

**Relazione finale relativa all'attività di ricerca svolta dal
Dott. Marco Barra
nell'ambito del programma
“Short Term Mobility 2013”**

Titolo del programma di ricerca: Ottimizzazione del disegno di campionamento e analisi delle modificazioni nella struttura spaziale delle popolazioni di *Engraulis encrasicolus* e *Sardina pilchardus* in risposta agli effetti denso dipendenti attraverso l'utilizzo di tecniche geostatistiche.

Il sottoscritto, Dott. Marco Barra, nell'ambito del Programma “Short Term Mobility 2013”, ha svolto la sua attività di ricerca presso la Sede dell' HCMR (Hellenic Centre for Marine Research) di Creta (Grecia) nel periodo compreso tra il 21 Ottobre e il 10 Novembre 2013.

In particolare l'attività ha riguardato:

- L'analisi dell'efficienza del disegno di campionamento utilizzato durante gli echo-survey condotti nel Canale di Sicilia e nel Mar Egeo per il monitoraggio delle popolazioni di *Engraulis encrasicolus* e *Sardina pilchardus*
- La caratterizzazione della struttura spaziale delle popolazioni in esame attraverso il calcolo di opportuni indici di posizione e dispersione
- L'analisi delle relazioni intercorrenti tra la struttura spaziale delle popolazioni esaminate e il livello degli stock (effetti denso-dipendenti)
- La preparazione di una pubblicazione dal titolo: “Spatial behaviour of anchovy and sardine aggregations in term of density-dependent effects in two different areas of the Mediterranean Sea: Strait of Sicily and North Aegean Sea.”

Viene presentata di seguito una breve descrizione dei risultati preliminari ottenuti e delle tecniche utilizzate.

Operazioni preliminari

La prima fase del lavoro ha riguardato l'analisi della coerenza spaziale (in termini di dimensione e geometria) delle due aree di studio nel periodo considerato (1998-2011 per il Canale di Sicilia e 2003-2008 per le acque Greche). L'analisi è stata effettuata attraverso l'utilizzo di software GIS ed ha portato all'esclusione del Golfo Termaico nell'anno 2008 per il quale mancava buona parte di uno dei transetti. Per il Canale di Sicilia si è invece scelto di considerare la superficie investigata comune a tutti gli anni analizzati.

Efficienza dei piani di campionamento

L'analisi dell'efficienza dei piani di campionamento adottati nelle due aree è stata effettuata utilizzando tecniche geostatistiche. Tale approccio è stato scelto poiché l'autocorrelazione presente nei dataset non permette l'utilizzo delle tecniche proprie della statistica classica. L'approccio

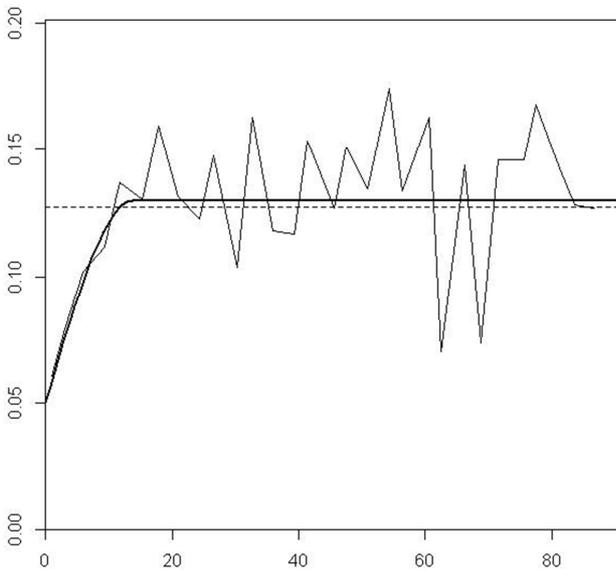


Figura 1: variogramma sperimentale (linea spezzata) e modello (linea continua) relativo all'analisi della popolazione di acciughe nel Canale di Sicilia nell'anno 2002. Sull'asse delle ordinate sono riportati i valori di semivarianza, mentre su quello delle ascisse la distanza in miglia nautiche. Si noti il comportamento discontinuo all'origine (nugget=0.05), e la distanza alla quale il variogramma raggiunge il plateau (range=14 miglia nautiche). Oltre tale distanza due osservazioni possono essere considerate indipendenti.

geostatistico permette infatti di valutare l'indeterminazione della stima in funzione della posizione relativa tra le unità di osservazione e della geometria dell'area di studio, tenendo esplicitamente conto inoltre del grado di autocorrelazione e strutturazione spaziale del fenomeno oggetto di studio. In particolare a causa dell'elevato sbilanciamento delle distribuzioni di frequenza dei valori di densità e dell'elevato numero di valori pari a zero presenti in tali dataset, si è scelto di utilizzare un approccio geostatistico di tipo indicatore. Le variabili analizzate (valori di densità) sono state dunque trasformate in variabili binarie sulla base di un certo valore soglia. Per ciascuno dei dataset analizzati la soglia da utilizzare per tale trasformazione è stata scelta desumendo dalla distribuzione cumulativa di frequenza dei valori

di densità, il valore al di sopra del quale veniva rilevato l'80% della biomassa totale dello stock. In tal modo l'efficienza del disegno di campionamento è stata valutata sulla base dell'errore relativo alla stima dell'area interessata dalle "patches" ad alta densità. Le aree caratterizzate da alti valori di densità sono infatti quelle che maggiormente contribuiscono alla biomassa totale, e dunque l'efficienza con cui tali aree vengono rilevate rappresenta una misura dell'efficienza del piano di campionamento. Per ciascuno degli anni analizzati (nelle due aree di studio e per ciascuna specie) è stata dunque condotta l'analisi variografica, che permette di calcolare un modello per la continuità spaziale del dataset (fig. 1) utilizzato nel calcolo del Coefficiente di Variazione geostatistico (CV_{geo}). Da tale analisi è possibile dedurre inoltre alcuni parametri indicativi della struttura spaziale delle popolazioni, ed in particolare:

- Il range: che rappresenta la distanza oltre la quale due osservazioni risultano indipendenti e quindi non più autocorrelate

- Il nugget: che rappresenta quella parte di variabilità su piccola scala intrinseca del dataset.

In tale contesto il range può essere interpretato come la misura media delle patches ad alta densità, mentre il nugget è riconducibile al grado di rugosità su piccola scala della superficie di densità.

Una volta calcolato il modello è possibile simulare differenti disegni di campionamento e valutarne l'efficienza in relazione alla struttura spaziale desunta attraverso l'analisi variografica. In particolare nel caso degli echo-survey l'errore di stima dipende anche dalla distanza inter-transetto, e quindi per ciascuno degli echo-survey considerati è stata analizzata l'efficienza del piano di campionamento al variare di tale distanza.

I risultati mostrano che in generale per i casi analizzati la precisione di stima non è funzione lineare dello sforzo di campionamento. Dunque mentre una diminuzione della distanza inter-transetto non ridurrebbe in modo sensibile il grado di errore, l'utilizzo di una distanza maggiore porterebbe ad una notevole diminuzione della precisione di stima. L'analisi dei valori di range ha inoltre evidenziato che negli anni in cui i livelli dello stock sono più bassi, le patches ad alta densità hanno dimensioni minori (questo è particolarmente evidente per le acciughe). Tuttavia in entrambe le aree sembra che i disegni di campionamento utilizzati riescano a mantenere una buona stabilità dell'errore di stima al variare della struttura spaziale delle popolazioni, e rappresentano dunque il miglior compromesso tra sforzo di campionamento e grado di precisione.

Caratterizzazione della struttura spaziale delle popolazioni

Per quanto riguarda la caratterizzazione della struttura spaziale delle due popolazioni in esame, i diversi aspetti connessi alle modalità di occupazione dello spazio da parte delle due specie sono stati investigati utilizzando degli indici specifici (Wuillez et al 2009*). La tabella 1 riporta in modo sintetico gli indici utilizzati e il loro significato.

L'analisi di tali indici ha evidenziato per il Canale di Sicilia una differenza di comportamento tra le due specie. In particolare, mentre le acciughe sembrano preferire principalmente il banco Avventura e il Banco di Malta, le sardine tendono ad occupare principalmente la parte centrale dell'area di studio. Tale osservazione ha portato ad analizzare la distribuzione spaziale delle acciughe stratificando l'area di studio in due sub-aree sulla base della posizione media (nel periodo considerato) del centro di gravità della popolazione. Per entrambe le specie l'analisi dei valori di isotropia ed inerzia ha evidenziato una differenza tra le due aree di studio. Infatti i valori di isotropia relativi alle popolazioni di acciughe e sardine sono maggiori nelle acque greche che in quelle siciliane, probabilmente a causa delle differenze nella geometria dell'area di studio e alla minor estensione della piattaforma continentale nel Canale di Sicilia.

* Mathieu Woillez, Jacques Rivoirard and Pierre Petitgas (2009). Notes on survey-based spatial indicators for monitoring fish populations. Aquatic Living Resources, 22, pp 155-164. doi:10.1051/alr/2009017.

L'analisi del numero e della posizione delle patches ha mostrato per entrambe le aree una discreta coerenza spaziale e temporale.

In entrambe le aree è stata inoltre rilevata una sovrapposizione spaziale per le due specie generalmente maggiore del 50%.

Indicatore	Unità/Range	Descrizione
Centre of Gravity	Degree	Posizione media della popolazione
Number of patches	>0	Patchiness
Inertia	NM ²	Dispersione degli individui rispetto al centro di gravità
Isotropy	0 - 1	Grado di isotropia della popolazione
Positive Area	NM ²	Area di presenza
Spreading Area	NM ²	Area occupata dalla popolazione pesata in funzione dei valori di densità
Equivalent Area	NM ²	Area occupata dalla popolazione se tutti gli individui fossero soggetti agli stessi livelli di densità
Global Index of Collocation	0 - 1	Grado di sovrapposizione delle popolazioni

Tab. 1: Indici utilizzati per caratterizzare i diversi aspetti relativi all'occupazione dello spazio delle due specie considerate.

Effetti denso-dipendenti

Si è infine effettuata un'analisi di correlazione tra i livelli di abbondanza e alcuni degli indici utilizzati, includendo anche i valori di range e nugget calcolati durante l'analisi variografica. Come precedentemente osservato poiché il numero di patches è abbastanza stabile nel tempo, nessuna correlazione è stata individuata tra livelli di abbondanza e il loro numero. Una relazione positiva è stata invece riscontrata per entrambe le specie tra i livelli di biomassa totale e gli indici di dispersione, indicando una tendenza delle due popolazioni ad occupare una maggiore superficie nei periodi in cui il livello dello stock è più alto. Tuttavia, diversamente dalle acciughe, le sardine non sembrano incrementare l'estensione delle aree ad alta densità all'aumentare della popolazione, poiché non si rileva una correlazione significativa tra range e biomassa totale. Inoltre l'analisi dei grafici di dispersione relativi alle diverse correlazioni investigate evidenzia che in alcuni casi, per livelli di biomassa comparabili, si hanno indici di dispersione molto differenti. Tali incongruenze potrebbero indicare che in particolari condizioni i forzanti ambientali influenzino in modo significativo l'areale di dispersione delle due popolazioni.