

G. SANTANGELO (*), I. VIELMINI (*), L. BRAMANTI (* **), M. IANNELLI (***)

LA POPOLAZIONE DI CORALLO ROSSO (*CORALLIUM RUBRUM* L. 1758) DI CALAFURIA (LIVORNO)

Riassunto - Il corallo rosso è la specie marina di maggior valore economico. Endemico dell'area mediterranea questo gorgonaceo ha costituito un'importante risorsa economica fin dall'antichità. La presenza di una popolazione di corallo rosso a Calafuria è storicamente documentata da diversi secoli. La facile accessibilità di questa popolazione ha consentito di realizzare ricerche approfondite relative alla sua demografia e struttura genetica a partire dalla fine degli anni '80 del secolo scorso. La popolazione di Calafuria costituisce un'unità genetica distinta da altre popolazioni, è caratterizzata da un'elevata densità di colonie che presentano una piccola taglia e sono, per più della metà, affette da spugne perforanti. Nonostante questo, la popolazione presenta una produzione larvale ed un reclutamento estremamente elevati, maggiori rispetto a quelli delle altre popolazioni fino ad ora studiate. Simulazioni effettuate sulla base di un apposito modello demografico confermano l'elevata *resilienza* di questa popolazione dovuta soprattutto all'elevata densità delle piccole colonie riproduttive; ciò nonostante eventi di mortalità anomala come quello registrato nel 1999, se ripetuti con elevata frequenza e associati ad un intenso prelievo, potrebbero portarla all'estinzione. Questa popolazione, posta a soli 10 chilometri da Livorno, riveste un'eccezionale valore naturalistico e turistico e andrebbe, pertanto, opportunamente tutelata.

Parole chiave - Ottocoralli, Gorgonacei, Demografia, Conservazione, Mar Ligure.

Abstract - *The red coral* (*Corallium rubrum* L. 1758) population of Calafuria (Livorno). The red coral *Corallium rubrum* is the most precious Marine species. This gorgonian, spread over the whole Mediterranean, has been and is still now an important economic resource. The Calafuria (Livorno-Italy) red coral population is historically known. The shallow depth and the neighbourhood of this population to the laboratories of the University of Pisa made for easy to carry out researches which start in the last '80 of the past century. These researches deal with demography and population genetics. The Calafuria population is a true, self-seeding, genetically different population, composed by crowded, small-sized, few-branched colonies. More than half of such colonies are pierced by boring sponges which reduce greatly their economic value and their survival rate. This population show high reproductive output and recruitment, higher than those found in other populations. Simulations, set out on the basis of an *ad hoc* dynamic model, underline the *resilience* of this population, due to the high density of small, but reproductive colonies. However repeated anomalous mortality events, like that recorded in late -summer 1999, if will occur with high frequency, adding to other mortality sources, could even lead this population to extinction. The Calafuria red coral population, dwelling at 10 km from Livorno is provided of highly naturalistic and

touristic value, its conservation must be therefore fostered reducing the numerous anthropogenic sources of mortality.

Key words - Octocorals, Gorgonians, Demography, Conservation, Ligurian Sea.

INTRODUZIONE

La lunga storia del corallo rosso

Il corallo rosso (*Corallium rubrum* L. 1758) è un gorgonaceo (Cnidaria, Anthozoa, Octocorallia), endemico del Mediterraneo dove vive su fondo roccioso tra i 20 ed i 600 metri di profondità (Zibrowius *et al.*, 1984; Tavian, personal communication). L'utilizzo dello scheletro interno di questo gorgonaceo (caratterizzato da una colorazione rosso brillante e da una consistenza che lo rende lavorabile) per la produzione di oggetti preziosi si è diffuso fin dall'antichità: perle di corallo rozzamente sbazzate sono stati rinvenute in tombe risalenti al mesolitico e la sua pesca è documentata da almeno duemila anni (Cicogna & Cattaneo-Vietti, 1993). Diverse città del Mediterraneo (Genova, Marsiglia, Algeri, Tabarka, tra le altre) si sono succedute nel gestire la lavorazione ed il commercio del corallo rosso; anche Livorno ed, in misura minore, Pisa hanno avuto un ruolo di una certa importanza in queste attività (Errico & Montanelli, 2008). Grazie alle leggi speciali che i Medici avevano promulgato per favorire lo sviluppo economico di Livorno, questa città era divenuta, a partire dalla fine del XVI secolo, uno dei centri Mediterranei più importanti per il commercio e la lavorazione del corallo; le attività legate a questo prezioso gorgonaceo erano arrivate a coinvolgere diverse migliaia di abitanti (Errico & Montanelli, 2008). Queste attività si ridurranno nel XIX secolo con l'affermarsi del predominio di Torre del Greco tutt'ora principale centro della lavorazione del corallo in Mediterraneo. Il corallo rosso che giungeva a Livorno proveniva da tutto il Mediterraneo ma una parte proveniva anche da aree limitrofe quali l'Arcipelago Toscano (Soprattutto Giglio, Giannutri, Gorgona), l'Argentario, le secche della Meloria e Calafuria.

La popolazione di Calafuria

L'esistenza di questa popolazione è documentata fin dal Rinascimento (Errico & Montanelli, 2008), successivamente, verso la metà del XVIII secolo il Marche-

(*) Dipartimento di Biologia, via Volta 6, 56126 Pisa, Italy. E-mail: gsantangelo@biologia.unipi.it

(**) Institut de Ciències del Mar CSIC Passeig Marítim de la Barceloneta 42-48 Barcelona, Spain.

(***) Dipartimento di Matematica Università di Trento, via Sommarive 14 (Povo), Trento, Italy.

se Ginori sperimentava, su questa popolazione, nuove tecniche per incrementare la produzione di corallo utilizzando piastrelle di ceramica su cui sperava di fare insediare nuove colonie (Errico & Montanelli, 2008). A partire dalla seconda metà degli anni '50 del secolo scorso fino ai nostri giorni questa popolazione, segnalata da Barletta e coll. nel 1968 (Barletta *et al.*, 1968) è stata periodicamente sfruttata con una certa intensità che si è notevolmente ridotta nel corso degli anni.

La popolazione di *Corallium rubrum* di Calafuria è insediata lungo la falesia che si estende, tra i 200 ed i 600 metri dalla costa, per circa 2 miglia tra Antignano ed il Romito (43° 30' N 11° 20' E) ad una profondità compresa tra i 20 ed i 37-38 metri. Sulla falesia la popolazione raggiunge densità elevate; a profondità maggiori (fino a 45-46 metri) piccoli gruppi di colonie sono distribuite su rocce isolate che giacciono sul fondo sedimentario.

La *facies* a *Corallium rubrum* è una delle peculiarità più importanti del *coralligeno* (*sensu* Ballesteros, 2006) e costituisce un forte elemento di attrazione per il turismo subacqueo; a Calafuria si immergono infatti ogni anno migliaia di subacquei provenienti da tutta l'Italia settentrionale e centrale (Bramanti *et al.*, submitted).

Il corallo di Calafuria costituisce una vera popolazione naturale geneticamente differenziata (*sensu* Yablokov, 1986) che si autoalimenta con la sua riproduzione e che è, quindi, indipendente da altre popolazioni limitrofe (come quella dell'Elba) per la propria sopravvivenza (Abbiati *et al.*, 1993, 1999; Costantini *et al.*, 2007). Altri popolamenti di corallo (mai studiati fino ad ora) si trovano nelle aree circostanti poste a maggior distanza dalla costa (ad esempio sul Secco di Fuori e sul Taglio di Tramontana delle Secche della Meloria, sul Ciglio di Vada, alla Scoglio di Antignano ed allo Scoglio della Madonna).

LE CARATTERISTICHE DELLA POPOLAZIONE

Caratteristiche generali

La popolazione di Calafuria presenta una distribuzione di tipo fortemente discontinuo; ciò è dovuto alla struttura della falesia su cui le colonie sono insediate: il corallo rosso colonizza, infatti, solamente le cavità poco illuminate (è una specie moderatamente sciafila; Peres & Picard, 1964), la sua distribuzione è quindi determinata da quella delle cavità idonee al suo insediamento.

All'interno delle *patches* di corallo, che presentano una superficie in prevalenza inferiore al m², la densità può superare le 30 colonie/dm².

Le colonie sono di taglia relativamente piccola (compresa entro 10 cm di altezza, 1,2 mm di diametro e 8 grammi di peso secco), sono generalmente poco ramificate (Santangelo *et al.*, 1993; Santangelo *et al.*, 1999); la distribuzione di frequenza delle taglie delle colonie è ben rappresentata dalla curva monotona decrescente riportata nella Figura 1. Oltre la metà delle colonie di questa popolazione è infestata da spugne perforanti che, scavando cavità nello scheletro interno, ne riducono la compattezza ed il valore commerciale (Corriero *et al.*, 1997).

Struttura di taglia/età

La struttura delle popolazioni naturali è il prodotto della loro storia e dell'insieme di tutti quei fattori ambientali e genetici che contribuiscono a determinarne le caratteristiche demografiche; ogni popolazione andrebbe quindi studiata come unità evolutiva e di conservazione differente rispetto alle altre (Yablokov, 1986). Ogni popolazione presenta una propria struttura spaziale, sessuale, di taglia, e d'età (Beissinger & McCullough, 2002).

La struttura di taglia/età (ovverosia la struttura della popolazione suddivisa in classi di età determinate sulla base della relazione tra taglia ed età delle colonie) della popolazione di *Corallium rubrum* di Calafuria è ben rappresentata ($R^2 = 0,93$; $p < 0,001$) da una curva «monotona» decrescente descritta da una funzione con esponente negativo ($y = 1868,5 \cdot \exp -0,64 \cdot (i-0,5)$), in cui i è il numero della classe (Fig. 1) (Santangelo *et al.*, 2004). Sulla base di questa struttura la popolazione è costituita per il 59% da individui delle prime due classi (costituite da colonie che non sono riproduttive); per il 39% da individui delle classi 3-6 mentre le classi successive costituiscono solo il 2% del totale. Il «life-span» della popolazione è stimato in 15-20 anni, notevolmente inferiore quindi alla massima longevità attribuita a questa specie, che è di oltre un secolo (Garabou & Harmelin, 2002; Roak *et al.*, 2006). Il fatto che la struttura di età di questa popolazione presenti un andamento «monotono decrescente» (ogni classe di età più vecchia è più numerosa della successiva) suggerisce che la popolazione si trovi in una condizione di relativo equilibrio («steady state»: popolazione con mortalità costante nel tempo). Il fatto che a distanza di alcuni anni la struttura di taglia-età sia rimasta simile conferma l'ipotesi di stabilità della popolazione.

Riproduzione

Il corallo rosso, come molti altri ottocoralli, è una specie gonocorica, con fecondazione interna; 10-15 giorni dopo la fecondazione le planule vengono emesse (Vighi, 1972) e tendono ad insediarsi in prevalenza a breve distanza dagli adulti (Weinberg, 1979; Santangelo *et al.*, 2003). La liberazione delle planule avviene in un periodo di tempo limitato (riproduzione di tipo «discreto»), all'inizio dell'estate (Santangelo *et al.*, 2003), La maturità sessuale viene raggiunta relativamente presto (almeno nelle popolazioni meno profonde, quelle che vivono tra i 20 ed i 50 metri di profondità, come quelle di Calafuria, di Cap de Creus in Spagna (Tsounis *et al.*, 2006) e di Marsiglia (Torrens *et al.*, 2005). Una parte delle colonie di 2 cm di altezza (corrispondenti a circa 3 anni di età) sono già riproduttive. L'età a cui viene raggiunta la maturità sessuale è notevolmente precoce per una specie longeva come il corallo rosso, il cui ciclo vitale può superare il secolo (Santangelo *et al.*, 2003). La percentuale delle colonie riproduttive aumenta rapidamente con l'età (Fig. 2).

La popolazione presenta un certo scostamento dalla *sex ratio* 1/1 con una lieve predominanza delle colonie femminili (Santangelo *et al.*, 2003).

I principali parametri demografici della popolazione ed il suo output riproduttivo sono riassunti in una «life

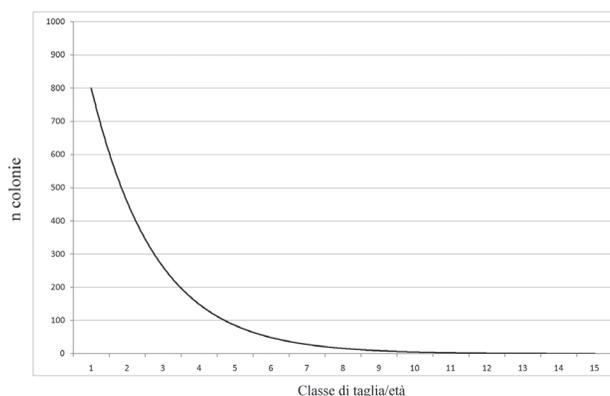


Fig. 1 - Relazione tra il numero di colonie e la taglia/età delle stesse (curva di mortalità) della popolazione di corallo rosso di Calafuria (da Santangelo *et al.*, 1999, modificato).

table» (Tab. 1; Santangelo *et al.*, 2007; Bramanti *et al.*, 2009). La *life table* messa a punto per la popolazione di Calafuria è del tipo definito «statico» viene cioè costruita esaminando la struttura in classi di taglia (ed età) della popolazione in un periodo di tempo limitato (Ebert, 1999). Dalla *life table* in Tabella 1 si può vedere che la maggior parte delle colonie (59%) appartenga alle classi 1 e 2 che non sono riproduttive e che la maggior parte dell'output riproduttivo sia a carico delle prime classi sessualmente mature (3-6) che pur costituendo il 39% del totale, da sole generano il 80% delle planule prodotte complessivamente dalla popolazione. Le colonie di taglia maggiore che singolarmente sono molto più riproduttive, costituiscono solo il 2% della popolazione e producono soltanto il 20% della produzione larvale complessiva. La precoce maturità sessuale e l'elevata densità di piccole colonie sessualmente mature fanno sì che l'output riproduttivo della popolazione di Calafuria sia dovuto prevalentemente a quest'ultime che, sebbene siano individualmente meno riproduttive delle più grandi, sono tuttavia molto più numerose (Santangelo *et al.*, 2003; Bramanti *et al.*, 2009). È probabile che tutto questo abbia favorito la sopravvivenza di questa popolazione soggetta ad un'intensa mortalità di differente origine (riprenderemo quest'argomento più avanti). La produzione larvale della popolazione di Calafuria (larve prodotte per unità di superficie) è di circa 3 volte maggiore rispetto a quella della popolazione delle Isole Medes, un'Area Marina Protetta del nord della Spagna (Tsounis *et al.*, 2006).

Il reclutamento

Il reclutamento (apporto di nuovi individui ad una popolazione naturale tramite riproduzione) costituisce uno degli aspetti più importanti nella dinamica delle popolazioni (Caley *et al.*, 1996). Il reclutamento della popolazione di Corallo rosso di Calafuria è stato studiato utilizzando due metodiche differenti: 1) rilievo tramite macrofotografia sul substrato naturale, 2) utilizzo di appositi substrati artificiali adatti all'insediamento delle planule del corallo; il marmo di Carrara si è rivelato un substrato particolarmente idoneo a questo

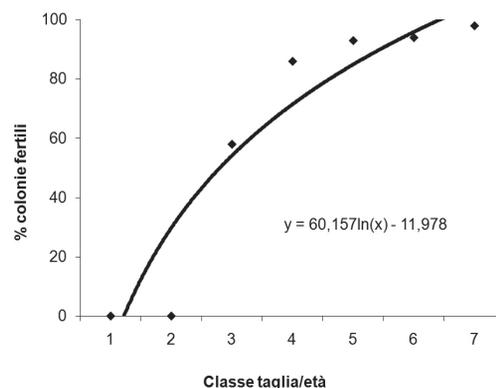


Fig. 2 - Curva di maturazione sessuale delle colonie femminili. La maturità sessuale viene già raggiunta da alcune colonie della classe 3 (da Santangelo *et al.*, 2003, modificato).

scopo (il metodo è stato brevettato con il contributo dell'Università di Pisa; Fig. 3a,b). I dati ottenuti con i due metodi sono comparabili tra loro ed indicano un reclutamento medio che varia tra 12,37 (DS \pm 6,1) e 2,77 (DS \pm 3,04) *recruits* per dm², che è molto più elevato rispetto a quello misurato in altre popolazioni insediate a profondità simili all'Elba ed alle Isole Medes in Spagna (Bramanti *et al.*, 2005; 2007).

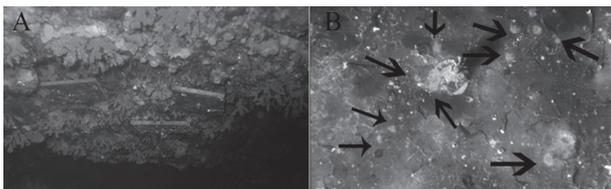
Il reclutamento della popolazione di Calafuria sembra presentare un'accentuata dipendenza dalla densità delle colonie adulte che si manifesta con due differenti effetti: positivo per basse densità e negativo per densità maggiori (Fig. 4). Mentre per basse densità delle colonie adulte la percentuale di planule che riesce ad insediarsi aumenterebbe con la densità delle colonie stesse (le colonie adulte favorirebbero l'insediamento larvale), ad elevate densità la percentuale delle planule che riescono ad insediarsi si ridurrebbe per l'effetto competitivo delle colonie adulte (Caley *et al.*, 1996; Santangelo *et al.*, 2007; Bramanti *et al.*, 2009). Sembra, inoltre, che l'esacorallo *Laptosamnia pruvoti* eserciti, nelle aree in cui questa specie raggiunge elevate densità, una forte competizione con le colonie di corallo rosso di cui ridurrebbe il reclutamento (Cicogna & Cattaneo-Vietti, 1993; Giannini *et al.*, 2003).

La mortalità

La mortalità può essere determinata come differenza % tra il numero di individui presenti in una classe di età ed il numero di individui in quella successiva in una «life-table statica» (Ebert, 1999) di una popolazione; nella Tabella 1 sono riportati i valori di sopravvivenza delle differenti classi di taglia/età ($S = 1 - M$) (Santangelo *et al.*, 2004; Santangelo *et al.*, 2007; Bramanti *et al.*, 2009). La popolazione di corallo rosso di Calafuria subisce una mortalità relativamente elevata $Z = -0,44$ ($Z =$ mortalità media calcolata sulla base del numero di colonie in ogni classe riportata su scala logaritmica (Grigg, 2001) Come si può vedere dalla pendenza della curva della struttura di età della popolazione (Fig. 1), la mortalità più elevata è quella nei primi anni (Santangelo *et al.*, 1993, 2007; Bramanti *et al.*, 2009).

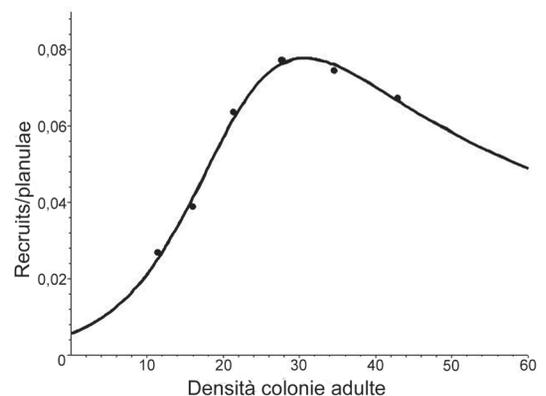
Tab. 1 - *Life-history table* della popolazione di corallo rosso di Calafuria.

Classe di taglia/età	N. individui per classe X_i	Fecundità (larve prodotte per polipo) q	Sopravvivenza (X_1-X_i %) s	N. larve prodotte per colonia b	N. larve prodotte per classe bX
1	822	0,87	1	0,00	
2	731	0,87	0,889	0,00	0,00
3	463	0,87	0,563	2,89	1338,86
4	323	0,87	0,393	10,03	3240,58
5	167	0,87	0,203	21,59	3605,88
6	73	0,87	0,089	39,02	2848,47
7	21	0,87	0,026	56,41	1184,57
8	12	0,87	0,015	77,72	932,65
9	4	0,87	0,005	103,23	412,91
10	3	0,87	0,004	131,87	395,61
11	3	0,87	0,004	164,57	493,71
12	1	0,87	0,001	201,46	201,46
13	1	0,87	0,001	242,65	242,65

Fig. 3 - a) Piastrelle di marmo fissate tra le colonie di corallo perché vengano colonizzate dalle planule; b) *recruits* dopo 2 mesi dall'insediamento.

Le cause della mortalità riscontrate in questa popolazione sono diverse; in particolare:

- 1) Il parassitismo da parte delle spugne perforanti che colpisce in media il 51,9% (DS \pm 9,6) delle colonie; questa percentuale è maggiore per le colonie più vecchie (Corriero *et al.*, 1997). Le perforazioni rendono le colonie particolarmente fragili e ne favoriscono il distacco e quindi la morte. Nelle colonie di questa popolazione sono state trovate complessivamente 5 specie di spugne perforanti appartenenti alla famiglia Clionida e 5 specie endobionti appartenenti ad altre famiglie (Corriero *et al.*, 1997).
- 2) Le numerose immersioni da parte di subacquei spesso poco esperti e poco accorti provocano il distacco e la rottura delle ramificazioni di numerose colonie (Bramanti *et al.*, submitted).
- 3) Le lenze, le reti e le ancore che, rimanendo impigliate nelle colonie ne provocano facilmente il distacco (e quindi la morte).
- 4) Alcuni ectoparassiti: il neogasteropode *Simnia carnea* e il costaceo palemonide *Balssia gastii*, nutrendosi dei polipi, danneggiano le colonie di corallo (Abbiati & Santangelo, 1989).
- 5) Le morie di massa legate al Cambiamento Climatico Globale (Santangelo & Fronzoni, 2008); il

Fig. 4 - Relazione tra la densità delle colonie ed il rapporto planule prodotte/recruits nella medesima area (da Santangelo *et al.*, 2007, modificato).

riscaldamento anomalo della tarda estate del 1999 (Cerrano *et al.*, 2001) ha ridotto il reclutamento di questa popolazione in quell'anno e ucciso alcune delle colonie nella parte meno profonda della loro distribuzione batimetrica (Bramanti *et al.*, 2005; Santangelo *et al.*, 2007). Il fenomeno ha avuto un impatto molto limitato ma un aumento della sua frequenza ed intensità potrebbe in futuro danneggiare gravemente e anche irreparabilmente la popolazione (vedi la sezione di quest'articolo sulle simulazioni della dinamica di questa popolazione).

Ricerche, sperimentazione

La popolazione di corallo rosso di Calafuria, grazie alla sua accessibilità (dovuta alla limitata profondità ed alla vicinanza con i laboratori dell'Università di Pisa)

è probabilmente la più studiata al mondo. Le ricerche sono cominciate alla fine degli anni '80 del secolo scorso; sono stati studiati, in particolare, gli aspetti della biologia di popolazione, soprattutto quelli relativi alla biologia riproduttiva, alla crescita, alla mortalità ed al reclutamento (Santangelo *et al.*, 2003; Bramanti *et al.*, 2003, 2005). Ciò ha consentito di mettere a punto modelli dinamici adeguati al ciclo vitale della specie e di realizzare simulazioni dell'andamento della popolazione nel tempo (Abbiati *et al.*, 1992; Santangelo & Abbiati, 2001; Santangelo *et al.*, 2004; Santangelo *et al.*, 2007; Bramanti *et al.*, 2009).

Altre ricerche hanno analizzato la strutturazione genetica della popolazione in relazione alle modalità di dispersione su piccola e su ampia scala (Abbiati *et al.*, 1993; Abbiati *et al.*, 1999; Costantini *et al.*, 2007).

Le ricerche ancora in corso continuano a rivelare aspetti nuovi ed inattesi di questa popolazione. La sua particolare struttura potrebbe essere stata causata dal tipo di sfruttamento subito in passato, che, eliminando le colonie più grandi (forti competitori) potrebbe aver favorito l'insediamento di un grande numero di giovani colonie di piccola taglia (Bramanti *et al.*, 2009). Come abbiamo ricordato all'inizio, la popolazione di Calafuria è caratterizzata da colonie di piccola taglia che presentano una densità elevatissima, un output riproduttivo ed un reclutamento molto elevato (maggiore di quello riscontrato nelle altre popolazioni, Torrens *et al.*, 2005; Tsounis *et al.*, 2006), e da una grande frequenza di spugne perforanti che ne riducono notevolmente il valore economico. Altre popolazioni di corallo rosso che

vivono a profondità limitata, come quella di Calafuria, stanno andando incontro ad un destino molto diverso: quella di Cap de Creus MPA (Catalogna-Spagna), in cui il parassitismo da parte delle spugne perforanti è meno frequente, subisce attualmente un intenso sfruttamento che sta riducendo notevolmente la taglia e la densità delle colonie (Vielmini *et al.*, in prep.). È possibile quindi che il parassitismo delle colonie di Calafuria, abbia limitato lo sfruttamento di questa popolazione negli ultimi anni, e ciò, insieme alla piccola taglia/età precoce a cui viene raggiunta la maturità sessuale ed all'elevata densità delle piccole colonie, possa avere favorito la sopravvivenza di questa popolazione.

LA DINAMICA DELLA POPOLAZIONE DI CORALLO DI CALAFURIA. QUALE FUTURO PER QUESTA POPOLAZIONE?

Sulla base dei dati demografici riportati nella *life-table* (Fig. 1), di una «matrice di transizione» e di un modello del ciclo vitale (Caswell, 2001) sono state realizzate numerose simulazioni dell'andamento nel tempo della popolazione di Calafuria (Santangelo *et al.*, 2007; Bramanti *et al.*, 2009). Il ciclo vitale di questa popolazione in queste simulazioni, è basato sullo schema (*Catena di Markov*) riportato nella Figura 5. Alcune delle simulazioni sono riassunte qui di seguito (Fig. 6 a,b,c,d). Nella prima simulazione (Fig. 6a) è stata imposta alla popolazione una mortalità simile a quella che ha effettivamente colpito la popolazione di Calafuria nel 1999 (Bramanti *et al.*, 2005; Santangelo *et al.*,

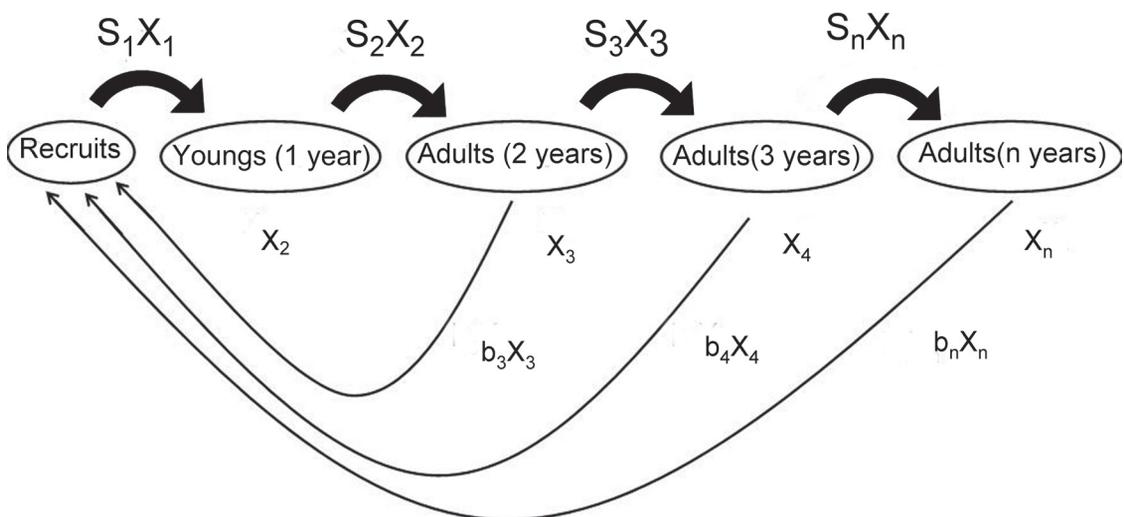


Fig. 5 - Schema del modello adottato per descrivere il ciclo vitale della popolazione (*Catena di Markov*). S_i sopravvivenza; X_i numero di colonie della classe i ; b_i numero di planule mediamente prodotte da ogni colonia della classe i (da Santangelo *et al.*, 2007 e Bramanti *et al.*, 2009, modificato).

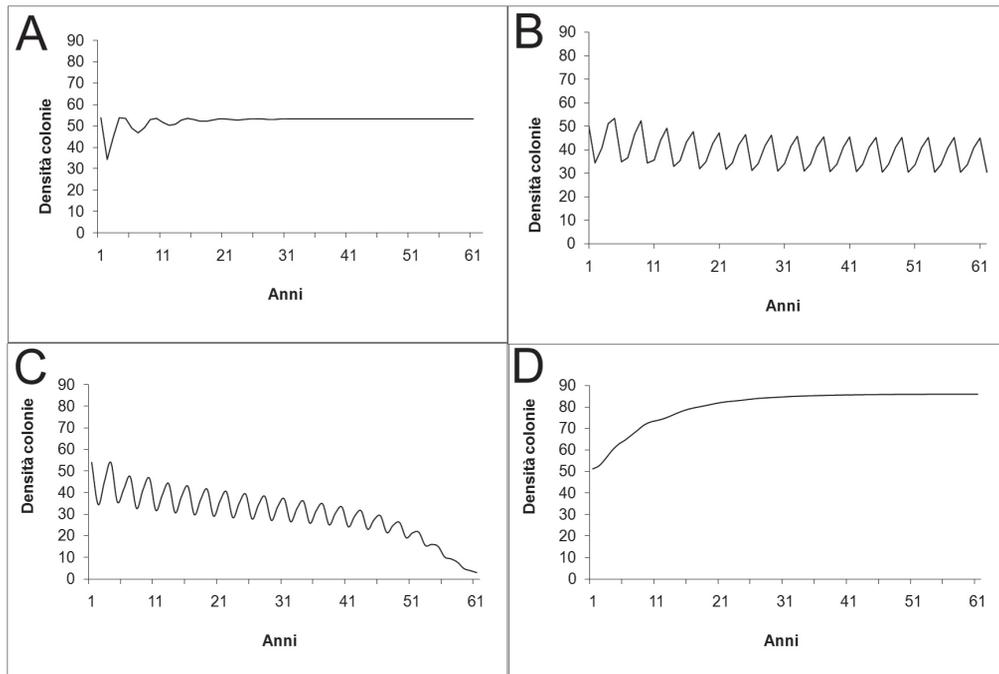


Fig. 6 - Simulazioni dell'andamento della densità della popolazione di Calafuria nel tempo: a) effetto di un singolo evento di mortalità come quello che la popolazione ha subito nella tarda estate 1999; b) effetto di eventi di mortalità ripetuti ogni 4 anni; c) effetto di eventi di mortalità che avvengono con frequenza triennale (la popolazione si estingue lentamente); d) effetto della protezione che aumenta la sopravvivenza delle colonie più grandi e vecchie: la popolazione raggiunge la saturazione in circa 30 anni (da Santangelo *et al.*, 2007 e Bramanti *et al.*, 2009, modificato).

2007). La popolazione risponderebbe positivamente ad un singolo evento di mortalità come quella già subita raggiungendo nuovamente, in pochi anni, la densità iniziale. Se l'evento di mortalità si ripetesse con una frequenza maggiore (*i.e.* ogni 4 anni, cosa che per fortuna non è ancora avvenuta) la popolazione riuscirebbe ancora a riprendersi, sebbene lentamente (Fig. 6b); una frequenza di 3 anni porterebbe invece la popolazione all'estinzione, in una cinquantina di anni (Fig. 6c). La simulazione delle Figure 6d infine, rappresenta quello che potrebbe succedere nel caso di un aumento del controllo sulla popolazione di Calafuria che ne riduca la mortalità (ad esempio impedendo il prelievo, la pesca e l'ancoraggio sulla falesia); un aumento della sopravvivenza delle colonie delle ultime classi (portata al 60% per tutte le colonie delle classi > 6) comporterebbe una saturazione della popolazione in circa 30 anni.

I risultati di queste simulazioni suggeriscono che la popolazione di Calafuria sia dotata di una grande capacità di recupero (*resilienza*); questa popolazione, si è inoltre rivelata quella che presenta un output riproduttivo ed un reclutamento maggiore (tra quelle studiate). In conclusione, la presenza di una popolazione vitale di corallo rosso come quella di Calafuria e delle aree limitrofe, insediata ad una decina di chilometri dal porto industriale di Livorno costituisce un fenomeno di eccezionale interesse naturalistico, fino ad ora sottovalutato dalle autorità che presiedono alla tutela del territorio. La sua accessibilità se da una parte ha fatto sì che sia diventata la popolazione di Corallo rosso più studiata

al mondo, dall'altra pone delle incertezze circa la sua sopravvivenza che dipende dall'attenzione che verrà posta alla sua tutela nei prossimi anni e, come per tutte le specie bentoniche costiere, dalle tendenze future del clima globale (Santangelo & Fronzoni, 2008).

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche realizzate sulla popolazione di Corallo rosso di Calafuria sono state realizzate con contributi del MURST e del Min. Pol. Agr. For.e con il sostegno del Dottorato di Biologia dell'Università di Pisa. Ringraziamo inoltre l'SSI Italia, la Fisher Italia, la PADI Foundation per il loro sostegno alle nostre ricerche.

BIBLIOGRAFIA

- Abbiati M., Santangelo G., 1989. A record on *Corallium rubrum* associated fauna: *Balssia gastii* (Balls 1921) (Crustacea Decapoda). *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem.* 237-241.
- Abbiati M., Buffoni B., Caforio G., DiCola G., Santangelo G., 1992. Harvesting, predation and competition effects on a red coral population. *Neth. J. Sea Res.* 30: 219-228.
- Abbiati M., Santangelo G., Novelli S., 1993. Genetic variation within and between two Tyrrhenian populations of the Mediterranean alcyonarian *Corallium rubrum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 95: 245-250.
- Abbiati M., Santangelo G., Harmelin G., Novelli S., 1999. In: Cicogna F., Bavestrello G., Cattaneo-Vietti R. Red coral and other Mediterranean octocorals: biology and protection. Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, Roma.
- Ballesteros E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 44: 123-195.

- Barletta G., Marchetti R., Vighi M., 1968. Ricerche sul corallo rosso. IV Ulteriori osservazioni sulla distribuzione del corallo rosso nel Tirreno. *Ist. Lomb. (Rend. Sci.) B* 102: 119-144.
- Beissinger S.R., McCullough D.R., 2002. Population viability analysis. The University of Chicago Press, Chicago.
- Bramanti L., Magagnini G., Santangelo G., 2003. Settlement and recruitment: the first stages in the life cycle of two epibenthic suspension feeders. *Ital. J. Zool.* 70: 175-178.
- Bramanti L., Magagnini G., DeMaio L., Santangelo G., 2005. Recruitment, early survival and growth of the Mediterranean Red Coral *Corallium rubrum* (L 1758), a four-year study. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 314: 69-78.
- Bramanti L., Rossi S., Tsounis G., Gili J.M., Santangelo G., 2007. Settlement and early survival of red coral on artificial substrates in different geographic areas: some clues for demography and restoration. *Hydrobiol.* 580: 219-224.
- Bramanti L., Iannelli M., G. Santangelo., 2009. Mathematical modelling for conservation and management of gorgonian corals: young and olds, could they coexist? *Ecological Modelling* 220: 2851-2856.
- Caley M.J., Carr M.H., Hixon M.A., Huges T.P., Jones G.P., Menge B.A., 1996. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 27: 477-500.
- Caswell H., 2001. Matrix Population Models: Construction, Analysis and Interpretation. 2nd edn. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Cerrano C., Bavestrello G., Nike-Bianchi C., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., Siccardi A., Spogna F., 2000. A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecol. Letters* 3: 284-293.
- Cicogna F., Cattaneo-Vietti R., 1993. Red coral in the Mediterranean Sea, art, history and science. Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, Roma.
- Corriero G., Abbiati M., Santangelo G., 1997. The sponge complex inhabiting a Mediterranean red coral population. *PSZN Mar. Ecol.* 18: 147-155.
- Costantini F., Fauvelot C., Abbiati M., 2007. Fine-scale genetic structuring in *Corallium rubrum*: evidence of inbreeding and limited effects of larval dispersal. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 340: 100-119.
- Ebert T.A., 1999. Plant and Animal Populations. Methods in demography. Academic Press, S. Diego CA.
- Errico C., Montanelli M., 2008. Il Corallo. pesca, commercio e lavorazione a Livorno. Felici Editore, Livorno.
- Garrabou J., Perez T., Sartoretto S., Harmelin J.G., 2001. Mass mortality event in red coral (*Corallium rubrum*) populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 217: 263-272.
- Garrabou J., Harmelin J.G., 2002. A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in NW Mediterranean: insights into conservation and management needs. *J. An. Ecol.* 71: 966-978.
- Giannini F., Gili G.M., Santangelo G., 2003. Relationships between the spatial distribution of red coral *Corallium rubrum* and coexisting suspension feeders at Medes Islets Marine Protected Area. *Ital. J. Zool.* 70: 233-239.
- Grigg R.W., 2001. Black coral: History of a sustainable fishery in Hawaii. *Pacific Sciences* 53: 91-299.
- Pèrès J.M., Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de le Mer Méditerranée. *Recl. Trav. Staz. Mar. Endoume* 47: 5-137.
- Roark E.B., Guilderson T.P., Dumar R.B., Ingram B.L., 2006. Radiocarbon-Based ages and growth rates of Hawaiian deep-sea corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 327: 1-14.
- Sarà M., 1969. Research on coralligenous formations: problems and perspectives. *Pubbl. St. Zool. Napoli* 37: 124-134.
- Santangelo G., Abbiati M., Caforio G., 1993. Age structure and population dynamics in *Corallium rubrum*. In: Cicogna F. and Cattaneo R. (eds.). Red coral in the Mediterranean sea: Art, History and Science. Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, Roma.
- Santangelo G., Bongiorno L., Giannini F., Abbiati M., Buffoni G., 1999. Structure analysis of two red coral populations dwelling in different habitats. In: Cicogna F., Bavestrello G., Cattaneo-Vietti R. Red coral and other Mediterranean octocorals: biology and protection. Ministero Politiche Agricole, Roma.
- Santangelo G., Abbiati M., 2001. Red coral: conservation and management of an overexploited Mediterranean species. *Aquat. Cons. Mar. Freshw. Ecosys.* 11: 253-259.
- Santangelo G., Carletti E., Maggi E., Bramanti L., 2003. Reproduction and population sexual structure of the overexploited Mediterranean red coral *Corallium rubrum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 248: 99-108.
- Santangelo G., Maggi E., Bramanti L., Bongiorno L., 2004. Conservation biology and population demography of a Mediterranean overexploited species. *Sci. Mar.* 67: 199-204.
- Santangelo G., Bramanti L., Iannelli M., 2007. Population dynamics and conservation biology of the over-exploited Mediterranean Red coral. *J. Theor. Biol.* 244: 416-423.
- Santangelo G., Fronzoni L., 2008. Global Climate Change and the ecology of the next decade. Edizioni ETS, Pisa.
- Torrents O., Garrabou J., Marschal C., Harmelin J.G., 2005. Age and size at first reproduction in the commercially exploited red coral *Corallium rubrum* (L.) in the Marseilles area (France, NW Mediterranean). *Biol. Conserv.* 121: 391-397.
- Tsounis G., Rossi S., Aranguren M., Gili J.M., Arntz W., 2006. Effects of spatial variability and colony size on the reproductive output and gonadal development cycle of the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L.). *Mar. Biol.* 148: 513-527.
- Weinberg S., 1979. The light-dependent behaviour of planulae larvae of *Eunicella singularis* and *Corallium rubrum* and its implications for for octocoral ecology. *Bijds. Dierkd.* 49: 16-30.
- Jablokov A.V., 1986. Population biology. MIR Publishers, Moscow.
- Vighi M., 1972. Etude sur la reproduction du *Corallium rubrum*. *Vie et Milieu* 23: 21-32.
- Zibrowius H., Montero M., Grashoff M., 1984. La ripartition du *Corallium rubrum* dans l'Atlantique. *Thesis* 11: 163-170.

(ms. pres. il 23 settembre 2009; ult. bozze il 25 giugno 2010)

