

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di laurea magistrale in BIOLOGIA MARINA

**Impatto degli interventi antropici di difesa costiera sulla
struttura e distribuzione della popolazione di *Lentidium
mediterraneum* (Mollusca bivalvia)**

Tesi di laurea in

“Habitat marini: evoluzione, struttura e processi”

Relatore

Dott.ssa Marina Antonia Colangelo

Presentata da

Gianluca Cirelli

Correlatore

Dott. Fabio Bozzeda

(III sessione)

Anno accademico 2010-2011

*..Il successo?...
E' solo il participio passato
del verbo succedere!*

(Anonimo)

Indice

1 INTRODUZIONE	4
1.1 PREMessa E SCOPO DEL LAVORO	4
1.2 ECOLOGIA DELLE COSTE SABBIOSE	5
1.3 IL PROCESSO DI EROSIONE COSTIERA	8
1.3.1 Strutture di difesa	9
1.3.2 Altri interventi antropici sul sistema spiaggia.....	10
1.3.3 L'erosione costiera e gli interventi di gestione in Emilia-Romagna	12
1.4 LA FAUNA BENTONICA DELLA ZONA INTERTIDALE.....	13
1.4.1 <i>Lentidium mediterraneum</i>	14
1.4.2 Modello concettuale (descrittivo) di trasporto passivo di <i>Lentidium mediterraneum</i>	16
2.1 LOCALIZZAZIONE DEI SITI.....	18
2.1.1 Cesenatico	18
2.1.2 CERVIA.....	19
2.1.3 Lido di Dante.....	20
3 MATERIALI E METODI	21
3.1 DISEGNO DI CAMPIONAMENTO	21
3.2 PRELIEVO E TRATTAMENTO DEI CAMPIONI IN CAMPO.....	22
3.2.1 Trattamento dei campioni in laboratorio	23
3.3 ANALISI DEL LENTIDIUM MEDITERRANEUM	25
3.4 ANALISI DEI DATI.....	28
3.4.1 Analisi univariate	28
3.4.2 Analisi Multivariate.....	28
4 RISULTATI	31
4.1 VARIABILI ABIOTICHE.....	31
4.2 VARIABILI BIOTICHE: COMUNITÀ MACROBENTONICA.....	34
4.2.1 Comunità macrobentonica con l'esclusione di <i>Lentidium mediterraneum</i>	39
.3 RISULTATI RELATIVI ALLE ANALISI UNIVARIATE.....	43
4.4 ANALISI DELLA DISTRIBUZIONE DI TAGLIA DEL <i>LENTIDIUM MEDITERRANEUM</i>	48
4.5 RELAZIONI TRA CARATTERISTICHE DELLE SPIAGGIE E ABBONDANZE DI <i>LENTIDIUM MEDITERRANEUM</i>	51
5 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	54
6 BIBLIOGRAFIA	58

1 Introduzione

1.1 Premessa e scopo del lavoro

Il presente lavoro di Tesi si inserisce nell'ambito del progetto europeo THESEUS (*Innovative technologies for safer European coasts in a changing climate*) che coinvolge 31 istituti partner. Il progetto ha come punto di partenza le seguenti osservazioni:

- molte delle coste europee, altamente popolate ed economicamente essenziali, sono minacciate dall'erosione costiera e inondazioni;
- i cambiamenti climatici e l'innalzamento del livello del mare aumenteranno la frequenza e la severità degli eventi di erosione e di inondazioni
- gli approcci storici per la gestione di questi rischi sono incoerenti con la “Habitat Directive”, in quanto sostengono la sicurezza umana a spese degli habitat costieri
- l'Europa non ha ancora sviluppato un approccio integrato per la valutazione e la gestione dei crescenti rischi dovuti a fenomeni di erosione e di inondazione che affrontino tutti questi temi.

Tale progetto, di durata quadriennale, ha tra gli obiettivi principali quello di fornire un'adeguata metodologia integrata per la gestione e pianificazione di strategie di difesa sostenibili, andando a considerare da un lato i processi di erosione costiera e dall'altro l'innalzamento del livello del mare, in continuo aumento negli ultimi decenni.

Il presente studio si colloca all'interno del *work package 3: Ecologically based mitigation measures and design*. Fra gli obiettivi principali c'è quello di descrivere e valutare la risposta ecologica a diversi approcci di difesa costiera.

È noto infatti che a livello globale l'impatto sulle risorse naturali costiere sia in crescente aumento negli ultimi decenni, amplificato dallo spostamento lungo la costa della popolazione umana e dai cambiamenti climatici che ne modificano la morfologia (Roberts and Howkins, 1999). Per tale motivo sono stati resi necessari degli strumenti di protezione e gestione dell'ambiente costiero, come le difese costiere.

Il mio lavoro di tesi ha lo scopo principale di valutare l'impatto di diverse strategie di difesa di zone intertidali dell'ecosistema spiaggia lungo il litorale dell'Emilia Romagna. È stata poi fatta un'analisi di dettaglio della struttura e distribuzione del mollusco bivalve *Lentidium mediterraneum*, organismo bentonico di fondo molle, tipico dell'area di studio. Ciò al fine di valutare un eventuale suo utilizzo nei progetti di monitoraggio e di analisi di

impatti antropici legati alle variazioni morfodinamiche delle zone intertidali. L'habitat di indagine scelto è stato quello delle spiagge sabbiose, in particolare della zona intertidale, in quanto offrono una notevole quantità di servizi come ad esempio: 1) dissipazione dell'energia del moto ondoso e conseguente protezione dall'effetto delle mareggiate; 2) decomposizione della materia organica, mineralizzazione e riciclo dei nutrienti; 3) filtrazione e purificazione dell'acqua; 4) mantenimento della biodiversità e variabilità genetica; 5) nursery per le forme giovanili delle specie ittiche locali (Defoe *et al.*, 2009). Tutti questi servizi sono mantenuti dall'insieme di interazioni che avvengono tra gli organismi presenti nella comunità, a differenti scale spazio-temporali, e tra gli organismi e l'ambiente.

1.2 Ecologia delle coste sabbiose

Le zone costiere, pur rappresentando una porzione ridotta rispetto alle piane abissali, rivestono un ruolo fondamentale, poiché la fauna che li abita, grazie agli elevati tassi di produttività secondaria, sostiene tutta la rete trofica demersale della zona neritica, giocando anche un ruolo fondamentale nel facilitare i cicli biogeochimici dei principali nutrienti

Gli ecosistemi costieri di fondo molle rappresentano una zona di transizione tra ambiente terrestre e marino. Sono presenti lungo tutte le linee di costa sedimentarie esposte al moto ondoso, ovunque vi sia sufficiente sedimento da poter essere trasportato dalle onde (Short, 1999). Tali ecosistemi, dominando le coste temperate e tropicali di tutto il mondo (Dexter, 1992), rappresentano l'habitat intertidale più largamente diffuso, con un'estensione che va da 53.000 a 170.000 Km, cioè circa il 34% delle coste di tutto il mondo (Short, 1999).

Sono pochi i dati storici riguardanti l'ecosistema spiagge rispetto agli studi effettuati sulle coste rocciose. Studi pionieri sono stati effettuati per la prima volta da Pearse *et al.* (1942), e da Hedgpeth (1957), che tentarono di caratterizzare qualitativamente tutto l'ecosistema spiagge.

Solo dagli anni 80 gli studi si sono concentrati sulla fauna intertidale. Brown & McLachlan (1980), in particolare hanno indagato la componente macrofaunale più che quella della meio e microfauna, di più difficile identificazione. Bisogna poi aggiungere che gli esperimenti manipolativi su questo tipo di ecosistema sono in minor numero a causa della instabilità del sistema stesso.

Nel presente lavoro l'area presa in considerazione è la zona intertidale, compresa tra il livello medio di bassa e alta marea, soggetta ogni giorno a due cicli di immersione/emersione. Le comunità presenti in questa fascia di costa sono influenzate in particolar modo da 4 fattori: marea, moto ondoso, pendenza e caratteristiche del sedimento. Tali fattori permettono di distinguere due differenti tipologie di spiagge: “riflessive” e “dissipative”.

Le spiagge “riflessive” sono quelle dove maree e moto ondoso hanno una bassa o moderata energia, e il sedimento risulta essere più grossolano; pertanto sono caratterizzate da onde che si infrangono direttamente sul ripido profilo della spiaggia, venendo riflesse verso il mare aperto. Il sedimento grossolano permette all'acqua di drenare rapidamente.

Le spiagge “dissipative” invece presentano un profilo meno ripido, con un'ampia *surf-zone* o zona dei frangenti, lungo la quale le onde dissipano la loro energia; la percolazione dell'acqua è scarsa a causa del sedimento più fine. Di conseguenza il sedimento trattiene maggiori quantità d'acqua durante il periodo di bassa marea, mentre, durante la fase di alta marea ha un effetto tampone contro i rapidi cambiamenti di temperatura, salinità e pH (Little C., 2000). Queste spiagge si trovano principalmente lungo le coste caratterizzate da ampi “range” di marea, elevata energia delle onde e sedimenti a granulometria fine (Grey & Elliott, 2009). Queste due tipologie di spiaggia sabbiosa rappresentano i due estremi di un *continuum* di situazioni intermedie in funzione dell'intensità dei 4 fattori sopraelencati (Fig 1). La zona intertidale delle spiagge sabbiose è popolata da numerosi organismi ben adattati con strategie diverse a condizioni fisiche e chimiche variabili e talvolta severe. La maggior parte vive infossata nel sedimento dove trova riparo dall'essiccamento o

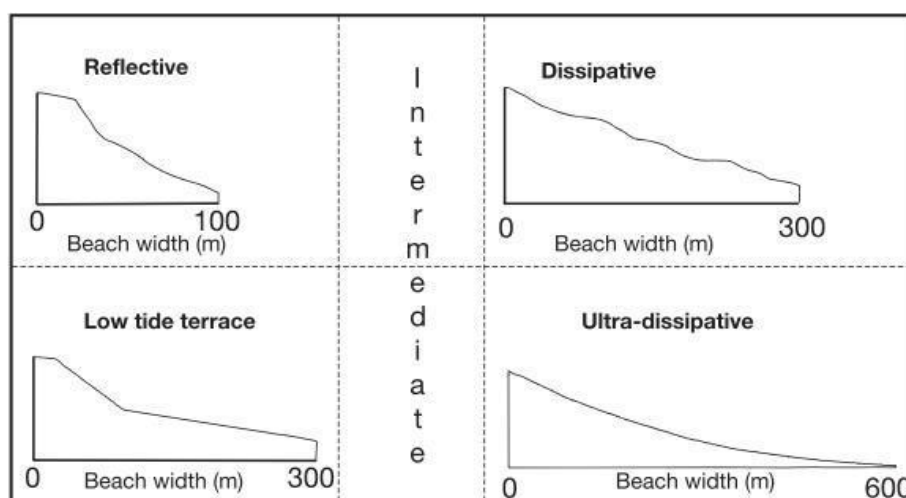


Figura 1-Confronto fra tipologie di spiagge riflesive e dissipative (da Defeo & McLachlan, 2005)

nell'acqua interstiziale, e consiste di popolamenti di macrofauna (invertebrati più grandi di 500 micron) e di meiofauna (organismi che passano attraverso una maglia di 500µm e vengono trattenuti da una maglia di 45 micron) e micro benthos (le cui dimensioni sono minori di 63 micron). I popolamenti della macrofauna includono molti phyla, ma policheti, bivalvi e crostacei sono in genere dominanti.

La pendenza delle spiagge è una delle caratteristiche più importanti in quanto può influenzare l'insediamento della fauna. È infatti stato dimostrato come nelle spiagge dissipative (a minor pendenza) siano presenti comunità con maggior ricchezza di specie, di abbondanza e di biomassa complessiva rispetto alle spiagge riflesse, più ripide (McLachlan, 1990; Mclachlan *et al.*, 1996, 1993). Questo perché l'impatto del moto ondoso aumenta d'intensità con l'aumentare della pendenza della spiaggia, alterando il graduale processo di sedimentazione ed erosione e influenzando negativamente la macrofauna che vive associata al sedimento (McLachlan, 1983; Shelton & Robertson, 1981) (Fig. 2).

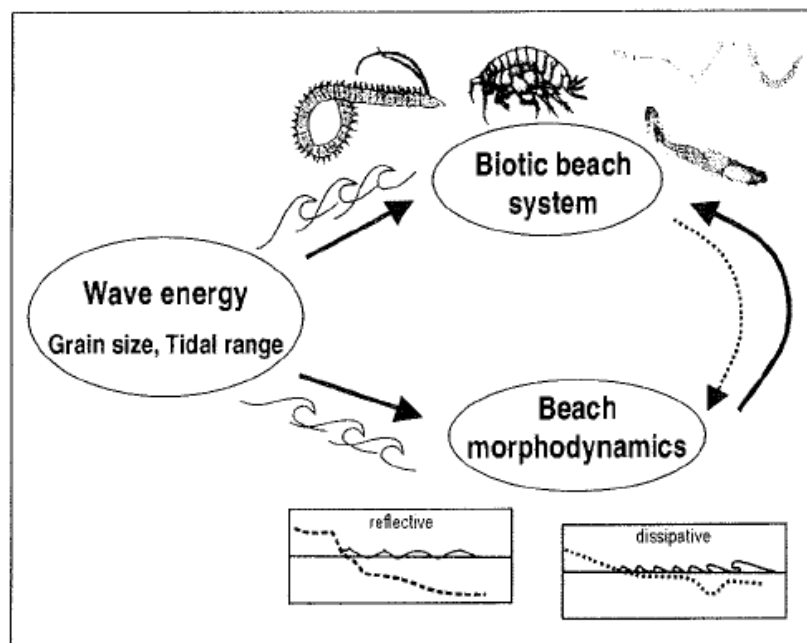


Figura 2 modello schematico dell' interazione tra l'energia delle onde, morfodinamica della spiaggia e comparto biotico

Le comunità della zona intertidale sono di notevole interesse in quanto offrono servizi ecosistemici rilevanti. Infatti oltre ad essere costituite da specie di interesse commerciale o che sono nutrimento per queste ultime, sono anche indicatrici degli effetti di diverse tipologie di impatto: naturale ed antropico (fig. 3).



Figura 3 Esempio di forme di disturbo nell'ecosistema spiagge

1.3 Il processo di erosione costiera

L'ambiente costiero è un sistema altamente dinamico dove i fenomeni di erosione, e quindi di arretramento o di avanzamento della linea di costa, sono controllati da numerosi fattori meteorologici, geologici, biologici ed antropici. Sebbene in generale il "clima" sia da considerarsi come il principale motore degli agenti modificatori, localmente ciascuno degli altri parametri può assumere una prevalenza significativa.

Si può in particolare pensare a:

- subsidenza naturale o indotta da estrazioni di fluidi dal sottosuolo;
- ruolo di difesa delle piane costiere da parte dei sistemi dunali;
- mancato apporto di sedimenti verso costa causato dall'alterazione dei cicli sedimentari per intervento antropico nei bacini idrografici (sbarramenti fluviali, regimazioni idrauliche, estrazioni di materiali alluvionali);
- influenza sulla dinamica litoranea dei sedimenti intercettati dalle opere marittime (opere portuali e di difesa) e delle infrastrutture viarie e urbanistiche costiere.

Il tipo di risposta che hanno le spiagge rispetto al processo di erosione dipende dall'energia del moto ondoso. La forza della risacca e l'energia erosiva delle onde determina la morfologia delle spiagge.

Esiste un andamento generale che vede prevalere i processi erosivi durante le tempeste e i processi di accumulo durante il resto dell'anno (Short, 1999). Questo equilibrio dinamico negli ultimi anni si è sbilanciato a favore di un aumento del fenomeno dell'erosione, anche se, per quanto riguarda i fondi molli, i dati storici sull'entità della perdita di habitat sono scarsi sia a livello locale che regionale. Per quanto riguarda le aree a clima temperato, le tempeste tendono a concentrarsi durante la stagione invernale con conseguente attiva erosione, mentre durante la primavera e l'estate i processi di deposizione permettono "l'accrescimento" della spiaggia.

Negli ultimi anni si è assistito ad un generale incremento del processo erosivo causato da un aumento dell'urbanizzazione con costruzione di porti, villaggi turistici e insediamenti balneari. A questi si deve aggiungere l'alterazione delle condizioni idrografiche e idrogeologiche dei fiumi, che hanno modificato in modo cospicuo il trasporto a valle dei sedimenti, riducendone l'apporto necessario a ripristinare l'arretramento (Fonseca *et al.*, 1998).

Oltre ai fattori sopra elencati, il processo erosivo si prevede possa aumentare a causa dell'innalzamento del livello del mare determinato dai processi di “*global climate changes*”, che rendono le mareggiate più frequenti e alterano l'equilibrio dinamico delle spiagge (Bird, 2000). Una stima effettuata nel 2007 ha rilevato come la percentuale di spiagge in erosione fosse dell'80% a livello europeo, con la media italiana che raggiungeva il 42,5% (ARPA, 2007).

1.3.1 Strutture di difesa

L'erosione costiera è attualmente uno dei problemi più rilevanti a livello mondiale, portando nel corso degli anni ad un aumento della domanda di misure di protezione.

Esistono due tipologie di interventi:

1. “*Hard*”, ovvero strutture rigide in massi o cemento lungo la costa, disposte o perpendicolarmente (pennelli), o parallelamente a riva (*onshore* o argini a mare) o a diversi metri dalla costa (*offshore* o frangiflutti) (fig. 4).

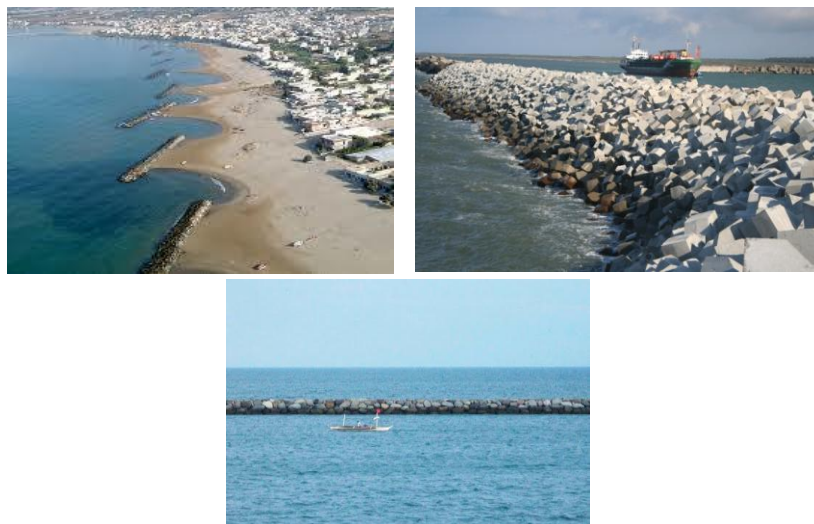


Figura 4-Immagini relative a differenti tipologie di difesa rigide

2. “Soft”, ripascimenti artificiali delle spiagge (fig. 4), realizzati riversando materiale sabbioso prelevato da altre aree, sia all’interno (dragaggi di imboccature portuali; pulizia delle spiagge; prelievo da spiagge in surplus di sabbia) che all’esterno (cave a terra; giacimenti sottomarini; dragaggio di nuove darsene; scavi edilizi) del sistema litoraneo, con lo scopo di ottenere un avanzamento della linea di costa. Spesso ai ripascimenti sono associate strutture di contenimento, come ad esempio barriere di massi o sacchi di sabbia (ARPA, 2007).



Figura 5 Esempio di ripascimento di una spiaggia

Nel presente lavoro si fa riferimento a barriere di tipo “frangiflutti” (fig. 6), che presentano delle differenze a seconda del grado di emersione rispetto al livello del mare.



Figura 6-Fase di campionamento nel sito protetto Cesenatico (cerchiate in rosso le barriere)

1.3.2 Altri interventi antropici sul sistema spiaggia

Le spiagge sabbiose rivestono particolare importanza anche per i beni forniti quali le attività ricreative e socio-economiche (Brown & McLachlan, 1990; Nordstrom, 2000).

Fra i vari interventi si possono annoverare:

- a) la “pulizia della spiaggia” (fig. 7), pratica comune che si effettua durante i periodi estivi, per renderla più gradevole al turista (rimozione di conchigliame o altro detrito)
- b) il passaggio diretto dei veicoli sulla spiaggia
- c) lo sversamento di detriti e inquinanti dalle piattaforme o dai porti (McInyre, 1977; Mann, 2000; Nordstrom, 2000)



Figura 7 Immagine riferita alla pulizia delle spiagge

- d) più recentemente è invalso l’uso di effettuare, alla fine della stagione balneare, grossi movimenti di sabbia dal sistema intertidale, con l’uso di ruspe (“bulldozing”, fig. 8) al fine di costruire dune artificiali prossime agli stabilimenti balneari per difenderli dalle mareggiate invernali. Queste stesse dune vengono poi demolite, e la sabbia ridistribuita, prima dell’inizio della successiva stagione balneare.

Tutti questi interventi determinano un cambiamento nelle proprietà morfodinamiche del sedimento, che sono le principali forze strutturanti e possono avere un impatto rilevante sugli organismi delle comunità intertidale, avendo ripercussioni anche su organismi quali uccelli marini e pesci (Brown & McLachlan, 1990), ai livelli più alti della catena trofica.



Figura 8-Posizionamento delle dune artificiali nel sito di Cesenatico

Tutte le forme di interferenza alle naturali dinamiche ecosistemiche delle coste sabbiose presentano, nell'ultimo decennio, un trend negativo, avendo incrementato il proprio impatto e la pressione, che non accenna a diminuire (Nordstrom, 2000).

Tali impatti negativi possono essere riassunti come:

- complessiva riduzione e perdita di Habitat;
- perdita o riduzione della zona intertidale;
- alterazione dei normali processi di deposizione;
- riduzione della diversità e dell'abbondanza di macroinvertebrati.


1.3.3 L'erosione costiera e gli interventi di gestione in Emilia-Romagna

La regione Emilia-Romagna con i suoi 130 km di costa bassa e sabbiosa, vanta un primato dal punto di vista socio-economico e ambientale delle sue spiagge. Negli ultimi anni le coste di questa regione si sono affermate come zona turistica d'importanza sia nazionale che internazionale, e per mantenere inalterata la morfologia del litorale e l'industria turistico-balneare, sono stati effettuati notevoli interventi di difesa costiera, come documentato dalle analisi condotte dall'ARPA (2007).

Tali interventi sono stati determinati anche da fattori che influenzano notevolmente la dinamica costiera lungo il litorale Emiliano-Romagnolo:

- L'andamento della corrente lungo la costa è orientata da sud a nord, e la ridistribuzione del sedimento viene inficiata dalle costruzioni portuali e dai pennelli frangiflutti.
- L'indiscriminata escavazione di materiale dagli alvei fluviali nel corso degli anni compresi tra il 1950 e 1980 ha portato ad un consistente decremento dell'apporto solido fluviale, a cui si devono aggiungere una grande quantità di opere trasversali in alveo che hanno bloccato il materiale in transito.
- La pendenza del fondale associata all'abbassamento da subsidenza (IDROSER, 1996).

Le misure adottate per contrastare l'erosione costiera possono essere suddivise in due categorie:

1.  Interventi a monte, come ad esempio il blocco delle escavazioni in alveo fluviale, che permette il ripristino, almeno in parte, del trasporto solido. Questa

tipologia di interventi è preferibile in un'ottica di gestione su scale spazio-temporali ampie

2. ➡ Interventi a valle quali costruzioni di difese rigide, ripascimenti e *bulldozing* che risultano più validi per porre rimedio a situazioni critiche in tempi brevi, soprattutto per tratti di spiaggia ad elevato interesse turistico. Tentare di porre rimedio all'avanzamento dell'erosione, non è un obbligo, ma una necessità, soprattutto in un'ottica di perdita economica, in quanto il turismo costiero, soprattutto in Emilia Romagna, è una delle maggiori fonti di guadagno.

1.4 La fauna bentonica della zona intertidale

Nella zona intertidale si trovano organismi animali e vegetali che vengono definiti bentonici (Fig. 9), in quanto si tratta di specie che vivono a stretto contatto con il fondo, sulla superficie (epifauna) o all'interno (infauna) del sedimento (Marchetti, 1993).

Gli organismi bentonici sono sia autotrofi (microalghe) che eterotrofi (animali) e vengono generalmente suddivisi, in base alle dimensioni, in:

- Microbenthos, organismi con un diametro inferiore ai 63µm
- Meiobenthos, organismi con un diametro compreso tra i 63 e i 500 µm

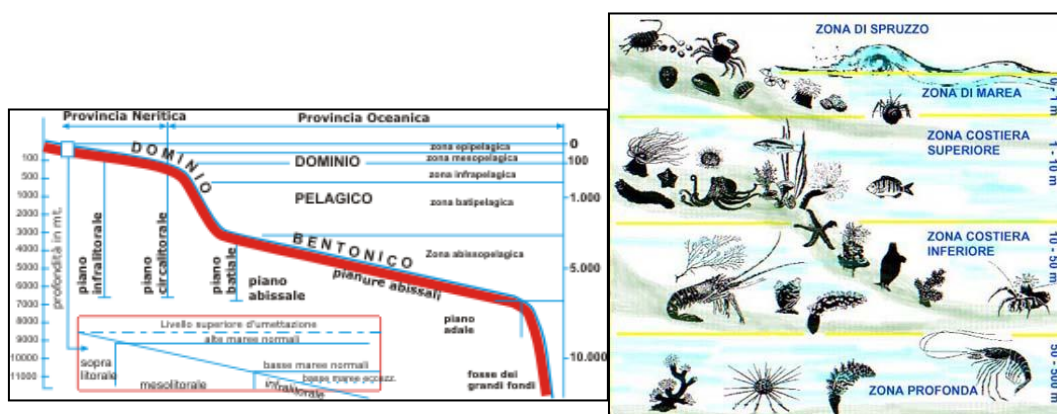


Figura 9-In rosso il dominio bentonico, a destra distribuzione della macrofauna per batimetria

- Macrobenthos, organismi di taglia superiore ai 500 µm

Poiché la fauna di fondo molle è risultata essere la più facilmente soggetta a impatti antropogenici (Ellis *et al.*, 2000), il macrozoobenthos per le sue caratteristiche (dimensioni, reperibilità, cicli vitali, etc..) è diventato uno dei più comuni oggetti di studio per il monitoraggio degli effetti degli impatti ambientali (Gray, 1981).

Lo studio di queste comunità presenta però problemi legati, ad esempio, al grande sforzo impiegato nella fase di raccolta e trattamento dei dati, con tempi lunghi di setacciamento in campo e in laboratorio. Il *sorting* degli organismi richiede meticolosa attenzione e collaudata esperienza tassonomica.

In questo studio l'utilizzo del macrozoobenthos come indicatore della struttura di comunità di fondo molle, e in particolare del *Lentidium mediterraneum*, è stato determinato dalla loro capacità, essendo sedentari, di “memorizzare” gli effetti delle variazioni ambientali sulla struttura di comunità.

1.4.1 *Lentidium mediterraneum*

Appartenente alla classe dei *Bivalvia*, ordine *Myoidae*, famiglia *Corbulidae*, questo piccolo mollusco bentonico subtropicale viene trovato nel mar Mediterraneo, soprattutto nel Nord Adriatico e in Grecia, ma anche più a nord nel Mar Nero (Heather L. H., 2004).

In particolare nel Mar Nero caratterizza la biocenosi, svolgendo un ruolo importante all'interno della rete trofica. È infatti preda preferita dei pesci bentofagi e degli organismi planctofagi che si nutrono delle sue larve (Gomoiu, 1965).

Si tratta di una specie di piccole dimensioni (5-8 mm) e si rinviene facilmente sulla battigia.

Si ritrova a 5-10 cm all'interno del sedimento e come tutti i bivalvi è un “filtratore” di fitoplancton. La sua conchiglia risulta essere leggera, translucida e marcatamente inequivalve, in quanto la valva destra sporge visibilmente oltre la sinistra (fig. 10); questa caratteristica costituisce la più evidente somiglianza con *Corbula gibba*, l'altra specie della stessa famiglia reperibile nel Mediterraneo. Infatti, da qualche decennio alcuni autori l'hanno rinominato *Corbula mediterranea*, anche se fino al 1957 veniva considerato come *Corbulomya maeotica*, nome con cui si trovano le poche informazioni su questa specie di bivalve.

Data questa somiglianza tra le due specie, è spesso difficile riconoscere il *L. mediterraneum* allo stereomicroscopio. Una ulteriore complicazione nella fase di *sorting* deriva dalla difficoltà di distinguere le conchiglie “morte” da quelle “vive”.



Figura 10 - Le due valve di *Lentidium mediterraneum*

Il ciclo vitale della specie è annuale, regolato dalla temperatura, che quando favorevole ne stimola la riproduzione (Gomoiu, 1965).

Ha la particolarità di fornire un substrato di insediamento per piccoli cirripedi balanidi e uova di gasteropodi come *Ciclope neritea* (Fig. 11).

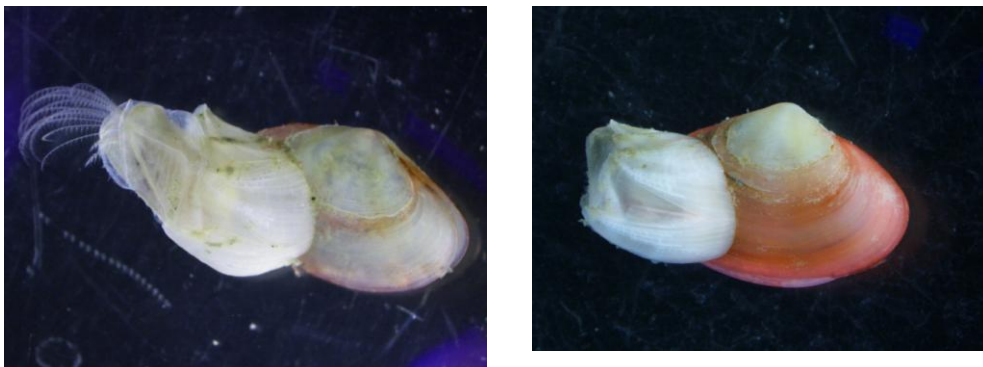


Figura 11 - Immagini al microscopio di *Lentidium mediterraneum* come substrato per cirripedi

È ipotizzabile che il trasporto di questi organismi verso la battigia, così come il trasporto del sedimento, sia associato alla velocità delle correnti (Bertasi et. al, 2007).

La taglia e la forma di questi organismi possono determinarne le migrazioni ed il loro trasporto verso riva. E', infatti, possibile rinvenire individui più piccoli verso il margine inferiore della zona intertidale, e quelli più grandi verso il limite di alta marea (Heather L. H., 2004). Nel presente studio si è voluto indagare, oltre alla risposta dell'intera comunità bentonica, se la struttura di taglia del *L. mediterraneum* possa essere utilizzata come indicatrice delle variazioni idrodinamiche indotte dagli interventi antropici sulla zona intertidale.

1.4.2 Modello concettuale (descrittivo) di trasporto passivo di *Lentidium mediterraneum*

Il *Lentidium mediterraneum*, nei siti dove è presente, si ritrova spesso in grandi quantità sulla battigia lasciando ipotizzare una buona capacità di “cavalcare” i flussi d'acqua verso e da riva.

Le modalità di trasporto del *L. mediterraneum* appaiono legate alla sua morfologia marcatamente inequivalente in quanto la valva destra, convessa, sporge visibilmente oltre la sinistra che appare pressoché piatta.

La conformazione del piccolo bivalve fa pensare ad una doppia modalità di movimento passivo relazionata a due tipologie di idrodinamismo presenti sottocosta:

1- **Sfruttamento del flusso laminare:** l'asimmetria di forma (un lato convesso e l'altro piatto) esistente fra le due valve permette a questo piccolo organismo di sfruttare i flussi laminari creati dal normale moto della massa d'acqua sotto costa e dall'alternanza delle maree. Tale asimmetria fa sì che il bivalve acquisti portanza generando una spinta verso l'alto che associa così il galleggiamento al trasporto orizzontale facendosi trasportare nella stessa direzione del flusso d'acqua.

2- **Sfruttamento del flusso turbolento:** la differenza di dimensioni fra le due valve crea una sorta di “vela”, esposta sulla valva sinistra dell'animale, che gli permette di sfruttare la turbolenza, l'altra fonte di moto presente nelle zone costiere. L'azione della turbolenza crea un movimento tale che il *Lentidium mediterraneum* non “cavalchi” i flussi d'acqua ma rotoli secondo uno schema dinamico simile a quello granulometrico, per cui il trasporto dipende dall'intensità della forza incidente e dalla massa dell'oggetto che viene trasportato. Pertanto possiamo ipotizzare per il *L. mediterraneum* tre distinte tipologie di movimento:

- **movimento rettilineo** dovuto alla portanza;
- **movimento irregolare** (unidirezionale nel complesso) dovuto a turbolenze nel fluido di trasporto;
- **movimento ibrido** dovuto alle naturali combinazioni dei due flussi in mare per cui il *L. mediterraneum* compie dei veri e propri salti acquisendo portanza fra una turbolenza e l'altra (Fig.12).

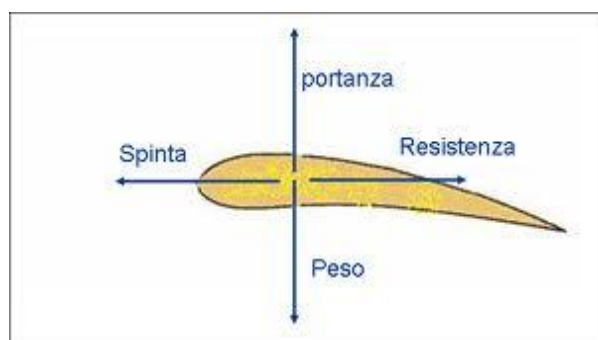


Figura 12 - Esempio di forze che agiscono sul *Lentidium mediterraneum*

2 Caratterizzazione dell'area di studio

Lo studio è stato condotto lungo la costa dell'Emilia Romagna (nord Adriatico) (Fig. 13). Questa si sviluppa su 130 km di costa bassa e sabbiosa, praticamente ininterrotta se non per la presenza di sistemi di canali, lagune e foci, e per la presenza di strutture artificiali ad opera dell'uomo. L'area è soggetta a condizioni di vento moderato e ad un relativamente ampio "range di marea" (circa 80 cm) se confrontato con il resto del Mar Mediterraneo. L'area di studio è caratterizzata da spiagge che si possono definire di tipo "dissipativo", molte delle quali sottoposte a intensi fenomeni erosivi. La risposta al crescente trend erosivo ha comportato una considerevole costruzione di opere di difesa. Queste sono di diversi tipi: dighe, barriere parallele a costa (a diverso grado di emersione) o pennelli perpendicolari a costa. Il recente aumento dello sviluppo turistico ha ulteriormente stimolato una crescente domanda di spiaggia. A tal fine, accanto ad opere di difesa "permanente", vengono attuati interventi "periodici", allo scopo di salvaguardare le strutture ricreative turistiche dalle condizioni invernali avverse. Fra questi, si annovera l'innalzamento di dune di spiaggia a ridosso degli stabilimenti balneari. Tale operazione consiste nel prelevare la sabbia dalla zona intertidale mediante l'utilizzo di ruspe (*bulldozing*).

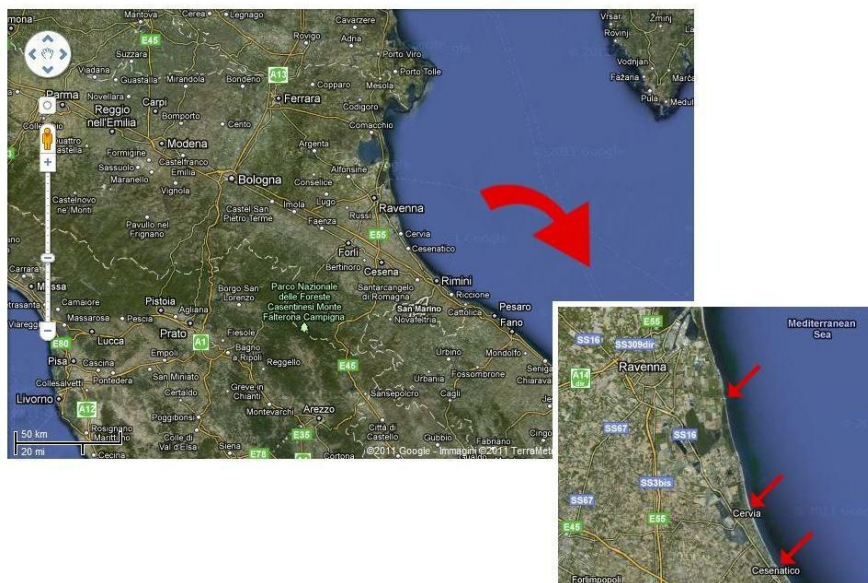


Figura 13 - Cartografia dell'area di campionamento; le frecce rosse indicano i 3 siti

2.1 Localizzazione dei siti

Lo studio è stato condotto in tre località, diversamente interessate a sistemi di protezione:

- Cesenatico, protetto e “bulldozed”
- Cervia, non protetto ma “bulldozed”
- Lido di Dante, naturale (senza interventi antropici)

2.1.1 Cesenatico

La spiaggia del sito di Cesenatico è, comparativamente, stretta. Fra i tre siti considerati Cesenatico è quello più esposto ed è soggetto a forte erosione. Per far fronte al fenomeno, la spiaggia di Cesenatico ha subito fin dagli anni 70 numerosi interventi antropici allo scopo di cercare di ripristinare la spiaggia. Lo studio è stato condotto nell'area di Cesenatico-Ponente (litorale Nord) prossima al porto canale. E' caratterizzato dalla presenza di una scogliera semisommersa a protezione dei primi 800 m di spiaggia, costruita nel 2002 (Fig. 14). A causa dell'elevato valore economico legato al turismo, questo tratto di costa alla fine dei mesi estivi è sottoposto a “bulldozing” per

l'innalzamento delle dune di sabbia artificiali lungo tutta la spiaggia. Le dune hanno dimensioni in media di 1 m di altezza e 1,5 m di larghezza, e vengono rimosse in tarda primavera ridistribuendo il sedimento lungo la larghezza della spiaggia, senza impattare la zona intertidale.



Figura 14 - Barriera sommersa a Cesenatico

2.1.2 Cervia

Il sito di Cervia si trova a circa 20 km a Sud-Est di Ravenna. Presenta un tipico profilo dissipativo con una pendenza modesta. La spiaggia è molto più ampia rispetto agli altri siti di campionamento, come conseguenza dei processi depositivi che superano quelli erosivi (Fig. 15), quindi non sono presenti strutture rigide parallele a costa. Anche Cervia è una zona molto turistica caratterizzata dalla cospicua presenza di strutture ricettive nella zona alta della spiaggia. Il cordone dunale è stato completamente sostituito dalle strutture urbane. Similmente a Cesenatico, anche in questo sito vengono erette dune di sabbia artificiali mediante “bulldozing”.



Figura 15 - Spiaggia di Cervia

2.1.3 Lido di Dante

La spiaggia di Lido di Dante si trova a circa 10 km a Sud-Est di Ravenna fra i Fiumi Uniti e il fiume Bevano. In effetti questo sito di studio è stato considerato “naturale” in quanto si trova all’interno della Riserva naturale della Bassona. La zona appare relativamente naturale, mostrando il tipico profilo delle spiagge “riflessive”, con la presenza anche di dune naturali e della pineta retrostante (Fig. 16). Quest’area, trovandosi in una zona di foce, risulta essere un ambiente fortemente dinamico, protetto solo verso l’interno dalla presenza della Pineta.



Figura 16 - Lido di Dante

3 Materiali e metodi

3.1 Disegno di campionamento

Per valutare l'impatto dovuto alla presenza delle strutture rigide artificiali di difesa costiera e alla costruzione delle dune artificiali invernali sulla zona intertidale, sono stati pianificati 4 tempi di campionamento. Due (T1 e T3) senza la presenza delle dune di sabbia artificiale (senza impatto da *bulldozing*) e due (T2 e T4) con le dune (impatto da *bulldozing*), per ciascun sito prima descritto aventi differenti tipologie di intervento:

1. Cesenatico (CES): protetto da strutture artificiali rigide parallele alla linea di costa e soggetto a costruzione di dune di sabbia durante il periodo invernale (*Bulldozing*).
2. Cervia (CER): non protetto da strutture artificiali ma sottoposto a costruzione delle dune di sabbia (*Bulldozing*).
3. Lido di Dante (LDD) non protetto da strutture artificiali e non soggetto alla costruzione delle dune di sabbia (sito naturale).

Per ogni sito e tempo sono stati scelti in modo casuale 3 transetti perpendicolari alla linea di costa. Per ogni transetto sono stati individuati 3 livelli di marea: alta (H), media (M) e bassa (L) marea.

Per ogni livello di marea sono stati prelevati 2 campioni replica per ogni variabile considerata, in modo da avere quindi un totale di 216 campioni per ciascuna variabile (Fig. 17).

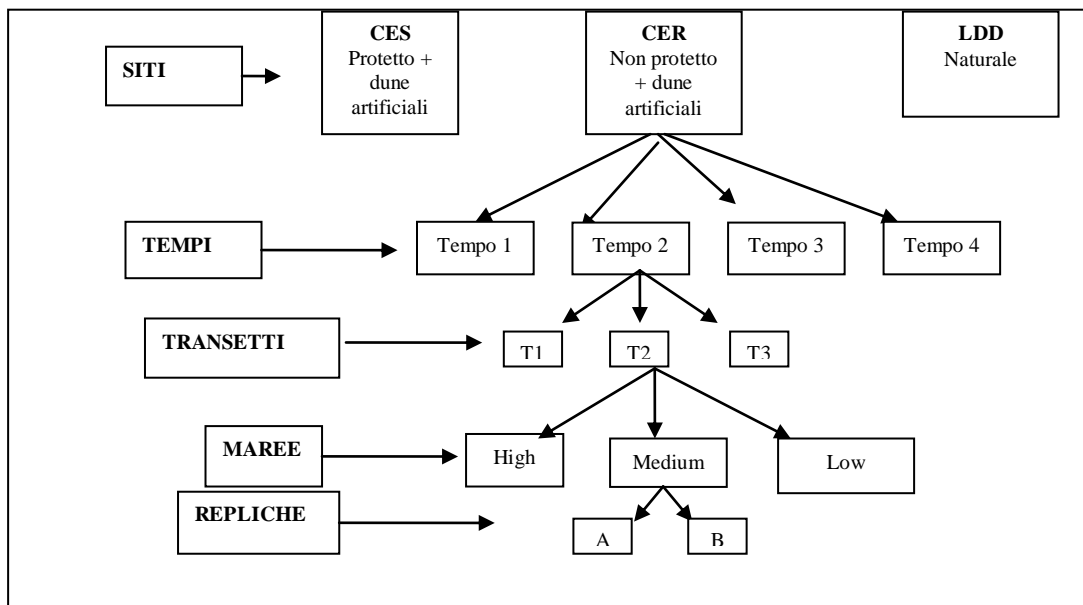


Figura 17 - Disegno di campionamento

Il piano di campionamento che ne è scaturito è pertanto un disegno sperimentale a 4 fattori: fattore Siti (o spiagge), fisso con 3 livelli: CES, CER, LDD; fattore Tempo, fisso (per la presente tesi, dove sono stati analizzati tre tempi) con 4 livelli; fattore Maree, fisso (3 livelli: H, M, L) ed ortogonale; fattore Transetti, random e nested nell'interazione Siti x Tempi, con tre livelli.

Nel presente studio è stato possibile analizzare i risultati relativi ai primi 3 tempi (162 campioni)

3.2 Prelievo e trattamento dei campioni in campo

Come già detto sono stati prelevati due campioni replica per ogni variabile.

Per la raccolta del macrobenthos sono state utilizzate “carote” in PVC di 10 cm di diametro, che venivano spinte all'interno del sedimento fino a 10 cm di profondità. Ogni campione replica è stato ottenuto dall'unione di 4 carote, ottenendo un'area di campionamento di 314 cm². I campioni di macrobenthos, sono stati sottoposti ad una prima setacciatura mediante filtro con 500 µm di maglia, direttamente in spiaggia. Una volta terminato il setacciamento i campioni sono stati riposti in barattoli e fissati in formalina al 10%.

Il meiobenthos è stato raccolto mediante l'uso di carote di diametro 3 cm e profonde 10 cm. e immediatamente fissato in formalina al 4%.

Contemporaneamente alla raccolta dei campioni biotici, sono stati prelevati campioni di sedimento per l'analisi di variabili utili come “descrittori del sedimento”.

I campioni per l'analisi dei descrittori del sedimento, quali granulometria e materia organica, sono stati prelevati mediante carote di 3 cm di diametro e 10 cm di profondità. I campioni di sedimento così ottenuti sono stati conservati in contenitori termici fino all'arrivo in laboratorio.

Per ogni punto campione sono state registrate le coordinate Nord e Sud per mezzo di un GPS. Inoltre venivano annotati i livelli di marea.

Mediante l'utilizzo di una carota graduata è stata valutata l'eventuale presenza dello strato di RPD Layer (*Redox Potential Discontinuity*) e, se presente, misurata la profondità (Fig. 18).

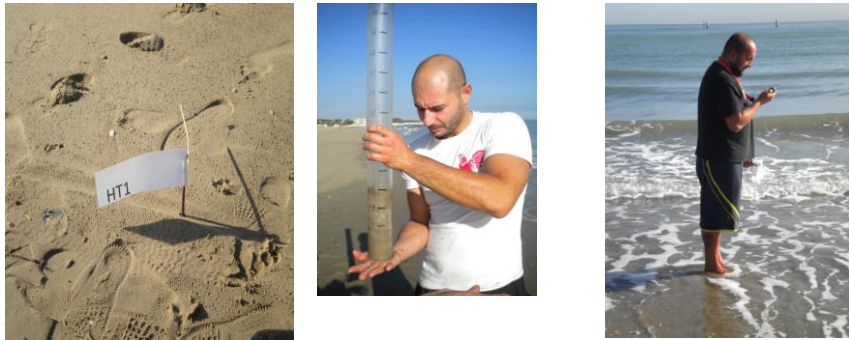


Figura 18 -

Immagini del campionamento: da sinistra a destra picchetto di ferro per individuare i transetti, valutazione RPDC, Coordinate GPS.

Al termine di ogni campionamento venivano misurate con una rondella metrica la lunghezza della fascia intertidale di ciascun transetto per sito e tempo.

3.2.1 Trattamento dei campioni in laboratorio

Una volta in laboratorio i campioni della macrofauna sono stati ulteriormente setacciati attraverso setacci di maglia 5000, 2000, 1000 e 500 μm disposti in ordine decrescente di dimensione della maglia.

Gli organismi così suddivisi sono stati collocati in 4 beaker separati e colorati con Rosa bengala al fine di facilitarne il riconoscimento. Successivamente si è passati alla procedura di *sorting* degli organismi, che sono stati quindi riconosciuti fino al livello di specie, laddove possibile, e contati.

Il riconoscimento e il conteggio degli individui trattenuti nei setacci a maglia più larga (5000 e 2000 μm) è stato effettuato ad occhio nudo all'interno di una vaschetta di plastica con l'ausilio di una lente d'ingrandimento. Invece per il riconoscimento degli organismi trattenuti dai setacci a maglia più fine (1000 e 500 μm) è stato utilizzato lo stereomicroscopio (Fig. 19).



Figura 19
Steroscopia binoculare

Gli organismi classificati sono stati posti in provette eppendorf, per gruppi specie-taglia e conservati in formalina al 4%. Dopo l'analisi e l'estrazione degli organismi macrobentonici, è stato determinato il peso secco del capulerio (*dead shell debris*) rinvenuto nelle singole frazioni, setacciate a 1000, 2000 e 5000 μm

Le analisi dei campioni "descrittori del sedimento", quali granulometria e materia organica, è stata effettuata seguendo i protocolli standard. Le analisi in laboratorio non sono state effettuate da me, ma sono state oggetto dell'elaborato di tesi di Alessandro Bini (2011), quindi non riporto il dettaglio delle operazioni di laboratorio. Poiché nella presente tesi, sono stati utilizzati i risultati al fine di valutare le relazioni fra variabili biotiche e abiotiche, riporto solo le statistiche utilizzate delle variabili analizzate.

Per quanto riguarda la granulometria:

- la mediana (in μm) che esprime il valore di taglia dei granuli, corrispondente al 50% cumulativo dei dati ed individua, calcolandolo, il 50esimo percentile;
- la classazione, calcolata come:

$$\frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{2}$$

dove φ indica il valore percentile nella distribuzione della scala di Krumbein.

Infine sono stati calcolati i seguenti indici morfodinamici:

- BDI o *Beach dynamic Index*: misura l'influenza dell'idrodinamismo sul profilo della spiaggia in funzione della granulometria

$$BCI = \frac{1}{Slope} * \frac{a}{Mz}$$

dove Slope = rapporto fra livello di marea e lunghezza della zona intertidale;

a = costante di Stokes;

Mz = dimensione in mm della mediana granulometrica;

a/Mz = misura dell'idrodinamismo;

- SWMET o *Simplified Wave Model Exposure*: misura quanto una spiaggia sia esposta al moto ondoso tenendo conto dei venti e della posizione geografica

$$SWMET = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 Fi \times Wi$$

dove F = Fetch, determinato mediante programma GIS;

W = intensità del vento nel periodo considerato;

i = direzione da cui proviene il vento;

- RCI o *Reflectivity Condition Index*: misura il grado di riflessività di una spiaggia

$$RCI = \frac{BDI}{SWMET}$$

3.3 Analisi del *Lentidium mediterraneum*

E' stata quindi effettuata un'analisi più dettagliata sulla distribuzione delle taglie degli organismi di *Lentidium mediterraneum*.

L'analisi ha comportato la messa a punto di un metodo per misurare la taglia degli organismi presenti nei campioni in maniera più accurata rispetto al metodo di selezione dovuto all'utilizzo di setacci di maglia diversa e per valutare la bontà e/o discrepanza fra i risultati dell'analisi della distribuzione delle taglie ottenute con il metodo diretto e indiretto..

A tal fine è stato necessario valutare alcuni problemi. Innanzitutto la difficoltà del riconoscimento; infatti l'utilizzo del colorante Rosa bengala , ha reso difficile la distinzione, per quanto riguarda i molluschi bivalvi, tra organismi "vivi" al momento del campionamento da quelli "morti". Infatti molti individui, sebbene presentassero le valve chiuse e colorazione, lasciando immaginare un organismo vivo e fissato al momento del campionamento, presentavano a una più attenta analisi (in seguito ad apertura delle valve) evidenti segni di decomposizione dei tessuti. E' stato quindi necessario verificare la

presenza del mollusco in buono stato fisiologico all'interno delle valve (Fig. 20) per classificarlo correttamente come “vivo” al momento del campionamento.



Figura 20 - *Lentidium mediterraneum* colorato con rosa bengala

Una volta individuati gli organismi in buono stato e “vivi”, questi sono stati prelevati, tenendo da parte fino ad un massimo di 50 individui per campione per ogni replica e per ogni setaccio, per la successiva analisi..

Gli organismi, laddove le valve non fossero danneggiate, sono stati fotografati su una piastra mediante un sistema di acquisizione di immagine (telecamera Nikon DS-SM con interfaccia PC Nikon DS-U1) che collega uno stereoscopio con un PC.

Per ogni foto, scattata a ingrandimenti variabili tra 10X e 40X, è stata effettuata la calibrazione tra la risoluzione dell'immagine e la scala reale mediante un micrometro posto sulla piastra. Ciascuna immagine è stata elaborata mediante il software ImageTools 3.1 (Fig. 21) che ha restituito per ogni organismo fotografato le misure reali di vari parametri di dimensione e forma (es. area, lunghezza dell'asse minore, dell'asse maggiore, etc.). Tra questi parametri si è deciso di utilizzare le aree, espresse in mm^2 , come descrittore delle dimensioni degli organismi.

Complessivamente sono stati misurati 1971 organismi.

Le misure delle aree sono state suddivise in 10 classi di frequenza per le successive analisi.

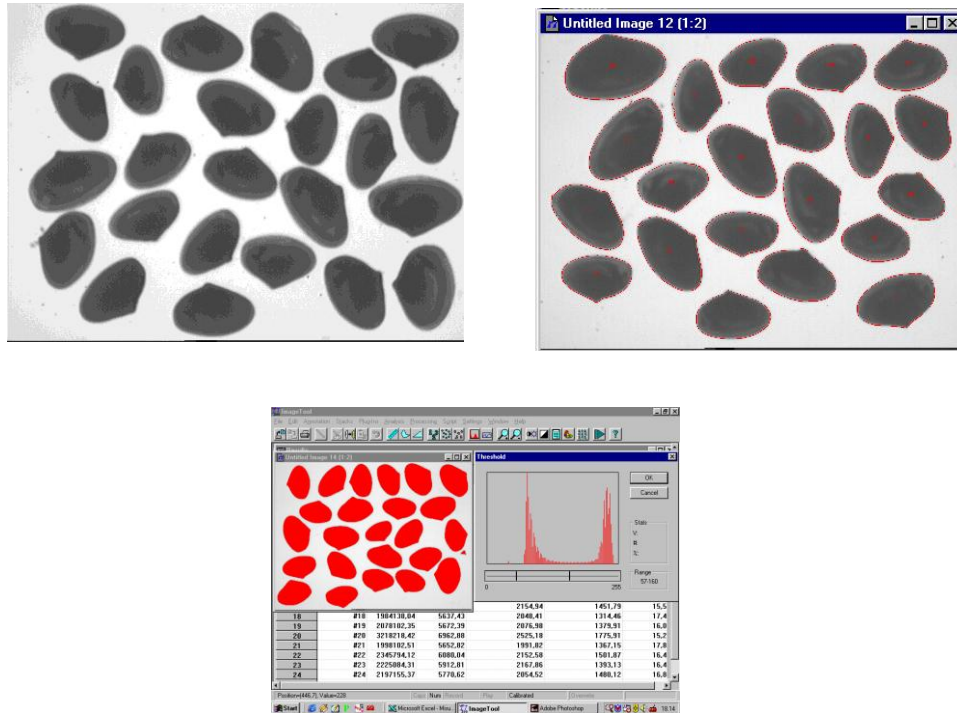


Figura 21 - Varie fasi di analisi con Image Tools 3.1: da sinistra a destra fotografia di individui di *Lentidium mediterraneum* e selezione delle immagini; in basso analisi effettuata dal software.

La distribuzione delle taglie così ottenuta è stata analizzata in relazione ai fattori tenuti sotto controllo, ma anche per valutare l'eventuale "bias" introdotto a causa della separazione degli organismi in taglie diverse mediante l'utilizzo dei setacci (Fig. 22).

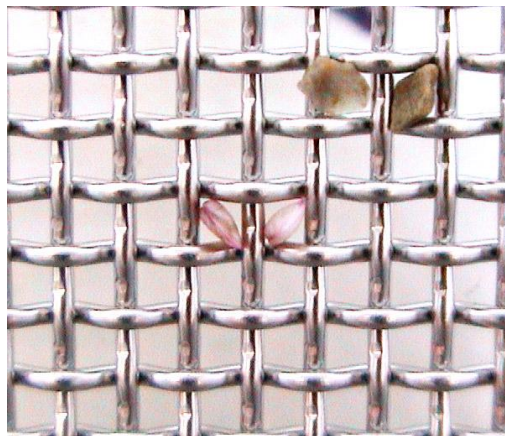


Figura 22 - Esempio di individui di *L. mediterraneum* incastrati nelle maglie dei setacci

3.4 Analisi dei dati

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante tecniche di analisi univariate e multivariate sia sui dati biotici che su quelli “descrittori” ambientali.

3.4.1 Analisi univariate

Per univariata si intende l'analisi effettuata considerando una variabile alla volta. I dati sono stati analizzati tramite ANOVA, ovvero l'Analisi della Varianza sulla base del disegno sperimentale di campionamento descritto in precedenza. Pertanto si tratta di un disegno a 4 fattori: Tempi (fisso: 3 livelli); Siti (fisso e ortogonale: 3 livelli); Transetti (random e nested in Tempi X Siti); Maree (fisso e ortogonale in Tempi X Siti: 3 livelli). Per i popolamenti macrobentonici e per il *Lentidium mediterraneum* sono state analizzate le abbondanze totali degli organismi, le abbondanze di tutte le specie con l'esclusione di *L. mediterraneum*, e le abbondanze del solo *L. mediterraneum*.

Nella presente tesi l'ANOVA è stata effettuata per mezzo del programma Primer6+PERMANOVA sulla distanza Euclidea e ottenendo il valore di F (pseudo-F). Il livello di significatività è stato calcolato mediante permutazione.

3.4.2 Analisi Multivariate

La struttura di comunità è stata analizzata mediante metodi multivariati (Clarke, 1993; Clarke & Ainsworth, 1993; Clarke & Warwick, 1994) che consistono nel confrontare i campioni a coppie, evidenziando le somiglianze reciproche di struttura e composizione e i raggruppamenti (*clusters*) che vengono così a formarsi.

Il punto di partenza è la matrice bruta dei dati sulla quale viene calcolata la similarità fra tutti i campioni avvalendosi di opportuni indici di similarità. Si ottiene così una matrice triangolare e simmetrica dove si rinvengono tutti i valori di similarità fra i campioni confrontati a coppie. L'indice di similarità utilizzato è quello di Bray-Curtis (Faith *et. al.*, 1987):

$$S_{jk} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^s (x_{ij} + x_{ik})} \right) * 100$$

dove x_{ij} è il numero degli individui della specie i -esima del campione j e x_{ik} è il numero degli individui della specie i -esima del campione k . Il calcolo delle similarità è stato effettuato sui dati bruti senza effettuare una trasformazione prima dell'analisi. Ciò perché maggiormente interessati al ruolo delle specie dominanti. Per rappresentare i risultati di similarità fra i possibili confronti tra campioni è stata utilizzata la tecnica di ordinamento dell'MDS non metrico (*Multi Dimensional Scaling*) che consente di adattare su un piano bidimensionale la disposizione dei campioni, cercando di rispettare il loro grado di similarità reciproca.

Per meglio confrontare la relazione tra i campioni nell'MDS, la matrice triangolare viene tramutata in una matrice per ranghi (Clarke, 1993), in cui viene assegnato un valore progressivo a ciascun valore dell'indice ottenuto, in ordine dal più alto, con valore 1, al più basso.

La stima della distorsione introdotta a causa della forzatura geometrica che proietta in due dimensioni le $n-1$ dimensioni richieste teoricamente per n variabili, è indicata dal valore di stress. Questo indica lo scarto fra la distanza reale fra due punti campione nella matrice e quella risultante sul piano. Il valore di stress permette, quindi, di valutare la qualità dell'interpretazione dell'MDS (Tab. 1).

Tabella 1 Limiti di interpretabilità dei valori di stress degli MDS (Clarke, 1993)

Stress	Interpretabilità
0.00 – 0.05	Rappresentazione eccellente
0.05 – 0.10	Buon ordinamento, senza false deduzioni
0.10 – 0.20	Possibili errori di interpretazione soprattutto nei dettagli
> 0.20	Non utilizzabile, possibili errori di interpretazione

Le differenze di struttura di comunità fra i fattori tenuti sotto controllo, sono state testate mediante PERMANOVA, test multivariato non parametrico (Anderson, 2001 a) seguendo il disegno prima descritto.

Poiché molti campioni, in particolare quelli prelevati in inverno dopo “bulldozing” sono risultati privi di organismi, le analisi sono state effettuate introducendo una “*Dummy variable*” (o variabile di comodo), che aggiunge un valore (nel nostro caso 1) a tutti i

campioni eliminando così il valore 0 dall'analisi e permettendo così di poter effettuare le analisi (Clarke et al., 2006).

I valori P sono ottenuti mediante una strategia di permutazioni adeguata per ciascun particolare termine del modello del disegno sperimentale, comprese le interazioni (Anderson, 2001 b).

Tutte le analisi multivariate sono state effettuate tramite il software PRIMER6 +PERMANOVA.

4 Risultati

4.1 Variabili abiotiche

Al fine di valutare le informazioni relative alle variabili abiotiche indagate nei tre siti di campionamento, sono state effettuate inizialmente delle analisi confrontando il peso, espresso in grammi, del capulerio di ogni campione diviso per le taglie dei setacci (5000 μm , 2000 μm , 1000 μm), e la mediana della granulometria del sedimento del campione, espressa in mm (fig. 23, fig. 24).

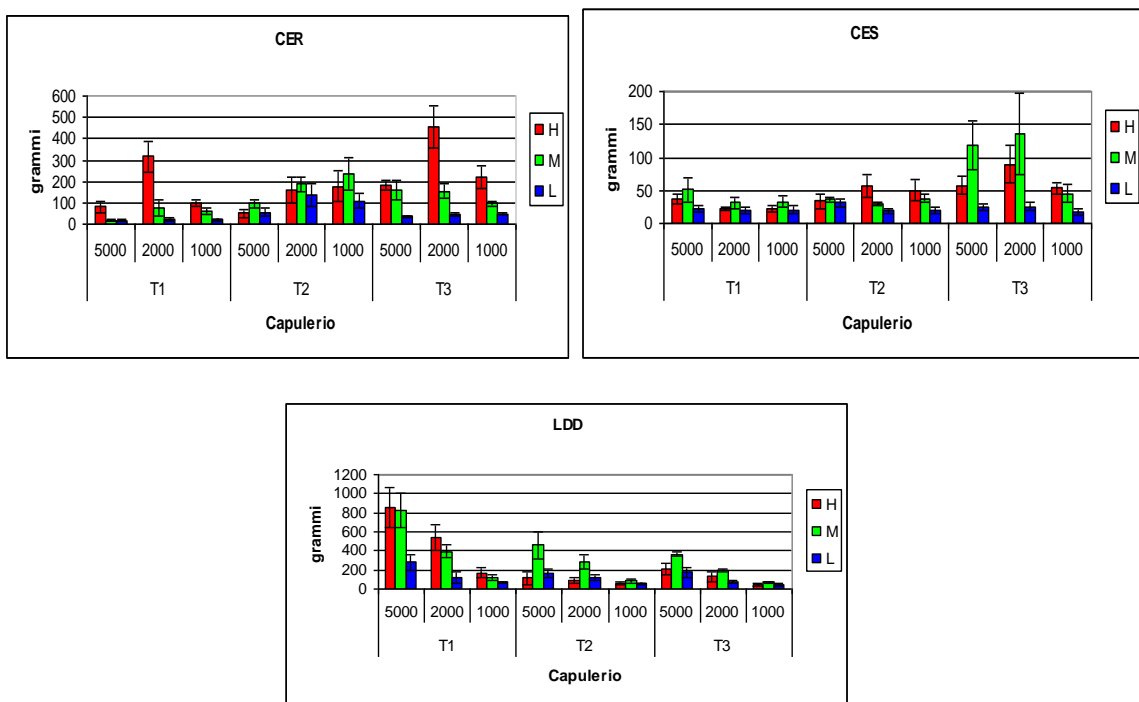


Figura 23 - Peso totale del capulerio (\pm e.s) nei tre tempi e nei tre siti, calcolato eseguendo una media per livello di marea e per transetto [CER: Cervia, CES: Cesenatico, LDD: Lido di dante; T1: tempo 1, T2 tempo 2, T3: tempo 3; H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea]

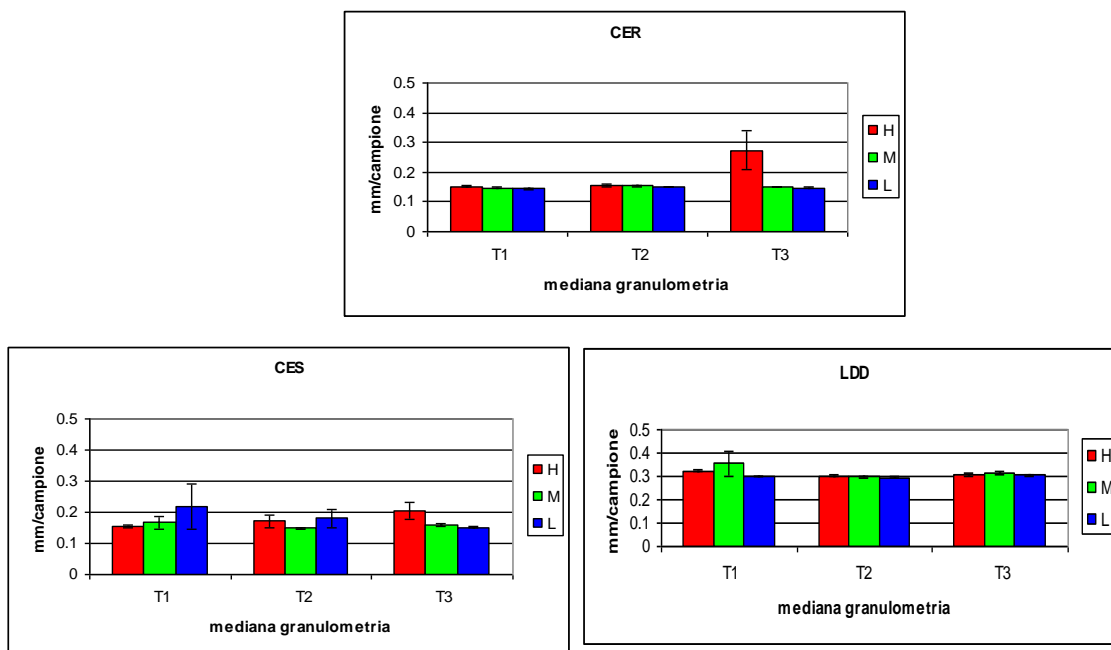


Figura 24 - Mediana della granulometria (\pm e.s.) nei tre tempi e nei tre siti, calcolato eseguendo una media per livello di marea e transetto [CER: Cervia, CES: Cesenatico, LDD: Lido di dante; T1: tempo 1, T2: tempo 2, T3: tempo 3; H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea]

Dagli istogrammi relativi al capulerio totale (Fig. 22) si nota come nella spiaggia di Lido di Dante si registrino i valori più alti, in particolare al primo tempo di campionamento.

Negli altri due siti i valori di capulerio risultano inferiori (prestare attenzione alle diverse scale utilizzate). L'analisi della distribuzione in taglia, effettuata mediante setacci con maglia diversa, evidenzia, inoltre una ripartizione diversa sia fra siti che fra livelli di marea.

Un andamento simile si registra anche per la variabile "granulometria". Al riguardo, osservando i dati della mediana (Fig.24), si può notare come i tre siti si differenzino per le mediane granulometriche. Sempre per la spiaggia di Lido di Dante si riscontrano i valori maggiori. Da notare comunque gli andamenti simili per i tre tempi in tutte le spiagge, ad eccezione del tempo 3 del sito di Cervia, differenza probabilmente imputabile ad un diverso pattern della *patchness* del sedimento.

Per meglio evidenziare come queste differenze tra le tre spiagge siano da imputare o meno ad un gradiente morfodinamico, sono state effettuate delle analisi relative alle linee di pendenza e lunghezza della zona intertidale dei siti campionati.

Come si nota dalla Fig. 25, è presente una somiglianza tra le relazioni fra pendenza e lunghezza di spiaggia nei siti di Cervia e Cesenatico. Tale somiglianza è da imputare alle

barriere frangiflutto presenti solo nella spiaggia di Cesenatico. Infatti il sito di Cervia è stato scelto proprio perché presentava un idrodinamismo più dissipativo rispetto a quello di Cesenatico; ciononostante quest'ultimo appare equiparabile a quello di Cervia, a causa del rallentamento delle “forzanti” idrodinamiche causate dalla presenza delle barriere.

Nel sito naturale di Lido di Dante, invece, la pendenza della zona intertidale risulta maggiore e la lunghezza minore rispetto alle altre due spiagge. Lido di Dante, infatti, presenta caratteristiche tipiche di una spiaggia molto meno dissipativa.

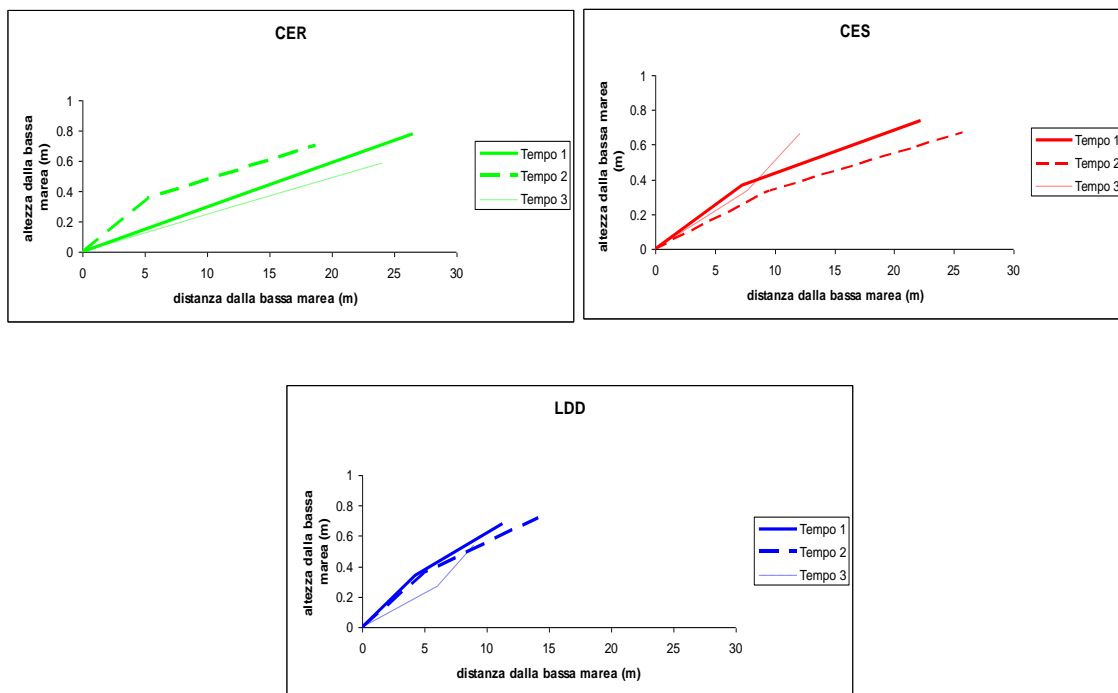


Figura 25- Linee di pendenza della zona intertidale, nei tre siti e nei tre tempi di campionamento, in funzione della lunghezza della spiaggia [CER: Cervia, CES: Cesenatico, LDD: Lido di Dante]

Le linee di pendenza e lunghezza della zona intertidale mostrano anche una variazione fra i differenti tempi all'interno dello stesso sito sia per la spiaggia di Cesenatico che per la spiaggia di Cervia, soprattutto per quanto riguarda una inversione di pendenza delle linee di spiaggia tra il tempo 2 e il tempo 3. Ciò farebbe pensare ad un qualche effetto indiretto della maggiore forza e frequenza delle mareggiate invernali capaci di scavalcare anche le creste delle barriere di Cesenatico. Al contrario nella spiaggia di Lido di Dante la pendenza resta in generale più ripida in tutte e tre le date a conferma della tendenza di questa spiaggia ad essere stabilmente meno dissipativa.

Nella tabella 2 vengono riportati i valori delle variabili abiotiche prese in considerazione e degli indici morfodinamici calcolati, come media dei tre transetti, per i tre siti di campionamento e per i tre tempi. A conferma di quanto già affermato, si può notare come i valori di pendenza (Slope) siano nel complesso maggiori per la spiaggia di Lido di Dante, la meno dissipativa delle tre.

Se si considerano i valori relativi all'esposizione (exp.) delle tre spiagge all'idrodinamismo (indici morfodinamici), sia 15 giorni prima del campionamento (exp.time), sia su base annuale (exp.year), dal complesso dell'andamento dei valori (e ricordando che quelli relativi agli indici morfodinamici sono inversamente proporzionali alla riflessività della spiaggia), si può notare come il sito di Cesenatico risulta essere il più esposto dei tre indagati ma non il più riflessivo, sottolineando quindi la funzione protettiva delle strutture frangiflutto. Al contrario proprio la spiaggia meno esposta all'idrodinamismo (Lido di Dante) appare morfodinamicamente la più riflessiva.

Tabella 2 – Valori medi per transetto dei dati di pendenza (Slope) e di mediana granulometrica dei sedimenti, e relativi all'esposizione e agli indici morfodinamici (BDI, RCI) dei 3 siti nei tre tempi di campionamento [CES: Cesenatico, CER: Cervia, LDD: Lido di Dante; 1,2,3: tempi; exp.: *Simplified Wave Model Exposure Time*; BDI: *Beach dynamic index*; RCI: *Reflectivity condition index*]

sito	tempo	exp.year	exp_time	Slope	mediana mm	BDI	RCIyear	RCI time
CES	1	19298.06	3141.849	0.036376	0.180518928	168.8204	8.748053	53.73283
CER	1	18743.43	17332.79	0.03324	0.146995091	221.6033	11.82299	12.78521
LDD	1	16405.15	12966.45	0.102547	0.32711012	37.96874	2.31444	2.928228
CES	2	19298.06	2311.338	0.026275	0.166656564	239.9181	12.43224	103.8005
CER	2	18743.43	18401.04	0.032833	0.153092569	209.8327	11.195	11.40331
LDD	2	16405.15	19194.06	0.051628	0.298942703	68.52124	4.176813	3.569919
CES	3	19298.06	11979.99	0.066957	0.171518266	104.1982	5.399415	8.697686
CER	3	18743.43	19568.83	0.024781	0.19083526	223.0004	11.89753	11.39569
LDD	3	16405.15	11863.31	0.061848	0.30871204	55.66201	3.39296	4.691945

4.2 Variabili biotiche: Comunità macrobentonica

L'analisi dei campioni di macrobenthos ha portato ad isolare un totale di 14879 organismi e ad identificare 40 *taxa*.

Inizialmente è stata effettuata un'analisi multivariata sull'insieme di tutti i dati relativi alle densità totali degli organismi delle specie riconosciute nei diversi campioni esaminati. Come evidenziato dal plot MDS effettuato sui dati assoluti (Fig. 26), e supportato dall'analisi PERMANOVA (Tab. 3) da cui risulta altamente significativa la interazione tra

i 3 fattori principali presi in considerazione (siti, tempi, livelli di marea), si rileva una netta distinzione di composizione e struttura di comunità sia fra i 3 siti indagati, che fra i tempi.

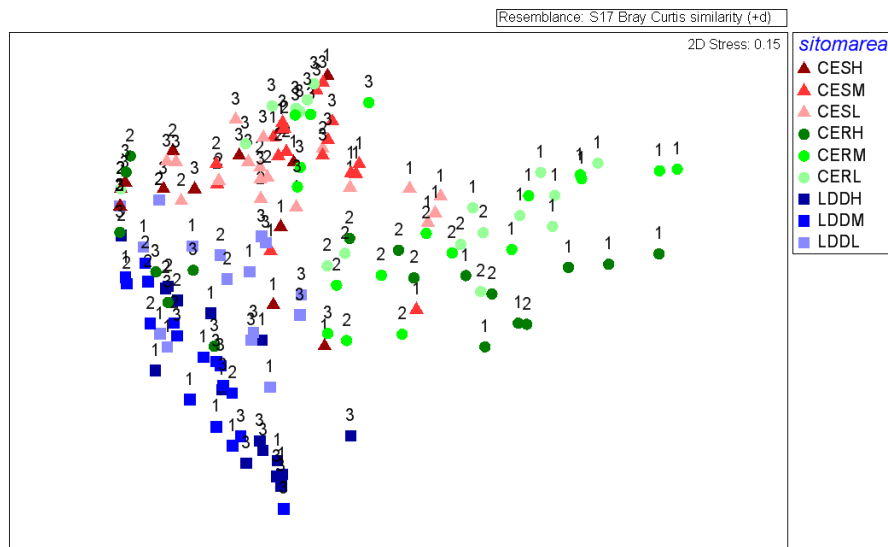


Figura 26 - Plot MDS ottenuto dall'analisi dei dati di densità per campione degli organismi relativi alle comunità dei 3 siti analizzati nei 3 tempi di campionamento. [CES: Cesenatico, CER: Cervia, LDD: Lido di Dante; H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea; 1: tempo 1, 2: tempo 2, 3: tempo 3]

Tabella 3 - PERMANOVA sui dati di densità per campione degli organismi relativi alle comunità dei 3 siti analizzati nei 3 tempi di campionamento [si: siti, te: tempi, ma: maree, tr: transetti]

						UNIQUE
SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS
SI	2	1.0622E5	53108	18.86	0.0001	9939
TE	2	56144	28072	9.9688	0.0001	9930
MA	2	23511	11755	6.2308	0.0001	9918
SIXTE	4	84604	21151	7.5111	0.0001	9918
SIXMA	4	25534	6383.5	3.3835	0.0001	9879
TEXMA	4	25495	6373.8	3.3784	0.0001	9892
TR(SIXTE)	18	50688	2816	2.2982	0.0001	9780
SIXTEXMA	8	33503	4187.9	2.2197	0.0001	9870
TR(SIXTE)XMA	36	67920	1886.7	1.5398	0.0001	9723
RES	81	99248	1225.3			
TOTAL	161	5.7286E5				

Per meglio comprendere gli effetti dei differenti impatti antropici sulle tre diverse spiagge in relazione ai tempi e ai livelli di marea, sono state effettuate analisi separate per ciascun sito.

Il plot MDS effettuato sulle densità dei popolamenti rinvenuti nel sito di Cesenatico mostra come i punti campione siano relativamente aggregati tra loro in relazione ai diversi livelli di marea (Fig. 27), ed i raggruppamenti che ne derivano siano abbastanza differenziati l'uno dall'altro. Si nota anche un pattern ordinato di evoluzione tra tempi.

Quanto rilevato dal plot MDS è ben supportato dai risultati della PERMANOVA (Tab. 4), dove risulta significativa l'interazione tra tempi e maree con maggiore rilevanza per il fattore marea.

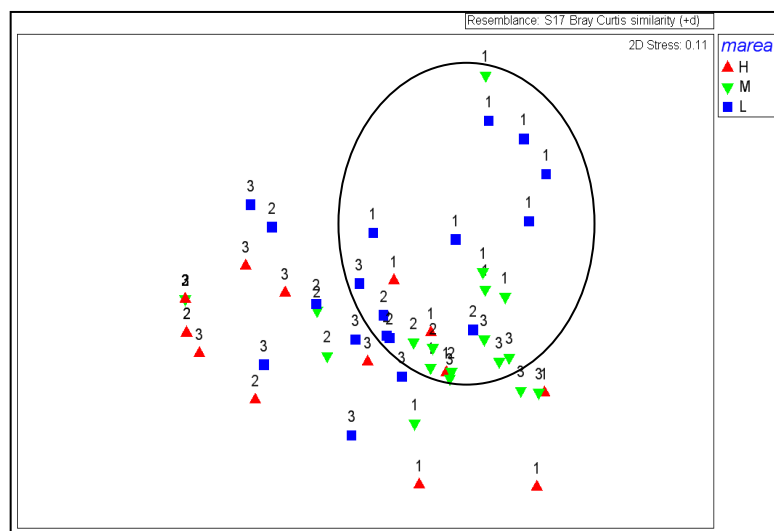


Figura 27 - Plot MDS ottenuto dall'analisi delle densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cesenatico. [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea. 1: tempo 1, 2: tempo 2, 3: tempo 3]

Tabella 4 - PERMANOVA sui dati di densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cesenatico [te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS	UNIQUE
TE	2	25578	12789	5.0008	0.0047	280	
MA	2	23572	11786	7.1048	0.0001	9912	
TR(TE)	6	15344	2557.4	2.6312	0.0004	9882	
TEXMA	4	25265	6316.2	3.8075	0.0002	9907	
MAXTR(TE)	12	19907	1658.9	1.7067	0.0071	9877	
RES	27	26243	971.96				
TOTAL	53	1.3591E5					

Il plot MDS relativo al sito di Cervia (Fig. 28), mostra invece una chiara evoluzione delle comunità nei 3 tempi. Si disegna infatti un pattern a “staffa di cavallo” indicativo di un chiaro gradiente, in questo caso temporale, che influisce parallelamente su tutti e tre i livelli di marea.

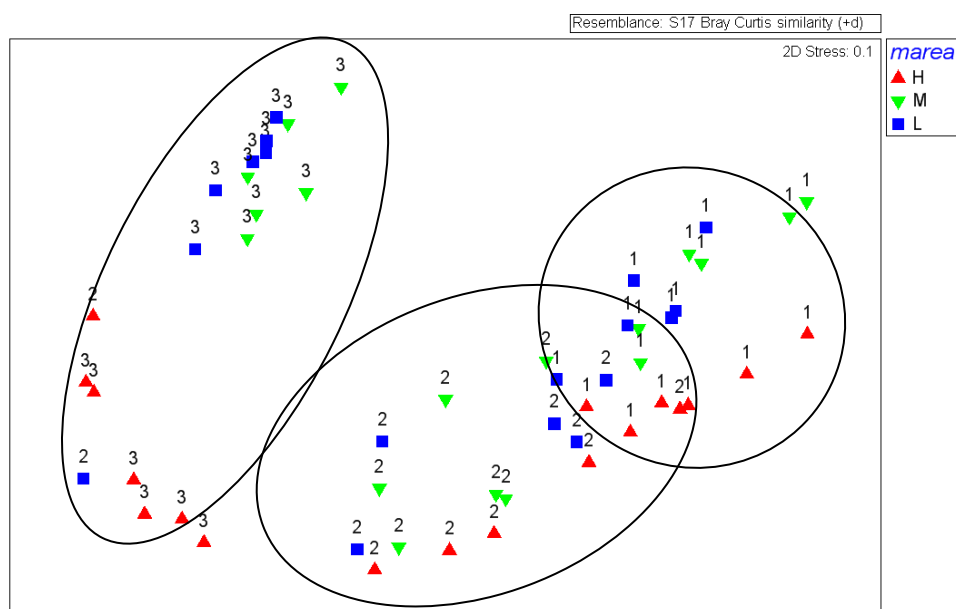


Figura 28 - Plot MDS ottenuto dall’analisi delle densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cervia. [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea. 1: tempo 1, 2: tempo 2, 3: tempo3]

Anche in questo caso la PERMANOVA mette in evidenza l'interazione significativa tra tempi e maree (Tab. 5).

Tabella 5 - PERMANOVA sui dati di densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cervia
[te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

						UNIQUE
SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS
TE	2	76737	38369	11.528	0.0029	280
MA	2	12209	6104.3	3.158	0.0049	9926
TR(TE)	6	19970	3328.3	3.2396	0.0001	9909
TEXMA	4	18628	4657	2.4092	0.0072	9916
MAXTR(TE)	12	23196	1933	1.8815	0.003	9868
RES	27	27739	1027.4			
TOTAL	53	1.7848E5				

Tabella 6 PERMANOVA sui dati delle densità per campione degli organismi della comunità del sito di Lido di Dante [te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

						UNIQUE
SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS
TE	2	38432	19216	7.4998	0.0036	280
MA	2	13264	6632	3.2068	0.0025	9917
TR(TE)	6	15373	2562.2	1.5283	0.0393	9889
TEXMA	4	15106	3776.5	1.826	0.0333	9905
MAXTR(TE)	12	24817	2068.1	1.2336	0.1339	9849
RES	27	45265	1676.5			
TOTAL	53	1.5226E5				

Anche la PERMANOVA effettuata sui popolamenti del sito di Lido di Dante mette in evidenza differenze significative per l'interazione tempi x maree (Tab. 6).

Il plot MDS permette da un lato di individuare gruppi relativamente ben distinti per i tre tempi di campionamento, mentre risaltano un po' meno le differenze fra i popolamenti dei tre livelli di marea a ciascun tempo (Fig. 29).

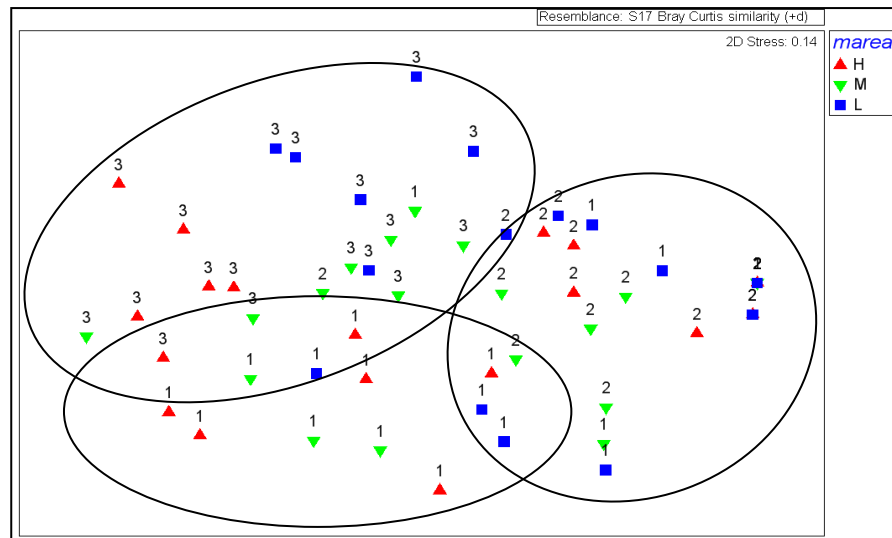


Figura 29 - Plot MDS ottenuto dall'analisi dei dati di densità per campione degli organismi della comunità del sito di Lido di Dante [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea. 1: tempo 1, 2: tempo 2, 3: tempo 3]

4.2.1 Comunità macrobentonica con l'esclusione di *Lentidium mediterraneum*

Un approfondimento delle analisi è stato condotto eliminando, dalla matrice iniziale dei dati biotici, quelli di densità del microbivalve *Lentidium mediterraneum*.

Infatti, precedenti studi (Bertasi et al., 2007; 2009) avevano messo in evidenza che, almeno in ambiente subtidale, la presenza, talvolta massiva, di *L. mediterraneum*, spesso mascherava importanti “patterns” di struttura delle comunità, anche usando una trasformazione severa dei dati bruti. Per valutare, quindi, le differenze tra i “patterns” di struttura di comunità imputabili all'insieme delle altre specie, è stata condotta un'analisi escludendo la sopracitata specie.

Come si nota dal plot MDS (Fig. 30), supportato dall'analisi PERMANOVA (Tab 7), condotto sui dati di comunità di Cesenatico, l'esclusione della specie *Lentidium mediterraneum* in qualche modo mette in evidenza come le differenze riscontrate a livello di maree (vedi Fig. 27), ma fondamentale quelle relative alla bassa marea al tempo 1, fossero imputabili alla presenza della medesima.

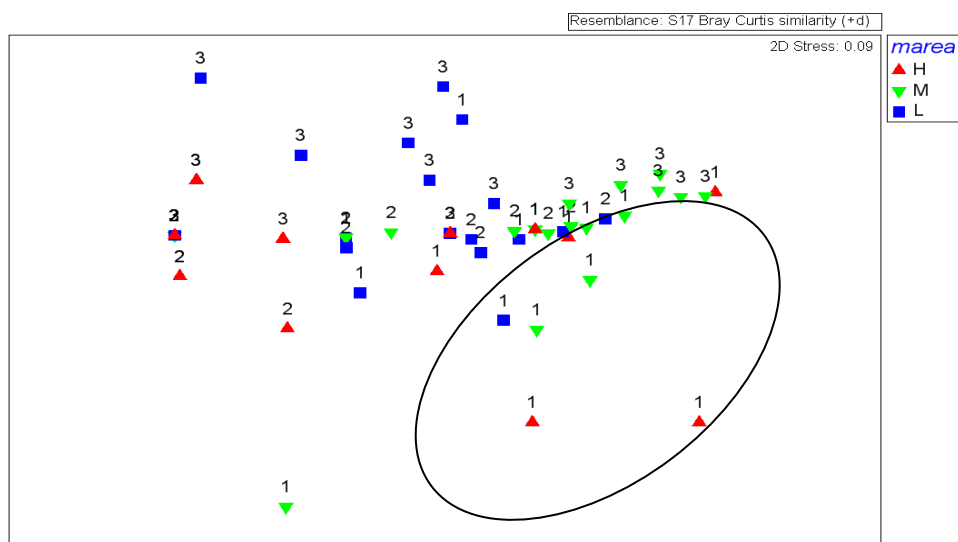


Figura 30 - Plot MDS ottenuto dall'analisi dei dati delle densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cesenatico, dopo esclusione di quelle del *Lentidium mediterraneum* [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea. 1: tempo 1, tempo 2, 3: tempo3]

Tabella 7 - PERMANOVA sui dati delle densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cesenatico, dopo esclusione di quelle di *Lentidium mediterraneum* [te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

						UNIQUE
SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS
TE	2	16698	8349	3.1197	0.0038	280
MA	2	21545	10772	7.1249	0.0002	9935
TR(TE)	6	16057	2676.2	2.5864	0.0013	9924
TEXMA	4	19020	4755	3.145	0.0042	9925
TR(TE)XMA	12	18143	1511.9	1.4612	0.0595	9887
RES	27	27937	1034.7			
TOTAL	53	1.194E5				

Da questa analisi si potrebbe attribuire, almeno per il sito di Cesenatico, un'importanza diretta del *L. mediterraneum* nello strutturare la comunità in particolare al livello di bassa marea.

Il plot MDS condotto sui dati relativi alla spiaggia di Cervia (Fig. 31) mostra un pattern molto diverso rispetto a quello comprensivo della specie *L. mediterraneum* (vedi Fig. 28).

Anche in questo caso l'analisi con PERMANOVA (Tab. 8) evidenzia un'interazione significativa tra tempi e maree, ma i confronti a posteriori mostrano differenze significative solo per alcuni livelli e non con un chiaro pattern come evidenziato nell'analisi precedente (Tab. 5).

Anche in questa situazione si vede come il mollusco bivalve preso in esame giochi un ruolo fondamentale per la struttura di comunità.

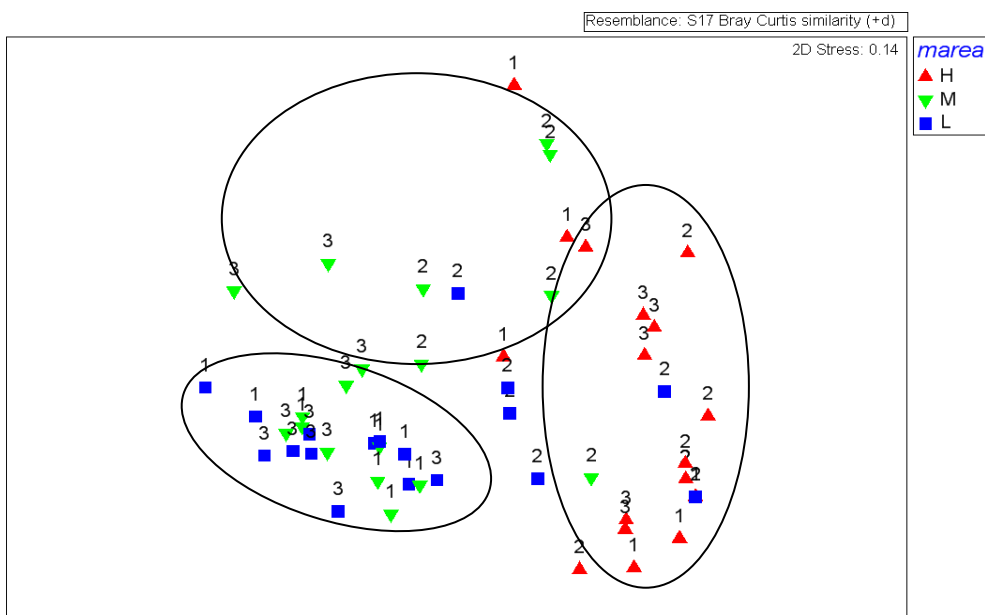


Figura 31 - Plot MDS ottenuto dall'analisi dei dati delle densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cervia, dopo esclusione di quelle di *Lentidium mediterraneum* [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea. 1: tempo 1, 2: tempo 2, 3: tempo 3]

Tabella 8 PERMANOVA sui dati di densità per campione degli organismi della comunità del sito di Cervia, dopo esclusione di quelle di *Lentidium mediterraneum* [te: tempi, ma: livelli di marea]

						UNIQUE
SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS
TE	2	23871	11936	6.7793	0.0046	279
MA	2	32616	16308	7.2994	0.0001	9921
TR(TE)	6	10564	1760.6	1.2173	0.2043	9877
TEXMA	4	20452	5112.9	2.2885	0.0106	9917
MAXTR(TE)	12	26810	2234.2	1.5448	0.0172	9846
RES	27	39049	1446.3			
TOTAL	53	1.5336E5				

L'analisi condotta sulla matrice senza *Lentidium mediterraneum* per la spiaggia di Lido di Dante (Tab.9, Fig. 32) mostra un pattern sovrapponibile a quanto evidenziato in precedenza (vedi Fig. 29, anche se appare capovolta per effetto del programma) e ciò è dovuto alla scarsa presenza del bivalve, che in questo caso non gioca un ruolo strutturante la comunità.

Tabella 9 PERMANOVA ottenuta dall'analisi dei dati relativi alla spiaggia di Lido di Dante escludendo la specie *Lentidium mediterraneum* [te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

						Unique
Source	Df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
te	2	39138	19569	7.4999	0.0035	280
ma	2	13071	6535.6	3.1552	0.0033	9918
tr(te)	6	15656	2609.3	1.6492	0.0245	9892
texma	4	15119	3779.6	1.8247	0.0357	9920
tr(te)xma	12	24856	2071.4	1.3092	0.0869	9855
Res	27	42717	1582.1			
Total	53	1.5056E5				

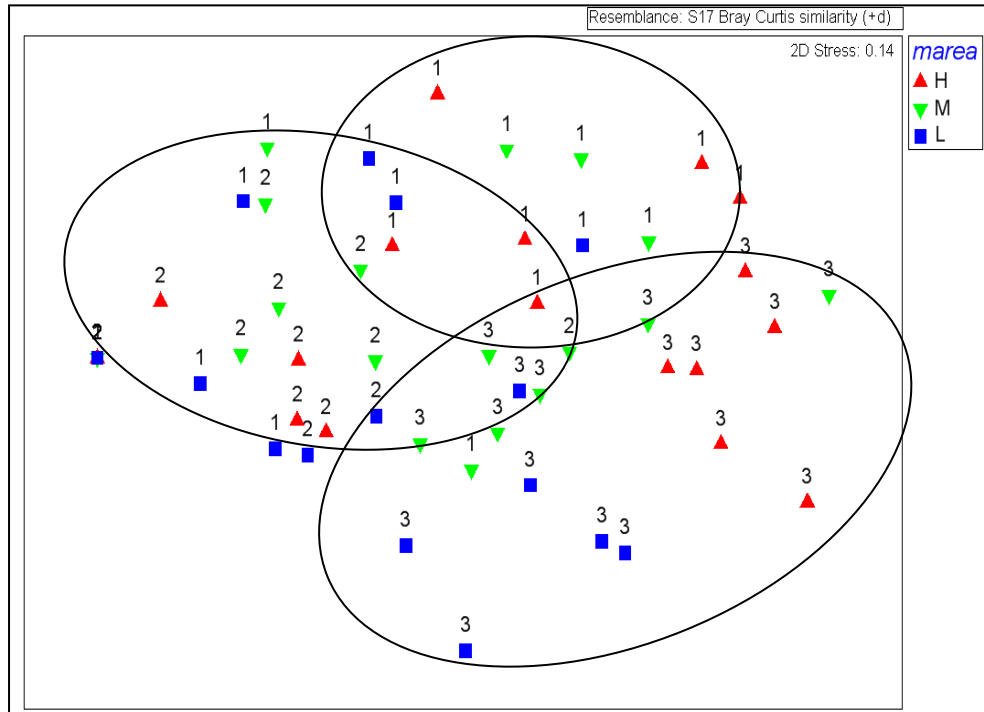


Figura 32 - Plot MDS ottenuto dall'analisi dei dati di densità per campione degli organismi della comunità del sito di Lido di Dante, dopo esclusione di quelle di *Lentidium mediterraneum* [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea. 1: tempo 1, 2: tempo 2, 3: tempo 3]

.3 Risultati relativi alle analisi univariate

Gli istogrammi relativi alle abbondanze totali degli individui, riportate separatamente per i 3 siti indagati, mostrano come i valori siano decisamente più elevati nella spiaggia di Cervia (Fig. 33, CER), in modo particolare al tempo 1 nel livello di marea media (si notino le scale diverse). Nella spiaggia di Lido di Dante (LDD, Fig. 33) invece si osservano differenze fra i fattori tempo e marea, con un gradiente inverso rispetto agli altri siti, soprattutto per le più elevate densità al livello di alta marea al tempo 3.

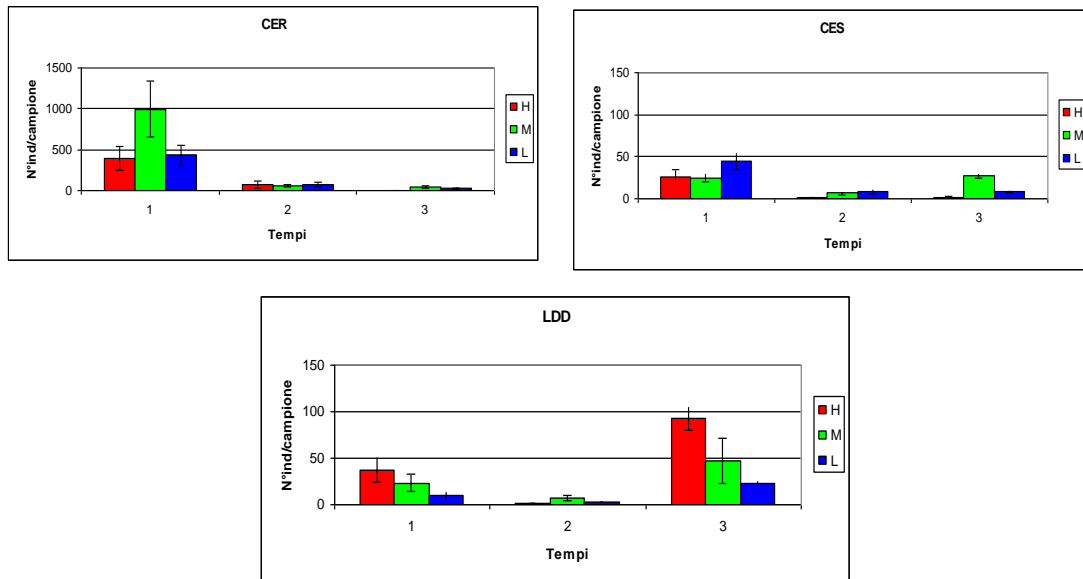


Figura 33 - Densità medie del totale degli individui ($n=6$) \pm e.s per ciascuna spiaggia, a ciascun tempo e per ogni livello di marea [CES: Cesenatico, CER: Cervia, LDD: Lido di Dante; H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea]

Le densità discretamente elevate del sito di Lido di Dante, equiparabili a quelle relative alla spiaggia di Cesenatico, sono comunque connotate dalla presenza di taxa diversi, come testimoniato dalle precedenti analisi multivariate sulla composizione e struttura delle comunità. In particolare, tra i tanti taxa discriminanti, solo nella spiaggia “naturale” di Lido di Dante si registra la presenza del polichete *Saccocirrus papillocercus* di cui si descriverà il ruolo caratterizzante nel successivo capitolo della Discussione.

I risultati dell'ANOVA, in base al disegno di campionamento complessivo, evidenziano un'interazione significativa tra siti e tempi (Tab. 10).

L'analisi dell'interazione evidenzia, come mostrato anche dagli istogrammi (Fig. 33), un'evoluzione nel tempo riguardo alle densità nei 3 siti, soprattutto per quanto concerne la spiaggia di Cervia, che mostra una forte riduzione delle densità dal tempo 1 al tempo 3.

Per la spiaggia di Lido di Dante, la già citata tendenza, inversa rispetto agli altri due siti, di un aumento delle densità al tempo 3 (Fig. 33) è probabilmente dovuta al fatto di essere, tra i tre siti di campionamento, quello “naturale”, cioè privo di strutture artificiali di difesa e dell'impatto del “bulldozing”.

Tabella 10 Risultati dell'ANOVA relativi alle densità del totale degli organismi nei tre siti, nei tre tempi e ai tre livelli di marea [si: siti, te: tempi, ma: maree, tr: transetti]

						UNIQUE
SOURCE	DF	SS	MS	PSEUDO-F	P(PERM)	PERMS
SI	2	1.5857E6	7.9285E5	8.7114	0.0003	9939
TE	2	1.3445E6	6.7224E5	7.3862	0.0019	9951
MA	2	1.6452E5	82259	1.3319	0.2665	9960
SIXTE	4	2.4903E6	6.2257E5	6.8404	0.0021	9940
SIXMA	4	3.2721E5	81803	1.3246	0.2527	9945
TEXMA	4	2.7802E5	69504	1.1254	0.3442	9943
TR(SIXTE)	18	1.6382E6	91013	9.6712	0.0002	9897
SIXTEXMA	8	6.224E5	77800	1.2597	0.2403	9927
MAXTR(SIXTE)	36	2.2233E6	61759	6.5626	0.0004	9859
RES	81	7.6226E5	9410.7			
TOTAL	161	1.1436E7				

Sono state, poi, effettuate analisi univariate sia sulle abbondanze della specie di interesse, *Lentidium mediterraneum*, sia sulle abbondanze totali dei popolamenti senza quest'ultima. I risultati della ANOVA (computata mediante il programma PERMANOVA) sul solo *Lentidium mediterraneum*, evidenziano un'interazione significativa per i fattori siti e tempi, mentre le abbondanze dell'insieme di tutte le altre specie variano in relazione all'interazione di tutti e tre i fattori considerati (Tab. 11, Tab. 12). Nell'interazione siti x tempi del *L. mediterraneum*, è soprattutto il fattore siti, e cioè le differenti caratteristiche morfodinamiche delle spiagge, a giocare un ruolo fondamentale nel determinare la presenza o meno di questo microbivalve. L'analisi degli istogrammi delle abbondanze totali degli organismi, escludendo gli esemplari di *L. mediterraneum* (Fig. 34) (esprese come medie per campione, calcolate sulle repliche e sui transetti) permettono di evidenziare meglio i risultati dell'ANOVA (Tab.12).

Tabella 11 Risultati dell'ANOVA relativi alle densità del *Lentidium mediterraneum* [si: siti, te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

						Unique
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
si	2	1.6273E6	8.1367E5	9.1859	0.0002	9922
te	2	1.3327E6	6.6633E5	7.5226	0.0019	9928
ma	2	1.3642E5	68208	1.1044	0.372	9954
sixte	4	2.456E6	6.14E5	6.9318	0.0027	9932
sixma	4	2.8397E5	70991	1.1494	0.3483	9928
texma	4	3.0799E5	76998	1.2467	0.2873	9950
tr(sixte)	18	1.5944E6	88578	9.4643	0.0001	9870
sixtexma	8	6.3831E5	79789	1.2919	0.2123	9923
tr(sixte)xma	36	2.2234E6	61762	6.5991	0.0005	9851
Res	81	7.5809E5	9359.1			
Total	161	1.1359E7				

Tabella 12 Risultati dell'ANOVA relativi alle densità del totale degli organismi nelle tre spiagge escludendo la specie *Lentidium mediterraneum* [si: siti, te: tempi, ma: livelli di marea, tr: transetti]

						Unique
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
Si	2	7355.3	3677.6	5.2243	0.0127	9958
Te	2	16170	8084.8	11.485	0.0008	9953
Ma	2	3017.6	1508.8	4.1025	0.0194	9950
Sixte	4	10403	2600.8	3.6946	0.018	9962
tr(sixte)	4	10474	2618.6	7.1198	0.0004	9961
Texma	4	2800.5	700.14	1.9037	0.1236	9962
Sixma	18	12671	703.95	3.0787	0.0015	9894
Sixtexma	8	9666.7	1208.3	3.2854	0.009	9931
tr(sixte)xma	36	13240	367.78	1.6085	0.0464	9881
Res	81	18521	228.65			
Total	161	1.0432E5				

Per evidenziare il ruolo del *Lentidium mediterraneum* nella comunità, si possono confrontare gli istogrammi delle densità totali degli organismi di tutte le comunità delle tre spiagge (Fig. 33) con quelli relativi alle comunità dopo esclusione di *L. mediterraneum* (Fig. 34).

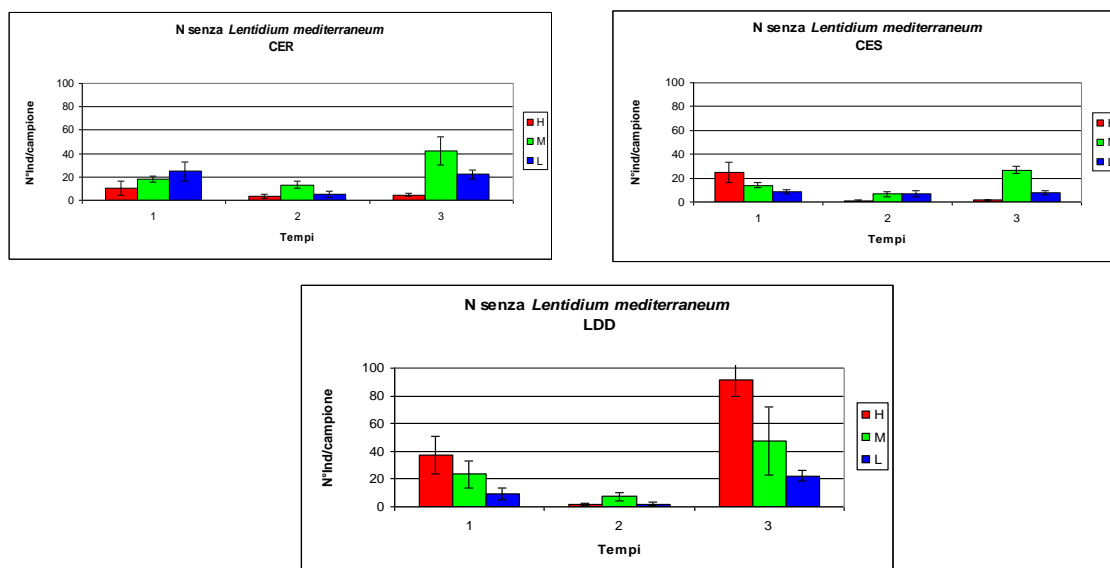


Figura 34 - Densità medie del totale degli organismi di ciascuna spiaggia escludendo *Lentidium mediterraneum* ($n=6$) \pm e.s., a ciascun tempo ed per ogni livello di marea [CES:, Cesenatico, CER: Cervia, LDD: Lido di Dante; H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea]

Si nota infatti come, escludendo il *Lentidium mediterraneum* le densità totali degli organismi delle tre spiagge diventano più omogenee, e la differenza che caratterizzava l'andamento delle densità nel sito di Cervia scompare, diventando simile a quello del sito di Cesenatico. L'andamento delle densità di Lido di Dante rimane invariato, poiché in questo sito il *L. mediterraneum* è quasi del tutto assente.

Per spiegare l'interazione significativa siti X tempi della Tab.11 relativa all'ANOVA effettuata sulle densità del solo *Lentidium mediterraneum* vengono riportati gli istogrammi relativi alle densità medie della specie di interesse nelle tre diverse spiagge (Fig. 35). In questi si nota come, nel complesso, la densità sia estremamente elevata a Cervia rispetto agli altri due siti, in particolare al tempo 1 nel livello di marea media (M). Densità di gran lunga inferiori, progressivamente calanti di circa un'ordine di grandezza, si riscontrano rispettivamente nei siti di Cesenatico e Lido di Dante (si notino le differenze di scala). Nella spiaggia di Lido di Dante il *L. mediterraneum* appare quasi del tutto assente.

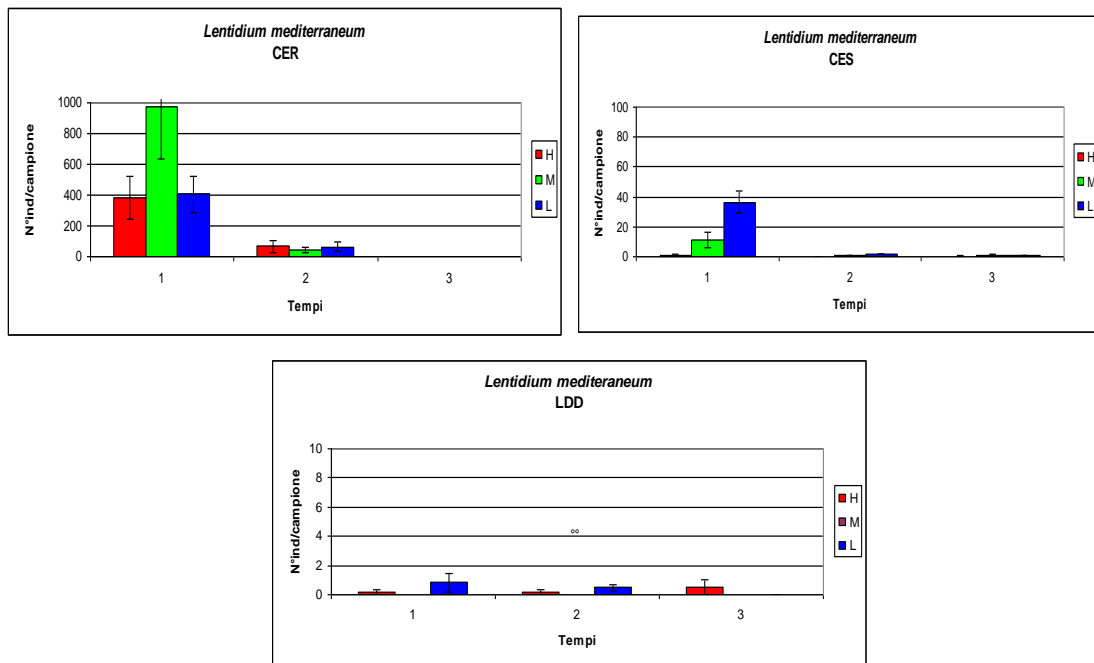


Figura 35 Densità di *Lentidium mediterraneum* (n=6)± e.s per ciascun sito, in ciascun tempo ed in ogni livello di marea [CES:, Cesenatico, CER: Cervia, LDD: Lido di Dante; H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea]

4.4 Analisi della distribuzione di taglia del *Lentidium mediterraneum*

Come scritto nel paragrafo relativo ai materiali e metodi, di ciascun individuo è stata misurata anche la lunghezza dell'asse minore della conchiglia tramite il software ImageTools 3.1. Infatti, la condizione limite perchè il piccolo bivalve possa passare attraverso i setacci, utilizzati per il "sorting" in laboratorio, è che venga filtrato secondo l'asse minore. La convenienza metodologica dell'utilizzo dei setacci come metodo indiretto, anche se un po' più approssimativo, per ottenere un'accettabile risoluzione della distribuzione in taglia di un campione di *Lentidium mediterraneum*, viene avvalorata dal confronto con la distribuzione in taglia ottenuta con il metodo diretto. Cioè raggruppando gli individui effettivamente misurati secondo la progressione di taglia dei setacci usati per lo smistamento dell'intero campione. Si osserva infatti come, anche se con il metodo indiretto si perdano dettagli relativi alle dimensioni degli organismi più piccoli, entrambe le metodologie forniscono una ripartizione percentuale soddisfacentemente comparabile (Fig. 36).

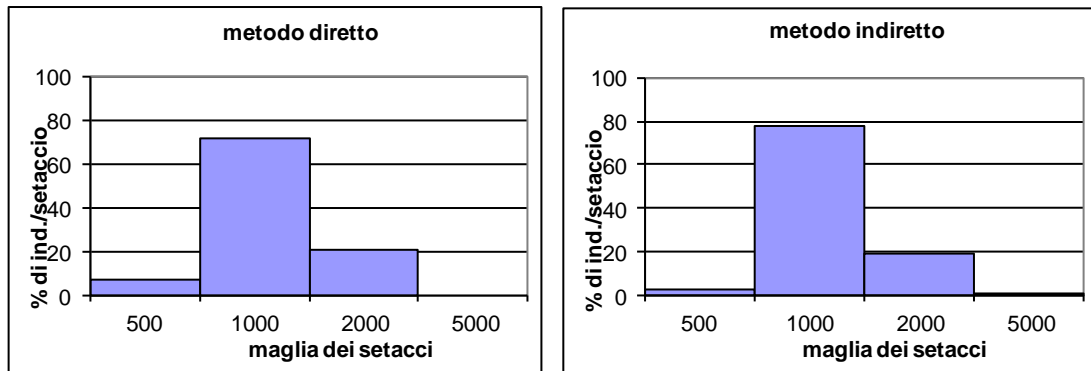


Figura 36 - Confronto fra i due metodi utilizzati per suddividere, secondo la lunghezza dell'asse minore della conchiglia, gli individui di *L. mediterraneum* estratti per taglia (μm)

I sopra descritti confronti evidenziano, pertanto, come in realtà, pur basandosi su una più precisa tecnica, le misure effettuate al microscopio non forniscono un vantaggio analitico tanto più preciso di quelle ottenute tramite una pila di setacci da giustificare la maggior perdita di tempo. Ciò a maggior ragione se si tiene conto che il metodo indiretto può essere anche affinato con l'aggiunta di calibrature intermedie della maglia dei setacci, rispetto ai setacci utilizzati nel presente studio.

Per meglio comprendere come si distribuivano gli individui di *Lentidium mediterraneum* nei diversi livelli di marea, e quindi per comprenderne gli andamenti in relazione anche al differente idrodinamismo delle spiagge, gli individui sono stati suddivisi in classi di taglia dell'area della conchiglia (mm^2) con il metodo dei percentili, ottenendo così 10 classi, i cui limiti inferiori sono indicati nella leggenda in Fig.37.

Poiché graficamente il numero degli individui totali avrebbe potuto confondere la lettura degli istogrammi, data anche la differente scala da adottare, sono state riportate le percentuali di individui presenti in ciascuna classe di taglia e ciascun livello di marea. A causa dell'esigua quantità di esemplari di *L. mediterraneum* rinvenuti a Lido di Dante in ogni data (max: 5 in un campione) e a Cesenatico ai restanti tempi di campionamento, nella Fig. 36 sono riportati gli istogrammi a barre relativi solo alle spiagge di Cervia nei primi due tempi di campionamento e di Cesenatico nel primo tempo.

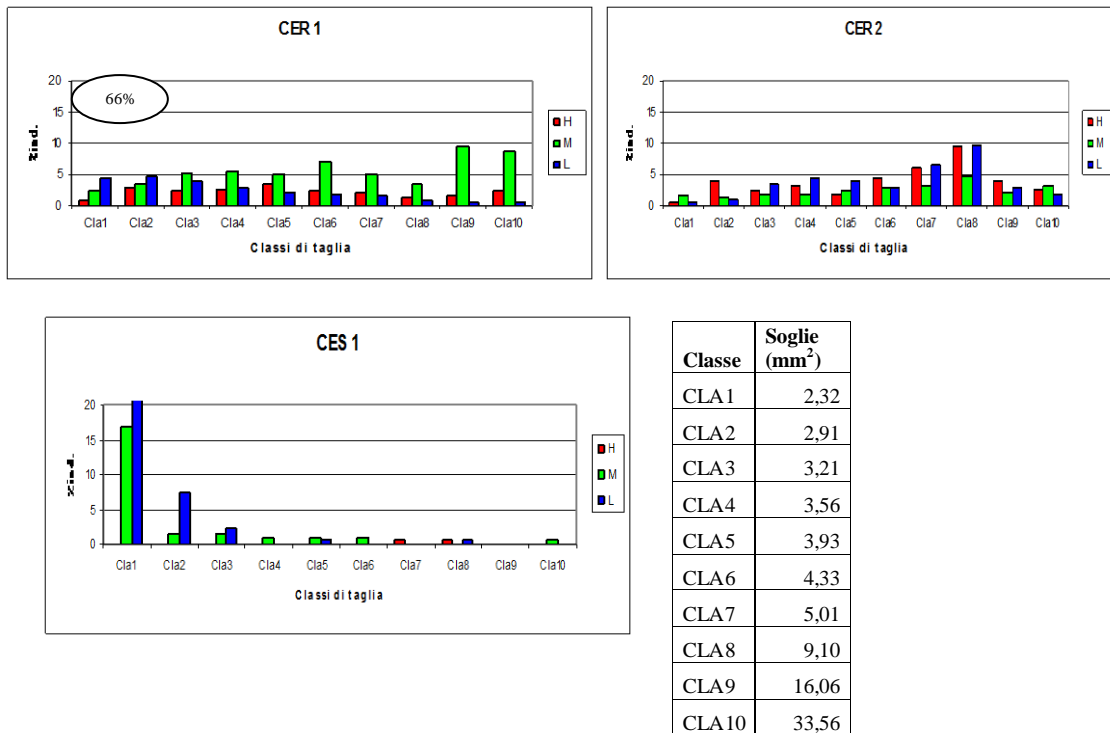


Figura 37 – Ripartizione per classi di taglia della frequenza percentuale media per transetti degli esemplari di *L. mediterraneum* rinvenuti ai 3 diversi livelli di marea rispettivamente a Cervia ai tempi 1 e 2 (Cer 1 e Cer 2) e a Cesenatico al tempo 1 (Ces 1); [H: alta marea, M: media marea, L: bassa marea]; nella colonna sono riportati i limiti inferiori di ciascuna classe di taglia.

Come si può notare nel sito di Cervia al tempo 1 al livello di bassa marea i valori più elevati di frequenza corrispondono alle prime 3 classi più piccole (individui con un'area compresa tra i 2,32 e i 3,56 mm²). Al contrario, il livello di media marea presenta i valori maggiori di frequenza per le classi 9 e 10 che comprendono gli organismi di dimensioni maggiori (individui con un'area compresa tra i 16,06 e > 33,56 mm²). Infine per il livello di alta marea i valori maggiori si registrano nelle classi 4 e 5 (aree comprese tra 3,56 e 4,33 mm²).

Sempre a Cervia, in cui il trend di distribuzione cambia al tempo 2 in Novembre, a ciascun livello di marea si osserva uno spostamento della moda verso le classi maggiori; ciò è probabilmente imputabile ad una omogenea e prevedibile maggior crescita degli individui durante l'estate.

Per quanto riguarda invece la spiaggia di Cesenatico si evidenzia una differente distribuzione che mostra le taglie maggiori presenti solo al livello di alta marea, anche se con una frequenza limitata, mentre la maggior parte degli organismi si suddivide nei livelli di media e bassa marea, concentrandosi nelle classi di taglia di più piccole dimensioni.

Probabilmente i piccoli esemplari giovanili sono gli unici in grado di scavalcare le strutture rigide presenti in questo sito, trasportati dalle onde di mareggiata.

4.5 Relazioni tra caratteristiche delle spiagge e abbondanze di *Lentidium mediterraneum*

Per cercare di indagare le relazioni tra le caratteristiche idrodinamiche delle differenti spiagge, e la distribuzione di *Lentidium mediterraneum* lungo la zona intertidale, sono stati costruiti dei diagrammi di dispersione utilizzando l'indice RCI (che misura il grado di riflessività della spiaggia), in relazione ad alcune variabili biotiche e abiotiche che in qualche modo potessero essere di rilievo nello spiegare l'abbondanza di *L. mediterraneum*. Indicativamente, per ciascun diagramma sono state calcolate le regressioni lineari e le equazioni corrispondenti.

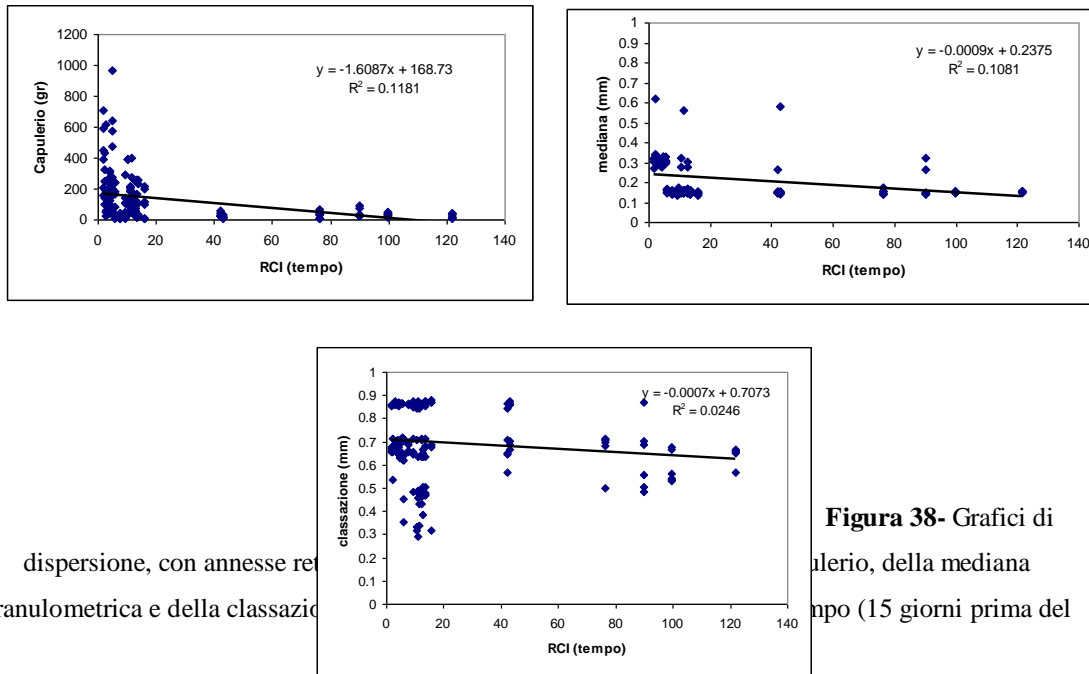
Dapprima sono state messe in relazione alcune delle variabili abiotiche indagate in questo studio, ovvero il capulerio, la mediana granulometrica e la classazione del sedimento, con i valori di RCI (*Reflectivity condition index*) a sua volta calcolato sui valori di esposizione dei 15 giorni precedenti il campionamento, impiegando il set completo di tutti i dati rilevati nelle campagne condotte nei tre siti.

Come si vede dalla Figura 38 i valori osservati per le variabili abiotiche sono tutti inversamente proporzionali ai valori di riflessività della spiaggia, con valori di R^2 rispettivamente di 0,1181 per il capulerio, 0,1081 per la mediana granulometrica e un trascurabile 0,0246 per la classazione.

Successivamente si è entrati nel dettaglio focalizzando l'attenzione sul *Lentidium mediterraneum*. Pertanto, sono state messe in relazione, per ogni livello di marea, il logaritmo della densità degli individui di *L. mediterraneum* in ciascun campione con i valori di RCI e con il peso del capulerio, per testare l'ipotesi di un trasporto passivo simile sia del microbivalve che del detrito conchigliare (Fig. 39,40,41).

In questo caso si osserva come, per tutti i livelli di marea, sia il capulerio che il *Lentidium mediterraneum* mostrano una correlazione inversa con i valori dell'indice di riflessività (Fig. 38), con valori di R^2 per il microbivalve, rispettivamente di 0,535, 0,533, e 0,147 a partire dal livello di alta fino a quello di bassa marea. Per quanto riguarda il capulerio (Fig. 39) l'andamento della correlazione è sempre inverso, ma i valori di R^2 appaiono più bassi: rispettivamente di 0,249, 0,142 e 0,132, sempre dall'alta alla bassa marea.

Ovviamente, la relazione tra il bivalve vivo ed il detrito conchigliare presenta una correlazione positiva che appare significativa solo per il livello di alta marea (Fig. 41), con un valore R^2 di 0,450, ma del tutto inesistente per gli altri due livelli di marea (R^2 $0,5 \times 10^{-2}$ per il livello di media marea e R^2 0,006 per il livello di bassa).



dispersione, con annesse re
granulometrica e della classazio

Figura 38- Grafici di
uliero, della mediana
mpo (15 giorni prima del

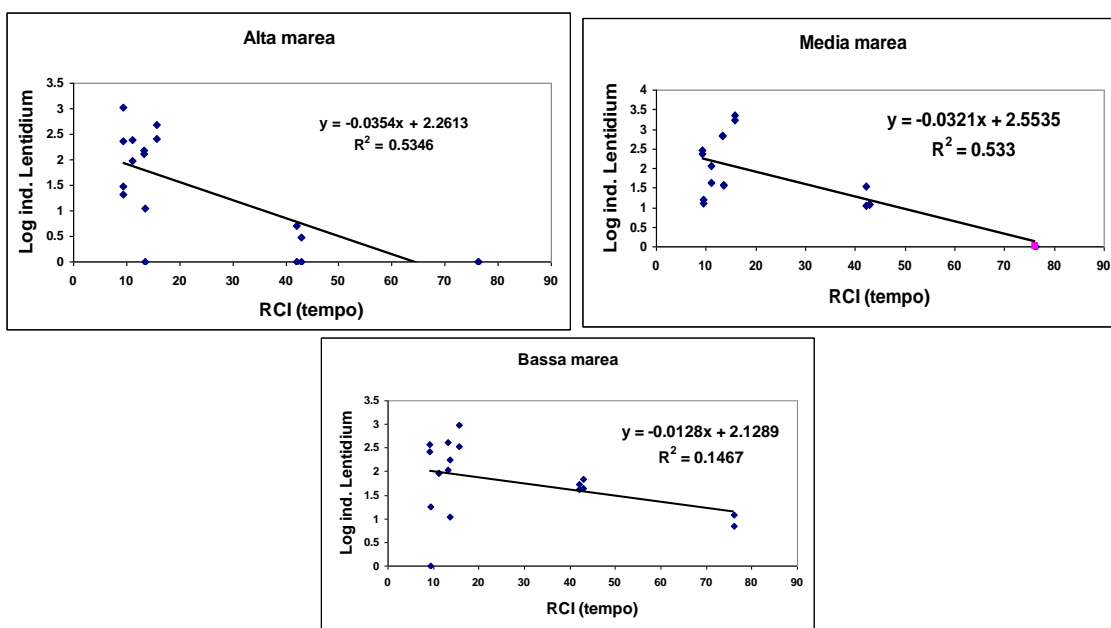


Figura 39 - Grafici di dispersione, con annesse linee di regressione, del logaritmo del numero di individui di *Lentidium mediterraneum* per campione con il valore di RCI al tempo di campionamento (15 giorni prima del campionamento). Dall'alto verso il basso si leggono rispettivamente i livelli di alta, media e bassa marea.

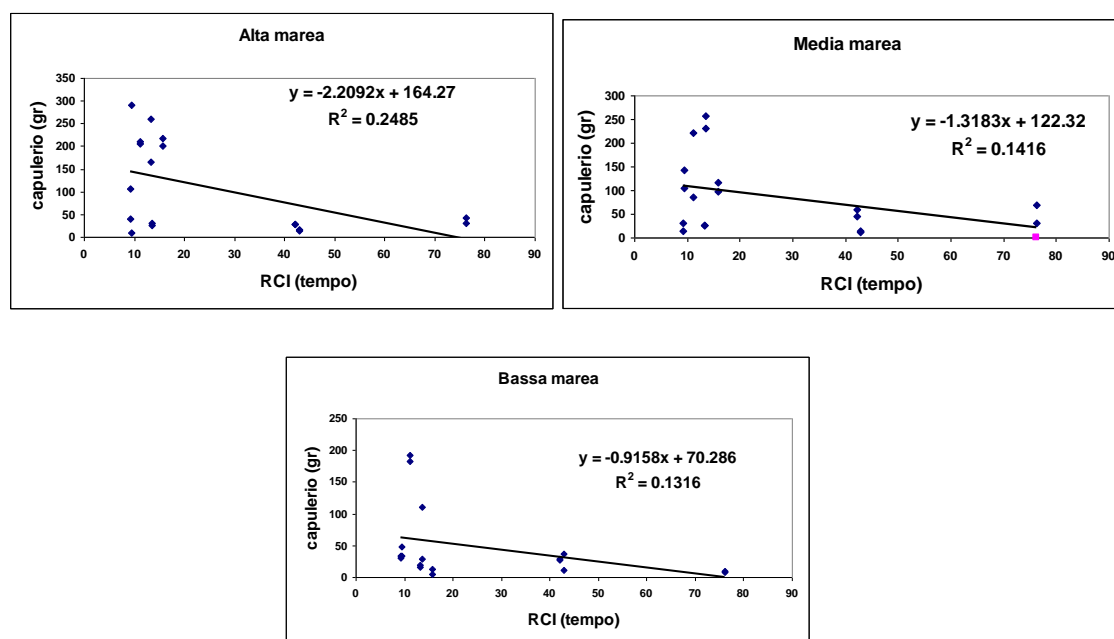


Figura 40- Grafici di dispersione, con annesse linee di regressione, del peso del capulerio per campione con il valore di RCI al tempo di campionamento (15 giorni prima del campionamento). Dall'alto verso il basso si leggono rispettivamente i livelli di alta, media e bassa marea

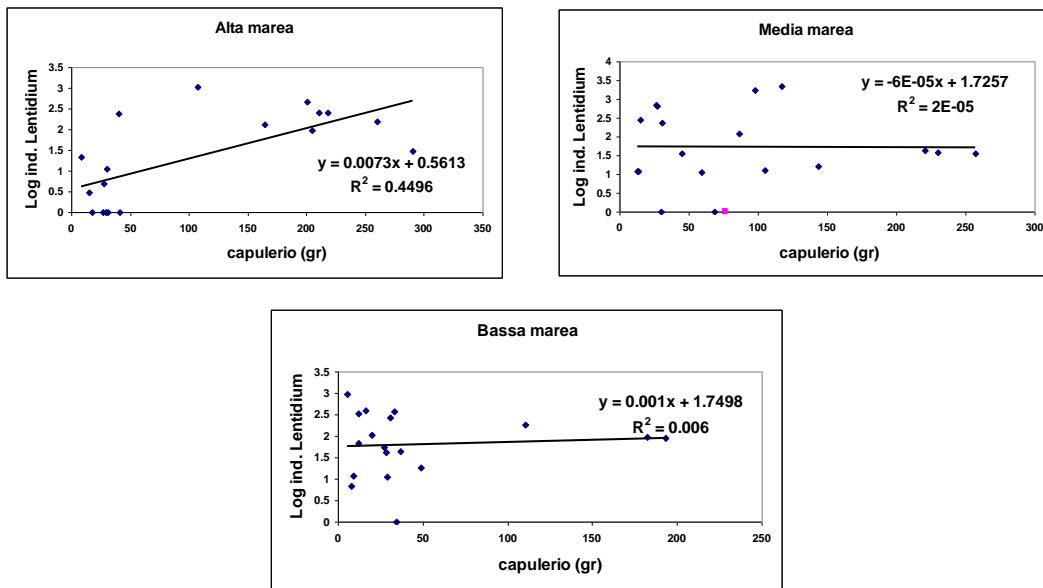


Figura 41- Grafici di dispersione, con annesse linee di regressione, del logaritmo del numero degli individui per campione con il peso del capulerio. Dall'alto verso il si leggono rispettivamente i livelli di alta, media e bassa marea

5 Discussione e conclusioni

Malgrado l'elevata variabilità spazio-temporale delle densità rinvenute, l'analisi della distribuzione del *Lentidium mediterraneum*, dei tre siti permette di trarre alcune considerazioni a sostegno dell'ipotesi per cui *L. mediterraneum* segue dinamiche di distribuzione particolari e diverse rispetto a quelle osservate per le restanti specie delle comunità macrobentoniche.

Per quanto riguarda il sito di Cervia, ovvero la spiaggia priva di barriere artificiali, ma con la presenza dell'attività del "bulldozing", si nota, nel complesso, come l'abbondanza di *Lentidium mediterraneum* sia maggiore rispetto a quella delle altre due spiagge. Ciò fa supporre che le condizioni morfo-idrodinamiche di questa spiaggia favoriscano il trasporto e la deposizione del *L. mediterraneum* prevalentemente secondo la modalità del flusso laminare (Fig. 12), che risulta prevalente in spiagge dissipative, come quella di Cervia, rispetto alla componente turbolenta. Questa spiaggia infatti, come evidenziano anche i dati relativi alle pendenze e al dinamismo, risulta essere la più dissipativa tra quelle indagate.

La distribuzione del *Lentidium mediterraneum* ai livelli di marea sembra causata da dinamiche di movimento differenti rispetto a quelle mostrate dai parametri della granulometria. Il *L. mediterraneum* va a posizionarsi con gradualità di taglia nella zona intertidale. Gli esemplari di dimensione minore si rinvencono prevalentemente al livello di bassa marea, mentre quelli di dimensione maggiore in alta marea, in quanto questi ultimi, a causa della superficie più ampia, acquistano più elevata velocità di trasporto in relazione alla maggior capacità di acquisire portanza.

Al contrario nella spiaggia di Lido di Dante (sito naturale rispetto agli altri due dove si trovano le forme artificiali di protezione della spiaggia) la rarità degli individui di *Lentidium mediterraneum* fa sì che le comunità intertidali siano caratterizzate da specie diverse con differenti ruoli ecologici. Infatti il confronto dei plot MDS effettuati sia con che senza *L. mediterraneum* non evidenzia praticamente differenze nei patterns di struttura delle comunità nei tempi e tra i livelli di marea (Fig. 29, Fig. 32).

L'insieme dei risultati dei parametri abiotici e morfodinamici ha messo in evidenza come Lido di Dante sia la spiaggia meno dissipativa tra le tre. Riguardo al trasporto il sito è caratterizzato da una sinergia di fattori in particolare in condizioni di mare calmo, la bassa

dissipatività crea un flusso laminare bidirezionale a somma zero per cui *L. Mediterraneum* rimane accumulato nel primo subtidale non riuscendo a depositarsi lungo l'intertidale. Solo a seguito di mareggiate, i pochi esemplari di grande dimensione di *Lentidium mediterraneum* si depositano lungo ed oltre la zona intertidale, sfruttando le proprie capacità di utilizzare i flussi di turbolenza secondo le modalità di movimento “irregolare” ed “ibrido” descritte nell'introduzione..

Studi pregressi (Bertasi *et. al.*, 2009) hanno mostrato proprio la massiccia presenza del *Lentidium mediterraneum* nella zona subtidale. Questa evidenza sembrerebbe confermare quanto sopra descritto a proposito della maggior riflessività della spiaggia di Lido di Dante e al movimento irregolare generato dalla turbolenza. Anche gli indici morfodinamici, del resto, caratterizzano Lido di Dante come una spiaggia riflessiva, o meglio meno dissipativa, rispetto agli altri due siti.

Altri studi sulle comunità bentoniche della zona intertidale hanno messo in evidenza come la granulometria influenzi la struttura delle loro comunità (Harriague A. C. *et. al.*, 2007), selezionando la presenza di specie tipiche di questi habitats, come quella del polichete *Saccocirrus papillocercus*. Questo anellide della famiglia dei Saccocirridae è presente soprattutto nella zona intertidale dove la granulometria risulta essere più grossolana. Non a caso questa specie è stata rinvenuta solo a Lido di Dante con densità discretamente elevate. Infine, Cesenatico, sito sottoposto ad elevata erosione e quindi protetto da barriere artificiali, è la spiaggia che presenta una condizione intermedia rispetto alle due già citate. Nell'habitat intertidale di questa spiaggia la distribuzione di taglia degli individui di *Lentidium mediterraneum* è risultata differente rispetto a quanto descritto per gli altri due siti. Prevalgono gli esemplari di piccole dimensioni (1000 <> 500 µm) accumulati prevalentemente ai livelli di bassa e media marea. Ciò conferma la morfologia intermedia della spiaggia che determina una predominanza del trasporto di tipo ibrido.

Dal complesso dei risultati ottenuti nei tre siti di campionamento si rileva come le comunità degli ambienti intertidali dell'Alto Adriatico abbiano strutture differenti in funzione della presenza più o meno accentuata delle strutture artificiali e degli interventi di gestione. Risulta però come i pattern di distribuzione di taglia del *Lentidium mediterraneum* siano relativamente indipendenti e più direttamente collegati all'influsso dell'idrodinamismo costiero.

Per quanto riguarda, poi, l'effetto del “bulldozing”, questo sembra non influenzare tanto la struttura della comunità quanto l'abbondanza delle specie (si noti il crollo delle densità tra

tempo 1 e 2 in Cesenatico e Cervia Fig. 33), anche se al momento i dati disponibili non sono sufficienti ad affermare l'eventuale disturbo aggiuntivo alla presenza delle barriere dovuto alle pratiche di "bulldozing".

In definitiva, nonostante la ridotta presenza di esemplari di *Lentidium mediterraneum* nel complesso dei campioni prelevati, sembrano essere emerse ragionevoli evidenze di come la distribuzione di questa specie sia influenzata dall'idrodinamismo. Da ciò ne deriva la possibilità di utilizzare questa specie come *proxy* biologico per indagare l'effetto delle barriere, o altri impatti antropici, quindi nei cambiamenti dell'ecosistema intertidale.

Per ottenere maggiori informazioni sul ruolo del *Lentidium mediterraneum* sarebbe opportuno utilizzare per studi futuri una tipologia di campionamento *ad hoc* che tenga presente contemporaneamente sia la patchness di distribuzione della specie, in funzione dei pattern delle correnti sottocosta, che la dinamica di popolazione della specie.

6 Bibliografia

Airoldi L., Abbiati M., Beck M. W., Hawkins S. J., Johnson P. R., Martin D., Moschella P. S., Sundelof A., Thompson R. C. & Aberg P., (2005) *An ecological perspective on the deployment and design of lowcrested and other hard coastal defence structures*. Coastal engeneering **52**: 1073-1087

Anderson M. J., (2001 a) *A new method for non-parametric multivariate analysis of variance*. Austral Ecology **26**: 32-46

Anderson M. J., (2001 b) *Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **58**: 628-639.

ARPA REGIONE EMILIA-ROMAGNA (2007) *Stato del litorale emiliano romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione*.

Bertasi F., Colangelo M. A., Abbiati M., Ceccherelli V. U., (2007) *Effects on artificial protection structure on the sandy shore macrofaunal community: the special case of Lidi di Dante (Northern Adriatic Sea)*. Hydrobiologia, **586**: 277-290

Bertasi F., Col angelo M. A., Colosio F., Gregorio G., Abbiati M., Ceccherelli V. U., (2009) *Comparing efficacy of different taxonomic resolutions and surrogates in detecting changes in soft bottom assemblages due to coastal defence structures* Marine Pollution Bulletin, **58**: 686-694.

Bini A., (2011) *Analisi di alcune variabili di sedimenti intertidali di spiagge esposte a differenti interventi antropici*. Università di Bologna, laurea triennale in Scienze Ambientali.

Bird ECF (2000), *Coastal geomorphology-An introduction*. John Wiley & Sons, Chicester

Brown A. C., McLachlan A. (1990), *Ecology of Sandy Shores*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam

Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P., Van Den Belt M. (1997), *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature* **387**, 253-260

Clarke K. R., (1993) *Non-parametric multivariate analysis of changes in a community structure*. *Australian Journal of Ecology* **18**: 117-143

Clarke K. R., Ainsworth M., (1993) *A method of linking multivariate community structure to environmental variables*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **92**: 205-219

Clarke K. R., Warwick R. M., (1994) *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, Plymouth Marine Laboratory, UK

Dexter D. M. (1992) *Sandy beaches community structure: the role of exposure and latitude*. *Journal of Biogeography* **19**: 59-99

Defoe O., McLachlan A., Schoeman D. S., Schlacher T. A., Dugan J., Jones A., Lastra M., Scarpini F. (2009), *Threats to sandy beach ecosystem: A review*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **81**, 1-12

Ellis J. L., Norkko A., Trush 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

Fonseca M. S., Julius B. E., Kenworthy W. J., (1998) *Integrating biology and economics in seagrasses restoration: How is enough and why?* NOAA Conf. on goal setting and success Criteria for Coastal Habitat Restoration. Charleston, SC.

Gomoiu M. T., (1965) *Sur la dynamique du mollusque Aloidis (Corbulomya) maeotica mil. Dans le secteur roumain de la Mer Noire*. Rapp. Pròces-Verb. C.I.E.S.M., **18**: 143-148

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

Grey J. S., & Elliot M. (2009) *Ecology of Marine Sediments. From Science to Management*. Oxford University Press Inc., New York

Harriague A. C., Albertelli G. (2007) *Environmental factors controlling macrofaunal assemblages on six microtidal beaches of the Ligurian Sea (NW Mediterranean)*. Estuarine, Coastal and Shelf Science **73**: 8-16

Heater L. Hunt., (2004) *Transport of juvenile clams: effects of species and sediment grain size*. Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University, New Brunswick, NJ.

Hedgpeth J. W. (1957) *Sandy Beaches*. Geological Society of America. Memoir 67 (1) 587-608

IDROSER (1996) in “*Progetto di piano per la difesa dal mare la riqualificazione ambientale del litorale della regione Emilia-Romagna. Relazione generale.*” Regione Emilia-Romagna, Bologna.

Little C. (2000) *The Biology of Soft Shores and Estuaries*. Oxford University Press Inc., New York.

Mann KH (2000), *Ecology of coastal waters*. Blackwell Science, Inc., Massachusetts.

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

McIntyre AD (1997), *Sandy foreshores*. In: Barnes RSK (ed) *The coastline*. John Wiley & Sons, London, pp 31-47.

McLachlan A. (1983) *Sandy beach ecology: A review*. In: McLachlan A., Erasmus T. (ed) *Sandy beaches as ecosystem*

McLachlan A., De Ruyck A. M. C., Hacking N. (1996) *Community structure on sandy beaches: patterns of richness and zonation in relation to tide range and latitude*. *Revista Chilena de Historia Natural* **69**, 451-467.

McLachlan A., Jaramillo E., Donn T. E., Wessels F. (1993) *Sandy beach macrofauna communities and their control by the physical environment: a geographical comparison*. *Journal of Coastal Research* **15**, 27-38

McLachlan A. (1990) *Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands*. *Journal of Coastal Research* **6**, 57-71

Nordstrom K. F. (2000). *Beaches and Dunes on Developed Coasts*. Cambridge university Press, UK

Pearse A.S., Humm H. J., Wharton G. W., (1942) *Ecology of sandy beaches at Beaufort, North Carolina*. *Ecol. Monogr.* **12**: 135-190.

Roberts C. M., Hawkins J. P. (1999), *Extinction risk in the sea*. *Trends in Ecology and Evolution* **14**, 241-246.

Short A. D. (1999) *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Chichester.

RINGRAZIAMENTI

Giunto al termine del percorso di studi, non mi resta che cercare in qualche modo di dare il giusto merito a chi, con le sue attenzioni o semplicemente con la sua presenza, ha contribuito a donarmi la tranquillità e la serenità per ottenere tale risultato.

Certamente le parole che verranno spese in questa parte non saranno sufficienti, e probabilmente qualcuno potrà essere dimenticato e quindi non citato, pertanto non dispiacetevi, vi chiedo scusa, e anzi ringrazio per primi voi. Cosa ci si aspetta dalla parte dei ringraziamenti francamente non lo so, posso solo dire che sarebbe scontato fare un elenco dettagliato e in ordine alfabetico di tutte le persone incontrate, conosciute o distrattamente dimenticate.

Perciò inizierò da ciò che ho appreso in questi due anni, l'elenco lo lascio per la conclusione.

L'aspettativa di un corso di laurea che mi desse tutte le basi per entrare nel mondo del lavoro? Non credo: il lavoro si trova, basta cercare e sapersi adattare.

Sicuramente ho ritrovato un interesse per la ricerca che forse si era assopito nel corso degli anni, la curiosità nel partecipare a un progetto, l'entusiasmo.

Ecco cosa mi ha dato questo corso di laurea: l'entusiasmo!

E questo entusiasmo si è accompagnato all'incontro con una persona importante e a successi sportivi. Alla fine di un ciclo si fa il resoconto, e posso dire tutto sommato che è stata un'esperienza positiva.

Due anni in cui ho trovato Sara che mi è stata vicina, sempre e comunque, anche nei momenti di massima difficoltà. "Luce" come direbbe il Manzoni.

Ringrazio poi la mia famiglia, e Giannetto per avermi sostenuto anche nei passati momenti di difficoltà.

Devo assolutamente ringraziare coloro che mi hanno indirizzato e hanno stimolato in me l'entusiasmo tanto osannato, ovvero la professoressa Marina Colangelo, il professor Victor Ugo Ceccherelli, i dottori Fabio "Fabione" Bozzeda e Fabio "Fabetto" Bertasi, e la sgangherata compagnia di collaboratori che hanno riempito le giornate di duro lavoro: la "Masuccio", Eli, Ale, la "Crucca", e gli ultimi arrivati Orilla e Giada.

Grazie anche a tutti voi colleghi per avermi sopportato per due lunghissimi anni con le mie "stravaganze" (Kiwi, Ali, Cla; Lisa; Fra, Lu, Leo, Concy, Cate & Auro).

Un ringraziamento è poi dovuto anche a coloro che hanno condiviso con me questo percorso, ovvero quei pazzoidi dei miei “fratelli-compagni di squadra” Stefano, Pietro, Girolamo, Simone, Mattia, e per ultimo Mike.

Grazie a tutti!!!