

**Un polipo espanso  
di una specie non ancora descritta  
di corallo nero  
vivente su una scogliera corallina indonesiana**

## COMPETIZIONE E COOPERAZIONE

NELLE STORIE VITALI DEGLI ORGANISMI MARINI

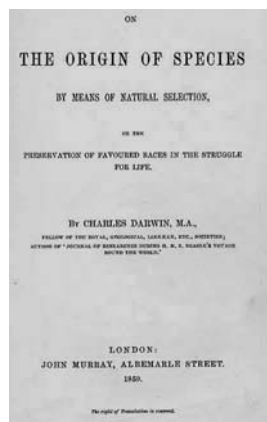
di Giorgio Bavestrello\*

*Un percorso concettuale dalla competizione alla cooperazione documentato con molteplici esempi relativi alla vita degli organismi marini, il campo di ricerca in cui l'autore ha compiuto importanti scoperte. Una sottolineatura e uno sviluppo che aprono nuove piste per chi vuole trattare l'evoluzione biologica in termini adeguati al nostro tempo, superando gli stereotipi a cui ancora la maggior parte dei media e dei tecnici della didattica resta legata. Una chiara illustrazione della biodiversità, utilizzabile a tutti i livelli di scuola, che si articola su fatti concreti, le relazioni simbiotiche tra gli organismi, per spiegare proprietà tipiche della complessità biologica e per introdurre il concetto di reti simbiotiche, come criterio interpretativo dell'organizzazione dei sistemi biologici, a completamento del criterio basato sulle reti trofiche.*

**P**er i tipi dell'editore John Murray, il 22 Novembre 1859 veniva stampata a Londra un'opera destinata a segnare una svolta nell'ambito del pensiero biologico. Il volume, intitolato *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, era l'opera matura di un ormai celebre naturalista inglese, Charles Robert Darwin, nella quale era descritta, corredata di un'ampia esemplificazione, quella che da lì a pochi anni sarebbe stata chiamata la teoria dell'evoluzione.

Darwin aveva elaborato la sua idea di origine delle specie basandola su due pilastri: la mutazione, apportatrice di variabilità casuale negli organismi, che tante conferme avrebbe avute un secolo dopo, grazie alla descrizione della struttura del DNA, e la selezione naturale. Quest'ultimo elemento rappresentava probabilmente la novità più interessante del pensiero darwiniano che, in questo modo, aveva trovato l'agente in grado di indirizzare il corso del cammino evolutivo, favorendo gli individui più adatti ad affrontare le contingenze di un ambiente continuamente mutevole. Che Darwin stesso ponesse particolare attenzione su questo punto è evidenziato dal titolo stesso dell'opera, nel quale figurano esplicitamente la selezione naturale (*natural selection*) e la lotta per la sopravvivenza (*struggle for life*). In un

\*Ordinario di Zoologia presso il Dipartimento di Scienze del Mare dell'Università Politecnica delle Marche, ad Ancona.



...un mondo dove la Vita  
uccide la Vita, mangia la Vita...  
O. Fallaci, *La forza della Ragione*

Competizione spaziale  
Substrato duro completamente  
ricoperto da spugne, briozoi  
e ascidie in una barriera coral-  
lina indonesiana



ambiente reso competitivo dalla limitatezza delle risorse (è noto che Darwin fu molto colpito dal celebre *An Essay on Principle of population* che Thomas Malthus aveva pubblicato sessanta anni prima), ogni organismo si trova impegnato in una continua gara che premia i più adeguati a ottenere cibo, a sfuggire ai predatori, a conquistarsi uno spazio, a riprodursi. Da allora, i rapporti antagonisti, sia a livello *inter* sia *intra* specifico, sono stati la chiave di lettura delle interazioni biotiche all'interno degli ecosistemi.

### Rapporti antagonisti

La lotta per la sopravvivenza è un concetto piuttosto generico che racchiude in sé diverse tipologie di fenomeni che sono state chiarite nel corso del secolo successivo tramite lo sviluppo di nuove discipline scientifiche. L'approccio ecologico moderno è nato dalla scoperta che le relazioni che legano gli organismi possono essere interpretate in chiave trofica (categorie trofiche, catene trofiche, reti trofiche). In fondo, i celebri flussi di materia e di energia nascondono, sotto l'asettica forma del computo ragionieristico, la cruda realtà del «chi mangia chi». I rapporti tra prede e predatori hanno così colpito l'immaginazione del mondo scientifico che i primi approcci all'ecologia matematica sono stati tentati proprio in quest'ambito tramite il celebre modello, indipendentemente messo a punto da Alfred Lotka e Vito Volterra nel periodo tra le due guerre mondiali [Volterra, 1931].

D'altra parte, già Darwin aveva posto in luce che esistono numerose interazioni non trofiche, per esempio quelle sessuali, che possono notevolmente influire sui processi evolutivi. Queste argomentazioni furono ampiamente descritte nella sua opera più discussa *Descent of man* pubblicato nel 1871 dal solito John Murray. In seguito, l'ecologia del comportamento e lo studio dello sviluppo delle comunità hanno messo in relazione un'ampia serie di rapporti competitivi sia di tipo *intra* che *inter* specifico legati alla possibilità di accesso a diversi tipi di risorse (cibo, spazio, partner sessuale).

Più recentemente, l'idea di competizione è stata applicata con successo addirittura a livello cellulare, come nel caso delle interazioni tra neuroni nella costruzioni di reti neurali [Kohonen, 2001] o in quello della competizione spermatica nella fecondazione dell'uovo [Wedell et al., 2002]. In particolare, nell'ambito dell'ecologia del *benthos* marino, la competizione spaziale è considerata, almeno relativamente agli ambienti non stressati da fattori fisici, la chiave di volta della chiarificazione dei fenomeni che portano allo sviluppo di una comunità matura. Spugne, coralli e briozoi, organismi apparentemente inermi, lottano tenacemente per lo spazio con un'intensità che progressivamente aumenta con l'aumentare della biodiversità ambientale. Soprattutto per quanto

riguarda i substrati rocciosi, già dagli anni Sessanta del XX secolo è apparso chiaro che, in acque superficiali, coperture del fondale superiori al 100% rappresentano la norma a qualunque latitudine.

## Epibiosi

In numerosi ambienti, non solo marini, una delle soluzioni più sorprendenti al problema della competizione spaziale è quella dell'epibiosi, nella quale alcuni organismi utilizzano il corpo di un ospite come substrato. Questa strategia è particolarmente efficace perché numerosi organismi sono protetti da esoscheletri duri, più o meno mineralizzati, come le conchiglie dei molluschi, il carapace di numerosi artropodi, i tubi dei policheti, i coralliti delle madrepore, sui quali gli epibionti possono insediarsi riducendo al minimo le interazioni con l'ospite.

In molti casi, questa strategia apre alle specie epibionti imprevedibili opportunità come l'occupazione dei fondi mobili da parte di specie tipiche di fondi duri o quella di sfruttare le possibilità offerte da un substrato in movimento o comunque vivente. Sui fondali antartici incoerenti una ricca comunità, caratterizzata da poriferi, idrozoi e gorgonie, vive come epibionte delle conchiglie del comune pettine *Adamussium colbecky* o sugli aculei del riccio *Cidaris* sp. Per i filtratori passivi, come i poriferi, la vita sulle conchiglie dei bivalvi è particolarmente interessante per la possibilità di sfruttare le correnti indotte dall'attività dell'ospite [Cerrano et al., 2006].

Un altro esempio riguarda una comunità di idrozoi che riesce a vivere sui fanghi batiali del Mediterraneo a profondità superiori a 1000 m, insediandosi sulla faccia inferiore dell'esoscheletro del granchio di profondità *Geryon longipes*. In questa posizione i polipi degli idrozoi possono sfruttare le particelle organiche risospese dal movimento delle appendici del granchio [Di Camillo et al., 2007].

Bisogna comunque notare che, se l'epibiosi apre nuove prospettive per la vita dell'epibionte, non è detto che vantaggi anche l'ospite. Per esempio, quando le conchiglie di *Adamussium* sono ricoperte da un popolamento troppo ricco, perdono le loro capacità di spostamento attuato tramite i movimenti delle valve (*clapping*) e divengono facili prede delle voraci stelle di mare antartiche [Cerrano et al., 2006].

Un fenomeno ancora più complesso riguarda l'insediamento degli epibionti direttamente sui tessuti dell'ospite, provocando la reattività cellulare degli stessi. Sappiamo, infatti, che gli organismi del *benthos* lottano strenuamente per evitare l'insediamento di epibionti sui loro tessuti viventi. Il loro armamentario non è per nulla convenzionale e si compone di vari tipi di armi meccaniche e, soprattutto, chimiche che possono essere specificamente iniettate nei tessuti del competitore (come nel caso delle nematocisti degli cnidari) [Mariscal, 1974] o più

*Noli me tangere!*

Gv 20, 17

Epibiosi  
Conchiglia del bivalve *Adamussium colbecky* coperta da spugne epibionti sui fondali del Mare di Ross (Antartide).



Effetti dell'epibiosi  
La conchiglia di *Adamussium*, troppo appesantita dagli epibionti non riesce a sfuggire all'attacco di una stella marina.



### Epibiosi

Gasteropode con la conchiglia completamente ricoperta dall'idroide *Cyrtia capitata* in un mangrovietao indonesiano



...parte di quella forza  
che sempre vuole il male  
e sempre il bene crea...

J.W. Goethe, *Faust*

genericamente liberate nell'ambiente circostante [Gerhart et al., 1988]. Nell'ultimo decennio le scoperte dell'ecologia chimica hanno mostrato un campionario sterminato di queste molecole prodotte dal metabolismo secondario degli organismi marini, che vengono utilizzate come sostanze di difesa contro l'epibiosi, dimostrando ancora una volta come queste relazioni abbiano una base antagonistica.

D'altra parte, se un ipotetico epibionte evolve una qualche forma di resistenza nei confronti di alcune di queste sostanze *antifouling*, gli si apre improvvisamente la possibilità di occupare una nuova nicchia ecologica a bassissima competizione interspecifica. È evidente che questa possibilità è stimolata da una lunga vicinanza tra ospite ed epibionte, suggerendo che in ambienti estremamente diversificati, dove gli organismi sono costretti a vivere strettamente addossati, si sviluppano fenomeni di resistenza chimica che possono essere alla base di più specifiche interazioni.

Bisogna notare, in questo senso, come la possibilità della vita epibionte abbia, in alcuni gruppi, dato origine ad imponenti fenomeni di speciazione: è il caso degli idrozoi dove intere famiglie, o interi generi, composti da numerose specie, si sono evolute con uno stile di vita epibiontico in relazione a diversi gruppi di ospiti (la famiglia *Hydractiniidae* è specializzata per la vita sui gasteropodi, la famiglia *Zanclidae* vive quasi esclusivamente sui briozoi, il genere *Proboscidactyla* sul bordo dei tubi dei policheti, il genere *Sarsia* è epibionte di poriferi, il genere *Ralpharia* vive esclusivamente su ottocoralli, il genere *Eugymnanthea* sulle brachie dei bivalvi [e.g. Puce et al., 2005].

### Dalla competizione alla cooperazione

Uno degli apici evolutivi dell'epibiosi antagonistica è alla base dello stile di vita di alcuni cnidari parassiti (generi *Gerardia*, *Alcyonium*, *Parazoanthus*) che ricoprono lo scheletro di vari coralli arborescenti dopo averli progressivamente uccisi. La biologia di *Gerardia savaglia* del Mediterraneo è ancora poco conosciuta: quando la larva riesce a insediarsi su una gorgonia, probabilmente in una piccola regione per qualche motivo privata del cenenchima vivente, comincia a crescere e contemporaneamente a produrre sostanze che uccidono i polipi della gorgonia nelle immediate vicinanze. Sul terreno così liberato, lo zoantideo cresce con una velocità che gli permette di eliminare definitiva-

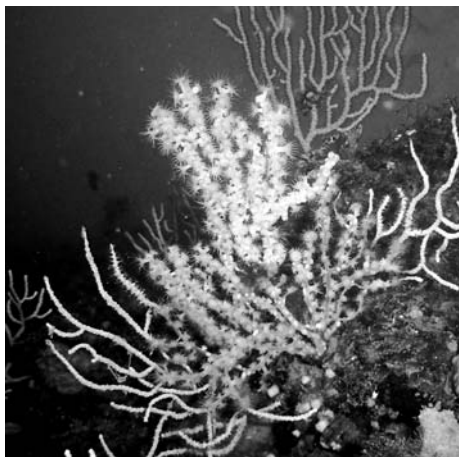
mente l'ospite nel giro di qualche anno. A questo punto *Gerardia* comincia a deporre sullo scheletro assile della gorgonia un suo proprio scheletro che irrobustisce quello preesistente e, contemporaneamente, inizia a riprodursi.

Altre specie di zoantidei tropicali del genere *Parazoanthus* hanno una strategia simile a quella di *Gerardia*. Questi polipi uccidono e ricoprono i coralli neri nei mari indonesiani ma, almeno nel rapporto con l'idrozoo tropicale *Plumularia habereri*, l'interazione dà origine a un risultato inatteso. Anche in questo caso, lo zoantideo si insedia sul tronco dell'ospite e comincia a crescere ricoprendolo, ma non vengono mai attaccati i rami secondari su cui si trovano i polipi dell'idrozoo. Quest'ultimo, d'altra parte, reagisce crescendo in altezza e aumentando progressivamente il diametro del tronco e dei rami. Quindi, mentre *Plumularia* in condizioni normali è una piccola colonia di alcuni centimetri di altezza, quando è ricoperta dall'epibionte diventa un enorme ventaglio di un metro, nel quale lo zoantideo occupa i rami principali mentre i rami laterali secondari rimangono occupati dai polipi dell'idrozoo. L'associazione così composta aumenta enormemente, per entrambi i partner, la possibilità di ottenere cibo incrementando le dimensioni dell'area filtrante e contemporaneamente allontanandola dal substrato.

Questo caso è particolarmente significativo perché indica chiaramente come l'epibiosi possa evolvere in un rapporto cooperativo che risulta in una serie di proprietà emergenti, imprevedibili a partire da quelle dei due partner. Indica, inoltre, una possibile via filogenetica per lo stabilirsi di associazioni mutualistiche: la competizione per il substrato, risultante da un'elevata biodiversità, induce l'evoluzione di una resistenza alle difese chimiche di un organismo ospite da parte di un altro che risulta in un caso di epibiosi antagonista. Da questa interazione può svilupparsi una simbiosi mutualistica con produzione di nuove proprietà da parte dei due organismi associati. È evidente come i meccanismi regolativi di questi rapporti devono essere ricercati a livello di interazioni chimiche e cellulari tra i due organismi partecipanti all'associazione.

### Cooperazione: proprietà emergenti

Dunque, i rapporti antagonisti legati alla competizione spaziale portano, talvolta, a risultati inattesi, quando i due partner non solo evitano vicendevolmente di uccidersi, ma dalla loro unione nasce un nuovo super-organismo con nuove proprietà imprevedute rispetto a quelle dei due organismi isolatamente considerati.



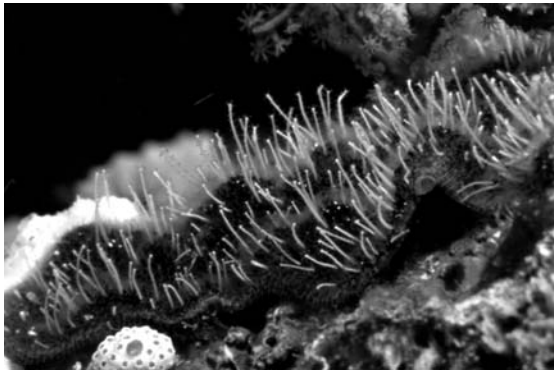
**Epibiosi competitiva**  
Lo cnidario parassita *Gerardia savaglia* ha parzialmente ricoperto lo scheletro assile di una gorgonia in Mediterraneo.



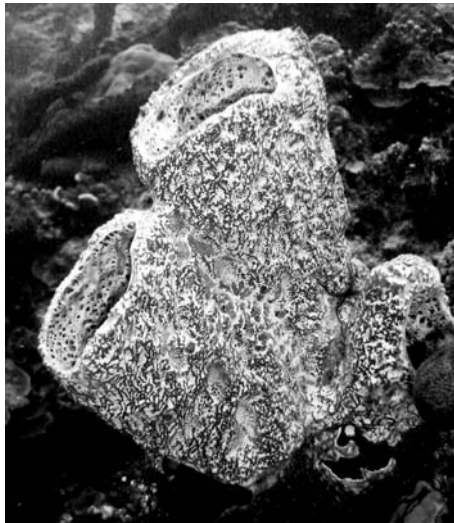
**Epibiosi cooperativa**  
Uno zoantideo tropicale cresce sul tronco dell'idroide *Plumularia habereri* lasciando liberi i rami che portano i polipi.

*Più nulla temo con te sotto al braccio,  
perciò lancio al mio secolo la sfida.*

F. Schiller



Epibiosi cooperativa  
Una colonia di idrozoi del genere *Zanclea* vive su un briozoo crostoso in una barriera corallina indonesiana.



Una spugna del genere *Mycale* utilizza come scheletro un'alga corallina vivente

Uno dei casi meglio studiati riguarda la relazione che si instaura tra numerose specie di briozoi e gli idrozoi del genere *Zanclea*. È stato dimostrato sperimentalmente che nelle barriere coralline caraibiche il briozoo isolato è molto meno competitivo dell'associazione idroide-briozoo. I polipi, tramite le loro batterie di nematocisti, difendono il briozoo che può evitare la predazione e lottare più efficacemente per il substrato, diffondendosi più rapidamente e formando più colonie di dimensioni maggiori [Ostman & Haugsness, 1981].

Un altro caso è stato osservato nelle straordinarie barriere coralline dell'arcipelago indonesiano e riguarda la spugna *Mycale vansoesti* che vive in simbiosi con una macroalga corallinacea del genere *Amphiroa*. La spugna non è mai stata raccolta senza l'alga associata, mentre l'alga vive comunemente tra i coralli dove forma piccoli cuscinetti semisferici. Su questi ciuffi si insedia la larva della spugna che inizia a crescere forzando lo sviluppo stesso dell'alga che perde completamente la sua tipica struttura, ramificandosi all'interno dei tessuti dell'ospite fino a costituirne lo scheletro tridimensionale. La spugna utilizza, quindi, l'alga come struttura di sostegno e, d'altra parte, l'alga all'interno della spugna aumenta notevolmente le sue dimensioni; inoltre, i due partner uniti hanno una distribuzione batimetrica molto più ampia di quella dell'alga isolata. È probabile che l'armamentario chimico della spugna permetta all'associazione di resistere efficacemente in ambienti a elevata competitività dove l'alga isolata soccomberebbe [Calcinai et al., 2006]. È evidente che questa maggiore competitività, ottenuta dall'insieme dei partner, tende a selezionare gli organismi più predisposti a coo-

perare stabilizzando, da un punto di vista evolutivo, il rapporto.

Sono stati osservati casi nei quali i fenomeni cooperativi determinano la distribuzione geografica degli organismi coinvolti. Per esempio, una piccola gorgonia caraibica, *Carijoa riisei*, tipica del *fouling* delle imbarcazioni, è diventata una specie invasiva in numerose scogliere coralline del Pacifico dove è stata trasportata insediata sulla carena delle navi. È notevole il fatto che una spugna conosciuta esclusivamente per i Caraibi, sia diventata comune anche nel Pacifico dove si trova stabilmente in associazione con *Carijoa*. È suggestivo pensare che questa spugna abbia viaggiato attorno al mondo in associazione con la gorgonia che ricopre difendendola dai predatori e dalla quale viene sostenuta [Calcinai et al., 2004].

## Endosimbiosi

Per alcuni aspetti l'endosimbiosi presenta tratti ancor più impressionanti. In ambiente marino questo fenomeno - microalghe o batteri che vivono *intra* o *inter* cellularmente all'interno del corpo dei metazoi - è incredibilmente diffuso e rappresenta la base nella strutturazione di alcuni dei più biodiversificati ecosistemi al mondo.

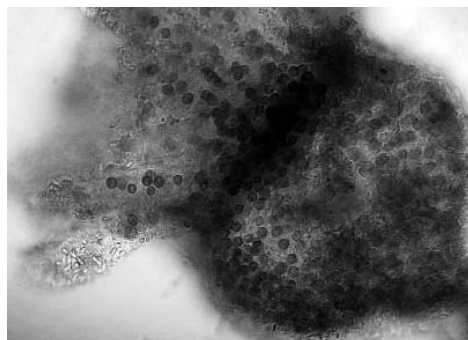
Probabilmente, il fenomeno endosimbiotico marino più noto riguarda la convivenza di un gruppo di microalghe, le zooxantelle, con numerosi organismi del *benthos*, in particolare i coralli costruttori di barriere. Il fenomeno non è ancora del tutto chiarito, ma è certo che le sostanze prodotte dalla fotosintesi delle alghe rappresentino il principale apporto trofico per i coralli che, in questo modo, possono prosperare costruendo imponenti strutture carbonatiche. Si tratta di una relazione ideale, che totalmente sfugge alla logica del «chi mangia chi», le zooxantelle, infatti, attuano la fotosintesi all'interno delle cellule dell'ospite utilizzando i cataboliti azotati quale fonte di nutrienti, mentre l'ospite utilizza direttamente gli essudati prodotti dalle alghe. La descrizione di questo meccanismo ha permesso di chiarire il paradosso delle barriere coralline che presentano un elevatissima produzione in alcune delle aree marine più oligotrofiche del mondo [Muscatine & Cernichiari, 1969].

L'altra faccia della medaglia risiede nel fatto che un meccanismo così sofisticato è estremamente fragile: i recenti *bleaching* verificatisi in alcune delle più importanti barriere coralline del mondo sono l'effetto più drammatico della rottura dell'equilibrio che regola il rapporto simbiotico. Durante questi fenomeni, a causa di cambiamenti ambientali, i polipi del corallo espellono i simbionti diventando, in questo modo, bianchi (*to bleach* = candeggiare). Normalmente, i polipi non sopravvivono all'espulsione dei propri simbionti causando gravi crisi alla stabilità delle barriere coralline [Brown, 1997].

Meno conosciuti sono altri casi di endosimbiosi che legano organismi procarioti, alghe azzurre e batteri, con la maggior parte delle specie di spugne. Tali relazioni sono talmente importanti che spesso la biomassa batterica presente in una spugna è superiore a quella dello stesso ospite [Taylor et al., 2004]. Ha fatto epoca, nell'ultima parte del secolo scorso, la scoperta che i lunghi pogonofori, che rappresentano il più caratteristico elemento delle sorgenti calde abissali scoperte in molte regioni del mondo, hanno perso l'apparato digerente e si nutrono grazie a popolazioni di batteri chemiosintetici che vivono al loro interno. Le relazioni tra simbionti e ospiti sono estremamente complesse, con impressionanti fenomeni di integrazione genetica e metabolica che portano alla produzione di molecole sintetizzate in collaborazione da

Ossia non è cambiato il dentro, quello che prima era il fuori in cui nuotavo sotto il sole, e in cui nuoto, nel buio, anche adesso che sta dentro.

I. Calvino, *Ti con zero*



Endosimbiosi  
Zooxantelle simbionti in un idroide mediterraneo.



entrambi i partner [Stat et al., 2006]. D'altra parte, è ormai nota da lungo tempo e sempre più convincente, l'idea che la stessa origine della cellula eucariotica sia derivata da una interazione simbiotica tra diversi organismi procarioti [Margulis, 1993].

In particolare, bisogna notare che anche l'endosimbiosi nasce da meccanismi antagonisti legati alla predazione. Le larve di numerosi coralli costruttori nascono prive di zooxantelle che vengono ingerite dalla larva durante le prime fasi dello sviluppo. A questo punto, insorge però un meccanismo di riconoscimento tra il gastroderma della larva e l'alga unicellulare che, invece di essere digerita, viene incorporata nei tessuti dell'ospite dove, dopo una modificazione strutturale, inizia a integrare il proprio metabolismo con quello della madrepora. Anche in questo caso, quindi, un fenomeno «micro predatorio» evolve in un rapporto cooperativo, e questo tipo di eventi, accaduti indipendentemente più volte, potrebbero aver rappresentato alcune delle tappe fondamentali della storia della vita sulla Terra.

*Come tutto s'intesse nel gran Tutto  
e ogni cosa nell'altra opera e vive!*

J.W. Goethe, *Faust*

### Effetti

A livello della comunità, il principale effetto dei fenomeni dell'epibiosi e dell'endobiosi è un aumento della biodiversità grazie a un sostanziale aumento dell'eterogeneità spaziale e delle possibili interazioni. Queste relazioni non si limitano all'utilizzo di un particolare substrato a bassa competizione, ma hanno la caratteristica multidimensionalità delle nicchie ecologiche in cui l'interazione rappresenta lo spazio biologico in cui si svolge l'intera storia vitale di un organismo (insediamento, sviluppo, alimentazione, riproduzione).

Gli eventi speciativi sono forzati dalle relazioni producendo organismi adattati, da un punto di vista sia morfologico sia fisiologico e comportamentale, alla morfologia, fisiologia e comportamento dell'ospite.

In acque tropicali, praticamente ogni specie di gorgonia, di attinia e di corallo nero presenta crostacei decapodi (granchi o gamberi) adattati alla vita tra i polipi. Alcuni gamberetti vivono sui coralli neri assumendo esattamente il colore dei polipi e i piccoli granchi della famiglia *Majidae* vivono sugli stessi coralli, hanno una morfologia particolarmente mime-

Un gamberetto vive tra i polipi di un corallo nero avendone assunto la colorazione



tica, ma sanno anche staccare i polipi del corallo trapiantandosi sul carapace e fissandoli tramite appositi peli uncinati. Gli anfipodi caprellidi che vivono in Mediterraneo sugli idroidi del genere *Eudendrium* non sanno catturare prede direttamente, mentre sono abilissimi ad aprire, senza danneggiarli, gli stomaci dei polipi per estrarre le prede da essi catturate grazie alle nematocisti dei tentacoli. È stato recentemente dimostrato che questa infinita teoria di crostacei che popolano le differenti specie di cnidari migliora la sopravvivenza dei loro ospiti eliminando i sedimenti che si depositano sulle colonie [Stewart et al., 2006].

Una simile chiave di lettura può essere applicata al caso, particolarmente eclatante, della formazione delle scogliere da parte dei coralli costruttori.

È noto che i rapporti simbiote/ospite hanno una diretta influenza sulla precipitazione del carbonato che, poi, le singole specie di coralli modellano in accordo con la morfologia tipica di ogni specie. I coralli agiscono, quindi, come *ecosystem engineers*, organismi in grado di modificare l'ambiente attraverso le proprie strutture fisiche come tessuti o scheletri vivi o morti in modo da creare *habitat* per altri organismi che sono in grado di vivere sia su di essi sia dentro a essi [Jones et al. 1994]. Il risultato dell'interazione tra coralli e alghe determina, in questo modo, uno dei più biodiversificati ecosistemi del mondo.

Quindi, l'effetto più impressionante delle relazioni simbiotiche in tutta la loro gamma, che va dalla competizione alla cooperazione, è quello dell'autocatalisi della biodiversità che, seguendo una geometria frattale, rimane autosimile al variare di scala: ogni organismo serve da substrato per epibionti più piccoli, a loro volta colonizzati da altri epibionti in una continua riduzione di taglia il cui limite raggiunge quello dell'organizzazione vitale.

Lo studio delle comunità microscopiche con l'uso della microscopia elettronica ha dimostrato che sulle colonie di piccoli metazoi coloniali, come gli idrozoi, prosperano foreste di diatomee arboreescenti tra le quali vivono diatomee sessili e negli spazi tra queste si osservano distese di batteri. Recentemente, è stata dimostrata l'importanza dei virus nell'ecologia degli ecosistemi marini [Danovaro & Serresi, 2000].



Un piccolo granchio si mimetizza staccando i polipi dei coralli neri che fissa poi sul suo carapace.

Quanto detto potrebbe rappresentare una nuova prospettiva per la comprensione dei sistemi viventi. Le relazioni tra gli organismi sono interpretabili solo in prima approssimazione sulla base di reti trofiche. Certo, i flussi di materia e di energia lungo le reti trofiche rappresentano lo scheletro dei sistemi ecologici, ma tali reti devono essere immaginate come intersecate da un'altra rete, una rete di relazioni «non trofiche», simbiotiche in senso generale, nelle quali la competizione e la cooperazione operano a diversi livelli [Montoya et al., 2006].

Le reti simbiotiche rappresentano, rispetto alle reti trofiche, un potente sistema di regolazione in grado di modulare ogni rapporto tra organismi, aumentando la biodiversità, inducendo la speciazione, migliorando la convivenza, incrementando l'efficienza della ciclizzazione della materia e rappresentando una delle principali sorgenti di novità macroevolutive nella storia della vita. ❖

#### INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE

- Brown B.E. (1997), *Coral bleaching: causes and consequences*, Coral Reef, 16: 129-138.
- Calcinai B., Bavestrello G., Cerrano C. (2004), *Dispersal and association of two alien species in the Indonesian coral reefs: the octocoral Carijoa riisei and the demosponge Desmapsamma anchorata*, J. Mar. Biol. Ass. U.K. 84: 937-941.
- Calcinai B., Cerrano C., Totti C., Romagnoli T., Bavestrello G. (2006), *Symbiosis of Mycale (Mycale) vansoesti sp. nov. (Porifera, Demospongiae) with a coralline alga from North Sulawesi (Indonesia)*, Invertebrate Biology 125(3): 195-204.
- Cerrano C., Calcinai B., Bertolino M., Valisano L., Bavestrello G. (2006), *Epibionts of the scallop Adamussium colbecki in the Ross Sea, Antarctica*, Chem Ecol. 22: 235-244.
- Danovaro R., Serresi M. (2000), *Viral density and virus to bacterium ratio in deep-sea sediments of the eastern Mediterranean*, Applied and Environmental Microbiology. 66: 1857-1861.
- Di Camillo C., Bo M., Puce S., Tazioli S., Froggia C., Bavestrello G. (2007), *The epibiontic assemblage of Geryon longipes (Crustacea: Decapoda: Geryonidae) from Southern Adriatic Sea*, It. J. Zool. (in stampa).
- Gerhart D.J., Rittschof D. e Mayo S.W. (1988), *Chemical ecology and the search for marine antifoulants*, J. Chem. Ecol. 14 (10): 1573-1561.
- Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. (1994), *Organisms as ecosystem engineers*, Oikos 69: 373-386.
- Kohonen T. (2001), *Self-Organizing Maps Springer Series*, Information Sciences, Vol. 30, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Margulis L. (1993), *Symbiosis, in: Cell Evolution*, 2nd Edition, Freeman, New York.
- Mariscal R.N. (1974), *Nematocysts*, in: *Coelenterate biology: reviews and new perspectives* (Muscatine L., Lenhoff H.M., eds.), Academic Press, New York, 129-178.
- Muscatine L., Cerniichiari E. (1969), *Assimilation of Photosynthetic Products of Zooxanthellae by a Reef Coral*, Biological Bulletin, 137: 506-523.
- Montoya J.M., Pimm S.L., Sole R.V. (2006), *Ecological networks and their fragility*, Nature, 442: 259-264.
- Ostman R.W., Haugness J.A. (1981), *Mutualism among sessile invertebrates: a mediator of competition and predation*, Science, New York 211: 846-848.
- Puce S., Calcinai B., Bavestrello G., Cerrano C., Gracili C., Boero F. (2005), *Hydrozoa (Cnidaria) symbiotic with Porifera: a review*, PSZN: Marine Ecology 26: 73-81.
- Stewart H.L., Sally A., Holbrook J., Schmitt R.J., Brooks A.A.J. (2006), *Symbiotic crabs maintain coral health by clearing sediments*, Coral Reefs 25: 609-615.
- Stat M., Carter D., Hoegh-Guldberg O. (2006), *The evolutionary history of Symbiodinium and scleractinian hosts - Symbiosis, diversity, and the effect of climate change*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 8: 23-43.
- Taylor M.W., Schupp P.J., Dahllöf L., Kjelleberg S. e Steinberg P.D. (2004), *Host specificity in marine sponge-associated bacteria, and potential implications for marine microbial diversity*, Environmental Microbiology 6: 121-130.
- Volterra V. (1931), *Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together*, in: Animal Ecology, McGraw-Hill.