



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

**FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E
NATURALI.**

CORSO DI LAUREA IN BIOECOLOGIA APPLICATA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA ANIMALE ED ECOLOGIA

Direttore: Prof. Angelo Cau

**APPLICAZIONE GEOSTATISTICA SULLA
DISTRIBUZIONE SPAZIALE DI *Paracentrotus
lividus* (Lamarck, 1816) IN UN'AREA DELLA COSTA
OCCIDENTALE DELLA SARDEGNA.**

Relatori:

Dott. *Addis Piero*

Prof. *Angelo Cau*

Tesi di Laurea

Valeria Andreotti

ANNO ACCADEMICO 2008-2009

<i>INTRODUZIONE</i>	3
<i>BIOLOGIA DI Paracentrotus lividus</i>	6
Distribuzione	7
Morfologia	7
Alimentazione	9
Riproduzione Sessuale	10
Ciclo Riproduttivo	12
<i>MATERIALI E METODI</i>	14
Area di Studio e Campionamento	14
Analisi Spaziale	16
<i>RISULTATI</i>	24
Analisi Esplorativa Dei Dati	24
Analisi Spaziale	28
<i>CONCLUSIONI</i>	36
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	40

INTRODUZIONE

Il riccio di mare *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) riveste un importante ruolo ecologico e nel contempo rappresenta un'importante risorsa economica della fascia costiera.

Questa specie, diffusa in tutto il Mediterraneo, può modificare complesse comunità algali della fascia infralitorale riducendone la complessità e la diversità (Hereu *et al.*, 2004). Rappresenta una specie chiave (*Key-species*) per l'ecologia delle macroalghe, in quanto grazie alla sua attività di grazing ne controlla la dinamica e la struttura (Privitera *et al.*, 2008). L'alta densità di *P. lividus* è una delle ragioni di depauperamento del substrato a causa di una sua non selettiva attività di grazing (Lawrence, 1975; Verlaque, 1987; Fanelli *et al.*, 1994).

La distribuzione e la densità di questa specie sono estremamente variabili nello spazio e nel tempo, a causa di molti fattori fisici e biologici come ad esempio l'eterogeneità degli habitat, moto ondoso, pendenza del fondale, la luce, alimentazione, mortalità, predazione, sopravvivenza larvale (Guidetti *et al.*, 2003).

Il crescente interesse per questa specie è dovuto anche all'elevato valore economico, in particolare in Sardegna. Nell'isola infatti negli ultimi decenni si è riscontrata una notevole crescita nel settore della pesca di questo echinoderma, dovuta prevalentemente a due cause concomitanti: una forte richiesta da parte del catering turistico e un aumento del numero di pescatori autorizzati ed abusivi che ripiegano su questa pesca in assenza di altri sbocchi occupazionali.

Nonostante l'incremento dello sforzo di pesca i regolamenti sono rimasti relativamente invariati, causando in tal modo i primi segni di sovrasfruttamento (Addis

et al., 2009; Pais *et al.*, 2007) e la diminuzione delle taglie commerciali (Cau *et al.*, unpublished data, 2007).

Le popolazioni di *P. lividus* tendono ad essere organizzate in habitat ben determinati sia sulle praterie di posidonia sia su fondi duri associati ad alghe fotofile. Di conseguenza la sua presenza in strati batimetrici poco profondi fa sì che sia facilmente raggiungibile non solo dai pescatori professionisti, ma anche dai pescatori sportivi.

La crescita di questo echinoderma inoltre è alquanto lenta, con una durata massima di vita di 10-12 anni e con un raggiungimento della taglia commerciale in un arco di 4-5 anni (Boudouresque e Verlaque, 2001) creando così un'ulteriore causa di sovrasfruttamento della specie, in quanto porta i pescatori a pescare gli individui di taglie inferiori provocando, di conseguenza, un rapido declino della risorsa.

Per questi motivi, la pesca del riccio è molto remunerativa nei primi 5-10 anni, ma per i fattori precedentemente esposti tende a diminuire progressivamente negli anni successivi (Allain, 1971; Le Gall, 1990; Campbell e Harbo, 1991).

La distribuzione spaziale delle popolazioni di *P. lividus* non è casuale ma tende ad essere organizzata in habitat specifici (Boudouresque e Verlaque, 2001), fatto ben noto ai pescatori professionisti, che muovendosi verso le aree con elevata densità di individui ne causano una drastica riduzione in breve tempo (Campbell *et al.*, 1998; Orensanz *et al.*, 1998; Prince e Hilborn, 1998).

La progressiva diminuzione degli individui di taglia adulta (secondo i limiti di legge $\geq 50\text{mm}$) comporta conseguentemente una rimozione delle classi immediatamente inferiori al limite di legge, andando quindi ad incidere sulle classi al limite della prima riproduzione.

Lo studio della distribuzione spaziale ha un ruolo fondamentale per l'ecologia del *P. lividus* e per la comprensione dei rapporti tra questa specie e l'ambiente. Uno strumento molto utile per studiare la modellizzazione spaziale è la Geostatistica, un ramo della statistica classica che si occupa della georeferenziazione dei dati ambientali.

Tramite queste tecniche è possibile studiare fenomeni naturali, tenendo conto della dipendenza spaziale tra le osservazioni, e di poter fare delle previsioni alquanto precise anche in punti dove tali osservazioni non sono state effettuate. Le applicazioni nel campo della pesca sono differenti, vanno dalla stima delle abbondanze, alla pianificazione e gestione delle risorse (Castilla e DeFeo, 2001), riducendo così i rischi di sovrasfruttamento (Orensanz *et al.*, 1998) e quantificando le relazioni tra le variabili abiotiche e la distribuzione delle specie. Inoltre le tecniche di geostatistica permettono di ottimizzare l'efficienza del campionamento, la fase più dispendiosa sia in termini di tempo che di costi, massimizzando il grado di informazione con un numero relativamente ristretto di campioni (Petitgas, 1993; Defeo e Rueda, 2002; Ciotoli e Finoia, 2005).

Viste le premesse, l'obiettivo di questa tesi è studiare la distribuzione spaziale di *P. lividus* considerando la sua struttura demografica in un'area della Sardegna occidentale applicando le tecniche di Geostatistica.

BIOLOGIA DI *Paracentrotus lividus*



Figura 1: Esemplare di *P. lividus*

Classificazione scientifica

<u>Regno:</u>	<u>Animalia</u>
<u>Phylum:</u>	<u>Echinodermata</u>
<u>Classe:</u>	<u>Echinoidea</u>
<u>Sottoclasse:</u>	<u>Regularia</u>
<u>Ordine:</u>	<u>Diadematoida</u>
<u>Famiglia:</u>	<u>Echinidae</u>
<u>Genere:</u>	<u><i>Paracentrotus</i></u>
<u>Specie:</u>	<u><i>Paracentrotus lividus</i> LAMARCK , 1816</u>

Distribuzione

Il *P. lividus* è molto comune in tutto il Mediterraneo e nell'Atlantico nord-orientale, dall'Irlanda alla Scozia fino al Marocco, alle Canarie, a Madeira e alle Azzorre (Boudouresque and Verlaque, 2001). È particolarmente diffuso in regioni in cui in inverno la temperatura dell'acqua è compresa tra i 10 e i 15°C, e in estate tra i 18 e i 25°C. Si riscontra dalla superficie fino a 80 m di profondità (prevalentemente tra i -10 e i -15 m). È specie tipicamente infralitorale, presente principalmente su fondi rocciosi, ricoperti da alghe fotofile, fondi sabbiosi-detritici e su praterie di *Posidonia oceanica* e *Zoostera marina*.

È poco amante della luce e si ritrova in anfratti, sotto le pietre o in buche nella roccia. È più attivo nelle ore notturne.

Morfologia

Il *P.lividus* comunemente detto riccio di mare, è tra gli Echinoidei cosiddetti regolari, ha una forma globosa o ovoidale, il corpo ricoperto da spine robuste, che ricoprono un endoscheletro costituito da piastre calcaree. Oltre alle spine si notano sulla superficie esterna cinque doppie file di pedicelli, che si estendono dalla regione orale a quella apicale in perfetta **simmetria pentaradiata**. I pedicelli delimitano così cinque aree ambulacrali fra le quali si trovano le cinque aree interambulacrali, di solito più ampie di quelle ambulacrali. Sia le spine sia i pedicelli vengono usati dall'animale per la locomozione.

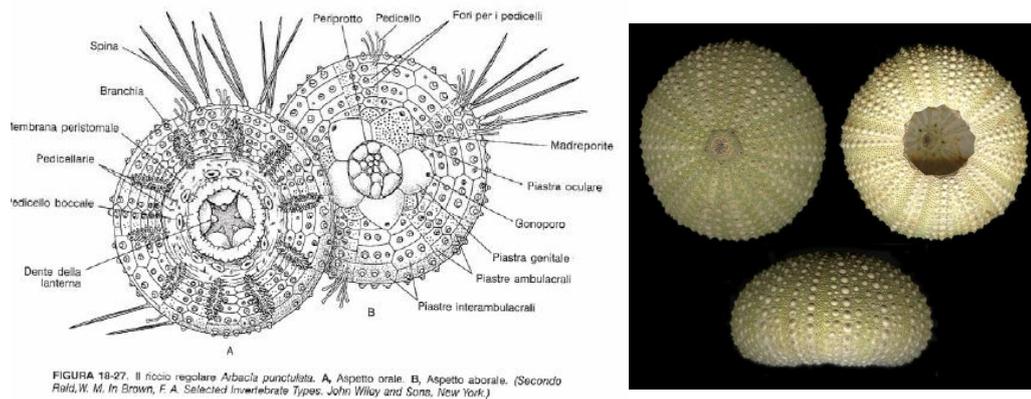


Figura 2: Aspetto orale e aborale di un riccio di mare

Al centro della superficie orale si trova la bocca, circondata da un'area membranosa, il peristoma, che porta in prossimità dell'apertura boccale cinque paia di pedicelli corti, di solito privi di ventosa, e disposti a circolo, probabilmente di natura chemiorecettiva, che sono detti pedicelli buccali o tentacoli orali. Anche al polo aborale vi è un'area membranosa, il periprocto, in cui è presente l'apertura anale.

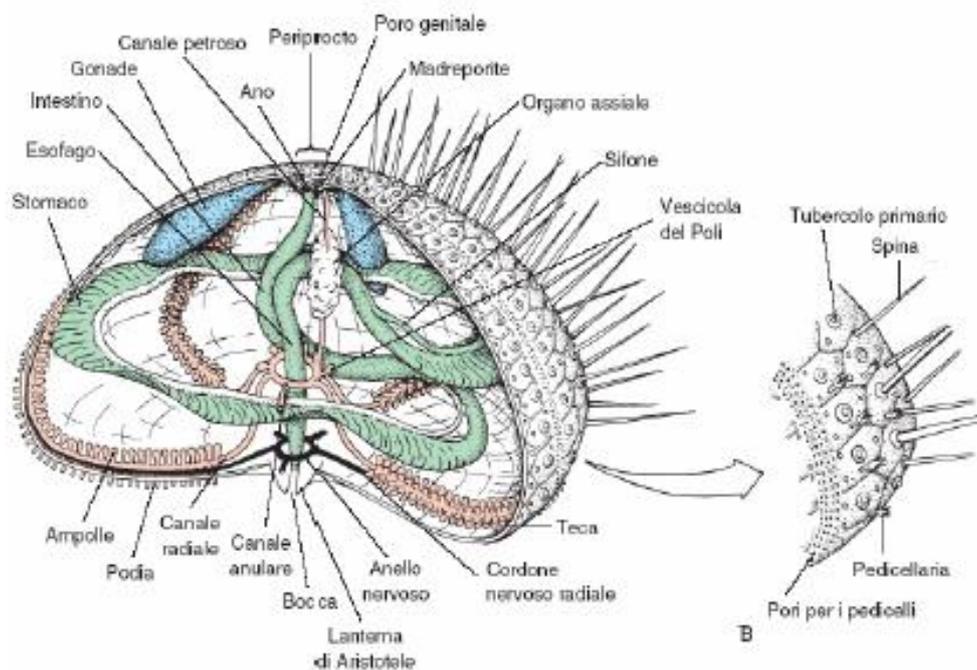


Figura 3: Anatomia di un riccio di mare

Alimentazione

L'apparato digerente del riccio di mare è costituito da bocca, faringe, esofago, stomaco, intestino e ano.

L'apparato masticatore, detto anche Lanterna di Aristotele, è un insieme di pezzi calcarei e di muscoli che circondano l'esofago. Ha una forma conica, con l'apice formato da cinque denti, sostenuti dalle piramidi. I movimenti della lanterna sono regolati da un complesso sistema di muscoli. I più importanti sono i muscoli protrattori della lanterna.

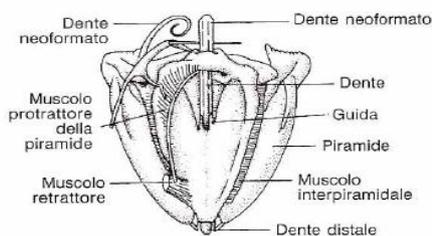


FIGURA 18-37. Aspetto laterale della lanterna di Aristotele di *Sphaerechinus granularis*. (Da De Ridder, C., and Lawrence, J. M. 1982. *Food and feeding mechanisms: Echinoidea*. In Jangoux, M., and Lawrence, J. M. (Eds.): 1982. *Echinoderm Nutrition*. A. A. Balkema. Rotterdam. p.81.)

Figura 4: Lanterna di Aristotele

Un tubo semplice e distinto, costituito da faringe, esofago e intestino inizia alla base della lanterna di Aristotele per terminare poi, dopo essersi ripiegato più volte a livello dell'ano. Nello stomaco sono presenti cellule esocrine atte alla produzione e alla secrezione di enzimi ed inoltre possiede numerosi enterociti, di norma ben sviluppati. Tutti i ricci di mare ingeriscono il cibo con il muco, formando delle pallottole che rimangono intatte fino alla defecazione (De Ridder e Jangoux, 1982).

Si nutre soprattutto di alghe fotofile e di *Posidonia oceanica* della quale consuma tutte le parti, in particolare quelle più ricche di epifiti, non disdegna però altre fonti di nutrimento, come ad esempio i poriferi.

Sono state studiate delle relazioni tra il *P. lividus* e le alghe. Questo riccio ha comportamenti alimentari diversi a seconda del luogo in cui transita o si trova. Per esempio, nelle zone dove la presenza di macrofite è bassa, il *P. lividus* si comporta come un “raccoltore generalizzato”, mentre si specializza man mano che la diversità algale aumenta.

L’attività alimentare può causare la rimozione totale di letti di alghe, evitando il sopravvento di specie favorite dal punto di vista biologico nella competizione per lo spazio, e può creare zone nude che possono essere colonizzate da organismi incrostanti o sessili, favorendo una maggiore articolazione dei popolamenti bentonici di fondi duri in generale (Boudouresque e Verlaque, 2001).

Riproduzione Sessuale

In *P. lividus* i sessi sono separati, anche se sono stati osservati casi di ermafroditismo (Boudouresque e Verlaque, 2001). La riproduzione prevede la fecondazione esterna, con la liberazione in acqua dei gameti (McEdward e Benjamin, 2001); cellule uovo e spermatozoi possono sopravvivere 24 ore o poco più, almeno in condizioni sperimentali, e la probabilità che avvenga fecondazione diminuisce drasticamente dopo le prime ore di vita.



Figura 5: Gonadi di *P. lividus*

L'apparato riproduttore consiste di 5 gonadi, unite da filamenti mesenterici alla superficie interna delle aree interambulacrali. Quando sono mature appaiono lobulate e voluminose e si estendono dal polo aborale fin quasi alla lanterna. All'estremità aborale ciascuna gonade si assottiglia fino a dare origine a un corto gonodotto che sbocca all'esterno attraverso il gonoporo delle piastre genitali.

Le gonadi del riccio di mare crescono in grandezza non solo perché la gametogenesi incrementa la taglia e/o il numero delle cellule germinali ma anche perché alcune delle cellule somatiche chiamate fagociti nutritivi, fungono da riserva prima che inizi la gametogenesi.

La maturazione delle gonadi sembra essere indotta da un fotoperiodo minore di 12 ore; per il Mediterraneo è stata rilevata la presenza di uno o due picchi di maturazione delle gonadi a seconda delle località geografiche analizzate, ma non è chiaro se alla maturazione segua un'effettiva liberazione dei gameti o se, ancora più importante, le larve originate riescano ad insediarsi e svilupparsi correttamente.

La maturazione delle gonadi è indipendente dalla temperatura dell'acqua, la liberazione in massa dei gameti, invece, sarebbe innescata solo in seguito ad una soglia minima di temperatura (Walker *et al.*, 2001).

Ciclo Riproduttivo

Il ciclo riproduttivo di *P. lividus* ha uno o due picchi stagionali che possono differire tra le diverse località. (Ciotoli e Finoia, 2005). Durante le varie fasi del ciclo riproduttivo annuale, le gonadi di entrambi i sessi del riccio di mare passano attraverso una serie di cambiamenti strutturali. Questi cambiamenti possono essere classificati in base all'attività di due popolazioni cellulari che compongono l'epitelio germinale. Queste popolazioni cellulari sono:

- cellule germinali;
- cellule somatiche chiamati fagociti nutritivi.

È molto importante notare che la taglia delle gonadi non interessa solamente il processo di gametogenesi (Walker *et al.*, 2001).

La larva, è un echinopluteo liberamente natante e planctontrofico, può vivere da 20 fino a 40 giorni prima di fissarsi al substrato e compiere la metamorfosi che infine comporta il passaggio da simmetria bilaterale a pentamera e l'assunzione dell'aspetto "adulto" (McEdward e Benjamin, 2001). La maturità sessuale sembra essere raggiunta intorno al terzo dei presunti nove anni di vita (Boudouresque e Verlaque, 2001).

Gli echinoplutei si ritrovano nel plancton durante tutto l'arco dell'anno, studi condotti sull'insediamento hanno rilevato uno o due picchi, il primo in primavera, e il secondo se presente in autunno (Fenaux, 1968; Fenaux e Pedrotti, 1988; Pedrotti e Fenaux, 1992; Pedrotti, 1993).

In Sardegna il periodo riproduttivo pare che avvenga durante tutto l'anno, in modo minore nel periodo autunnale, questo fatto non è, però generalizzabile in quanto si è osservato che in località abbastanza vicine esistono delle differenze per quanto riguarda lo spawning.

MATERIALI E METODI

Area di Studio e Campionamento

I campionamenti si sono svolti nell'autunno 2007, nella zona di Porto Palma, lungo la costa ovest della Sardegna. La zona campionata ha un'area di 3840209 m².



Figura 6: Zona campionata.

Per il campionamento si è utilizzata la tecnica del transetto lineare proposta da Le Direac'h (1987). Per ogni stazione sono stati condotti dei transetti di 10 m² replicati tre volte per ogni sito. Per ogni transetto sono stati eseguiti 10 lanci random con un quadrato in alluminio (1m x 1m), dove venivano prelevati tutti i ricci presenti. Sono stati indagati tre range batimetrici (0-3 m, 3-6 m, 6-9 m) per ogni sito.

L'entrata in acqua avveniva partendo da terra e i siti sono stati scelti oltre a criteri quali la presenza di popolazioni ben strutturate di *P. lividus* anche per motivi logistici come la facilità di accesso al mare.

Il campionamento si è svolto in immersione da due operatori; il primo operatore utilizzava il quadrato in alluminio rimuovendo i ricci, il secondo manteneva la cesta e contava i ricci raccolti e li annotava in una scheda per la lettura ottica.

Prima d'ogni transetto veniva preso il punto GPS (coordinate UTM), strumento che veniva posizionato in superficie su una zattera impermeabile.

In questo modo sono stati ottenuti i valori di densità per ogni quadrato (n° ricci/m²), i quali sono poi stati mediati per ottenere i valori di densità per transetto utilizzati in questa analisi.

I dati sono stati raccolti in apposite schede in PVC opportunamente sviluppate per la lettura ottica, in modo da permettere una riduzione dei tempi nella creazione dei database e di eventuali errori di input.

Analisi Spaziale

La Geostatistica studia i fenomeni naturali che si sviluppano su base spaziale a partire dalle informazioni derivanti da un loro campionamento.

In particolare studia la variabilità spaziale dei parametri che descrivono i suddetti fenomeni estraendone le regole in un quadro modellistico di riferimento e usandole per effettuare le operazioni volte a dare soluzione a specifiche problematiche riguardanti la caratterizzazione e la stima dei fenomeni stessi.

La maggior parte dei metodi statistici permette soltanto di avere una visione qualitativa dei fenomeni naturali, non utilizzando ad esempio le informazioni spaziali che costituiscono la caratteristica dei dati ambientali.

Il maggior contributo fornito dalla Geostatistica, rispetto alla Statistica Classica, è stato quello di implementare tecniche opportune per studiare fenomeni naturali in cui bisogna tener conto della dipendenza spaziale tra le osservazioni. È utilizzata inoltre per migliorare l'efficienza della strategia di campionamento, poiché questo costituisce la fase più dispendiosa per tempo e costi, l'obiettivo principale quindi è quello di ottenere la massima informazione con il minimo numero di campioni.

Lo studio Geostatistico si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- Descrizione del fenomeno oggetto di studio: Analisi Esplorativa dei Dati (calcolo della media, deviazione standard, errore, istogrammi di frequenza, box-plots, classed-post map).
- Stima di una misura opportuna (di solito il semivariogramma) per identificare la correlazione spaziale tra le osservazioni.
- Ricerca di un modello teorico che descriva la correlazione spaziale.

- Stima della variabile spaziale in punti non campionati (cioè dove il valore della variabile non è noto) mediante un metodo di interpolazione stocastica (Kriging) con una stima dell'errore associato al valore stimato.
- Elaborazione di mappe che visualizzano il comportamento della variabile nell'intero dominio di studio.

La Geostatistica non crea nuovi dati, ma rappresenta semplicemente un insieme di tecniche per analizzare le informazioni di tipo spaziale: perciò i risultati di uno studio Geostatistico saranno tanto più conformi alla realtà quanto più i dati rappresenteranno un'immagine fedele della realtà stessa.

Al fine di ottenere una formulazione corretta sul fenomeno spaziale ed eliminare ogni qualsiasi causa di errore sistematico, è opportuno eseguire uno studio approfondito sui dati disponibili. Tale fase viene detta Analisi Esplorativa dei Dati (EDA) o meglio Analisi Esplorativa Spaziale dei Dati (ESDA). Permette di esaminare i dati a nostra disposizione con tecniche differenti prima di creare una mappa. In particolare consente di approfondire la conoscenza del fenomeno indagato mediante la semplice indagine sulla distribuzione statistica (ricerca degli outliers) e spaziale dei dati (ricerca di un trend, della autocorrelazione spaziale, ecc.).

Le procedure più comunemente utilizzate nella Geostatistica non richiedono una completa definizione statistico-matematica dei processi casuali ma è sufficiente specificarne solo alcuni parametri fondamentali quali la media e la varianza.

L'idea base della Geostatistica è infatti proprio quella di ipotizzare una relazione tra valori situati a differenti distanze tra loro, questa situazione è definita autocorrelazione. Questo significa che valori campionati in luoghi vicini tra loro, tendono ad avere comportamenti simili, mentre valori di una stessa variabile misurati in

campioni raccolti in luoghi lontani tra di loro tendono ad avere comportamenti differenti, o almeno tendono a differire dai valori medi che si riscontrano nei due luoghi stessi. In tal senso, la correlazione fra i valori della variabile tende a diminuire con l'aumentare della distanza.

Ogni punto rappresenta quindi un campione di una semplice distribuzione, ma questa in ogni punto sarà differente da quelle degli altri punti nella forma, media e varianza.

Osservando un qualsiasi fenomeno naturale si può notare come esso sia spesso caratterizzato dalla distribuzione nello spazio di una o più variabili, dette variabili regionalizzate (VR). Così, ad ogni punto x_0 , una proprietà, $Z(x_0)$, è trattata come una variabile casuale, generalmente continua e non discreta, con una media (μ), una varianza (σ^2), momenti d'ordine più alto ed una funzione di probabilità di densità cumulativa. Questa variabile ha quindi una distribuzione di probabilità da cui viene estratto il valore reale. Z può considerarsi come una variabile regionalizzata il cui valore è fortemente condizionato dalla posizione spaziale. Detta $Z(x)$ la variabile regionalizzata nella posizione x , potremmo scrivere:

$$Z(x) = a + R(x)$$

in cui a è la componente aleatoria e $R(x)$ la componente regionalizzata. Quando a è dominante rispetto a $R(x)$ si studia la variabile con i metodi classici della Statistica. In caso contrario si ricade nel campo della Geostatistica.

Dopo aver svolto l'analisi esplorativa dei dati, si è passati alla stima di una misura opportuna per identificare la correlazione spaziale tra le osservazioni attraverso la costruzione del semivariogramma sperimentale. Il semivariogramma è un algoritmo geostatistico che viene impiegato per valutare l'autocorrelazione spaziale di dati

osservati in punti georeferenziati. È utilizzato per quantificare la similarità fra campioni. Le condizioni essenziali per la costruzione dei semivariogrammi sono:

- I campioni devono appartenere ad una zona omogenea, per esempio devono provenire da un'area avente caratteristiche geologiche, mineralogiche e strutturali uniformi;
- I campioni devono esser stati prelevati con le stesse tecniche (stesso peso, lunghezza, ecc.);
- Non deve essere presente una deriva, per esempio media e varianza non devono cambiare sistematicamente nell'area di indagine. Nel caso di assenza di deriva si dice che la variabile è stazionaria.

La funzione semivariogramma interpola la semivarianza dei valori osservati in gruppi di coppie di punti a determinate distanze (*lag*) secondo una certa direzione. La semivarianza è pari a:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2$$

in cui Z è il valore di una misura in un particolare punto, h è un intervallo di distanza tra punti di misurazione (*lag*) e $m(h)$ rappresenta il numero di coppie di osservazioni effettuate alla distanza h .

In un semivariogramma sperimentale gli assi sono distanze tra coppie di dati (asse x) e semivarianza (asse y). Il grafico ottenuto è formato da una serie di punti distinti, distanti tra loro un certo lag definito.

Una volta calcolato il semivariogramma si passa alla sua interpolazione che consiste nel trovare il modello matematico che meglio si adatta alla forma del

semivariogramma sperimentale. Le varie proprietà del semivariogramma sono l'effetto pepita, il range, la soglia ed il passo:

L'effetto pepita o nugget (C_0) indica la variabilità campionaria per distanze molto piccole, e solitamente C_0 non varia con la direzione. Il C_0 corrisponde all'intercetta sull'asse delle ordinate, indicata dalla retta che passa per i primi due o tre punti del semivariogramma sperimentale. Se la curva del semivariogramma sperimentale passa per l'origine degli assi non esiste errore di campionamento o di posizione. Quindi è meglio avere valori di C_0 molto bassi poiché significa che l'errore presente è molto contenuto, il valore non deve superare $1/3$ del valore di soglia (Ciotoli e Finoia, 2005).

Il range è la distanza oltre la quale i campioni diventano indipendenti l'uno dall'altro, esso è anche definito come "l'area di influenza" dei campioni, poiché è la distanza in tutte le direzioni alla quale i dati presentano una correlazione spaziale. Un range breve indica che le differenze tra le coppie di campioni sono osservabili lungo una breve distanza spaziale, viceversa per un range lungo. È indicato con la lettera a ed è sempre positivo; valori di range elevati indicano una buona correlazione spaziale dei campioni per grandi distanze.

La soglia o sill ($C + C_0$) corrisponde al valore massimo di semivarianza (esso approssima per eccesso la varianza campionaria);

Il Passo o lag è la distanza utilizzata per confrontare le differenze tra i campioni

Dopo aver calcolato il semivariogramma sperimentale e aver osservato come la continuità spaziale dei nostri dati possa variare con la distanza e la direzione, si passa alla modellizzazione del semivariogramma che consiste nello scegliere la curva che meglio approssima la serie discreta di punti.

La procedura d'adattamento dei modelli (fitting model) al semivariogramma è difficile per varie ragioni, spesso l'accuratezza delle semivarianze osservate non è costante ed il semivariogramma può contenere molte fluttuazioni punto a punto.

Per la modellizzazione del semivariogramma sperimentale si può scegliere tra differenti modelli, tra i più usati troviamo:

- il modello esponenziale
- il modello sferico
- il modello gaussiano
- il modello lineare

La scelta del modello migliore viene in genere fatta verso quel modello che mostra il miglior fit, considerando i valori del coefficiente di Pearson (r^2) che fornisce l'informazione sulla bontà del modello, e dovrebbe essere il più vicino ad uno, e la somma residua dei quadrati (RSS) che dovrebbe essere il più basso possibile (Cressie, 1991).

Dopo aver scelto il modello di semivariogramma più adatto, i parametri ottenuti sono poi utilizzati per le tecniche di kriging, le quali permettono di interpolare i valori nei punti non campionati e ottenere in questo modo delle mappe della variabile utilizzata.

L'applicazione del kriging come metodo di interpolazione permette di stimare i valori posti ai nodi di una griglia regolare a partire da dati distribuiti irregolarmente. Questi possono anche essere studiati localmente per definire l'influenza di campioni vicini ad ogni punto di interesse all'interno dell'area esaminata. I vantaggi che si ottengono mediante l'applicazione del kriging sono:

- il kriging è preceduto da un'analisi della struttura spaziale dei dati;

- porta a soluzioni uniche;
- interpola i dati in maniera esatta;
- genera valori indipendenti;
- dipende da fattori decisivi come la geometria dell'informazione disponibile, la distanza tra informazione e il punto da stimare.

Per verificare poi la validità dei valori stimati è stata utilizzata la Cross-validation, una tecnica che permette di confrontare i valori stimati e quelli misurati utilizzando solamente le informazioni disponibili dai punti di osservazione. Consente di scegliere tra le differenti procedure di stima, tra le differenti aree di ricerca, oppure tra differenti modelli di semivariogramma.

Il confronto tra i valori veri e quelli stimati è molto utile per capire le differenze esistenti tra i diversi metodi di stima al fine di selezionare quello che restituisce i risultati migliori.

I valori di densità osservati (O) e stimati (E) sono posti su una retta ($O = \alpha + \beta E$), la quale mostra l'adeguatezza del modello utilizzato. Se le predizioni sono identiche ai valori osservati, si ottiene una retta passante per l'origine con un'inclinazione di 45° .

Se la cross-validation da validità ai nostri modelli, si può procedere alla fase finale, ovvero le procedure di stima attraverso il kriging.

Esistono diversi tipi di kriging (semplice, ordinario, universale, ecc.) secondo gli obiettivi che ci si pone (stima di un punto, di un valore medio, di una distribuzione) e dalla caratteristica della FA (stazionario, non stazionario).

Come stimatore si è scelto il kriging ordinario (KO), il quale utilizza il semivariogramma per il calcolo delle relazioni tra il punto d'osservazione (x_i) ed il punto di stimare (x_0). Il kriging ordinario si basa su tre assunti:

- le osservazioni sono una realizzazione parziale di una FA $Z(x)$ (il nostro semivariogramma), dove x indica la localizzazione spaziale;
- la FA è del secondo ordine, cosicché la media, la covarianza spaziale e la semivarianza non dipendono da x ;
- la media non deve essere nota priori.

L'equazione del KO è:

$$\hat{Z}(x_0) = m \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Forzando la somma dei pesi uguale a 1, la quantità all'interno della parentesi sarà 0 ed il primo termine, che comprende il valore medio, sarà eliminato; a questo punto la stima del kriging ordinario è indipendente dal valore della media. In generale, si preferisce formulare il kriging ordinario in termini di covarianza per facilità di calcolo, tuttavia, i computer moderni non hanno difficoltà a risolvere la matrice sia con la covarianza sia con il semivariogramma.

In questo metodo di stima assume quindi una fondamentale importanza il modello di semivariogramma scelto perché da questo dipenderà direttamente la corretta stima della variabile.

Per le analisi del semivariogramma e le procedure di stima tramite kriging è stato utilizzato il software (Gs+ 7[©] 2009).

RISULTATI

Analisi Esplorativa Dei Dati

Prima di intraprendere lo studio geostatistico, si è svolta l'analisi esplorativa dei dati, mediante la semplice indagine sulla loro distribuzione statistica e spaziale.

Questa analisi preliminare è utile per poter selezionare i metodi e i modelli più appropriati per l'analisi geostatistica e per la presentazione e interpretazione dei risultati.

Nella tabella sono riportati i principali parametri della distribuzione per le varie classi di taglia prese in esame.

CLASSI	10-30	30-50	50-70
Media	2,78	3,22	0,40
Mediana	1,35	2,30	0,25
Deviazione Standard	3,02	2,63	0,48
Varianza	9,14	6,92	0,23
Min	0,00	0,10	1,70
Max	10,50	11,10	1,70
N	28	28	28
Errore Standard	0,57	0,49	0,09

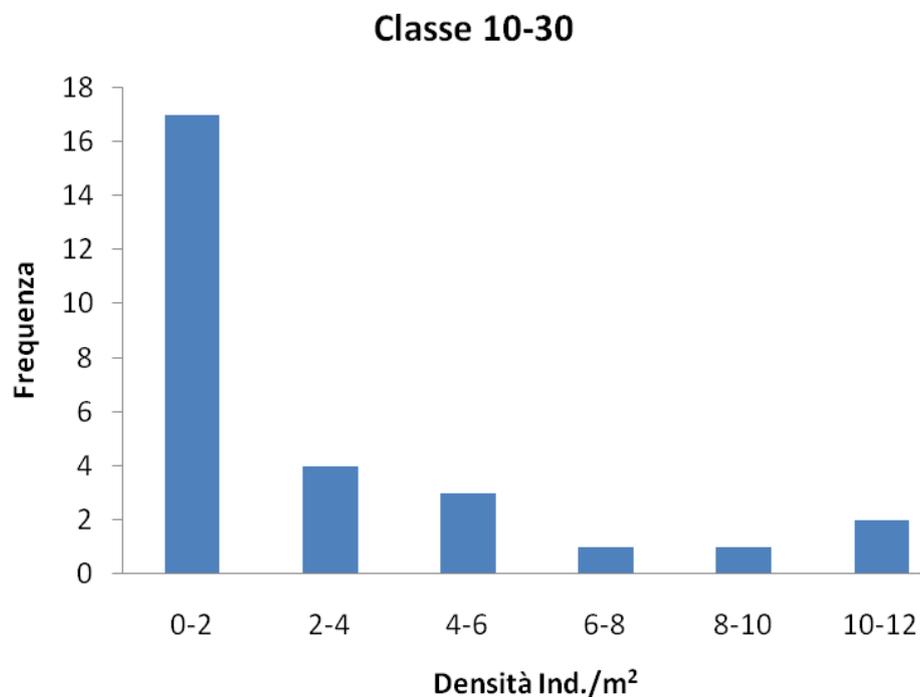
Tabella 1 : Tabella riassuntiva dei principali parametri di distribuzione per classe di taglia.

La classe di taglia che ha mostrato una densità maggiore ($Media+ES \text{ ind/m}^2$) è stata quella 30-50 mm ($3,22+0,49 \text{ ind/m}^2$) seguita poi dalla classe 10-30 mm ($2,78+0,57$

ind/m²), mentre una densità alquanto inferiore è stata osservata per la classe 50-70 mm (0,40+0,09 ind/m²) (Tab. 1).

Si è ritenuto opportuno rappresentare la distribuzione di frequenza delle densità per le tre classi di taglia con degli istogrammi. Analizzando gli istogrammi è possibile notare che le distribuzioni di frequenza delle tre classi sono molto differenti, con un andamento alquanto irregolare e ciò si ripercuoterà nella successiva analisi geostatistica dove potrà essere opportuna una trasformazione dei dati.

Osservando gli istogrammi si può osservare che le classi maggiormente rappresentate sono quelle tra 0 e 2 individui/m² (Fig. 7).



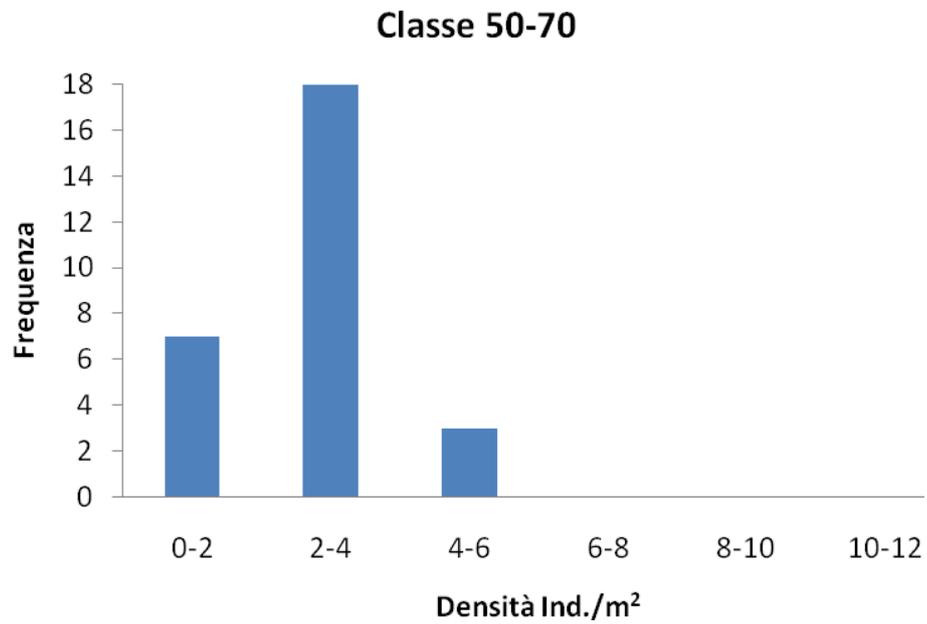
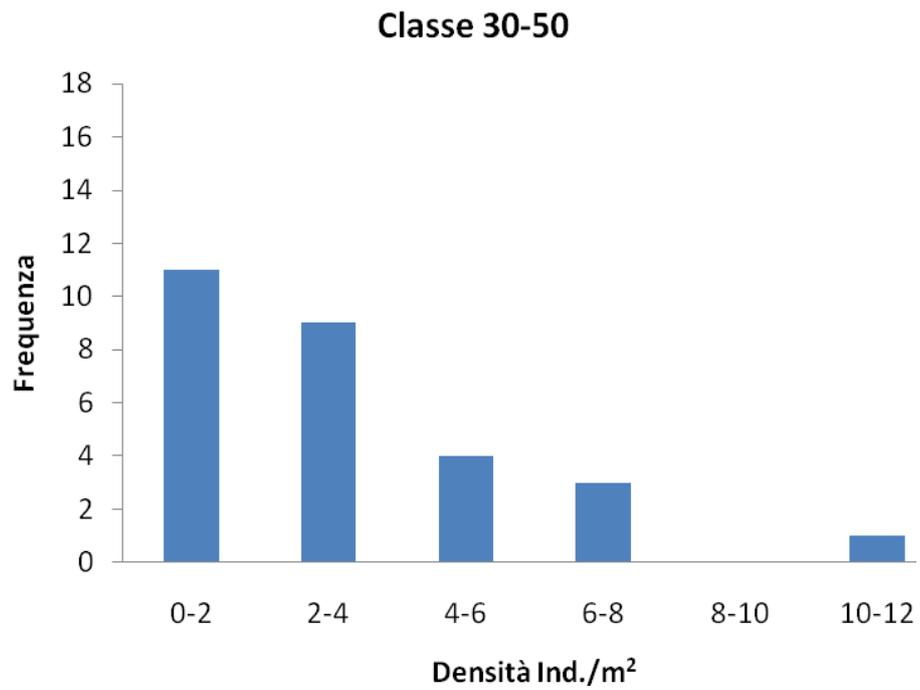


Figura 7: Istogrammi densità/frequenza per classi di taglia.

La presenza di outliers è stata verificata attraverso l'analisi dei Box-plot. Sono stati individuati outliers per tutte e tre le classi di taglia e poiché la presenza di questi non è legata a errori grossolani di misura si è deciso di prenderli ugualmente in considerazione.

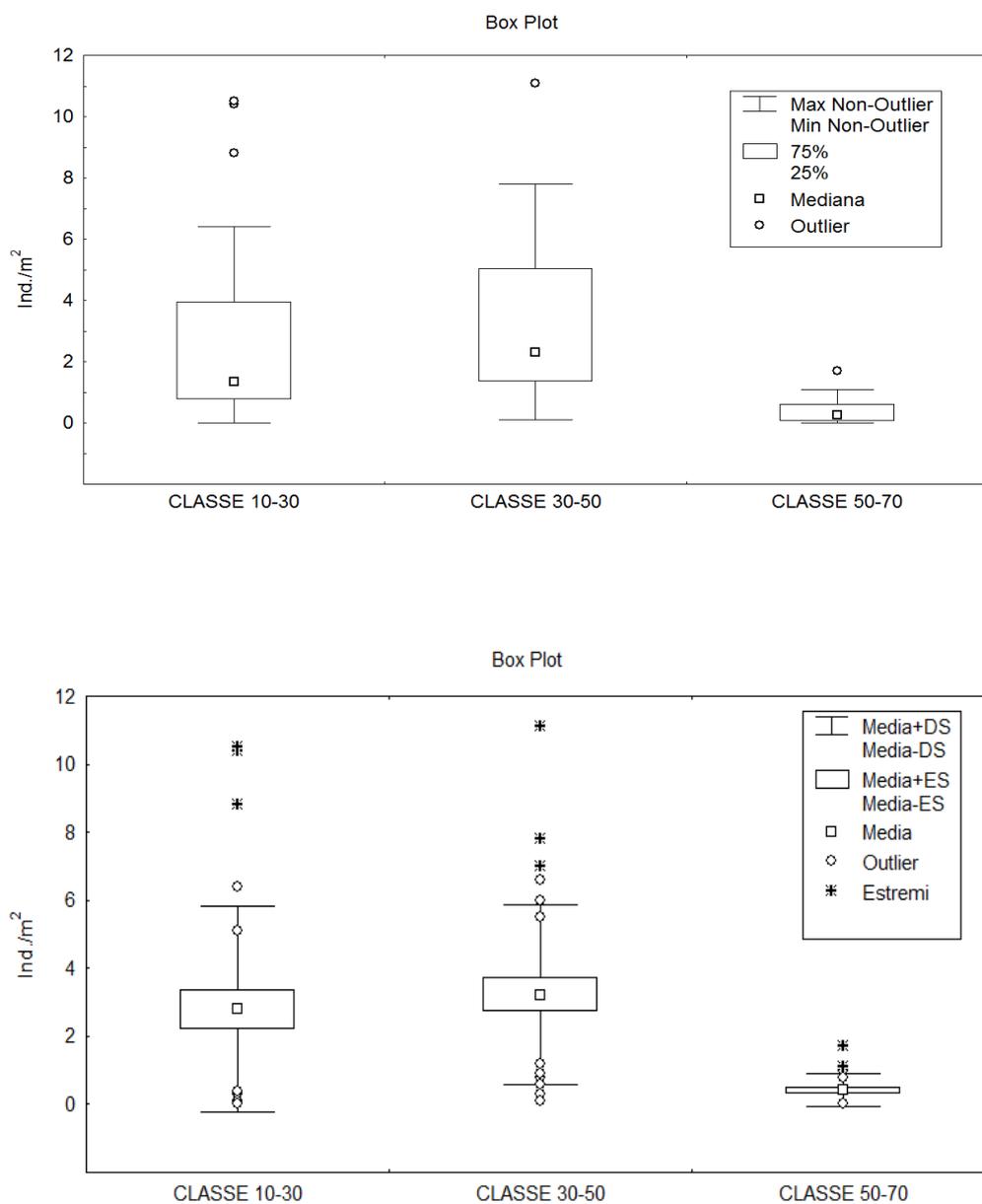


Figura 8: Box-plot delle densità per le 3 classi di taglia.

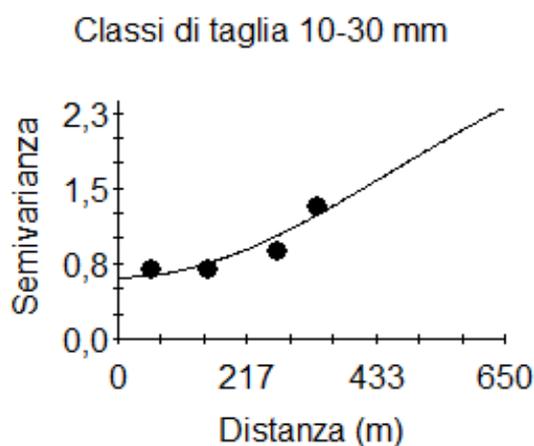
Analisi Spaziale

Classi di taglia	Modello	Lag (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	A_0 (m)	% [$C/(C_0+C)$]	r^2	RSS
10-30	Gaussian	107	0,62	3,36	1125,83	81,40	0,85	0,04
30-50	Spherical	107	0,62	7,11	81,00	91,30	0,75	0,27
50-70	Gaussian	89	0,01	0,73	407,03	99,00	0,98	3,87E-03

Tabella 2: Parametri dell'analisi variografica relativi a ciascuna classe di taglia.

I modelli di semivariogrammi più opportuni per questa analisi sono stati quello Gaussiano e quello Sferico che mettono in evidenza una maggiore correlazione tra i nostri dati.

Per la costruzione del semivariogramma per la classe 10-30 mm è stata necessaria una trasformazione dei dati utilizzando le *radici quadrate (square-root transformation)*, mentre per le altre classi non è stato utilizzato nessun tipo di trasformazione dei dati.



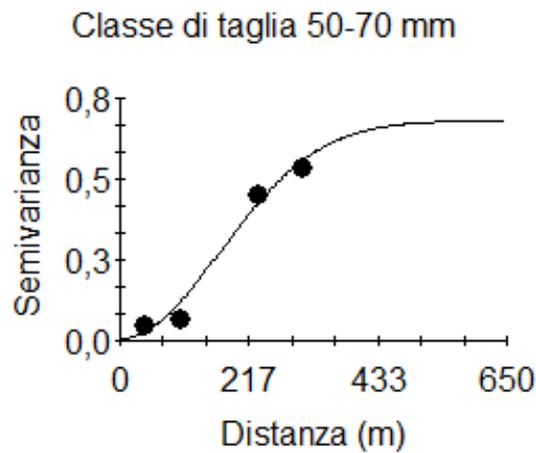
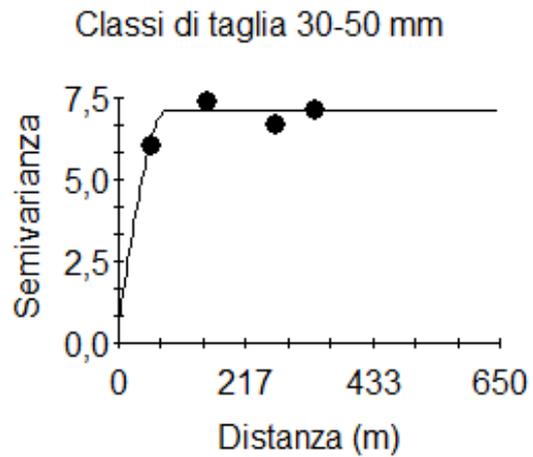


Figura 9: Semivariogrammi sperimentali relativi alle 3 classi di taglia.

I lag utilizzati hanno dei valori elevati e molto simili tra loro, ma sempre inferiori a 1/3 della distanza massima tra campioni, la scelta di questi lag ha dato origine a semivariogrammi con poche fluttuazioni (Tab. 2).

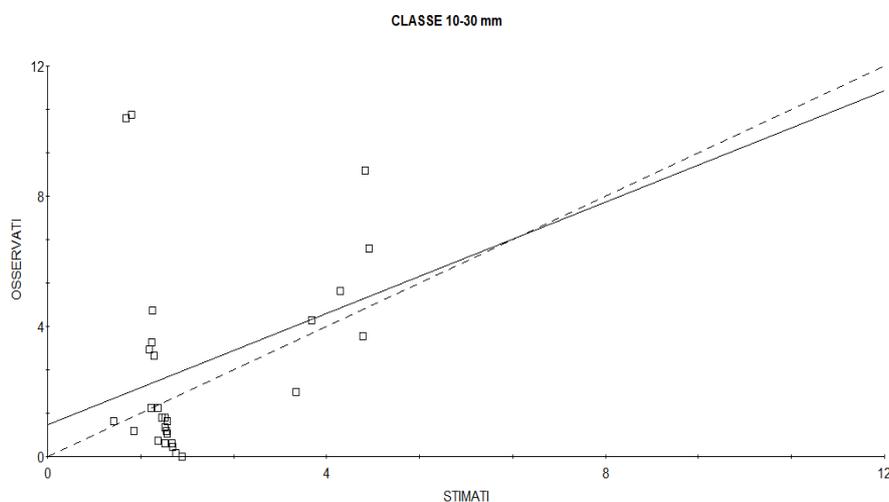
Il range A_0 rappresenta la distanza spaziale d'influenza, ovvero la distanza massima entro la quale si manifesta correlazione tra campioni. Il range più elevato è stato osservato per la classe 10-30 (1125,83 m) che sta a indicare una buona

correlazione spaziale dei nostri dati. Mentre un range alquanto basso è stato osservato per la classe 30-50 (81 m) e ciò indica una poca correlazione.

Il nugget (C_0) ha valori molto bassi per tutte e tre le classi, in tutti i casi è inferiore ad 1/3 del valore di soglia (sill). La presenza del nugget più che ad errori nelle misurazioni è spiegabile con la variabilità delle densità su piccola scala spaziale.

Il valore più alto di semivarianza o sill (C_0+C) si può osservare nella classe 30-50 (7,11) dove è stato utilizzato il modello sferico in cui la curva del semivariogramma tende ad appiattirsi maggiormente (Tab. 2). Per le altre due classi di taglia i valori di sill ottenuti sono alquanto inferiori rispetto alla classe 30-50 mm, 3,36 per la classe 10-30 mm e 0,73 per la classe 50-70 mm.

Il $[C/(C_0+C)]$ oscilla tra 81,4% per la classe 10-30 mm al 99% per la classe 50-70 mm e ciò rappresenta una buona descrizione della distribuzione spaziale delle classi di taglia esaminate (Tab. 2).



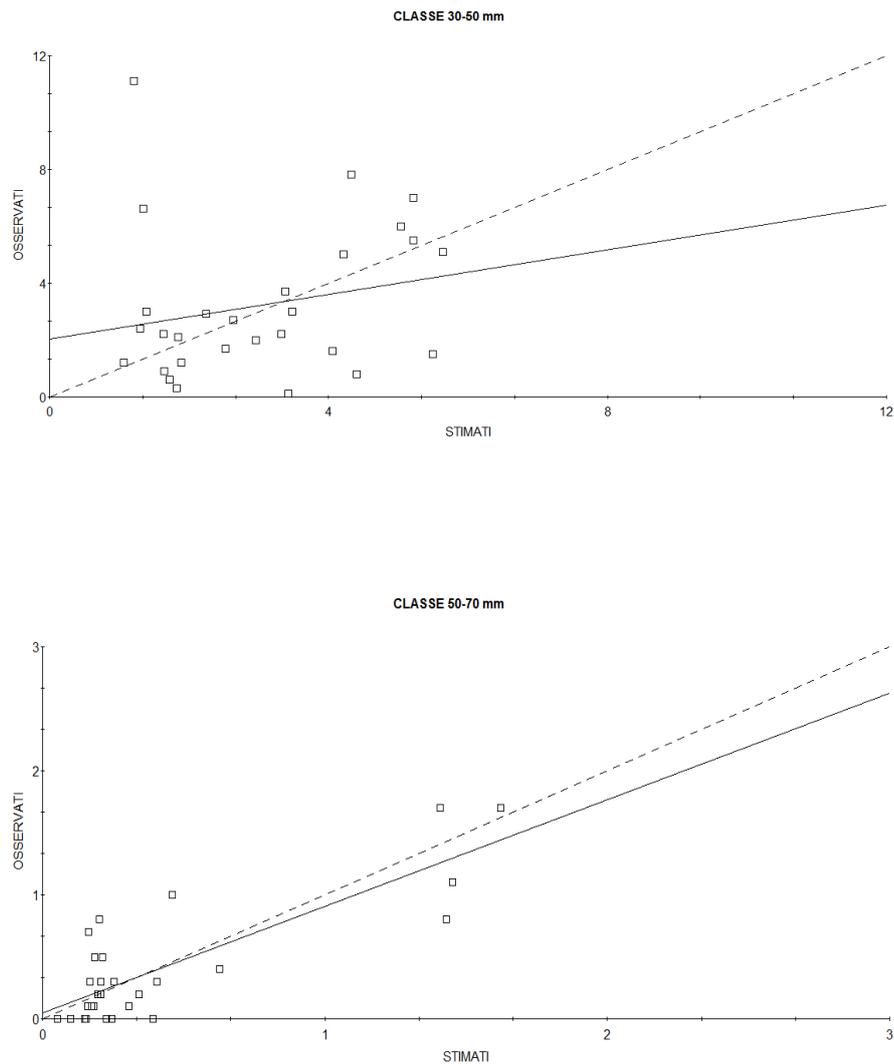


Figura 10: Grafici delle cross-validation per ciascuna classe di taglia.

La validità dei modelli utilizzati per l'analisi dei semivariogrammi è stata ulteriormente verificata con la cross-validation, che dimostra la corretta scelta dei due modelli dei semivariogrammi, gaussiano e sferico. Dai grafici della cross-validation si nota come la retta dei valori osservati e stimati tendono a sovrapporsi per le classi 10-30 e 50-70 mm (Fig.10).

Il coefficiente di regressione più basso ($r^2=0,05$), si può osservare per la classe 30-50 mm, dove è stato utilizzato il modello sferico per la costruzione del

semivariogramma, mentre il valore più alto è presente nella classe 50-70 mm ($r^2=0,66$), questo indica che il modello utilizzato (Gaussiano) ha consentito una buona stima della variabile nei punti non campionati (Tab. 3).

CLASSE	α	β	r^2
10-30	0,97	0,85	0,1
30-50	2,02	0,39	0,05
50-70	0,05	0,86	0,66

Tabella 3: Principali parametri della cross-validation.

I parametri ottenuti con i semivariogrammi sono stati utilizzati per le procedure di stima o kriging, e sono state costruite le mappe di densità per le diverse classi di taglia, le aree in marrone rappresentano le zone di terra, che ovviamente non sono state considerate nelle procedure di stima.

Nelle mappe di densità le zone rosse rappresentano elevati valori di densità, quelle verdi valori intermedi e quelle azzurre i valori più bassi. Ogni mappa di densità è accompagnata da quella della deviazione standard (in scala con gradazioni di rosso) per una migliore comprensione della bontà delle nostre mappe.

Nella mappa della classe 10-30 mm i valori più elevati di densità si osservano in un'area alquanto precisa lontana dalla costa, mentre man mano che ci si allontana da quest' area la densità degli individui tende a diminuire. La mappa delle Deviazioni standard è costante con valori compresi tra 0 e 3, si nota che i valori più elevati (>3) sono raggruppati a sud dell'area presa in esame.

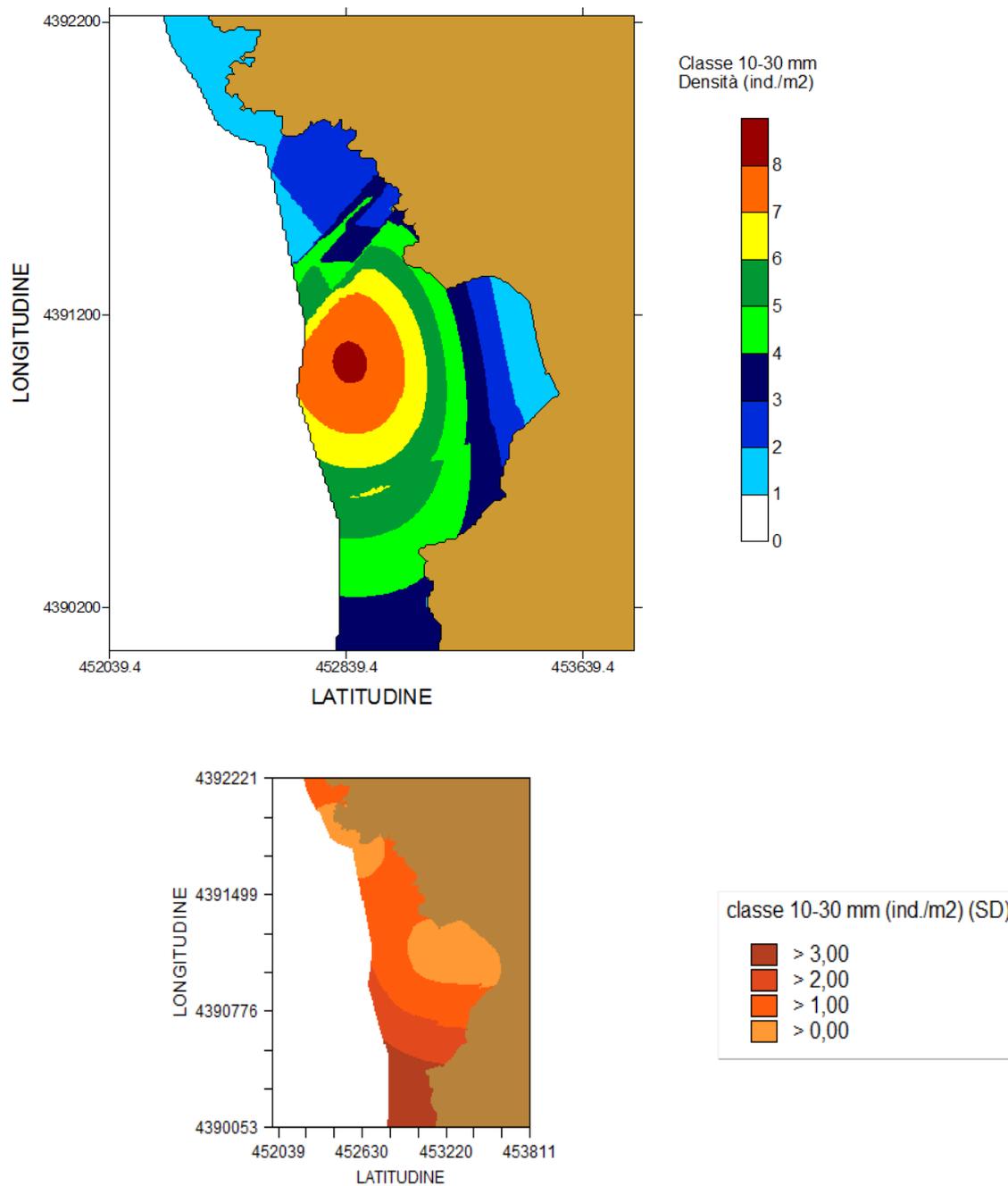


Figura 11: Mappe delle densità e deviazioni standard per la classe 10-30 mm.

La classe 30-50 mm segue una distribuzione degli individui piuttosto costante, con una densità di 4-5 ind./m², in un'area più a nord sono presenti densità inferiori tra i 2-3 ind./m². La mappa delle deviazioni standard mostra valori alquanto bassi, ed è regolare, con valori compresi tra 1 e 2.

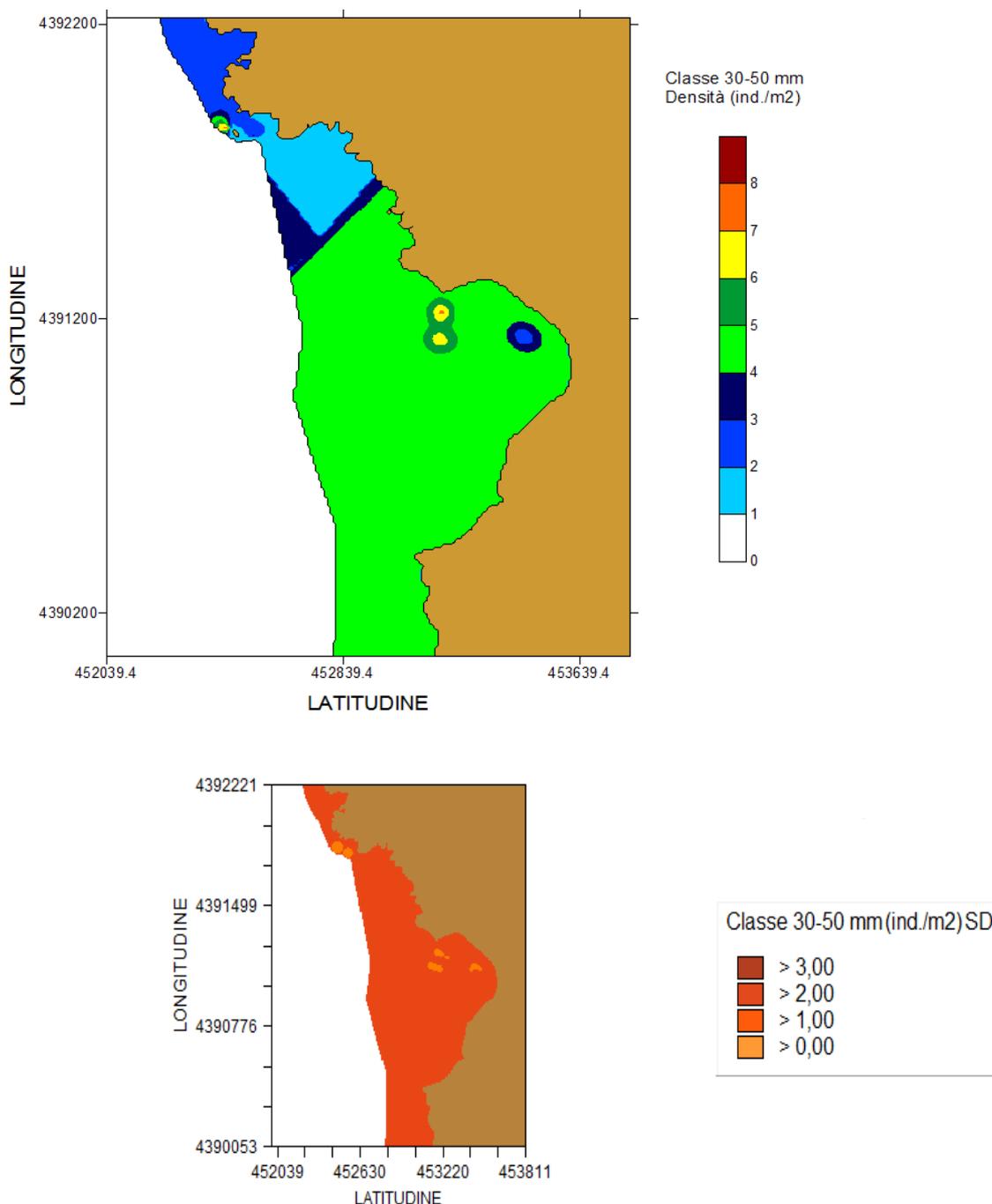


Figura 12: Mappe delle densità delle deviazioni standard per la classe 30-50 mm.

Per gli individui di maggiori dimensioni (classe 50-70 mm) si osserva per tutta l'area campionata una distribuzione piuttosto limitata. È presente solo una piccola zona vicino alla costa dove la densità varia tra 1 e 4 ind./m².

Le deviazioni standard relative a questa classe di taglia i valori variano tra 0 e 1.

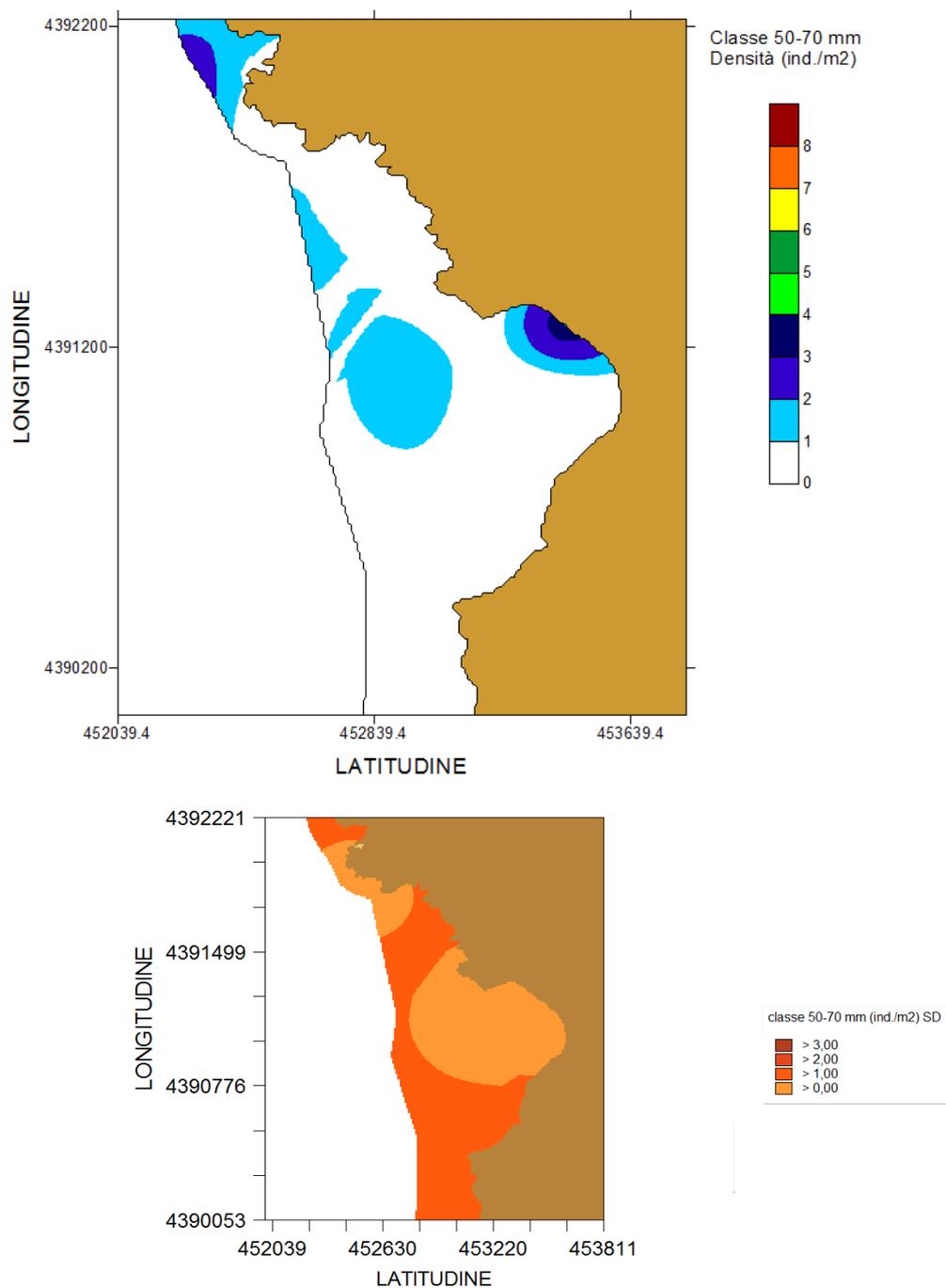


Figura 13: Mappe delle densità e delle deviazioni standard per la classe 50-70 mm

CONCLUSIONI

Lo scopo di questa tesi è stato quello di studiare mediante le tecniche di geostatistica la distribuzione spaziale del riccio di mare *Paracentrotus lividus* per classi di taglia in un'area della Sardegna.

Con questo studio si vuole ottenere, con tecniche relativamente semplici, una corretta informazione circa la distribuzione spaziale e reale di questa specie nella zona di Porto Palma (Sardegna centro-occidentale). Data la scarsa mobilità e le sue abitudini bentoniche *P. lividus* si presta molto bene all'utilizzo di tecniche di geostatistica.

Essendo il primo studio sulla distribuzione di questo echinoderma considerando la demografia ed utilizzando le tecniche di geostatistica, non è stato possibile effettuare dei confronti con altre indagini. Le mappe costruite però non rappresentano l'unica informazione utile riguardo la distribuzione, ma è necessaria una buona conoscenza dell'ecologia e delle caratteristiche ambientali dell'area presa in esame.

La distribuzione dei ricci di mare infatti, può essere influenzata dalla complessità strutturale dell'habitat, ad esempio la presenza di fanerogame, massi, anfratti nel substrato, aumentano la disponibilità di microhabitat e quindi un ambiente favorevole allo sviluppo di questo echinoderma, in particolare nelle prime fasi di vita.

È risaputo, inoltre, che la predazione a carico di questi invertebrati può diminuire grazie alla disponibilità di anfratti nel substrato utilizzati come luoghi di rifugio (Bonaviri *et al.*, 2005).

La predazione infatti ha un ruolo chiave nella distribuzione e nella struttura della popolazione di *P. lividus*. (Tegner e Dayton, 1981; McClanahan e Shafir, 1990; Shears e Babcock, 2002)

Da una prima analisi esplorativa dei dati, osservando le medie delle densità si può notare che si hanno valori più bassi per la classe 50-70 mm, ossia la taglia commerciale, mentre abbiamo i valori di media più elevati per le classi inferiori, ciò può essere dovuto principalmente al prelievo della pesca che dovrebbe incidere sulle classi uguali o superiori ai 50 mm. Si può osservare tuttavia che nella stessa area la densità media della classe 10-30 mm è inferiore alla classe 30-50 mm, ciò potrebbe essere causato dalla predazione o da un errore di campionamento, viste le piccole dimensioni su cui il subacqueo potrebbe diminuire l'attenzione.

Precedenti studi hanno evidenziato che la sopravvivenza degli individui giovani diminuisce con l'aumento dei predatori, e l'aumento della complessità strutturale e quindi la presenza di rifugi diminuiscono il tasso di predazione. (Hereu *et al.*, 2005).

Per gli individui adulti invece la presenza di rifugi diventa meno importante, in quanto sono gli individui di dimensioni minori ad essere più sensibili alla predazione. (Hereu *et al.*, 2005; Sala e Zabala, 1996). Indagini recenti hanno dimostrato che solo alcune specie di pesci nel Mediterraneo possono essere considerati efficaci predatori di ricci di mare (Guidetti *et al.*, 2005). Essi comprendono: alcune specie di saraghi, *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris*, l'orata, *Sparus aurata* (che predano adulti e novellame) e le donzelle, *Coris julis* e *Thalassoma pavo* (predatori di novellame). Alcune di queste specie sono di importante interesse commerciale (Guidetti *et al.*, 2005), il che significa che una diminuzione della loro abbondanza dovuta alla pesca potrebbe avere conseguenze sulle loro prede e quindi anche sul riccio.

Per l'analisi geostatistica i modelli di semivariogrammi che si sono dimostrati buoni stimatori della densità, sono stati quello gaussiano e quello sferico, in quanto mostrano una corretta correlazione dei dati.

Dalle mappe ottenute, descrittive la distribuzione spaziale per classi di taglia, è stato possibile individuare una distribuzione a “macchia di leopardo”, ovvero densità più o meno uniformi, con la presenza di valori più elevati in determinati punti, che potremmo definire degli *hot-spot*. Questo tipo di distribuzione può essere dovuto all’ecologia della specie e quindi alla predilezione per particolari substrati o condizioni ambientali.

Si nota infatti che nella distribuzione relativa alla classe 10-30 mm è presente una zona nella quale sono concentrate le maggiori densità degli individui. La causa di una tale distribuzione potrebbe essere legata alla morfologia del fondale, o al fatto che i giovani cercano la protezione degli individui adulti. Infatti nella mappa della classe 50-70 mm si può notare che nella stessa area sono presenti contemporaneamente anche gli individui adulti con una densità di circa 2 ind./m².

Le densità degli individui adulti (classe 50-70 mm) sono molto basse, con una densità variabile tra 0 a 3 ind./m². Ciò potrebbe essere conseguenza di un eccessivo sfruttamento della pesca nell’area di Porto Palma. Questa tendenza interesserebbe anche la classe immediatamente inferiore (30-50 mm), sebbene le densità siano superiori.

Si fa presente che l’assenza o la scarsità d’individui adulti potrebbe influenzare il processo di “settlement” delle larve planctoniche (Hereu *et al.*, 2004) contribuendo in questo modo ad un ulteriore impoverimento della risorsa in queste zone.

Le mappe delle deviazioni standard mostrano valori alquanto bassi, soprattutto per la classe 50-70 mm, (valori compresi tra 0 e 1), e questo indica una buona stima e una corretta rappresentazione della distribuzione reale.

In definitiva la metodologia utilizzata si può ritenere valida per descrivere i pattern di distribuzione spaziale di questo echinide, tuttavia sarebbe importante

integrare le osservazioni con delle informazioni relative alle caratteristiche del substrato, la densità e composizione algale, la presenza o assenza di massi e anfratti. Ciò si può applicare anche in altre regioni del Mediterraneo ma bisogna tenere conto di alcuni fattori ecologici che possono differire da zona a zona; ad esempio è noto che i periodi riproduttivi non sono uguali in tutte le località, ma possono differire da regione a regione e alle volte zone limitrofe possono avere delle differenze (Boudouresque and Verlaque, 2001).

In conclusione si può affermare che le conoscenze della struttura demografica di *Paracentrotus lividus*, correlate allo spazio permetterebbero una visione più realistica dello stock, e conseguentemente prevedere un'attività di prelievo più adeguata.

BIBLIOGRAFIA

Addis P., Secci M., Manunza A., Corrias S., Niffoi A. and Cau A., (2009) - A geostatistical approach for the stock assessment of the edible sea urchin, *Paracentrotus lividus*, in four coastal zones of Southern and West Sardinia (SW Italy, Mediterranean Sea). *Sci. Mar.* 100: 215–221.

Allain J.-Y., (1971) - Note sur la pêche et la commercialisation des oursins en Bretagne nord. *Trav. Labo. Biol. Halieut. Univ. Rennes* 5: 59-69.

Bonaviri C., Agnetta D., Gianguzza P., Vega Fernández T. and Riggio S., (2005) - Effetto della complessità strutturale del substrato sulla distribuzione di *Paracentrotus lividus* e *Arbacia lixula* nel barren dell’A.M.P. “Isola di Ustica”. XV Congresso della Società Italiana di Ecologia – Torino 2005.

Boudouresque C. F. and Verlaque M., (2001) - Ecology of *Paracentrotus lividus*. In: Lawrence J.M. (Eds.) *Edible sea urchins: biology and ecology*, Vol 32. Elsevier Science, Amsterdam, 77–216.

Campbell A. and Harbo R.M., (1991) - The sea urchin fisheries in British Columbia, Canada. In: Y. Yanagisawa et al (Eds). *Biology of Echinodermata*. Balkema, Rotterdam, 191-199.

Campbell A., Harbo R.M. and Hand C.M., (1998) - Harvesting and distribution of Pacific geoduck clams, *Panopea abrupta*, in British Columbia. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat.Sci.* 125: 349–358.

Castilla J.C. and Defeo O., (2001) - Latin-American benthic shellfisheries: emphasis on comanagement and experimental practices. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 11: 1–30.

- Cau A., Addis P., Corrias S., Corpino G., Manunza A., Secci M., Niffoi A., Atzori F., Corrias F. and Lai L., (2007)** - Valutazione degli stocks del riccio di mare (*Paracentrotus lividus*): dinamica di popolazione, reclutamento, valutazioni economiche, gestione sostenibile della risorsa. Rapporto Finale per la Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Difesa dell'Ambiente, Servizio Pesca Acquacoltura e Stagni.
- Ciotoli G. and Finoia M. G., (2005)** - Dalla statistica alla geostatistica: introduzione all'analisi dei dati geologici e ambientali. Ed. Aracne, 240-394.
- Cressie N., (1991)** - Statistics for Spatial Data. Wiley, New York.
- De Ridder C. and Jangoux M., (1982)** - Digestive system: Echinoidea. In: Jangoux M., Lawrence J. M. (Eds.) Echinoderm nutrition. Balkema, Rotterdam, 213-234.
- Defeo O. and Rueda M., (2002)** - Spatial structure, sampling design and abundance estimates in sandy beach macroinfauna: some warnings and new perspectives. Mar. Biol. 140: 1215–1225.
- Fanelli G., Piraino S., Belmonte G., Geraci S. and Boero F., (1994)** - Human predation along Apulian rocky coasts (SE Italy): desertification caused by *Lithophaga lithophaga* (Mollusca) fisheries. Marine Ecology Progress Series 110: 1-8.
- Fenaux L. and Pedrotti M. L., (1988)** - Métamorphose des larves D'Echinides en pleine eau. PSZNI Mar. Ecol. 9: 93-107.

- Fenaux L., (1968)** - Maturation des gonades et cycle saisonnier des larves chez *A. lixula*, *P. Ividus* et *P. microtuberculatus* (echinides) a Villefranche-sur-Mer. Vie Milieu 19: 1-52.
- Guidetti P., Bussotti S. and Boero F., (2005)** - Evaluating the effects of protection on fish predators and sea urchins in shallow artificial rocky habitats: a case study in the northern Adriatic Sea. Mar. Environ. Res. 59: 333–348.
- Guidetti P., Frascchetti S., Terlizzi, A. and Boero F., (2003)** - Distribution patterns of sea urchins and barrens in shallow Mediterranean rocky reefs impacted by the illegal fishery of the rock-boring mollusc *Lithophaga lithophaga*. Mar. Biol. 143: 1135–1142.
- Hereu B., Linares C., Zabala M. and Sala E., (2005)** - The effects of predator abundance and habitat structural complexity on survival of juvenile sea urchins. Mar. Biol. 146: 293–299.
- Hereu B., Zabala M., Linares C., Sala E., (2004)** - Temporal and spatial variability in settlement of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the NW Mediterranean. Mar. Biol. 144: 1011–1018.
- Lawrence J.M., (1975)** - On the relationship between marine plants and sea urchins. Oceanogr Mar. Biol. Annu. Rev. 13: 213–286.
- Le Direac'h J.P., (1987)** - La pêche des oursins en Méditerranée: historique, technique, législation, production. In: Boudouresque, C.F. (Eds.), Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles. GIS Posidonie Publ., Marseille, 335–362.

- Le Gall P., (1990)** - Culture of echinoderms. In: G. Barnabé (Eds.). Aquaculture, Vol. 1. Ellis Horwood, New York. 443-462.
- McClanahan TR. and Shafir S.H. (1990)** - Causes and consequences of sea urchin abundance and diversity in Kenyan coral reef lagoons. *Oecologia* 83: 362–370.
- McEdward L. R. and Benjamin G. M., (2001)** - Echinoid larval ecology. In: Lawrence J.M. (Eds.) Edible sea urchins: biology and ecology, Vol 32. Elsevier Science, Amsterdam, 59-78.
- Orensanz J.M., Armstrong J., Armstrong D. and Hilborn R., (1998)** - Crustacean resources are vulnerable to serial depletion – the multifaceted decline of crab and shrimp fisheries in the Greater Gulf of Alaska. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 8: 117–176.
- Pais, A., Chessa, L.A., Serra, S., Ruiu, A., Meloni, G. and Donno, Y., (2007)** - The impact of commercial and recreational harvesting for *Paracentrotus lividus* on shallow rocky reef sea urchin communities in North–western Sardinia, Italy. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 73: 589–597.
- Pedrotti M. L. and Fenaux L., (1992)** - Dispersal of echinoderm larvae in a geographical area marked by upwelling (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 86: 217-227.
- Pedrotti M. L., (1993)** - Spatial and temporal distribution and recruitment of echinoderm larvae in Ligurian Sea. *J. Mar. Biol. Ass. UK* 73: 513-530.

- Petitgas P., (1993)** - Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application. ICES J. Mar. Sci. 50: 285–298.
- Prince J.D. and Hilborn R., (1998)** - Concentration profiles and invertebrate fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 125: 187–196.
- Privitera D., Chiantore M., Mangialajo L., Glavic N., Kozul W. and Cattaneo – Vietti R., (2008)** - Inter- and intra-specific competition between *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* in resource-limited barren areas. J. of Sea. Res., Vol 60. Elsevier Amsterdam, 3: 184 -192.
- Sala E. and Zabala M., (1996)** - Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. Mar Ecol Prog Ser 140: 71–81.
- Shears N.T. and Babcock R., (2002)** - Marine reserves demonstrate topdown controls of community structure on temperate reefs. Oecologia 132: 131–142.
- Tegner M. J. and Dayton P. K., (1981)** - Population structure, recruitment and mortality of two sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*) in kelp forests. Mar. Ecol. Prog. Ser. 5: 255–268.
- Verlaque M., (1987)** - Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamarck) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale. In: Boudouresque CF (Eds.) GIS Posidonie, Marseille, 5–36.

Walker C. W., Unuma T., McGinn N. A., Harrington L. M. and Leser M. P.,
(2001) - Reproduction of sea urchin. In: Lawrence JM (Eds.) Edible sea urchins:
biology and ecology, Vol 32. Elsevier Science, Amsterdam, 5-26.

RINGRAZIAMENTI.

Desidero innanzitutto ringraziare il Dott. Piero Addis per avermi dato la possibilità di realizzare questa tesi, per la disponibilità e per tutto l'aiuto fornito durante la stesura.

Un ringraziamento particolare va al Dott. Marco Secci per la pazienza, il supporto e il tempo dedicatomi.

Un grazie speciale a tutti miei colleghi che mi son stati vicini e mi hanno “sopportato” in questi tre anni.

Vorrei inoltre dedicare questa tesi ai miei genitori che con il loro sostegno morale ed economico, mi hanno permesso di raggiungere questo importante traguardo.