



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per la Chimica di Molecole di Interesse Biologico



Istituto per la Diffusione
delle Scienze Naturali
Associazione Culturale Campania Europa

RELAZIONI TROFICHE IN ALCUNI MOLLUSCHI GASTEROPODI SACOGLOSSI DEL MEDITERRANEO



EDIZIONI ATHENA



1



2

1. *Oxynoe olivacea* su *Caulerpa prolifera* con ovatura e segni evidenti della predazione.
2. *Lobiger serradifalci* con ovatura su *Caulerpa prolifera*.
3. Secrezione mucosa biancastra di *Oxynoe olivacea*.
4. Autotomia di *Oxynoe olivacea*.
5. *Boselia mimetica* con ovatura su *Halimeda tuna*.



3



4



5

RELAZIONI TROFICHE IN ALCUNI MOLLUSCHI GASTEROPODI SACOGLOSSI DEL MEDITERRANEO

a cura del Dr. Guido Villani - Biologo - Collaboratore Tecnico Ente di Ricerca presso l'Istituto per Chimica di Molecole di Interesse Biologico del C.N.R. - Arco Felice - NAPOLI

PREMESSA

Traendo spunto dalle ricerche sugli aspetti chimici dell'ecologia di organismi bentonici effettuate presso il reparto Sostanze Naturali dell'Istituto per la Chimica di Molecole di Interesse Biologico del C.N.R. di Arco Felice, in queste pagine si è tentato di trattare, in maniera divulgativa, alcuni lineamenti di sistematica e biologia riguardanti peculiari forme di vita associate ad alghe facilmente osservabili anche a bassissima profondità lungo le nostre coste.

A tal fine vengono di seguito fornite indicazioni didattiche preliminari di carattere generale inerenti l'ambiente marino, le alghe ed i molluschi opistobranchi.

L'AMBIENTE MARINO

In biologia marina si usa distinguere tra dominio pelagico ("pelagos"), e dominio bentonico ("benthos"). Vengono definiti pelagici tutti quegli organismi, vegetali ed animali, che vivono sospesi, senza mai posarsi sul fondo.

Alcuni di questi organismi sono potenti nuotatori (es. tonni, sgombri, aringhe, cetacei, calamari, etc.) e possono spostarsi liberamente, contrastando le correnti: essi fanno parte del cosiddetto "necton" e si dicono pertanto "nectonici".

Fanno invece parte del "plancton", e vengono pertanto definiti "planctonici", quegli organismi pelagici che non sono capaci di nuoto attivo in maniera da contrastare le correnti, ma si lasciano trasportare passivamente da esse. Fanno parte del "benthos", e si definiscono quindi "bentonici", quegli organismi che vivono in stretto contatto col fondo e sono direttamente dipendenti da questo. Nell'ambito del dominio bentonico, vengono fatte delle distinzioni in base al rapporto che gli organismi contraggono con il fondo. Le specie 'sessili' vivono fissate saldamente al substrato d'impianto, come i coralli, le gorgonie, le spugne e la maggioranza delle alghe.

Sui fondi sabbiosi e fangosi, la vita sessile non è possibile, esistono però molte specie, dette 'pivotanti', che sono fisse al substrato; oltre alle piante marine, si possono ricordare le pennatule ed alcune ascidie.

Altre specie vivono solitamente ferme in uno stesso posto, o si spostano molto raramente: queste si definiscono 'sedentarie', quali ad esempio le attinie e tantissimi invertebrati che vivono nei fondi sabbiosi o fangosi. Le specie bentoniche che si muovono più o meno rapidamente sono invece chiamate 'mobili' o 'vagili'.

Alcune strisciano o camminano sul fondo, e sono dette 'reptanti', altre nuotano, e son dette 'natanti'.

Tra i reptanti vi sono molti molluschi e crostacei, le stelle marine ed i vermicoli; i natanti comprendono i pesci e qualche mollusco cefalopode.

LE ALGHE

Gli organismi vegetali acquatici che vengono comunemente indicati con il termine **Alge** o **Tallofite** raggruppano in realtà un numerosissimo (oltre 25.000 specie) ed eterogeneo insieme di forme vegetali corrispondenti a più divisioni tassonomiche molto diverse tra loro.

Anche escludendo le "alge azzurre" o **Cianofite**, procarioti attualmente assegnati al regno delle **Monere**, rimangono comunque accomunate sotto questo termine forme unicellulari, gran parte delle quali costituiscono il "plancton vegetale" o **fitoplancton**, e multicellulari, con modi di vita e di organizzazione biologica disparati.

Per trovare più facilmente degli elementi comuni che permettano di tratterne i lineamenti generali restringeremo il campo, prendendo in considerazione le "alge macroscopiche", cioè le specie che si possono facilmente osservare ad occhio nudo lungo le nostre coste oppure durante un'immersione.

Caratteristica comune a tutte le alge è quella d'essere dei vegetali provvisti di clorofilla e di **tallo**. Il tallo è in pratica il corpo ed è un apparato vegetativo privo di organi come radici, fusto, foglie e dei tessuti vascolari che trasportano l'acqua e la linfa nelle piante terrestri. Ciò non esclude che, specialmente nelle alge di maggiori dimensioni, i talli possano apparire anche molto differenziati nella loro forma spesso riconoscendo erroneamente porzioni di tallo a forma di radici, di fusto o di foglie. Ma l'errore è proprio questo: si tratta di qualcosa che ha la forma di tali organi, ma non ne possiede la struttura anatomica, né la complessità d'organizzazione e, di conseguenza, la completezza delle funzioni fisiologiche.

La denominazione di **Tallofite** con la quale le alge (e non solo loro) vengono meno frequentemente designate, deriva dal fatto di possedere un tallo. Un altro nome che le alge dividono con altri gruppi di vegetali è **Crittogame**.

Tale termine di origine greca significa più o meno "sesso nascosto" e si riferisce semplicemente al fatto che le alge non hanno fiori né frutti, cioè non hanno quelli che sono in pratica le manifestazioni esteriori della sessualità nelle piante.

Un'alga presenta generalmente, ma non sempre, un colore esterno corrispondente a quello dei propri pigmenti e ciò rende possibile riconoscere la divisione di appartenenza senza dover ricorrere a sofisticate tecniche di laboratorio.

Esaminiamo ora brevemente alcune loro caratteristiche fondamentali prima di passare ad una sommaria trattazione delle tre divisioni summenzionate.

Diciamo innanzitutto che il **tallo** può avere dimensioni rispettabili, anche dell'ordine di metri, e presentare varia morfologia; può essere filamentoso, più o meno ramificato, oppure può essere nastriforme o fogliaceo o laminare o talvolta massivo e di aspetto quasi spugnoso. In talune specie di grandi dimensioni può apparire assai differenziato, con una parte basale fatta a "rizoidi" (**non radici**), uno "stelo" ed una "fronda", che imita a volte, nell'aspetto, foglie di varia forma. Il tallo può essere prostrato, cioè aderente al substrato, oppure eretto ed in tal caso può più facilmente presentare delle ramificazioni. Queste possono essere essenzialmente di quattro tipi: alterna, se i rami si staccano alternativamente a sinistra ed a destra dell'asse principale; opposta se invece si staccano contemporaneamente in direzioni opposte; verticillata, se i gruppi di rametti sono disposti lungo lo stelo a verticilli, cioè a piani separati tra loro da porzioni prive di rametti; dicotoma, se i rami si dipartono a V.

L'assenza di fiori nelle alge non significa certamente che esse non abbiano

riproduzione sessuale; semplicemente gli organi sessuali esteriori non sono molto vistosi. I **gameti**, ossia i prodotti sessuali maschili e femminili, vengono prodotti normalmente. Dalla loro unione nasce frequentemente un organismo che non è uguale a quelli che l'hanno generato. A tal proposito è da considerare che in tutte le alghe esiste un ciclo vitale complesso ed alquanto variabile da specie a specie, che comporta alternanza di generazioni sessuate ed asessuate. Tale fenomeno, che si riscontra peraltro anche in alcuni invertebrati, viene denominato **metagenesi**.

In linea di massima lo schema del ciclo metagenetico delle alghe è il seguente: la fase sessuata è il **gametofito**, chiamato così perchè produce i **gameti**.

Si dirà che una specie è **monoica** (cioè, in pratica, ermafrodita) se i gameti maschili e femminili sono prodotti sullo stesso tallo; diremo invece che una specie è **dioica** se i due tipi di gameti sono prodotti su talli separati (monoico e dioico sono termini di etimologia greca che significano rispettivamente una abitazione e due abitazioni riferendosi al fatto che nel primo caso i due sessi coabitano e nel secondo caso sono separati). Dall'unione dei due gameti deriva un individuo asessuato detto **sporofito** perchè, giunto a maturità, libererà delle **spore** dalla cui germinazione si avranno delle nuove generazioni di **gametofiti** ed il ciclo potrà così ricominciare.

Questo schema generale può essere più o meno modificato nei vari gruppi di alghe; vi è però da tenere sempre in considerazione che, generalmente, il **gametofito** e lo **sporofito** sono estremamente diversi tra loro, tanto da poter essere stati classificati in passato con denominazioni differenti.

E' unicamente la coltura in laboratorio che può, a volte, permettere con certezza di stabilire che si tratta della medesima specie.

Nelle alghe, oltre che la riproduzione sessuale, è molto diffusa quella di tipo

vegetativo, ad esempio per stolonizzazione o per formazione di propaguli.

La maggioranza delle alghe macroscopiche predilige i fondi duri, poche altre si trovano invece sui fondi sabbiosi o biodetritici e pochissime si rinven- gono su quelli fangosi.

La loro distribuzione verticale è limitata in quanto, essendo degli organismi vegetali **autotrofi**, che praticano cioè la fotosintesi, esse si trovano solo nelle acque sufficientemente illuminate.

In Mediterraneo generalmente popolamenti algali cospicui si rinven- gono nei primi 30 m. di profondità, anche se alcune specie riescono a vivere anche in condizioni di luce attenuata, fino a profondità di oltre 100 m.. Le diverse divisioni di alghe vengono individuate in base ad alcune caratteristiche biochimiche e cellulari, unitamente alle modalità riproduttive.

Limitandosi alle macroalghe, sarà sufficiente considerarne tre.

- divisione **Clorofite**-classe **Cloroficee** (alghe verdi).

- divisione **Cromofite**-classe **Feoficee** (alghe brune).

- divisione **Rodofite**-classe **Rodoficee** (alghe rosse).

La loro distinzione si basa essenzialmente sulla natura dei pigmenti che accompagnano i diversi tipi di clorofilla in esse presenti.

Le **Rodoficee** presentano nei loro plastidi due pigmenti, la **ficoeritrina** e la **ficocianina** (quest'ultimo di colore azzurro), che sono presenti in concentrazioni variabili a seconda della specie e mascherano il verde della clorofilla **a** sempre presente.

Conseguentemente, il colore di queste alghe è molto variabile; dal rosa al porpora-violaceo più o meno intensi, ma possono essere anche giallastre, verdognole, marroni o quasi nere.

La presenza della sola clorofilla **a**, che è ritenuta la clorofilla chimicamente più primitiva, unitamente ad altri caratteri

biochimici e citologici, fanno ritenere che le **Rodofite** siano il gruppo di alghe più ancestrale.

Un'altra loro caratteristica distintiva è quella di presentare uno dei cicli metagenetici più complessi in assoluto in tutto il mondo vivente in quanto comporta l'alternarsi di tre generazioni che hanno aspetto assai differente, non di due come solitamente avviene. Descriviamo brevemente il loro ciclo.

La fecondazione avviene all'interno degli organi riproduttivi del **gametofita** femminile (prima generazione); ne nasce un **carposporofito** (seconda generazione) che vive sul tallo materno; giunto a maturazione, questo **carposporofito** libera delle **carpospore** che, germinando, produrranno un **tetrasporofito** (terza generazione).

Questo è il vero e proprio **sporofito**, che produrrà le spore da cui prenderanno origine i nuovi **gametofiti**, ricominciando il ciclo.

Fanno parte delle **Rodoficee** almeno 4.000 specie, quasi tutte pluricellulari e marine.

Sono alghe **sciafile**, ovvero che meglio si adattano a vivere in assenza di luce diretta quando sono a bassa profondità e che risultano dominanti sulle altre alghe soprattutto in profondità.

Questa loro peculiarità è dovuta proprio alla presenza del suddetto pigmento **ficoeritrina** di colore rosso e che, pertanto, è in grado di sfruttare più efficacemente le radiazioni blu, che sono quelle che giungono più in profondità.

La maggior parte delle specie sono annuali e completano il loro ciclo vitale in un anno o anche meno e solo poche specie vivono vari anni. Vivono soprattutto in acque pulite e, salvo qualche eccezione, sono molto esigenti in termini di condizioni ambientali e mal si adattano a vivere in acquario.

Varie specie vengono utilizzate per produrre un polisaccaride denominato agar agar, ampiamente utilizzato nel-

l'industria alimentare, cosmetica, farmaceutica, fotografica, etc..

Appartengono alla divisione **Cromofite**, termine che significa "piante colorate", un nutrito numero di alghe piuttosto eterogenee per struttura del tallo, ciclo riproduttivo e per vari altri caratteri biologici.

Oltre alla clorofilla **a** e **c**, particolarmente abbondante è la presenza di pigmenti colorati, in particolare di **carotenoidi** (giallo-arancio-rosso) e di **xantofille** (giallo-brune). Nell'ambito di questo raggruppamento, le alghe della classe **Feoficee**, dette comunemente alghe brune, comprendono numerose specie pluricellulari e di notevoli dimensioni il cui colore dominante è, appunto, il bruno, a causa della presenza di un pigmento detto **fuxantina** ed appartenente al gruppo delle **xantofille**.

In realtà, però, la loro colorazione varia tra toni verdastri, verde-oliva, giallodorati e biancastri e solo raramente sono realmente marroni. Il tallo può avere consistenza gelatinosa, carnosa, cartilaginosa, membranosa e, più raramente, calcarea.

Possono essere annuali o perenni ed in molte di quest'ultime persiste una porzione basale, mentre la parte frondosa compare stagionalmente.

Generalmente il loro ciclo metagenetico comprende l'alternanza tra le fasi di **gametofito** e **sporofito**, spesso assai diversi l'uno dall'altro, ma in alcune specie lo **sporofito** è soppresso.

Alcune sostanze ricavate dalle **Feoficee** hanno importanza economica, e tra queste citiamo soprattutto gli **alginati**, utilizzati nell'industria tessile, colorante, chimica, cosmetica, alimentare, cartaria ecc., ed il **mannitolo**, che si adopera principalmente nella produzione di alimenti per diabetici.

Sono note oltre 1.500 specie di alghe brune distribuite prevalentemente nei mari temperati, ma ben rappresentate anche nei mari tropicali.

Nel Mediterraneo costituiscono, senza dubbio, i principali componenti fisionomici dei grandi popolamenti algali rinvenibili prevalentemente sui fondi solidi a basse e medie profondità.

Il nome attribuito alle alghe della divisione **Clorofite**, che significa "piante verdi", indica appunto la caratteristica colorazione verde brillante che generalmente esse presentano, dovuta alla presenza nei loro cloroplasti di clorofilla di tipo **a** e **b**, uguale a quella che si rinviene nei vegetali superiori, unitamente a carotenoidi α e β ed ossicaroteni. Questo ed altri motivi fanno ritenere che queste alghe siano le progenitrici di tutte le vere e proprie piante comunemente intese.

In base al ciclo riproduttivo ed alla diversa organizzazione del tallo, si distinguono specie appartenenti a varie classi.

Tra queste, le **Cloroficee** comprendono, tra l'altro, praticamente tutte le forme macroscopiche marine, con dimensioni che variano tra meno di un millimetro e qualche decimetro. Gran parte delle specie sono annuali ed alcune sono perenni.

Presentano solitamente un ciclo metagenetico con le due fasi alternate tipiche di **gametofito** e **sporofito**, che possono essere identici oppure completamente diversi tra loro. In vari casi, però, il **gametofito** risulta soppresso, mentre i gameti sono prodotti direttamente da quello che altrimenti sarebbe uno **sporofito**; più raramente, è invece lo **sporofito** ad essere ridotto, e la fase vegetativa è rappresentata dal **gametofito**.

La maggioranza delle **Cloroficee** macroscopiche marine vivono sui fondi duri, preferendo le acque molto prossime alla superficie. Molte forme sono molto resistenti e poco esigenti riguardo alla qualità dell'ambiente, per cui il loro proliferare a discapito di altre alghe può indicare ambiente stressato da cause naturali o dall'inquinamento. Alcune specie ben si adattano a vivere in acquario.

NUTRIZIONE

Le alghe e le piante marine, come è noto, sono capaci, grazie alla presenza di clorofilla, di soddisfare autonomamente le proprie esigenze energetiche, senza dover assumere materia organica dall'esterno.

Si dice infatti che i vegetali sono '**autotrofi**': l'acqua, la luce solare e le sostanze minerali disciolte sono completamente sufficienti per la loro nutrizione.

Gli animali, invece, sono '**eterotrofi**' ("si nutrono d'altro") ed hanno pertanto bisogno di alimentarsi, cioè d'ingerire materia organica dall'esterno.

I modi che essi hanno escogitato, nel corso dell'evoluzione, per l'assunzione dell'alimento, sono molteplici, e possono essere classificati in base a tre criteri fondamentali: la dimensione dell'alimento, la sua natura ed il meccanismo che l'animale utilizza per ottenerlo.

Per quanto riguarda il primo criterio, si distinguono animali '**microfagi**', che si nutrono di cibo minuscolo relativamente alle loro dimensioni corporee, e animali '**macrofagi**', che ingeriscono alimenti voluminosi.

Considerando invece la natura del cibo, è facile distinguere fra '**erbivori**', '**carnivori**' ed '**onnivori**'.

Per il terzo criterio, infine, esistono innumerevoli meccanismi d'assunzione del cibo. I microfagi, ad esempio, possono essere '**filtratori**', o '**detritivori**', o '**limivori**'.

I filtratori sono organismi che si nutrono di plancton e di altre particelle organiche sospese nell'acqua (da cui il nome di '**sospensivori**' con il quale sono anche chiamati).

Essi catturano il loro alimento mediante branchie o tentacoli appositamente conformati, o altri sistemi ancora; in molti casi sviluppano meccanismi per pompare attivamente l'acqua attraverso i loro apparati filtranti.

Comuni esempi di filtratori sono i mitili, le ascidie, le spugne, gli spirografi e praticamente tutti gli animali sessili.

I detritivori si nutrono del minuto detrito organico che si deposita sul substrato, ed infatti sono chiamati anche 'deposivori'.

Tale detrito è composto di escrementi, di resti di vario genere, ma anche di batteri, larvette ed altri organismi microscopici, anche vivi; sono detritivori, tra gli altri, molti piccoli crostacei e molluschi.

Sono invece chiamati limivori quegli animali che ingurgitano una notevole quantità di fango o di sabbia per trattenere la sostanza organica che vi si trova frammista, espellendo il resto sotto forma di pseudofeci (sabbia o fango privata del suo contenuto organico). Tipici limivori sono alcune oloturie.

I macrofagi si distinguono in categorie più numerose e più difficili da definire. Ad esempio, nell'ambito dei cosiddetti 'brucatori', vi sono erbivori, carnivori e onnivori.

Tipici brucatori sono anche i ricci di mare e molti pesci.

Oltre che brucatori, i carnivori possono essere 'predatori' veri e propri oppure 'necrofagi' e non sempre la differenza tra le due categorie è così netta; sono predatori molti pesci, i polpi, certe stelle di mare, mentre molti esempi di necrofagi si trovano soprattutto tra i molluschi gasteropodi ed i granchi.

IMOLLUSCHI OPISTOBRANCHI

I molluschi **opistobranchi** fanno parte della classe **gasteropodi**.

RIEPILOGO SISTEMATICO DEI MOLLUSCHI OPISTOBRANCHI

Tipo MOLLUSCHI

Classe	Sottoclasse	Ordini	Superfamiglia
Gasteropodi	Opistobranchi	Cephalaspidea Anaspidea Notaspidea <u>Sacoglossa</u> Nudibranchia	Cylindrobulloidea Oxynoidea Elysioidea Polybranchioidea

Caratteristica principale di tutti i molluschi è quella di avere un corpo molle, cioè privo di qualunque sostegno più o meno rigido.

In molte specie, per sopperire a questa carenza di strutture atte a sostenere ed a proteggere il corpo dell'animale, è presente una conchiglia.

Il corpo dei molluschi è organizzato abbastanza semplicemente. Le specie che appartengono alla classe dei **gasteropodi** presentano un capo provvisto di tentacoli (il numero e la forma variano in ogni specie), più o meno sviluppato e situato anteriormente; ventralmente e posteriormente si trova un'ampia suola muscolosa denominata **pie**de utilizzata per muoversi strisciando e che in alcune specie pre-

senta delle espansioni laterali, talvolta utilizzate per il nuoto, denominate **parapodi**; posteriormente e dorsalmente si trova la massa viscerale che è ricoperta da una pellicola cutanea denominata **mantello**, ed è proprio a questa struttura che è assegnato il compito, nelle specie che ne sono provviste, di secernere la conchiglia.

Un'altra struttura esclusiva dei gasteropodi, anche se con diverse eccezioni, è la **radula** nella cavità boccale.

Si tratta di una sorta di minuscola lingua munita di denti chitinosi, i quali hanno forma e morfologia molto variabili.

Quella dei gasteropodi è in assoluto la classe più vasta di molluschi; comprende infatti quasi 80.000 specie che sono per la

maggior parte marine e bentoniche. La loro caratteristica più saliente è data dall'asimmetria e dalla spiralizzazione del corpo, testimoniata dalla loro tipica conchiglia a chiocciola.

Si ritiene che questa conformazione si sia evoluta proprio per la presenza di conchiglie robuste ed ingombranti: l'avvolgimento a spirale, infatti, consente di renderle più compatte e di distribuire meglio le masse, consentendo così di mantenere l'equilibrio durante la deambulazione.

La conchiglia dei gasteropodi può avere aspetto e consistenza assai variabili, in talune specie può essere ridotta ad una sottile lamella cornea oppure mancare del tutto. Nella sua forma tipica è però ben calcificata e si presenta nella maggior parte dei casi costituita da spire avvolte attorno ad un asse detto **columella**, che può essere cava o piena.

L'accrescimento inizia dall'apice e va verso la base, in cui si trova l'apertura della conchiglia che, in alcune specie, può essere richiusa in caso di pericolo da un **opercolo**, corneo o calcareo.

Il margine dell'apertura è detto **peristoma** e può essere intero oppure diviso in due labbri (interno ed esterno), talvolta con un prolungamento detto **sifone**.

Secondo le classificazioni tradizionali si riconoscono tre sottoclassi: **prosobranchi**, **opistobranchi** e **polmonati**.

Sottoclasse **OPISTOBRANCHI**

Caratteristica di questa sottoclasse è la tendenza alla riduzione della conchiglia, che diventa dapprima piccola e fragile, spesso insufficiente ad avvolgere completamente il corpo, e poi interna, per scomparire del tutto nelle forme più specializzate (ordine **nudibranchi**).

In relazione a ciò, la torsione del corpo che caratterizza i gasteropodi conchigliati tende, almeno esteriormente, a regredire

e ricompare la simmetria bilaterale. Nelle poche specie provviste di conchiglia, questa è comunque priva di opercolo.

Negli opistobranchi il capo è quasi sempre dotato di due paia di tentacoli, una coppia di tentacoli boccali molto piccoli e talvolta assenti, mentre superiormente si nota un'altra coppia di tentacoli specializzati denominati **rinofori** che possono essere digitiformi oppure auricolati.

Il corpo può essere sia limaciforme, sia con papille dorsali denominate **cerata**, oppure appiattito.

La respirazione avviene fondamentalmente mediante ctenidio o per mezzo di branchia secondaria, così come può essere anche semplicemente cutanea; quest'ultima, comunque, può integrare entrambe le precedenti.

Gli opistobranchi possiedono una sola branchia situata posteriormente al cuore, un solo atrio cardiaco, come pure un solo nefridio e una sola gonade. Sono ermafroditi e possiedono una larva natante (**veliger**) provvista di conchiglia, e vivono quasi tutti in acque marine o salmastre.

Dal punto di vista evolutivo, l'aspetto senza dubbio più notevole è il motivo per cui diversi gasteropodi, ognuno per proprio conto e secondo una propria via, abbiano deciso di abbandonare il ben collaudato sistema difensivo conchiglia/opercolo per affidarsi a nuove forme alternative di difesa basate su concetti assolutamente differenti.

Si assiste, infatti, nei molluschi appartenenti a questa sottoclasse, ad una graduale riduzione evolutiva del nicchio che scompare del tutto nell'ordine nudibranchi. Naturalmente la perdita della conchiglia, unitamente alla relativa detorsione secondaria delle viscere e dei gangli neurali e l'assunzione di una simmetria bilaterale, conducono ad un aumento della mobilità in quanto il mollusco può utilizzare per il movimento non più soltanto un piede relativamente piccolo, bensì l'intero corpo.

Un aumento delle possibilità motorie comporta un'espansione della nicchia ecologica della singola specie principalmente attraverso un più facile accesso alle fonti di cibo, con la naturale conseguenza del passaggio graduale da una dieta vegetariana ad una dieta carnivora che, per pari quantità, fornisce al sistema biologico la maggiore energia di cui abbisogna.

Dalle accresciute capacità motorie deriva, ancora, la capacità di sfuggire con maggiore facilità all'azione di tutti quei predatori tipo i crostacei che solitamente attaccano tutto ciò che si muove.

D'altra parte una relazione più intima con l'ambiente esterno, non più mediata attraverso un guscio protettivo come la conchiglia, ha reso necessaria l'elaborazione di strategie difensive attive ed alternative atte a garantire la conservazione della specie.

I meccanismi di difesa di questi molluschi possono essere ricondotti a tre tipi fondamentali:

- a) comportamentali
- b) morfologici
- c) chimici

La difesa primaria di un opistobranco consiste nell'evitare di essere individuato da potenziali predatori.

Ciò viene realizzato attraverso abitudini reclusive: molti di essi vivono in zone poco illuminate (**sciafilismo**) oppure sotto le rocce (Es. *Cyerce cristallina*) mentre quasi tutti i rappresentanti dell'ordine *bullomorpha* vivono nascosti sotto il sedimento durante il giorno per poi fuoriuscirne nelle ore notturne (*Aglaja*, *Bulla*, *Haminoea*, etc.).

Quelli che non si nascondono presentano sovente un mimetismo di tipo criptico conseguente alla forma ed alla colorazione dell'animale che si confonde con quella dell'ambiente circostante (Es. *Doris verrucosa*) oppure presenta un tipo di colorazione smembrante che non consente di visualizzare i contorni del corpo (Es. *Discodoris atromaculata*).

Molti opistobranchi non sono criptici

e non tentano di nascondersi e quando un predatore riesce a localizzarli entrano in azione varie difese secondarie.

Molti di questi molluschi, infatti, sono in grado di spostarsi più velocemente nuotando per vari minuti (Es. *Aplysia*, *Akera*, *Tethys*, etc.); altri compiono dei movimenti che sono stati interpretati come "difesa aggressiva" per spaventare cioè il predatore.

Se questo viene infine a contatto con il mollusco possono essere adoperate altre difese.

Molti nudibranchi del sottordine *doridacea* che si cibano prevalentemente di poriferi, presentano l'epidermide rinforzata da "spicole" che li rendono difficilmente attaccabili.

Altri opistobranchi, invece, fanno ricorso all'autotomia rilasciando spontaneamente al predatore orlature del proprio mantello (alcuni *discodoridacea*) oppure alcuni dei *cerata* che si trovano sul mantello stesso (*Madrella aurantiaca*, *Tethys fimbria*, *Janolus cristatus*, *Cyerce cristallina*, *Lobiger serradifalci*, *Placida dendritica*, etc.) e che vengono successivamente rigenerati.

I *cerata*, una volta separatisi dal mollusco, rimangono a contrarsi per alcuni minuti, distogliendo così l'attenzione del predatore.

Singolare è il sistema di difesa elaborato da alcuni nudibranchi del **sottordine *aeolidacea*** che utilizzano le **nematocisti** prelevate dall'ectoderma dei celenterati di cui si nutrono.

Negli *aeolidacea* i *cerata* dorsali sono provvisti di espansioni connesse direttamente allo stomaco ed è per questa via che le *nematocisti* ingerite, resistenti all'azione dei succhi gastrici del mollusco, raggiungono i *cerata* e vengono incapsulate alle loro estremità strettamente fissate tra le cellule epiteliali in una cavità aperta verso l'esterno con un poro, chiamata "cnidosacco".

Questo meccanismo di difesa con cui le specie di un phylum utilizzano la parte

funzionale del corpo di specie di un altro phylum completamente diverso è un fenomeno unico in natura.

Molti opistobranchi non sono criptici e non ricorrono alle difese sopramenzionate; presentano invece vistose colorazioni spesso nettamente contrastanti con l'ambiente in cui vivono che li rendono particolarmente visibili.

Questi molluschi utilizzano una terza categoria di difesa organica, quella chimica, secernendo molecole, acidi organici e composti organici, che li rendono non appetibili ai potenziali predatori. Molto spesso, inoltre, l'animale evidenzia la propria repellenza o tossicità attraverso i cosiddetti "colori ammonitori".

Per queste caratteristiche peculiari gli opistobranchi rappresentano degli straordinari modelli per studi dei meccanismi di difesa su basi chimiche.

Nell'ambito della sottoclasse opistobranchi, uno degli ordini a cui si è rivolta maggiormente la nostra attenzione è stato quello dei **sacoglossi**.

Isacoglossi sono molluschi strettamente associati con le alghe verdi in quanto dipendono da queste ultime per l'alimentazione.

Molti di essi sequestrano dalle loro prede i cloroplasti che, rimanendo attivi nell'animale per un periodo variabile, secondo la specie, da 24 hr a 3 mesi, potrebbero sintetizzare molecole utili sia per la nutrizione sia per la difesa del mollusco.

I sacoglossi, distinti nei due **sottordini Conchoidina e Aconchoidina**, sono ulteriormente differenziati in quattro **superfamiglie: Cyliindrobulloidea, Oxynoidea, Elysioida e Polybranchioidea**.

Quelli appartenenti alle superfamiglie Cyliindrobulloidea e Oxynoidea sono considerati i meno evoluti, infatti conservano una conchiglia ancestrale e non sono in grado di trasferire ed accumulare i cloroplasti dalle alghe predate.

I primi studi sui sacoglossi del Mediterraneo sono stati condotti alcuni anni fa

sulle specie *Oxynoe olivacea*, *Lobiger serradifalci* e *Cyliindrobulla fragilis*.

Si tratta di molluschi (Fig. 1) di piccole dimensioni (c.a. 4 cm i primi due e c.a. 6 mm *Cyliindrobulla fragilis*) provvisti di una fragilissima conchiglia esterna che protegge gli organi interni e che appare parzialmente ricoperta dai parapodi.

Queste specie sono diffuse in tutto il Mediterraneo fra -2 e -20 m. su fondi detritici dove si rinviene in stretta associazione mutualistica con la Cloroficea *Caulerpa prolifera*.

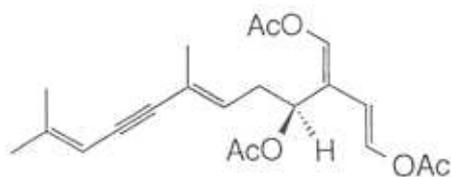
In letteratura è riportato che questi opistobranchi utilizzano una serie di strategie per sottrarsi alla predazione. Innanzitutto questi molluschi, escluso *C. fragilis* che vive nel sedimento tra i rizomi dell'alga, presentano un mimetismo criptico in quanto la loro colorazione è analoga all'alga *C. prolifera* su cui vivono (FOTO n° 1 e 2).

Inoltre, se disturbati, essi secernono un muco biancastro (FOTO n° 3) estremamente tossico ed in grado di dissuadere vari predatori, incluso i pesci, dall'aggradirli.

Se ulteriormente molestati, infine, questi organismi sono in grado di provocare spontaneamente l'autotomia (FOTO n° 4) della parte posteriore del piede (in entrambe le specie) e delle quattro espansioni laterali dei parapodi (solo in *L. serradifalci*).

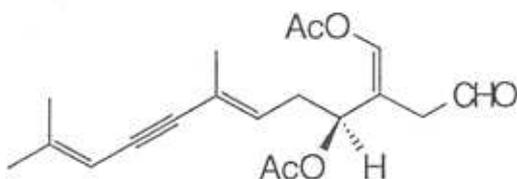
La parte autotomizzata continua a secernere muco, contraendosi visibilmente per alcuni minuti, distogliendo così l'attenzione del predatore e consentendo al mollusco di allontanarsi. La rigenerazione della parte autotomizzata avviene nell'arco di pochi giorni.

L'alga *C. prolifera* contiene come componente principale, tra gli altri metaboliti secondari, una piccola molecola denominata **caulerpenina (1)** che mostra uno scheletro sesquiterpenoidico.

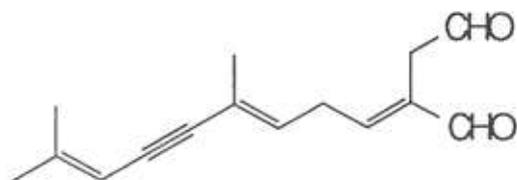


1. caulerpenina

O. olivacea è in grado di modificare il metabolita dell'alga in una coppia di composti più tossici, **oxytossina-1**(2) e-2 (3), caratterizzati dalla presenza di un gruppo aldeidico. Analoga strategia difensiva è adottata da *C. fragilis* e *L. serradifalci*.



2. oxytossina-1



3. oxytossina-2

La caulerpenina viene dapprima trasformata in oxytossina-1, una monoaldeide, che si accumula nei parapodi di *L. serradifalci* e nella coda di *O. olivacea* e successivamente, in *O. olivacea* e *C. fragilis*, in oxytossina-2 che mostra due gruppi aldeidici 1,4 coniugati.

Probabilmente, da un punto di vista evolutivistico, la specie più ancestrale può considerarsi *C. fragilis*, che ritiene nel suo corpo la caulerpenina in forma non modificata.

I molluschi della superfamiglia Elysioidea occupano una posizione intermedia nel trend evolutivo (Fig. 2) nell'ambito dell'ordine Sacoglossi.

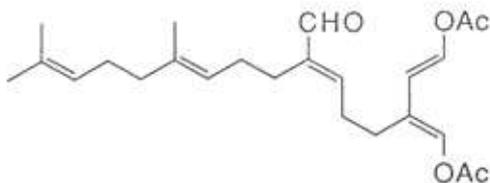
Essi sono privi di conchiglia e sono caratterizzati da due grandi parapodi attraversati da diverticoli della ghiandola digestiva mediante i quali vengono accumulati i cloroplasti assunti attraverso la dieta e che controllano, modulando l'apertura e la chiusura, l'attività fotosintetica.

I nostri studi sono stati concentrati essenzialmente sulle seguenti cinque specie più rappresentative di questa superfamiglia; *Elysia translucens*, *Bosellia mimetica*, *Thuridilla hopei*, *Elysia viridis*, *Elysia timida*.

E. translucens è una specie di piccolissime dimensioni (max. mm.3) che vive sul tallo della comunissima cloroficea *Udotea petiolata* di cui si nutre.

Quest'alga si rinviene a pochissima profondità in baie con acque calme e ben esposte alla luce.

Dall'analisi chimica dei metaboliti secondari presenti nel mantello del mollusco è stato isolato un diterpenoide tossico (4), peraltro già isolato precedentemente dall'alga, denominato **udoteale**.



4. udoteale

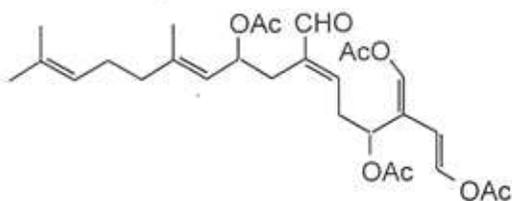
Questo composto, probabilmente coinvolto nel meccanismo di difesa della *E. translucens*, è di evidente origine dietarica, in quanto risulta essere uno dei costituenti principali del pattern metabolico della *U. petiolata*.

B. mimetica è anch'essa una specie di piccolissime dimensioni (max. mm. 4) che si rinviene in acque molto superficiali

perfettamente mimetizzata (da questa caratteristica deriva il nome della specie) sul tallo (FOTO n° 5) della cloroficea *Halimeda tuna*.

È quest'ultima un'alga molto frequente lungo le nostre coste, che si trova già a partire da pochi centimetri al di sotto del livello della bassa marea e che presenta un'inconfondibile tallo costituito da più fronde a forma di piccole monete unite fra loro.

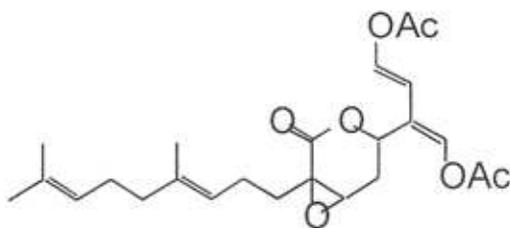
Analizzando il pattern metabolico del mantello del mollusco, è stato isolato, anche in questa specie, un composto tossico di origine dietarica avente probabilmente una funzione difensiva; si tratta di un altro diterpenoide già isolato dalla *H. tuna*, denominato **halimedatriale tetraacetato**(5).



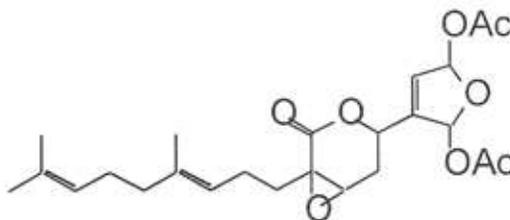
5, halimedatriale tetraacetato

Un'altra associazione mutualistica da noi studiata è stata quella fra il sacoglossa *Thuridilla hopei* e la cloroficea *Derbesia tenuissima*.

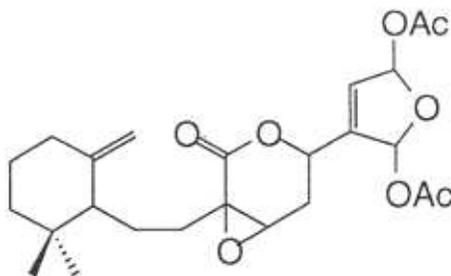
T. hopei è una specie che, nonostante le piccole dimensioni (max. mm.15), si nota facilmente grazie alla sua vistosa colorazione (FOTO n° 6); si incontra a varie profondità sui fondi rocciosi ben illuminati e con ricco popolamento algale. Questo mollusco è in grado di modificare biologicamente un diterpenoide presente nell'alga *D. tenuissima* (6), modificandolo in altri tre diterpenoidi strettamente correlati denominati **thuridillina-A** (7), **-B** (8), **-C** (9).



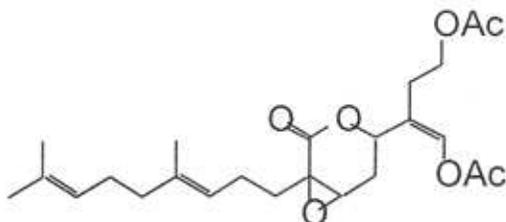
6, diterpenoide da *D. tenuissima*



7, thuridillina-A



8, thuridillina-B

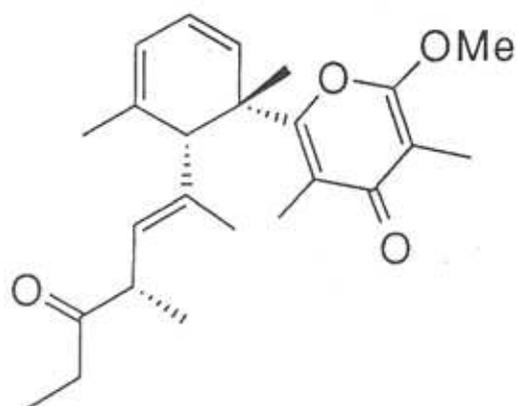


9, thuridillina-C

Elysia viridis è la specie più grande della superfamiglia elysioidea (max. mm. 40); vive ben mimetizzata (FOTO n° 7) sul tallo della cloroficea *Codium vermilara*, ed è possibile incontrarla in

acque superficiali in baie calme ben soleggiate e con abbondante popolamento algale.

Dal mantello e dalla secrezione mucosa di *E. viridis* è stato isolato un polipropionato denominato **elysione (10)**, assente nell'estratto dell'alga *C. vermilara* predata dal mollusco.



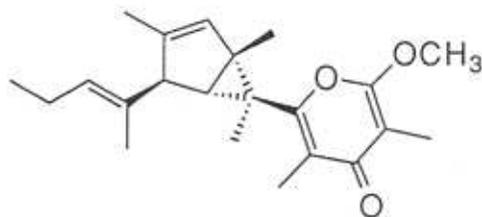
10. elysione

E' stato possibile dimostrare, seguendo la biosintesi dell'elysione in questa specie mediante precursori radioattivi, che *E. viridis* è in grado di biosintetizzare ex novo il proprio allomone di difesa.

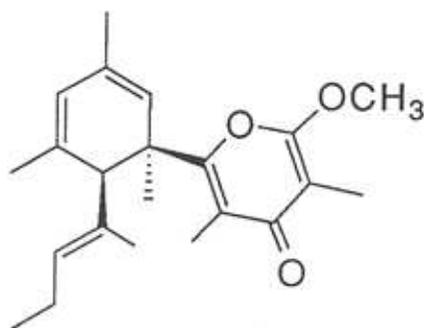
Una situazione analoga è stata riscontrata studiando l'associazione mutualistica tra il sacoglossa *E. timida* (FOTO n° 8) e la sua preda, la cloroficea *Acetabularia acetabulum*.

E. timida è un mollusco molto piccolo (max. mm.5) che vive perfettamente mimetizzato sul tallo dell'alga di cui si nutre e che si incontra a pochissima profondità in baie calme e soleggiate.

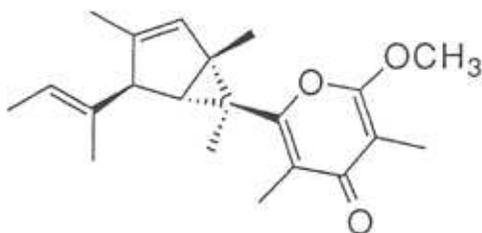
Dal mollusco sono stati isolati i seguenti composti: **photodeoxytridachione (11)**, **9,10-deoxytridachione (12)**, **15-norphotodeoxytridachione (13)** e **iso-9,10-deoxytridachione (14)**.



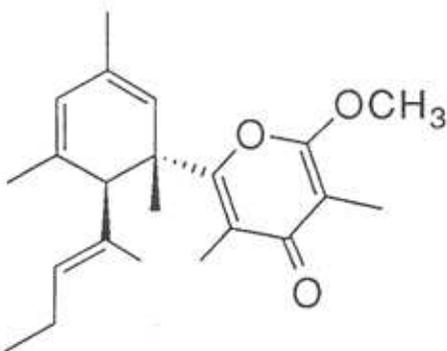
11. photodeoxytridachione



12. 9,10-deoxytridachione



13. 15-norphotodeoxytridachione



14. iso 9,10-deoxytridachione

Anche in questo caso è stato possibile dimostrare che il mollusco è in grado di biosintetizzare *ex novo* i propri allomoni di difesa.

Questi polipropionati, assenti nell'estratto dell'alga, sono risultati essere fortemente tossici per i pesci e sono presenti anche nel muco secreto dall'animale quando viene molestato.

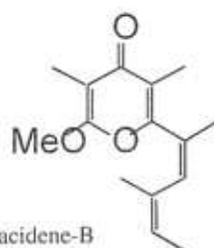
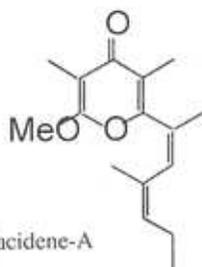
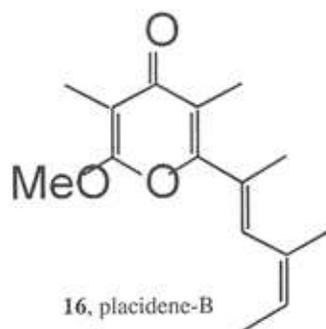
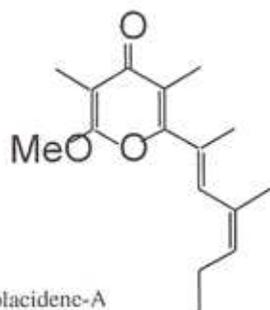
I sacoglossi appartenenti alla superfamiglia Polybranchioidea sembrano invece essere le specie più evolute in quanto sono privi di conchiglia e possiedono una serie di cerata dorsali generalmente autotomizzabili e secrezioni mucose difensive.

Di particolare interesse si sono rivelati

gli studi condotti su alcune relazioni mutualistiche fra Polybranchioidea e le cloroficee da essi predate.

Placida dendritica è un piccolo rappresentante della famiglia Stiligeridae (max. mm.15) che vive in prossimità della superficie in baie molto riparate e ben illuminate; questa specie appare perfettamente mimetizzata (FOTO n° 9) sull'alga *Bryopsis plumosa*.

Dal mantello del mollusco e dalla secrezione mucosa sono stati isolati quattro differenti allomoni di difesa; si tratta di g-pironi denominati rispettivamente **placidene-A (15)** e **-B (16)** ed **iso-placidene-A (17)** e **-B(18)**.



Molto probabilmente tali metaboliti vengono biosintetizzati *ex novo* dalla *P. dendritica* e sono totalmente assenti negli estratti dell'alga *B. plumosa*.

Un'altra associazione analizzata è stata quella fra un'altro rappresentante (FOTO n° 10) della famiglia Stiligeridae, *Ercolania funerea*, e la cloroficea *Chaetomorpha capillaris*.

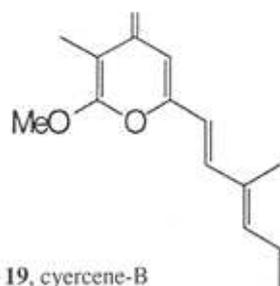
E. funerea è un mollusco piccolissimo

(max. mm.5) che vive a pochissima profondità in baie con acque costantemente calme e ben illuminate.

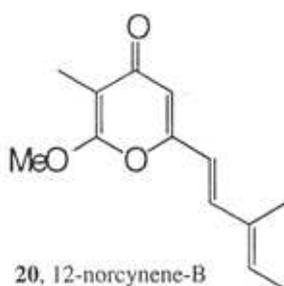
Analizzando gli estratti ottenuti dal mollusco e dalla sua secrezione mucosa, sono stati isolati sei polipropionati a- e g-pironi, denominati rispettivamente **cyercene-B (19)** (un metabolita precedentemente isolato dalla *Cyerce cristallina*, un rappresentante della fami-

glia **Polibranchidae**), **12-norcyercene** (**20**), **7-metil-cyercene-B** (**21**) (pure isolato in precedenza dalla *C. cristallina*), **7-**

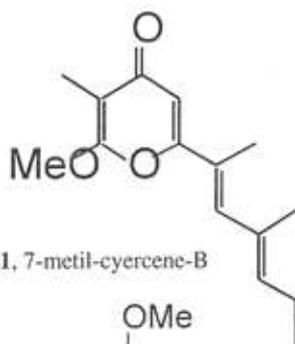
metil-12-norcyercene-B (**22**), **7 metilcyercene-2** (**23**) e **7-metilcyercene-I** (**24**).



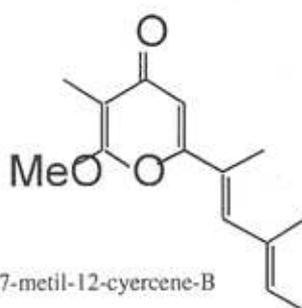
19, cyercene-B



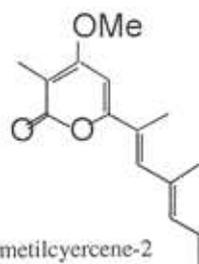
20, 12-norcynene-B



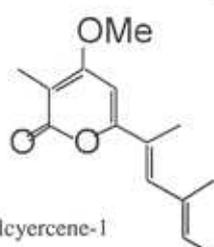
21, 7-metil-cyercene-B



22, 7-metil-12-cyercene-B



23, 7-metilcyercene-2



24, 7-metilcyercene-1

Nessuno di questi composti è stato riscontrato nell'estratto dell'alga *C. capillaris* predata dal mollusco.

E. funerea, analogamente a *C. cristallina*, *P. dendritica* ed altre specie, quando è molestata, per difendersi provoca l'autotomia dei cerata dorsali e secerne un muco tossico.

Analizzando separatamente il muco ed i cerata, è stato possibile constatare che i composti **20** e **22** sono i maggiori costituenti della secrezione mucosa; **20** è solo un componente minore nell'estratto dei cerata, dove il metabolita principale è **22**, unitamente agli altri cyerceni **21**, **23**, **24**.

In conclusione, considerando i dati qui riportati dello studio chimico condot-

to sui sacoglossi appartenenti alle quattro diverse superfamiglie, è possibile ricavare un quadro generale su questi molluschi mediterranei.

Volendo tracciare un'ipotetica scala evolutiva, i sacoglossi più ancestrali sembrano essere i *Cylindrobulloidea* e gli *Oxynoidea* (Fig.3) che sono intimamente correlati alla loro preda, mentre i *Polybrancoidea* appaiono i più evoluti, essendo in grado di biosintetizzare *ex novo* i metaboliti coinvolti nella protezione chimica. Una posizione intermedia, invece spetta agli *Elysioidea* in quanto vi sono specie come *E. translucens* e *B. mimetica* che sono strettamente relate alle loro prede, le clorofee *U. petiolata* e

H. tuna; al contrario, *E. timida* ed *E. viridis*, appaiono più prossime ai Polybrancoidea, essendo in grado anch'essi di biosintetizzare ex novo i composti coin-

volti nella protezione chimica e che possono controllare altre funzioni biologiche fondamentali.

BIBLIOGRAFIA

Schmekel L. e Portmann A., 1982. Opisthobranchia des Mittelmeres (Nudibranchia und Sacoglossa), Springer, Berlin, 410 pp.

Thompson T. E., 1976. "Biology of Opisthobranch Molluscs", The Ray Society, London, vol. 1.

Gascoigne T., 1985. A provisional classification of families of the order Ascoglossa (Gastropoda: Nudibranchiate). J. Moll. Stud., Vol. 51, pp. 8-22.

Gonor J. J., 1961. "Observations on the biology of Lobiger serradifalci, a shelled sacoglossan opisthobranch from the Mediterranean", Vie et Milieu, Vol. XII, pp. 381-403.

Kay E. A., 1968. A review of the bivalved gastropods and a discussion of evolution within the Sacoglossa. Symp. Zool. Soc. Lond., Vol. 22, pp. 109-134.

Marin A. & Ros J. D., 1988. Los sacoglossos (Mollusca, Opisthobranchia) del sudeste ibérico. Catalogo de las especies y presencia de cloroplastos algales en las mismas. Iberus, Vol. 8, pp. 25-49.

Marin A. & Ros J. D., 1992. Dynamics of a peculiar plant-herbivore relationship: the photosynthetic ascoglossan *Elysia timida* and chlorophycean *Acetabularia*

acetabulum. Mar. Biol., Vol. 112, pp. 677-682.

Murillo L., Templado J. & Talavera P., 1986. The ascoglossan opisthobranchs of a caulerpan fauna of the Mediterranean Sea. Shell Sea Life, Vol. 17, pp. 240-243.

Cimino G. e Sodano G., 1989. The chemical ecology of Mediterranean opisthobranchs. Chem. Scr., Vol. 29, pp. 389-394.

Cimino G., Crispino A., Di Marzo V., Gavagnin M. and Ros J. D., 1990. Oxytoxins, bioactive molecules produced by the marine opisthobranch mollusc *Oxynoe olivacea* from a diet-derived precursor. Experientia, Vol. 46, pp. 767-770.

Di Marzo V., Vardaro R. R., De Petrocellis L., Villani G., Minei R. and Cimino G., 1991. Cyercenes, novel pyrones from the sacoglossan mollusc *Cyerce cristallina*. Experientia, Vol. 47, pp. 1221-1227.

Gavagnin M., Marin A., Castelluccio F., Villani G., and Cimino G., 1994. Polypropionates from the Mediterranean mollusc *Elysia timida*. J. Nat. Prod., Vol. 57 (2), pp. 298-304.

Marin A., 1988. Gasteropodous molluscs from SW Spain. Ph. D. thesis. University of Murcia, Spain.

Villani G., 1991. Mediatori chimici nelle comunicazioni inter ed intra-specifiche di molluschi opistobranchi del Mediterraneo. *Iberus*, Vol. 10 (1), pp. 59-81.

Vardaro R. R., Di Marzo V., Marin A. and Cimino G., 1992 (a). a- and g-pyrone-polypropionates from the Mediterranean ascoglossan mollusc *Ercolania funerea*. *Tetrahedron*, Vol. 48, pp. 9561-9566.

Vardaro R. R., Di Marzo V. and Cimino G., 1992 (b). Placidenes: cyercene-like polypropionate g-pyrones from the Mediterranean sacoglossan mollusc *Placida dendritica*. *Tetrahedron Lett.*, Vol. 33, pp. 2875-2878.



Fig. 1 Associazione fra *Caulerpa prolifera* e sacoglossi nel Mediterraneo. (a) *Oxynoe olivacea*, lunghezza mm. 30; (b) *Lobiger serradifalci*, lunghezza mm. 35; (c) *L. serradifalci*, reazione difensiva con emissione di muco bianco e autotomia dei lobi dei parapodi; (d) *O. olivacea*, autotomia della coda e secrezione di muco bianco difensivo; (e) *Cilindrobulla fragilis*, lunghezza mm. 6, con secrezione difensiva bianca; (f) rigonfiamento sul rizoma di *C. prolifera*; (g) macchie decolorate su *C. Prolifera* causate dalla predazione di *O. olivacea* e di *L. serradifalci*; (h) rizomi di *C. prolifera*.

Andamento evolutivo nei sacoglossi Elysoidea

Markers chimici

polipropionati
(biosintesi *ex novo*)

Polybranchioidea ?

polipropionati
(biosintesi *ex novo*)

E. timida

diterpenoidi
(da alghe verdi)

E. viridis

T. hopei

sesquiterpenoidi
(da alghe verdi)

B. mimetica

E. translucens

Oxynoidea

Fig. 2

Ipotetico Scenario Evolutivo nell'ordine Sacoglossa

polipropionati

ex novo da 5 unità



P. dendritica

multifunzionalità



C. cristallina



C. mediterranea



E. funerea

polipropionati

ex novo da 8 unità



E. viridis



E. timida



T. hopei

diterpeni

da alghe



B. mimetica



E. translucens

sesquiterpeni

da alghe



O. olivacea



L. serradifalci



C. fragilis

Fig. 3



6

6. *Thuridilla hopei*.

7. *Elysia viridis*.

8. *Elysia timida* su *Acetabularia acetabulum*.

9. *Placida dendritica* su *Briopsis plumosa*.

10. *Ercolania funerea* con ovatura su *Chaetomorpha capillaris*.



7



8



9



10

