I.



Tab.5 Classificazione tassonomica delle specie rinvenute nei sedimenti marini a profondità comprese tra 200 mt. e oltre 4000 mt. nel Mar Mediterraneo. (Danovaro et al., 2010).

Taxonomic group	No. species	State of knowledge ⁽¹⁾	No. introduced species	No. experts	References
Domain Archaea	35 OTUs g ⁻¹ (²)	Scant	Not available	na	[97,100,193,278]
Domain Bacteria (including Cyanobacteria)	1306 OTUs g ⁻¹ (³)	Scant	Not available	na	[88,89,95–97,100,193,278]
Domain Eukarya					
Kingdom Chromista					
Phaeophyta	na	-	-	-	-
Kingdom Plantae					
Chlorophyta	na	-	-	-	-
Rhodophyta	na	-	-	-	-
Angiospermae	na	-	-	-	-
Kingdom Protocista (Protozoa)					
Dinomastigota (Dinoflagellata)	na	-	-	-	-
Foraminifera	197	68% unknown		na	[78,84,86, Pancotti unpubl.]
Kingdom Animalia					
Porifera	5	na		na	[26,129,108]
Cnidaria	2, 15	na			[72,75,129,172,179,181,182,184,279–284]
Platyhelminthes	na	na	na	na	
Mollusca	74	na	na	na	[26,108,129]
Annelida	18	na	na	na	[26,108,129]
Crustacea	149 ⁽⁴⁾	na	na	na	[26,108,129,285,286]
Bryozoa	2	na	na	na	[129]
Echinodermata	16	na	na	na	[26,108,129]
Urochordata (Tunicata)	3	na	na	na	[129]
Echiura	3	na	na	na	[129]
Sipunculida	6	na	na	na	[129]
Brachiopoda	1	na	na	na	[26,108,129]
Loricifera	3	na	na	na	[223]
Other invertebrates: Nematoda	345	80% unknown	na	na	[57,59,61–64,68,148,170, Company unpubl.]
Vertebrata (Pisces)	100	na	na	na	
Chondrichthya	8	na	na	na	[26,115,116,123]
SUBTOTAL	947 ⁽⁵⁾				
Benthic groups by size:					
metazoan meiofauna		78% unknown			
macrofauna		76% unknown			
megafauna		42% unknown			
TOTAL REGIONAL DIVERSITY	2805				

Notes: na = not applicable, Scant = not evaluated in detail.

⁽¹⁾The percentage of unknown species is the ratio between the total number of species estimated from the rarefaction curves and the number of species already described.

⁽²⁾Data of archaeal diversity are referred only to fingerprinting techniques and are largely underestimated.

⁽³⁾Data of bacterial diversity based on clone libraries, from a limited number of samples and spatial coverage.

⁽⁴⁾Only available species on deep-sea macrofauna (suprabenthic amphipods and cumaceans) and megafauna species (decapod).

⁽⁵⁾Total regional diversity including all taxonomic groups as reported in Table S1, S2, S3, S4, S5 (excluding prokaryotes).

doi:10.1371/journal.pone.0011832.t001

Come si può notare dalla tabella prevalgono nematodi e crostacei oltre ai batteri e foraminiferi ma ben il 76% della macrofauna è attualmente sconosciuta nel Mar Mediterraneo.

3.2 ANALISI SULLA SOSTANZA ORGANICA

L'analisi sulla sostanza organica con il calcolo della LOI% dà ulteriori informazioni sulla presenza di vita nelle profondità marine. Possiamo fare diverse considerazioni, di seguito esposte, sulle percentuali LOI alle diverse profondità, nei diversi habitat, nelle diverse aree indagate.

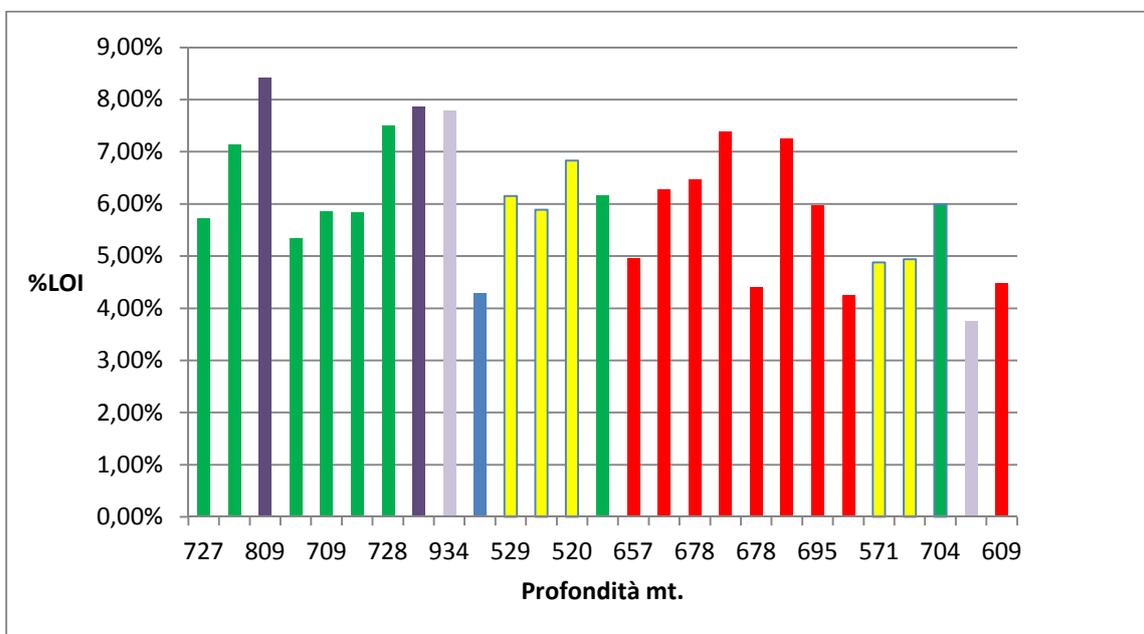


Fig. 29 Grafico che raggruppa le percentuali di sostanza organica presenti alle diverse profondità nei diversi BC campionati in ordine crescente dal BC1 al BC28. In giallo sono visibili le percentuali LOI% entro i 500 mt, in rosso entro i 600 mt., in verde i 700 mt., viola scuro gli 800 mt., lilla i 900 mt., azzurro i 1000mt.

Si noti (Fig.) come le percentuali siano in media più elevate tra i 700-900 mt rispetto ai 500-600 mt. infatti:

- Per i 500 mt la media della LOI% = 4,78%
- Per i 600 mt la media della LOI% = 5,71%
- Per i 700 mt la media della LOI% = 6,15%
- Per gli 800 mt la media della LOI% = 8,14%
- Per i 900 mt la media della LOI% = 6,44%
- L'unico campione a 1062 mt ha una LOI% = 4,30%

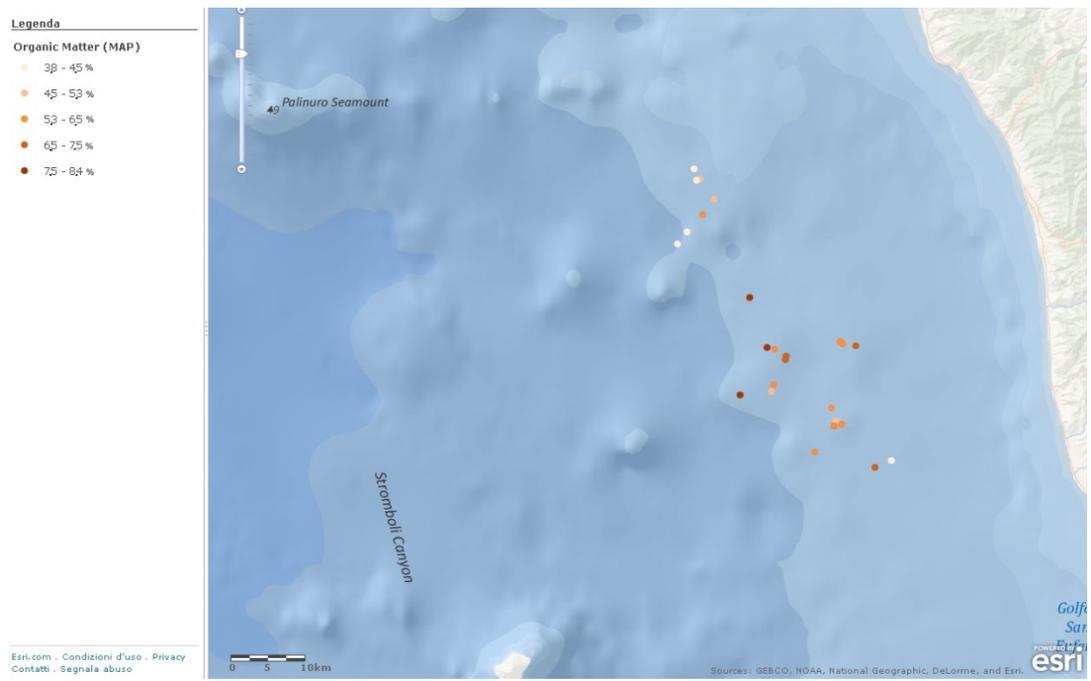


Fig. 30 Mappa delle percentuali di sostanza organica in ogni BC.

Tab.6 Calcolo della LOI% e dei valori percentuali di umidità.

N°BC	peso umido		peso secco		ceneri		peso secco senza ceneri	umidità	Sostanza organica (LOI%)
BC1	6,18149	g	2,71727	g	2,56171	g	0,15556	56%	5,72%
BC2	3,57622	g	1,34607	g	1,25015	g	0,09592	62%	7,13%
BC3	4,98897	g	2,14588	g	1,96525	g	0,18063	57%	8,42%
BC4	5,00467	g	2,44273	g	2,31249	g	0,13024	51%	5,33%
BC5	5,35422	g	2,37328	g	2,23424	g	0,13904	56%	5,86%
BC6	4,45434	g	1,58322	g	1,49088	g	0,09234	64%	5,83%
BC7	7,31968	g	3,66552	g	3,39079	g	0,27473	50%	7,49%
BC8	6,07359	g	2,85777	g	2,63317	g	0,2246	53%	7,86%
BC9	5,29031	g	2,3138	g	2,13362	g	0,18018	56%	7,79%
BC10	6,16533	g	2,90868	g	2,78362	g	0,12506	53%	4,30%
BC11	5,42991	g	2,51405	g	2,35941	g	0,15464	54%	6,15%
BC12	8,22276	g	3,99325	g	3,75788	g	0,23537	51%	5,89%
BC13	7,58093	g	3,63536	g	3,38712	g	0,24824	52%	6,83%
BC14	9,24709	g	4,66485	g	4,37705	g	0,2878	50%	6,17%
BC15	10,07713	g	5,77921	g	5,49315	g	0,28606	43%	4,95%
BC17	9,89404	g	5,52585	g	5,17929	g	0,34656	44%	6,27%
BC18	8,7286	g	4,26896	g	3,99316	g	0,2758	51%	6,46%
BC19	6,1986	g	2,8567	g	2,64554	g	0,21116	54%	7,39%
BC20	17,27183	g	10,83249	g	10,35499	g	0,4775	37%	4,41%
BC21	5,72002	g	2,87375	g	2,66543	g	0,20832	50%	7,25%
BC22	11,14479	g	5,84865	g	5,49984	g	0,34881	48%	5,96%
BC23	7,86929	g	3,22344	g	3,08641	g	0,13703	59%	4,25%
BC24	11,93545	g	6,77573	g	6,44536	g	0,33037	43%	4,88%
BC25	5,25493	g	1,80698	g	1,71769	g	0,08929	66%	4,94%
BC26	6,71374	g	2,99231	g	2,81314	g	0,17917	55%	5,99%
BC27	8,68253	g	4,22892	g	4,07046	g	0,15846	51%	3,75%
BC28	10,19674	g	6,04537	g	5,77395	g	0,27142	41%	4,49%

Legenda:

LOI%	
	3,8 - 4,5
	4,5 - 5,3
	5,3 - 6,5
	6,5 - 7,5
	7,5 - 8,3

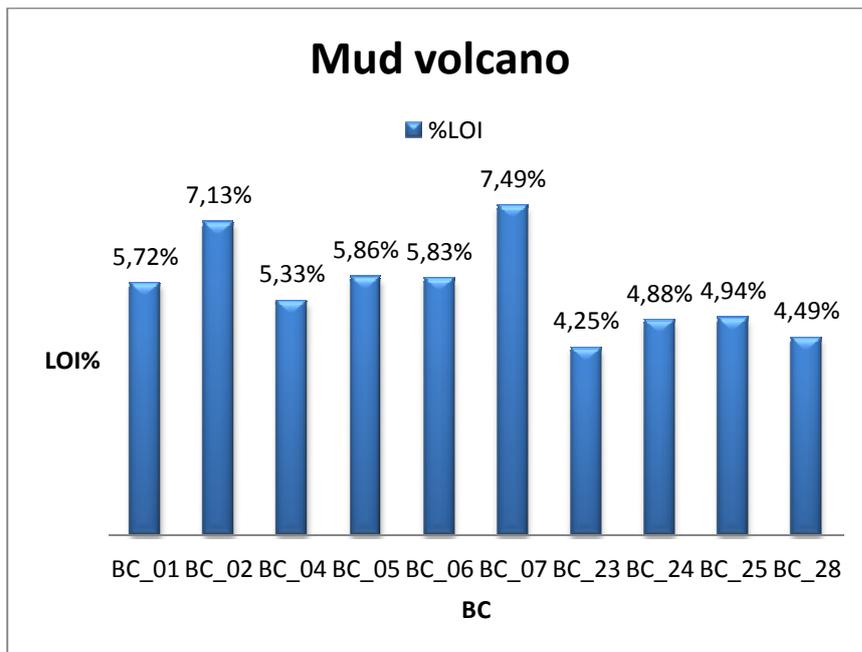


Fig.31 Grafico che mette in relazione le LOI% con i BC dei siti a *mud volcano*.

Nei siti a *mud volcano* la media è pari a 5,59 LOI%.

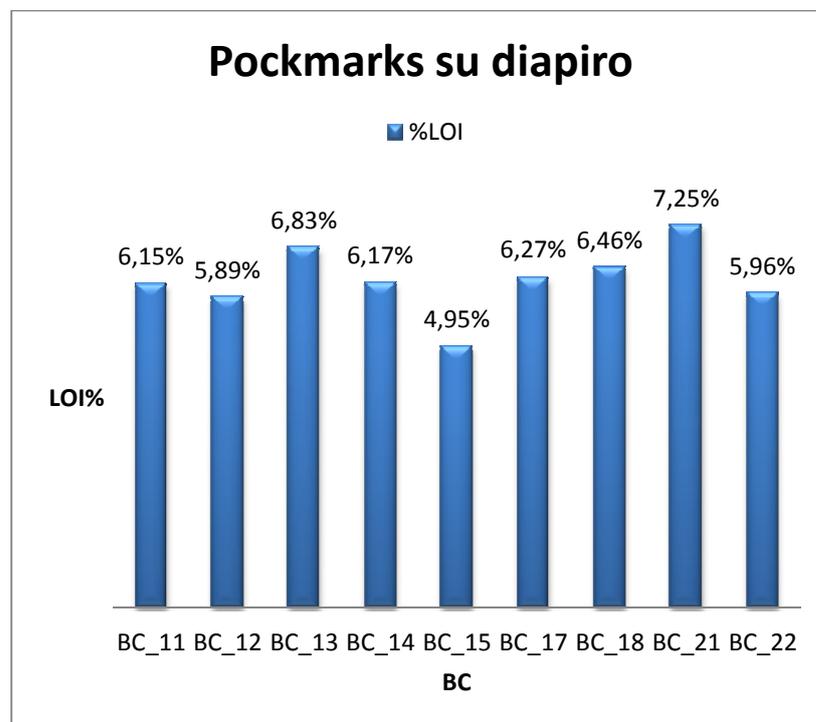


Fig.32 Grafico che mette in relazione le LOI% con i BC dei siti a *pockmark*.

Nei siti a *pockmark* la media è pari a 6,21 LOI%.

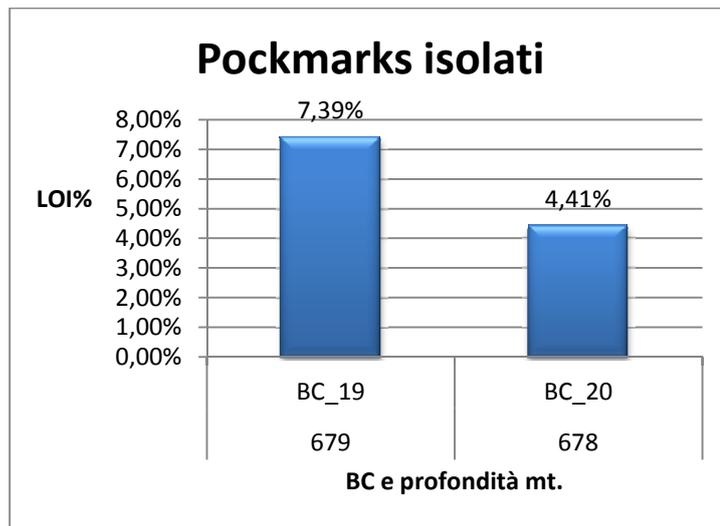


Fig.33 Grafico che mette in relazione i siti di pockmarks isolati con la LOI%.

Nei *pockmarks* isolati la media è pari a 5,9 LOI%.

Come atteso nei siti attivi, ovvero i *mud volcano*, presentano una percentuale minore di sostanza organica rispetto ai siti non attivi a *pockmark*.

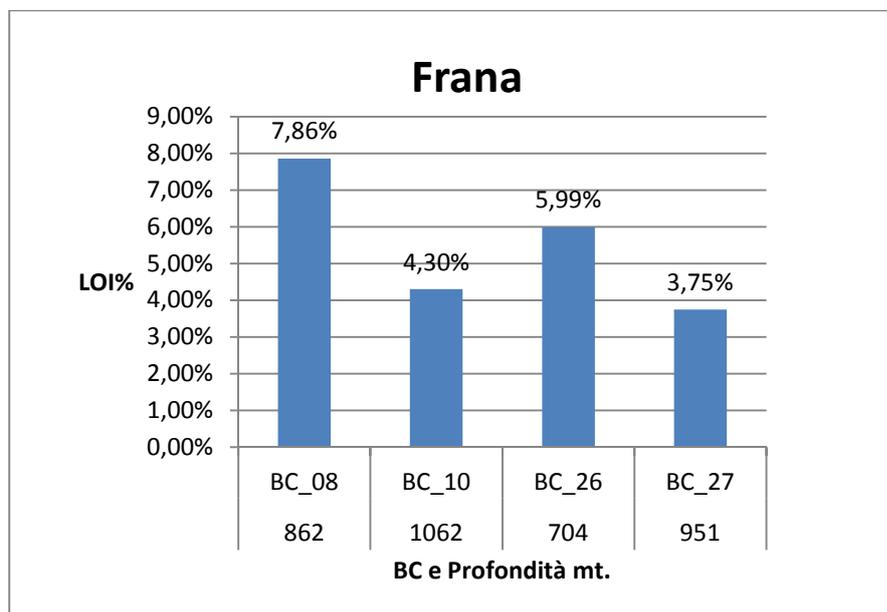


Fig.34 Grafico che mette in relazione le LOI% con i BC dei siti a frana.

Si noti come le percentuali minori della LOI, nel sito e nel totale dei BC campionati, siano alle profondità di 951mt con LOI% = 3,75% e 1062 mt. con LOI%= 4,30; mentre il BC 8 presenta la percentuale maggiore nell'habitat di tipo frana con una LOI% = 7,86 è il secondo valore più alto di tutti i campioni analizzati.

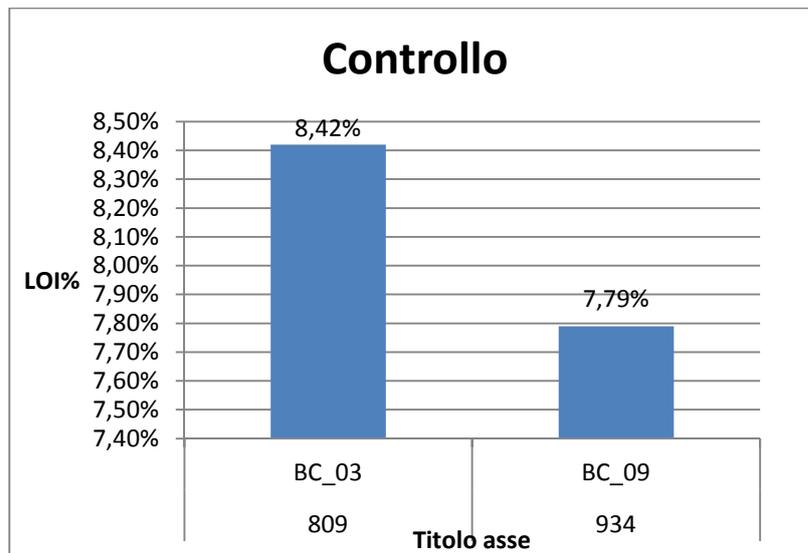


Fig.35 Grafico che mette in relazione la LOI% con i BC campionati nelle due aree di controllo

Il valore in assoluto più alto di LOI% lo si ha per il BC3. Mentre la media è pari a 8,1 LOI% la più alta di tutti gli habitat investigati.

4. DICUSSIONE

Un paradigma centrale della diversità marina è che la ricchezza di specie aumenta con la profondità fino ad un massimo a metà delle scarpate (circa 2000 mt.), poi si ha un calo della diversità e di specie (Rex, 1981; Levin, 2001). I livelli più elevati di biodiversità lungo i pendii sono probabilmente una fonte di diversità per i bacini più profondi, attraverso la radiazione e processi di dispersione in stretta combinazione con la topografia bentonica e le caratteristiche idrodinamiche, fisica e biochimica del mare profondo. La ricchezza di specie della macrofauna bentonica, come si può vedere nelle tre figure di seguito riportate, risulta quasi assente alle profondità 2000-3000 mt più che a 3000-4000 mt e comunque con valori sempre al di sotto di quelli per la meiofauna. Anche per quanto riguarda la ricchezza di specie in base alla longitudine si noti come i valori per la macrofauna tra i 15°-20° di longitudine siano molto bassi. Nell'ultimo grafico risulta infine evidente come la macrofauna sia presente solo negli ecosistemi di scarpata e bacino, mentre mancano dati inerenti gli ecosistemi di canyon, montagne sottomarine, coralli di profondità e non da meno, seppur non rappresentati, anche nei sistemi a *cold seep*. I grafici di seguito riportati indicano una pendenza negativa per la ricchezza di specie. Tale modello è legato alla diminuzione esponenziale di abbondanza osservata per le diverse componenti. La diversità della macrofauna diminuisce con la profondità dell'acqua, ma un gran numero di specie può essere trovato alle grandi profondità; questo potrebbe indicare che i modelli di biodiversità dipendono dalla dimensione degli organismi e forse la maggior capacità di organismi più grandi di posizionarsi e disperdersi attraverso differenti gamme batimetriche, che possono risultare cruciali per modellare i pattern i biodiversità.

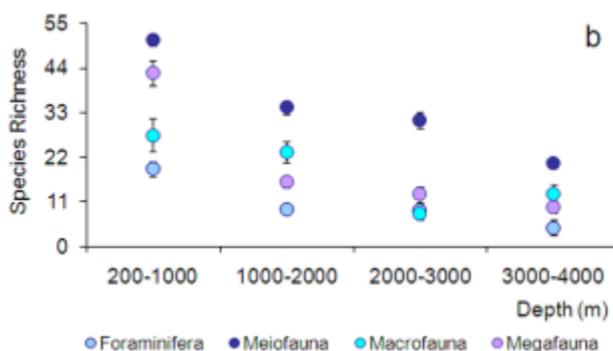


Fig.36 Pattern batimetrici di ricchezza di specie nel Mar Mediterraneo (Danovaro et al., 2010)

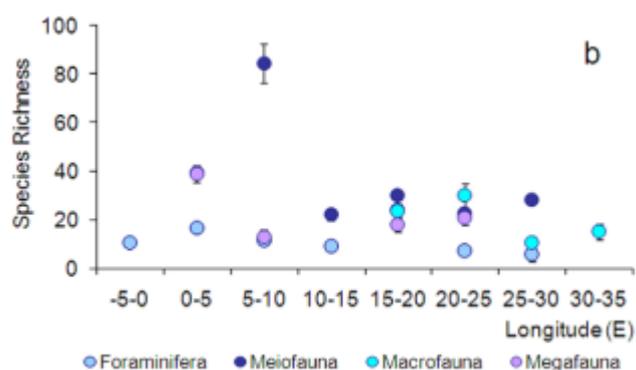


Fig.37 Pattern longitudinale di ricchezza di specie in Mar Mediterraneo (Danovaro et al., 2010)

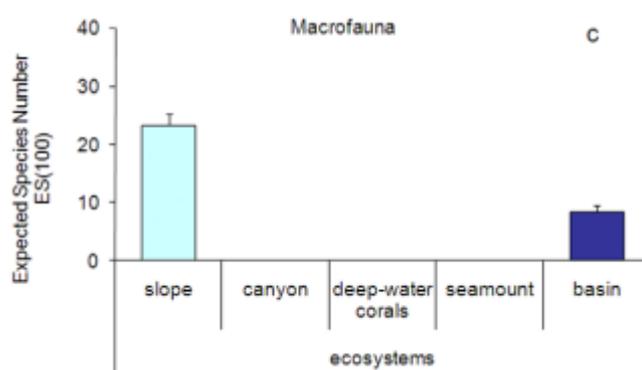


Fig.38 Diversità della macrofauna in ecosistemi di scarpata, canyon, coralli di profondità, montagne, bacino. La biodiversità della macrofauna è rappresentata come n° di specie atteso per 100 specimens (ES(100)). (Danovaro et al., 2010).

Mentre la diminuzione del carbonio organico in ingresso con la profondità è in grado di controllare l'abbondanza degli organismi bentonici lungo gradienti di profondità, lo stesso non può valere per la diversità bentonica. I cambiamenti nella qualità e quantità di materia organica sono stati associati a cambiamenti nella struttura trofica della comunità batterica, ma non a valori di biodiversità diversi (Danovaro et al., 2010). La qualità e quantità di cibo fornito dal mare profondo si presume essere il fattore più importante che influenza la composizione e abbondanza delle acque profonde. Nei *cold seep* la struttura trofica è completamente diversa, infatti la produzione primaria è ad opera di batteri chemioautotrofi, che alimentano la comunità bentonica con una fonte di cibo supplementare e continua che non si trova in altri ecosistemi eterotrofi profondi. Nel presente studio si è cercato di investigare per la prima volta un sistema estremamente complesso di *mud volcano* del Mar Tirreno caratterizzato dalla presenza di diverse strutture (diapiri di fango, *pockmark* su diapiri)

associate a differenti livelli di infiltrazione. La combinazione degli effetti dell'eterogeneità del fondale (per es. forme differenti e topografia del fondo), emissioni di fluido e caratteristiche trofiche del sistema possono influenzare la biodiversità del macrobenthos e del loro habitat. I dati raccolti dall'analisi sulla sostanza organica e sorting sul macrobenthos mostrano i valori più bassi dell'intera area investigata nei centri attivi a *mud volcano* rispetto ai *pockmarks* su diapiro, siti a frana e controllo; Anche i siti a frana mostrano un'elevata presenza di sostanza organica e numero relativo di organismi, forse a dimostrazione del fatto che un evento stocastico non disturba questi siti da tempo in termini ecologici. In sintesi nessuno dei siti investigati presenta, allo stato attuale delle analisi e conoscenze un trend evidente. Saranno necessari ulteriori sforzi in questa direzione per cercare di colmare le nostre lacune sulla conoscenza degli ecosistemi profondi e per poter proteggere e conservare questi delicati sistemi che, sebbene siano distanti e apparentemente stabili, vengono influenzati dalle dinamiche superficiali e questo non possiamo ne dobbiamo scordalo.

5. CONCLUSIONI

La nostra comprensione dei cambiamenti temporali nei sistemi a *cold seep* è ancora rudimentale. A dominare questi ecosistemi sembrano essere eventi stocastici che disturbano l'eterogeneità e sono in grado di eliminare la vita bentonica per grandi tratti del fondo marino. Il ripristino di una nuova comunità coinvolge i processi di colonizzazione e successione. Disturbi su piccola scala possono portare a cambiamenti nella struttura e composizione della fauna bentonica e influenzare le loro dinamiche. In alcuni casi questo può assumere la forma di un regime di *shift*, spesso preceduto da perdita di resilienza del sistema. La natura effimera e imprevedibile di questi habitat instabili, soggetti ad interruzioni stocastiche, li rende complessi. Il benthos del mare profondo incarna le influenze dei cambiamenti che si sono verificati su entrambe le scale temporali geologiche (evolutive) e decennali (ecologiche). La nostra conoscenza dei cambiamenti temporali nel mare profondo è estremamente povera e riflette la nostra incapacità di osservare direttamente questi habitat mediante telerilevamento.. Le nuove tecnologie ci permetteranno di realizzare i dati necessari per una più ampia scala di osservazioni degli ecosistemi profondi. Una soluzione potrebbe essere quella di utilizzare in acque poco profonde siti che sono più accessibili ma analoghi dei siti profondi, per esempio le grotte marine potrebbero essere dei luoghi ideali di studio. La potenziale correlazione tra le condizioni idrografiche, temperatura e altre variabili abiotiche per evidenziare la diversità bentonica necessita di un monitoraggio continuo. Sfortunatamente, per i *cold seep* del Mediterraneo, non ci sono studi ecologici su serie temporali. Inoltre il flusso dei fluidi freddi è variabile, il che si traduce in una variazione temporale nella disponibilità di metano, solfuro e altri componenti (Levin, 2005). Risposte funzionali, come le piccole dimensioni della migrazione (movimento verticale all'interno dei sedimenti) o risposte numeriche, compresa la riproduzione, colonizzazione, successione sono attese per i taxa opportunistici. I cambiamenti nella dieta, come risulta dalle firme su carbonio e azoto isotopici sono stati osservati anche in alcune cozze dei *cold seep* (Dattagupta et al., 2004). Il fatto che il più grande habitat della terra, l'abisso, abbia solo due siti con più di dieci anni di dati bentonici suggerisce che i nostri sforzi sono stati maggiori per quanto riguarda la copertura geografica, tuttavia molte aree restano del tutto inesplorate. Il cambiamento climatico ha costretto gli ecologi a guardare ai dati a lungo termine. Il mare profondo non fa eccezione. Come grande serbatoio di carbonio e potenziale di biossido di carbonio attraverso schemi biogeochimici, è chiaro che una comprensione migliore dei naturali processi bentonici sia necessaria. In particolare i processi bentonici sono strettamente connessi a quelli pelagici e gli ecosistemi profondi non dovrebbero essere ignorati nello studio delle interazioni oceano-atmosfera. Le acque di fondo

si stanno riscaldando in risposta al cambiamento climatico. Questa tendenza è associata ad una diminuzione di flusso di POC e quindi di disponibilità di cibo al fondo del mare. Tuttavia le prove per un drastico cambiamento nella struttura bentonica in risposta a questo cambiamento è finora inconcludente (Glover et al., 2010). Nel Mare di Creta sono state registrate variazioni significative della temperatura dell'acqua di fondo che sono state correlati con cambiamenti nella diversità di specie di nematodi. Un periodo di raffreddamento è associato ad un aumento della diversità, mentre un periodo di riscaldamento porta ad una diminuzione di diversità. Cambiamenti climatici e oceanografici influenzano le oscillazioni faunistiche ma con un ritardo temporale rispetto agli ecosistemi poco profondi e sono molto variabili in scala interannuale, decennale e centenaria sia nelle aree a sedimentazione che nei sistemi a *coold seep*. Paradossalmente è la pesca che genera la maggior parte dei dati a lungo termine, pur rimanendo una minaccia anche per via degli attrezzi persi o abbandonati, l'attività commerciale sta entrando nelle zone più profonde dato l'impovertimento delle aree già sfruttate. La pesca a strascico commerciale può innescare nelle profondità marine flussi gravitazionali di sedimenti con aumento della torbidità vicino al fondo di un ordine di grandezza, un aumento della velocità della corrente da due a quattro volte e un aumento dei flussi orizzontali di sedimento da uno a tre ordini di grandezza (Martin et al., 2008). L'input di rifiuti provenienti dalle navi è sempre più in aumento, tanto è vero che articoli in plastica rappresentano la maggior parte dei detriti, a volte fino al 90% (Glover et al., 2010). Un sondaggio sui fondali dal Golfo di Taranto a sud-est del Levante ha dimostrato che i rifiuti più comuni erano scrostature (44%) e plastica (36%). Recenti studi hanno rilevato la presenza di livelli significativi di diossine nel gambero commerciale *Aristeus antennatus* (Rotland et al., 2006) e livelli significativi di inquinanti organici presenti nei cefalopodi mesopelagici e in ambiente batipelagico (Unger et al., 2008). Scenari estremi dei cambiamenti climatici potrebbero portare ad un indebolimento della circolazione termoalina con conseguenze importanti sui cicli biogeochimici delle profondità marine. Quindi il cambiamento climatico avrà un impatto sulla frequenza e intensità delle dinamiche del POC, con effetti sconosciuti sulla fauna bentonica. La produzione primaria cambierà negli strati superficiali e questo influenzerà l'intera catena alimentare fino agli ecosistemi di profondità.

BIBLOGRAFIA

Barrier P.,I. Di Geronimo, CH. Montenat, M. Roux, H. Zibrowius, (1989). *Présence de faunes bathyales atlantiques dans le Pliocène et le Pleistocène de Méditerranée (déroit de Messine, Italie)*. Bulletin de la Société de Géologie de France, 8(4): 787-796.

Bianchi C.N., (2004). *Proposta di suddivisione dei mari italiani in settori biogeografici*. Notiziario SIBM, 46:57-59.

Bouchet, PH. And M. Taviani, (1992). *The Mediterranean deepsea fauna: pseudopopulations of Atlantic species?* Deep-Sea Res., 39(2): 169-184.

Buchanan J.B., Kingston P.F., Shearer M. (1974) - *Long term population trends of the benthic macrofauna in the offshore mud of the Northumberland coast*. J. Mar. Biol. Ass. U.K, 54:785-795.

Camerlenghi A.,Cita M.B., Erba E.,Hieke W.,Ricchiuto T.,(1992). *Geological evidence of mud diapirism on the Mediterranean Ridge accretionary complex*. Earth Planet. Sci. Lett. 109,493–506

Castelli A., Larducci C., Tagliapietra D., (2003). Cap.4 *Il macrobenthos di fondo molle*. Biol.Mar.Medit.

Cognetti G., Sarà M., (1972). *Biologia Marina*. Edizione Calderini Bologna: 439 pp.

Cognetti G., Cognetti G. (1992) - *Inquinamenti e protezione del mare*. Edizioni Calderini, Bologna: 318 pp

Cognetti G., Sarà M., Magazzù G. (2000). *Biologia Marina*. Edizione Calderini Bologna: 596 pp.

Corselli C, Basso D (1996) *First evidence of benthic communities based on chemosynthesis on the Napoli mud volcano (Eastern Mediterranean)*. Mar Geol 132: 227–239.

Danovaro R., J.B. Company, C. Corinaldesi, G. D'Onghia, B. Galil, C. Gambi, A. J. Gooday, N. Lampadariou, G. M. Luna, C. Morigi, K. Olu, P. Polymenakou, E. Ramirez-Llodra, A. Sabbatini, F.Sarda', M. Sibuet, A. Tselepides. (2010) *Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: The Known, the Unknown, and the Unknowable*. Plos One Vol. 5 –issue 8.

Dattagupta, S., Bergquist, D.C., Szalai, E.B., Macko, S.A., Fische, C.R. (2004). *Tissue carbon, nitrogen, and sulfur stable isotope turnover in transplanted Bathymodiolus childressi mussel: relation to growth and physiological condition*. *Limnol. Oceanogr.* 49, 1144-1151.

Dickey, T.D., Chang, G.C. (2001). *Recent advances and future visions: temporal variability of optical and bio-optical properties of the ocean*. *Oceanography* 14, 15-29.

D'Udekem d'Acoz C. (1999). *Inventarie et distribution des crustaceas decapodes de l'Atlantique nord-orientale, de la Mediterranèe et des continentales adjacentes au nord de 25°N*. *Patrimoines Natureles (M.N.H.N.I.P.N.)*, 40, 1-83.

Eleftheriou A., Holme N.A. (1984) - Macrofauna techniques. In: Holme N.A., Mc Intyre A.D.(eds), *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, London: 140-216.

Ellis J.I., Norkko A., Thrush S.F. (2000). *Broad- scale disturbance of intertidal and shallow sublittoral soft- sediment habitats; effects on the benthic macrofauna*. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 7: 57-54.

Ferraro S.P., Cole F.A., De Ben W.A., Swartz R.C. (1989). *Power-cost efficiency of eight macrobenthic sampling schemes in Puget Sound, Washington, USA*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46:2157-2165

Foucher, J.-P., Westbrook, G. K., Boetius, A., Ceraminola, S., Duprè, S., Mascle, J., Mienert, J., Pfannkuche, O., Pierre, C., and Praeg, D. (2009). *Structure and drivers of cold seep ecosystems*. *Oceanography* 22, 92-109.

Fredj G, Laubier L (1985). *The deep Mediterranean benthos*. In: Moraitou-Apostolopoulou M, Kiortsis V, eds. *Mediterranean marine ecosystems*. NATO Conference Series. New York: Plenum Press Volume 8. pp 109–145.

Galil BS (2004) The limit of the sea: *The bathyal fauna of the Levantine Sea*. Sci Mar 68: 63–72.

Gamberi F., Rovere M., (2010) ISMAR-CNR, *Mud diapirs, mud volcanoes and fluid flow in the rear of the Calabrian Arc Orogenic Wedge (southeastern Tyrrhenian sea)*, Basin Research, 22, 452-464.

Gebruk, A. V., Krylova, E. M., Lein, A. Y., Vinogradov, G. M., Enderson, E., Pinemov, N. V., Cherkashev, G. A., and Crane, K.(2003).*Methane seep community of the Hakon Mosby mud volcano (the Norwegian sea): composition and trophic aspects*. Sarsia 88, 394-403.

Glover, A.G.Gooday, A.J., Bailey, D.M.,Billett, D.S.M., et all. (2010).*Temporal change in deep-sea benthic ecosystems: a review of the evidence from recent time-series studies*. Chapter one. Advances in Marine Biology, volume 58.

Gray J.S (1981) *The ecology of Marine Sediments*. Cambridge University Press, Cambridge

Griffiths R. W. (1991) *Environmental quality assessments of the St Clair River as reflected by the distribution of benthic macroinvertebrates in 1985*. Hydrobiologia 219: 143-164.

Guarnieri P.(2006), *Plio-Quaternary segmentation of the south Tyrrhenian forearc basin*. Int. F. Earth Sci.,95, 107-118.

Hartley J.P. (1982) - *Methods for monitoring offshore macrobenthos*. Mar. Poll. Bull., 13: 150-154

Hessel, R.R., and Sanders, H.L. (1967). *Faunal diversity in the deep sea*.Deep sea Res. 21, 65-78.

Holme N.A..Mc Intyre A.D. (1971). *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 334 pp.

Holme N.A..Mc Intyre A.D. (1984). *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 387 pp.

IUCN, *The Mediterranean deep-sea ecosystems. An overview of their diversity, structure, functioning and anthropogenic impacts, with a proposal for their conservation* (2004).

ISPRA, (2009). *Metodologie per la determinazione della struttura dimensionale di fitoplancton e macroinvertebrati bentonici*. Cap.2 Macroinvertebrati bentonici.

Macpherson E (2002) *Large-scale species-richness gradients in the Atlantic*. Oceanographic Proceeding of the Royal Society of London B 269: 1715–1720.

Kingston P.F., Riddle M.J. (1989) - *Cost effectiveness of benthic faunal monitoring*. Mar. Poll.Bull., 20: 490-496

Levin LA, Etter RJ, Rex MA, Gooday AJ, Smith CR, et al. (2001). *Environmental influences on regional deep-sea species diversity*. Annu Rev Ecol Syst 32: 51-93

Levin, LA (2005). *Ecology of cold seep sediments: Interactions of fauna with flow, chemistry and microbes*. Oceanogr. Mar. Biol.-An Annu. Rev.43, 1-46.

Marchetti R. (1993) *Ecologia applicata*. Società italiana di ecologia, Milano, Cap. II.

Martin J., Puig P., Palanques A., Masque P., Garcia-Orellana J. (2008). *Effect of commercial trawling on the deep sedimentation in a Mediterranean submarine canyon*. Mar Geol 252: 150-155.

Paull, C.K., Hecker, B., Commeau, R., Freemanlynde, R.P., Neumann, C., Corso, W.P., Golubic, S., Hook, J. E., Sikes, E., and Curray, J. (1984). *Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa*. Science 226, 965-967.

Rex MA (1981). *Community structure in the deep-sea benthos*. Annual annu Rev Ecol Syst 12:331-353.

Ruhl A. H., André M., Beranzoli L., Namik Cagatay M., Colaco A., Cannat M., Danobeitia J.J., Karstensen J., Lampitt R.S., Larkin K.E., Lykousis V., Mienert J., Miranda J.M., Person R., Priede I.G., Puillat I., Thomsen L., Waldmann C. (2011). *Societal need for improved understanding of climate change, anthropogenic impacts, and geo-hazard warming drive development of ocean observatories in European seas*. Progress in Oceanography 91. 1-33.

Rotland G., Abad Holgado E., Sardà F., Abalos M., Company JB et al. (2006). *Dioxin compounds in the deep-sea rose shrimp *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) throughout the Mediterranean Sea*. Deep sea Res.I 53: 1895-1906.

Salas, C., (1996). *Marine bivalves from off the southern Iberian peninsula collected by the BALGIM and Fauna I Expeditions*. *Halictis*, 25: 33-100.

Schultz.A., (1982). Isopoda. In: Parker S.P. (ed.), *Synopsis and classification of living organisms*, 2. McGraw Hill, New York: 249-255.

Sibuet M, Olu K. *Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins*. *Deep Sea Res II.*(1998);45:517–567.

Sibuet M, Olu-Le Roy K. Wefer G, Billett D, Hebbeln D, Jorgensen B, Schlüter M, van Weering T, editors. *Cold seep communities on continental margins: structure and quantitative distribution relative to geological and fluid venting patterns*. *Ocean Margin Systems*, Springer, Berlin.(2002). pp. 235–251.

Unger MA, Harvey E, Vadas GG, Vecchione M. (2008). *Persistent pollutants in nine species of deep-sea cephalopods*. *Mar Poll Bull* 56: 1486-1512.

Van Dover, C. L. (2000). *The Ecology of Deep-sea Hydrothermal Vents*. Princeton University Press, Princeton New Jersey.