

## 9. I PRINCIPALI AMBIENTI MARINI

Vista la sinteticità di questo testo non potranno essere trattati in maniera adeguata tutti gli ambienti marini in quanto il loro numero e la loro complessità richiederebbero uno spazio maggiore.

Verrà quindi ridotto il quadro descrittivo a quegli ambienti che per diffusione, per gli elevati livelli produttivi, o anche soltanto come riferimento in grado di far comprendere importanti meccanismi ecologici, sono i più interessanti.

### 9.1 La piattaforma continentale e la sua suddivisione

La **piattaforma, o platea continentale**, è una porzione di fondale marino particolarmente importante in quanto, cingendo le masse continentali ed estendendosi dalla costa verso il largo, è caratterizzata dalla presenza della luce e quindi da produzioni primarie bentoniche oltre che planctoniche. La capacità produttiva di questa area è quindi più elevata, e conseguentemente più elevate sono anche, ad esempio, le risorse ittiche utilizzabili da parte dell'uomo. E' ancora importante per i problemi legati agli apporti inquinanti dall'entroterra che alterano spesso la qualità di queste acque.

La corretta definizione della sua estensione è data dalla debole pendenza del fondale, inferiore o uguale al 2 ‰, fino al raggiungimento di un brusco aumento della pendenza che segna l'inizio della **scarpata continentale**.

L'estensione della platea orizzontale è variabile da poche centinaia di metri a diverse decine di chilometri, mentre quella verticale va dalla linea di marea fino a 130-200 m, profondità alla quale normalmente avviene il cambio di pendenza del fondale.

Il fine di questo capitolo è quello di dare un inquadramento generale di questa area di mare in cui oltre a realizzarsi importanti fenomeni biologici si svolgono numerose attività umane. Aspetti di specifici organismi planctonici, bentonici o nectonici presenti in questi fondali sono stati trattati in precedenti capitoli, e ulteriormente saranno approfonditi, in successivi capitoli, i problemi di alterazione ambientale. L'obiettivo non è quindi quello di parlare di plancton, benthos e necton della platea ma è quello di spiegarne alcune caratteristiche generali, al fine di avere un corretto quadro di riferimento di questo ecosistema che per la stragrande maggioranza dei casi è quello più significativo nelle relazioni dell'uomo con l'ambiente marino.

#### 9.1.1 I sedimenti e la distribuzione degli organismi

La gran parte dei fondi della piattaforma continentale è caratterizzata da sedimenti mobili. Le caratteristiche di questi sono però molto variabili, principalmente in relazione con la profondità.

Le sabbie grossolane sono normalmente presenti dove più forte è il moto ondoso seguite dalle sabbie fini pulite, ovvero prive di altre componenti organiche o inorganiche di piccole dimensioni.

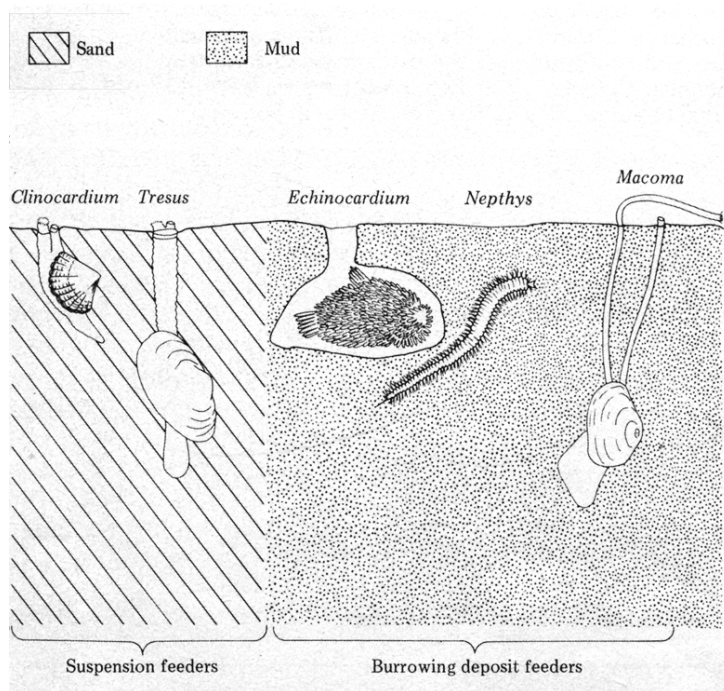


Fig. 9.1 – Il diverso popolamento animale di fondo sabbioso (a sinistra) e fangoso (a destra)

Queste sabbie costituiscono la gran parte delle spiagge e dei fondi mobili fino ad una profondità di circa 5-10 m. Da questa profondità in poi si riducono gli effetti del moto ondoso e delle correnti indotte, e cominciano a depositarsi le frazioni più fini che vanno a costituire i fanghi. Quindi, sabbie a bassa profondità, fanghi a maggiore profondità

I fondi sabbiosi sono generalmente occupati da organismi filtratori mentre i fondi fangosi sono dominati da organismi detritivori.

Ad esempio le sabbie superficiali sono caratterizzate da molluschi bivalvi quali, in Mediterraneo, la tellina e la vongola, mentre i fondi fangosi sono caratterizzati da un complesso popolamento a policheti.

Questo naturalmente non significa che non vi siano policheti nelle sabbie o bivalvi nei fanghi ma i rapporti di dominanza assoluta sono quelli sopra citati.

Il motivo di questa netta ripartizione è da collegare con una serie di specializzazioni che caratterizzano ciascuno di questi gruppi. I policheti, ad esempio, possono vivere infossati nei fanghi molli ed alimentarsi della frazione organica leggera che tende a depositarsi, dalla superficie al fondo, in assenza di forte idrodinamismo. La loro alimentazione provoca un movimento del sedimento che crea nuova sospensione rendendo l'interfaccia acqua-fango assai torbida. Questo ambiente è particolarmente difficile per gli organismi filtratori come i bivalvi che soffrono di intasamenti degli organi di filtrazione in simili condizioni. Per tale motivo i fondi fangosi ospitano relativamente poche specie di bivalvi. Viceversa i policheti hanno difficoltà a vivere tra le sabbie soggette a forte idrodinamismo in quanto non sono in grado generalmente di opporsi a questo ed inoltre il potere abrasivo della sabbia (la carta vetrata è fatta con sabbia !) è particolarmente dannoso per organismi privi di guscio esterno come buona parte dei molluschi che vivono in questi fondali.

I fondi duri, a differenza di quelli mobili, presentano una notevole varietà di caratteristiche che possono condizionare il popolamento bentonico. L'andamento ripido o degradante di una scogliera avvantaggerà specie sciafile o fotofile (secondo l'esposizione alla luce) o più o meno resistenti all'idrodinamismo. Inoltre la natura del substrato sarà in grado di consentire la penetrazione di specie perforanti.

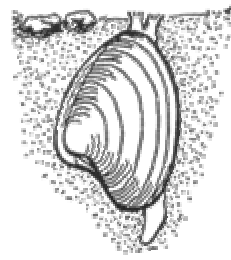
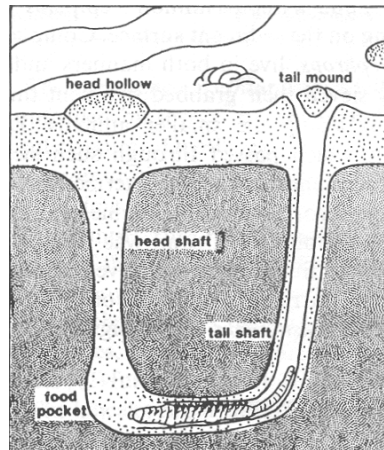


Fig. 9.2 - Bivalvi del genere *Tellina*, tipiche di fondo sabbioso (in alto) e Policheti scavatori, tipici di fondi più fangosi (a destra).



Ad esempio le rocce di natura calcarea sono solubili agli acidi di alcuni bivalvi perforanti come ad esempio il dattero di mare *Lithophaga lithophaga*. Questi sono soltanto alcuni esempi dei molti fattori che possono condizionare il successo nella presenza di una o più specie con esigenze comuni. In realtà quest'ambiente è sicuramente il più complesso ed eterogeneo tra tutti i fondali del Mediterraneo e le biocenosi che sono presenti al suo interno sono caratterizzate da un elevato numero di specie dei più diversi gruppi sistematici. Un particolare merita attenzione: un gruppo quale quello dei policheti che abbiamo citato come dominanti sui fondi fangosi e poco adatto ai fondi sabbiosi, torna ad essere dominante sui fondi rocciosi. Si tratta naturalmente di specie completamente diverse ma è interessante notare come il rapporto tra policheti ed altri gruppi animali sia ancora caratterizzato, anche in questi ambienti, da una loro dominanza. La radiazione adattativa di questo gruppo è veramente stupefacente, e tale da essere presente con elevato numero di specie in gran parte degli ambienti marini.

Abbiamo già descritto come la colonizzazione avvenga attraverso varie fasi, dalle prime specie pioniere, attraverso una serie di modificazioni successive, il popolamento raggiunge una condizione di equilibrio che si mantiene stabile finché rimarranno costanti le condizioni ambientali e i rapporti tra le specie presenti.

Le condizioni ambientali in realtà si modificano piuttosto repentinamente sui fondi duri andando in profondità, in quanto la pendenza è generalmente più elevata che sui fondi mobili. Le variazioni ambientali, la morfologia del substrato e l'esposizione sono tutti fattori in grado di determinare il successo di specifiche comunità di organismi o biocenosi che troveremo ripetitivamente là dove queste stesse condizioni si verificheranno.

Riferendoci alla condizione del Mediterraneo avremo sui fondi duri della platea continentale, dalla zona intertidale all'inizio della scarpata, un numero di biocenosi molto elevato e sicuramente maggiore di quello che è possibile trovare sui fondi mobili.

La zonazione verticale, ovvero il succedersi di diversi gruppi di specie, procedendo dalla superficie verso il fondo di una parete rocciosa verticale, come ad esempio una falesia, è molto interessante in questo senso. Ma prima di descrivere il significato di queste diverse fasce di popolamenti animali e vegetali è necessario inquadrare i modelli di suddivisione generale della piattaforma che sono stati fino ad oggi seguiti.

### 9.1.2 La zonazione della piattaforma mediterranea

Esistono molte suddivisioni dell'ambiente di piattaforma continentale che sono state adottate con criteri diversi per i mari che circondano i continenti. Prenderemo in questa sede in considerazione quelli che sono stati più seguiti per l'area mediterranea.

Il primo, e sicuramente più importante, di questi modelli di zonazione è quello ideato da Peres e Picard negli anni sessanta con il quale vengono individuati alcuni **piani** in cui si suddivide l'intera piattaforma. Due di questi riguardano le terre emerse influenzate dalla presenza del mare ed esattamente il **piano adlitorale** e il **piano sopralitorale**, il primo che risente del microclima legato alla vicinanza del mare, il secondo che è influenzato da apporti di schizzi in occasione di mareggiate. Ma la vera suddivisione dell'ambiente marino comincia con il **piano mesolitorale**, ovvero quel tratto di costa compreso tra la bassa e l'alta marea. Segue il **piano infralitorale**, tra il limite inferiore del mesolitorale e la profondità di compensazione delimitata dal margine inferiore raggiunto dalla *Posidonia oceanica*, e il **piano circalitorale** compreso tra la profondità di compensazione e il margine della piattaforma continentale.

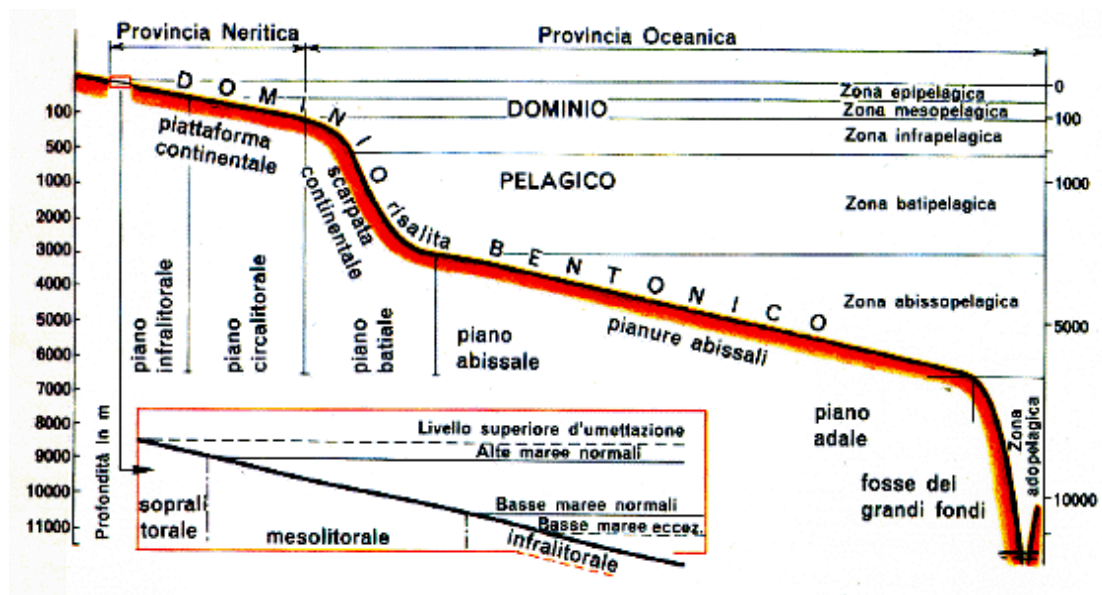


Fig. 9.3 – La classica zonazione del dominio bentonico di Peres e Picard.

Un secondo modello di zonazione è stato proposto da Riedl alcuni anni dopo la formulazione del modello di Peres e Picard. Mentre il criterio di suddivisione del primo modello era sostanzialmente legato alla luce, il secondo è regolato dalla diversa condizione di idrodinamismo presente alle diverse profondità. Vengono così individuate delle zone omogenee all'interno delle quali si sviluppano popolamenti caratteristici.

Sostanzialmente viene individuata una zona emersa o temporaneamente emersa con idrodinamismo dirompente e moti vorticosi e successivamente tre profondità critiche che suddividono altrettante zone. La **prima profondità critica** in cui è dominante un idrodinamismo oscillante, con moti verticali e/o orbitali. La **seconda profondità critica** in cui l'idrodinamismo diviene unidirezionale e quindi anche con movimenti orizzontali, è posta intorno ai 10-15 m e comprende una fascia che raggiunge i 30-40 metri. La **terza profondità critica** in cui si osservano solo moti laminari comprende l'intervallo rimanente fino al margine della piattaforma.

Sebbene il modello legato all'idrodinamismo abbia incontrato interessanti riscontri nella distribuzione spaziale di molte specie sessili, come ad esempio nell'orientamento delle gorgonie rispetto al substrato, tuttavia il modello che rimane ancora oggi di riferimento è quello di Peres e Picard e sui piani da questo individuati daremo qualche breve dettaglio.

### 9.1.2.1 Il piano sopralitorale

Il Piano sopralitorale (o spray zone) si estende a partire dal livello superiore dell'alta marea fino al limite massimo raggiunto dagli spruzzi dell'acqua durante le mareggiate. Il problema principale per gli organismi che vivono in questa zona è quello di evitare l'essiccamento durante i periodi in cui non sono raggiunti dagli schizzi dell'acqua. Sui fondi rocciosi molti organismi animali hanno così una conchiglia di protezione che aiuta a mantenere un certo grado di umidità all'interno e protegge dagli schizzi di acqua più violenti. E' il caso della conchiglia delle patelle del genere *Patella* o delle piastre del cirripede *Chthamalus* (fig. 9.4).

Altre specie sono mobili, in grado quindi di spostandosi attivamente alla ricerca delle condizioni migliori, ad esempio riparandosi in gruppi numerosi in cavità della roccia come i gasteropodi del genere *Littorina* o spostandosi attivamente come il crostaceo isopode *Ligia*.

I fondi mobili, che in genere presentano una pendenza più dolce rispetto ai substrati duri e, almeno nel Mediterraneo, sono rappresentati prevalentemente dalle spiagge sabbiose, ospitano specie dell'endofauna in grado di infossarsi nel sedimento di quei pochi centimetri necessari per ricercare condizioni più stabili. Ricordiamo tra i Crostacei i granchi del genere *Orchestoidea* e *Ocypodidae* (ghost crabs).



*Chthamalus stellatus* nel piano sopralitorale

### 9.1.2.2 Il piano mesolitorale

E' una fascia compresa tra l'alta e la bassa marea ed è caratterizzata essenzialmente, oltre che dalla periodica esposizione all'aria, anche dall'intenso moto ondoso che qui scarica tutta la sua energia. Particolarmente nelle coste rocciose ripide, infatti, l'energia dell'onda non si riduce per graduale contatto con il fondo e raggiunge con tutta la sua intensità la riva.

Gli organismi che vivono in questo ambiente devono avere sviluppati adattamenti in grado di renderli capaci di resistere alla fortissima azione idrodinamica, alla periodica esposizione all'aria e conseguentemente alle elevate escursioni termiche ben maggiori di quelle che usualmente sono presenti in mare.

In ambienti ad idrodinamismo ridotto quali porti e baie possono esser presenti anche specie meno resistenti all'impatto del moto ondoso.

L'intervallo di marea è in Mediterraneo di pochi decimetri e soltanto in Alto Adriatico può raggiungere 1 m.

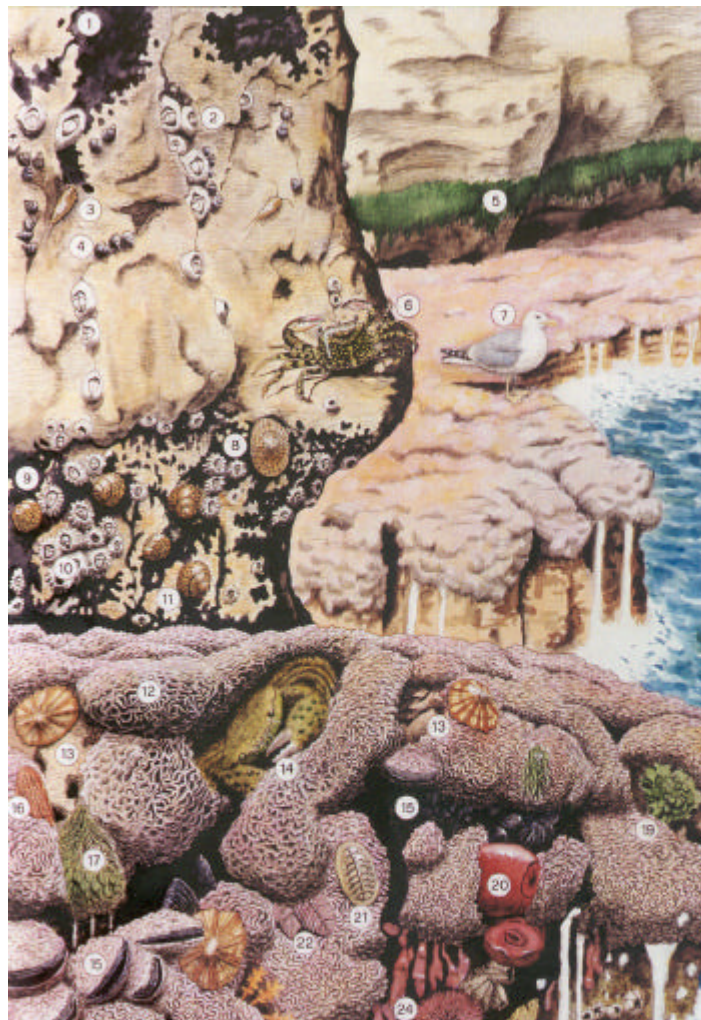


Fig. 9.4 – Una schematizzazione dei Piani sopra e mesolitorale. 1) *Verrucaria symbalana*, 2) *Chthmalus depressus*, 3) *Ligia italica* (porcellino di scoglio), 4) *Littorina neritoides* (Littorina), 5) *Enteromorpha compressa*, 6) *Pachygrapsus marmoratus*, 7) *Larus cachinnans*, 8) *Patella lusitanica*, 9) *Raffsia verrucosa*, 10) *Chthamalus stellatus*, 11) *Monodonta turbinata*, 12) *Lithophyllum tortuosum*, 13) *Patella coerulea*, 14) *Erifia spinifrons* (Favollo), 15) *Mytilus galloprovincialis* (mitilo), 16) *Polysiphonia sertularoides*, 17) *Bryopsis muscosa*, 18) *Chaetomorpha capillaris*, 19) *Ulva rigida* (lattuga di mare), 20) *Actinia equinia* (pomodoro di mare), 21) *Acanthochitona fascicularis*, 22) *Corallina elongata*, 23) *Laurencia pinnatifida*, 24) *Paracentrotus lividus*, 25) *Schottera nichaeensis*, 26) *Balanus perforatus* (dente di cane), 27) *Proclanium cartilagineum*, 28) *Blennius caneuae*, 29) *Aglaophenia kirchenpaurei*, 30) *Lomentaria articulata*.

Specie tipicamente adattate ad un violento idrodinamismo sono alcune alghe rosse coralline che formano incrostazioni molto evidenti. In Italia meridionale sono comuni le cinture mesolitorali a *Lithophyllum lichenoides* larghe anche due metri, come anche quelle costituite dal gasteropode *Dendropoma glomeratum*. Entrambe queste specie costruiscono a livello intermedio tra le maree dei veri e propri terrazzi che cingono la costa, i “trottoir” (marciapiedi) come li chiamano i francesi, che caratterizzano per chilometri il paesaggio costiero con strutture solide e resistenti nel tempo. Ancora oggi in Sicilia è possibile osservare, nell’immediato entroterra, segni di trottoir fossili.

Altre specie tipiche di questa fascia sono i crostacei Cirripedi del genere *Balanus*, i gasteropodi del genere *Patella*, l’attinia rossa (*Actinia equina*), il granchio *Pachygrapsus marmoratus*.

Non sono molte le specie in grado di resistere a queste condizioni estreme e la specializzazione sviluppata fa sì che il posizionamento di queste specie rispetto al livello del mare segua regole precise con fasce caratteristiche dominate da una o poche specie.

Con la riduzione del moto ondoso aumenta il numero di specie e si complessifica la comunità. Il mitilo (*Mytilus galloprovincialis*) è in queste condizioni, in cui si verifica spesso anche un arricchimento organico delle acque, una delle specie dominanti. Crea delle fasce estremamente compatte di animali aderenti al substrato per mezzo del bisso, a volte contemporaneamente ad alghe dei generi *Ulva* e/o *Enteromorpha*, e all’interno dell’intreccio creato da bisso e alghe si sviluppa una complessa fauna associata costituita da numerose specie di policheti, crostacei anfipodi, briozoi e numerosi altri gruppi.



Fig. 9.5 – Fascia del mesolittorale a *Mytilus galloprovincialis* e *Ulva* (a sinistra), a *Cystoseira* (al centro), reef a *Sabellaria alveolata* (a destra).

Nelle coste sabbiose la fascia mesolitorale è meno significativa da una parte per la non facile delimitazione per effetto dell'umidità che rimane nel sedimento sotto la superficie, dall'altra perché non sono molte le specie in grado di vivere nel sedimento sabbioso emerso per la sua eccessiva azione abrasiva sotto l'effetto del moto ondoso.

### 9.1.2.3 Il piano infralitorale

Al di sotto del limite inferiore della marea, inizia il piano infralitorale che termina con il margine inferiore raggiunto dalle praterie di *Posidonia*, considerate come indicatrici della profondità di compensazione. E' l'ambiente ottimale per lo sviluppo di alghe bentoniche oltre che per piante superiori come la *Posidonia oceanica*.

L'infralitorale può essere considerato come il piano più eterogeneo dell'intera piattaforma continentale e per questo motivo maggiore è il numero di biocenosi che lo caratterizzano. Partendo dai fondi mobili, che sicuramente sono i più facilmente inquadrabili, possiamo dividere grossolanamente un insieme di specie di sabbie più costiere, dominate da bivalvi quali *Donax trunculus*, *Macra corallina*, *Venus gallina*, da specie di fondi più infangati in cui la componente a policheti progressivamente aumenta.

Sono però i fondi rocciosi a presentare la maggiore varietà di popolamenti e comunità in relazione alle diverse caratteristiche morfologiche, di esposizione ed idrodinamismo.

Negli ambienti più superficiali sono frequenti specie di alghe brune del genere *Cystoseira* distribuite a seconda dell'area geografica oltre che delle caratteristiche idrodinamiche. Negli strati più profondi sono presenti le più importanti alghe fotofile tipiche del Mediterraneo nelle più diverse condizioni di esposizione alla luce e al movimento delle acque. Nelle aree meno esposte alla luce possono essere presenti elementi sciafili che si affermeranno sempre di più man mano che aumenta la profondità. Complessi sono anche gli elementi della fauna che si associano costantemente con gli elementi vegetali caratterizzanti specifiche situazioni ambientali.

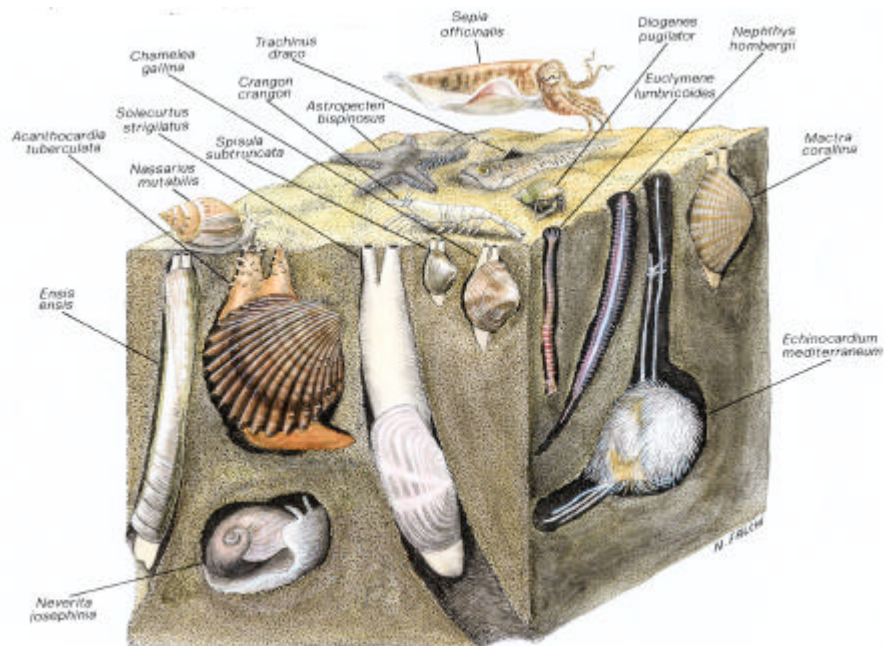


Fig. 9.6 – Schematizzazione del Piano infralitorale di fondo mobile sabbioso



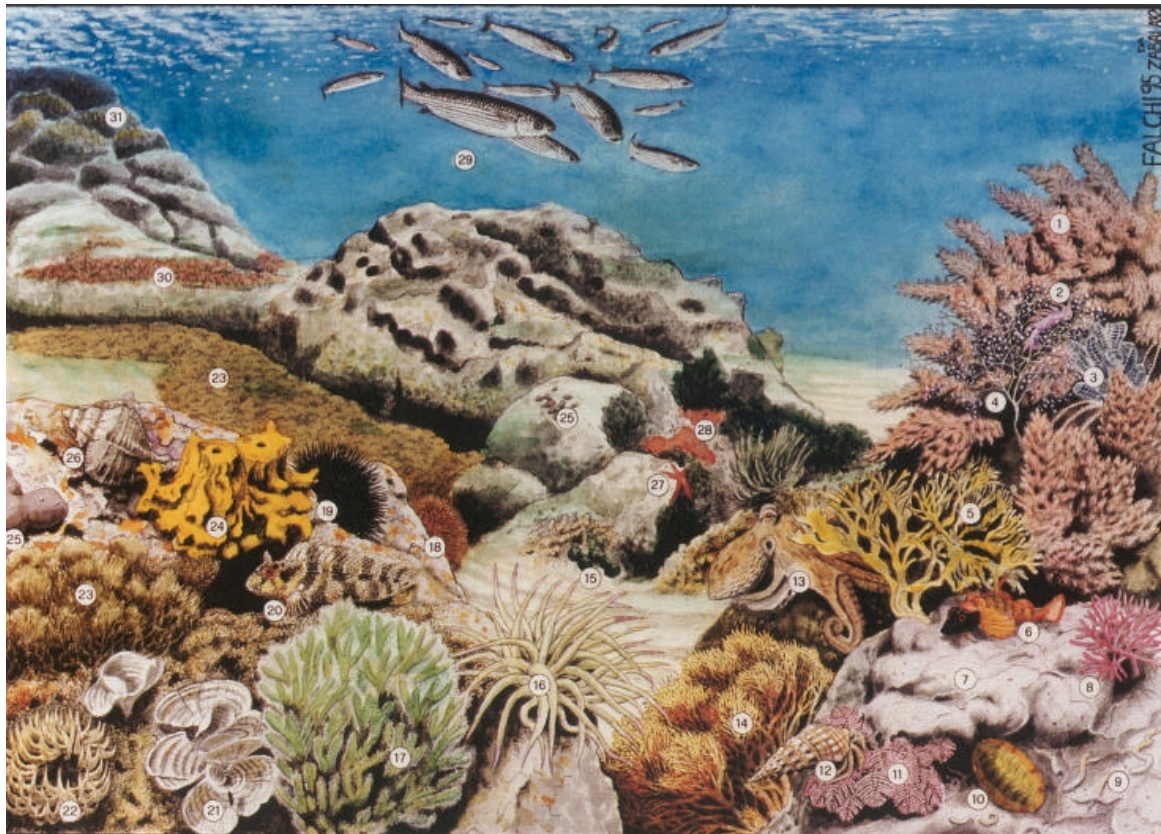


Fig. 9.7 – Una schematizzazione del piano infralitorale. 1) *Asparagopsis armata*, 2) *Flabellina affinis*, 3) *Clavelina lepadiformis*, 4) *Eudendrium* sp., 5) *Dictyota dichotoma*, 6) *Trypterigion tripterionotus*, 7) *Lithophyllum incrustans*, 8) *Amphiroa rigida*, 9) *Pomatoceros triqueter*, 10) *Chiton olivaceus*, 11) *Corallina elongata*, 12) Paguro in guscio di *Ceritium*, 13) *Octopus vulgaris* polpo, 14) *Sphaerococcus coronopifolius*, 15) *Codium bursa*, 16) *Anemonia sulcata*, Anemone, 17) *Codium vermilara*, 18) *Paracentrotus lividus*, riccio “femmina” 19) *Arbacia lixula*, riccio “maschio”, 20) *Blennius gattorugine*, 21) *Padina pavonica*, 22) *Aiptasia diaphana*, 23) *Halopteris scoparia*, 24) *Verongia aerophoba*, 25) *Chondrilla nucula*, 26) *Phyllonotus trunculus*, 27) *Echinaster sepositus*, 28) *Hymeniacidion sanguinea*, 29) Mugilidae, 30) *Laurencia papillosa*, 31) *Cystoseira mediterranea*.

Non si possono citare nel breve spazio qui previsto i numerosi elementi principali delle biocenosi bentoniche di fondo duro. Queste costituiranno materia di più approfondito studio in corsi specialistici sul benthos.

Vanno ancora citate nel piano infralitorale le praterie di fanerogame ed in particolare quelle di *Posidonia oceanica*.

Questa, come è stato accennato, occupa prevalentemente fondi mobili grazie ai suoi apparati radicali che le consentono di mantenersi solidamente ancorata al substrato. La costruzione di una base compatta con sedimento e residui vegetali, denominata matre, modifica la natura del sedimento originario verso una condizione di maggiore tenuta in grado di ospitare una fauna molto complessa. La matre si solleva verticalmente dal fondo raggiungendo anche i 3–4 metri di altezza.

Per i livelli di produzione primaria e la diversità della fauna che ospita la *Posidonia* deve essere considerata una specie di importanza prioritaria per l'infralitorale mediterraneo. L'aggressione da parte di alcune attività umane quali le modificazioni degli apporti dall'entroterra alle acque costiere e la pesca a strascico illegale hanno causato la riduzione della sua presenza in molti dei fondali infralitorali. Per questo motivo è una delle poche specie bentoniche protetta da convenzioni internazionali in tutto il bacino del Mediterraneo.

#### 9.1.2.4 Il piano circalitorale

In questo piano vi è il progressivo estinguersi di quei due fattori che abbiamo visto essere alla base della complessa condizione di vita dell'infralitorale: la luce e l'idrodinamismo.

Oltre le praterie di Posidonia si entra nel regno dell'"ombra", ovvero quell'area di passaggio tra la zona illuminata e gli ampi fondali perennemente bui. E' il piano circalitorale, sede di biocenosi sciafile costituite principalmente da alghe rosse, per la componente vegetale, tra cui numerose sono le specie calcaree o incrostanti. La sua estensione è quindi compresa tra il limite della prateria di Posidonia e il la fine della piattaforma continentale.

Il fenomeno più importante in questi fondali è quello della **biocostruzione** ovvero della deposizione di sostanza calcarea ad opera di organismi viventi che consente un accrescimento nel tempo di substrato duro nota come **Coralligeno**.



Fig. 9.8 – Rappresentazione del Piano circalitorali. 1) *Paramuricea clavata* (gorgonia rossa), 2) *Eunicella cavolinii* (gorgonia gialla), 3) *Diplodus sargus* (sarago maggiore), 4) *Axinella polipoides*, 5) *Mesophyllum lichenoides*, 6) *Lithophyllum expansum*, 7) *Acanthella acuta*, 8) *Haliclona mediterranea*, 9) *Aglaophenia septifera*, 10) *Alcyonium acaule*, 11) *Cliona viridis*, 12) *Eunicella singularis*, 13) *Agelas oroides*, 14) *Caryophylla inomata*, 15) *Chondrosia reniformis*, 16) Briozoo incrostante, 17) *Astroides calycularis*, 18) *Pteria hirundo*, 19) *Spirastrella cunctatrix*, 20) *Lissa chiagra*, 21) *Palinurus elephas*, 22) *Filigrana* sp., 23) *Porella cervicornis*, 24) *Parazoanthus axinellae*, 25) *Sertella* sp., 26) *Petrosia ficiformis*, 27) *Peltodoris atromaculata*, 28) *Epinepheleus guaza*, 29) *Turbicellepora avicularis*, 30) *Anthias anthias*, 31) *Antedon mediterranea*, 32) *Halocynthia papillosa*, 33) *Clathryna coriacea*, 34) *Corallium rubrum*, 35) *Chromis chromis*, 36) *Dysidea tupa*, 37) *Synthecium evansi*, 38) *Protula* sp., 39) *Galathea strigosa*.

Esempio a tutti noto di biocostruzione è quello delle barriere coralline, descritte più avanti, ma non è il solo: tutti i mari hanno situazioni in cui associazioni di specie sono in grado di creare una modificazione del substrato nel tempo. In mediterraneo il piano circalitorale è la sede dei più importanti fenomeni di biocostruzione.

Le associazioni di specie con cui si forma una biocostruzione nel circalitorale mediterraneo sono essenzialmente due. La prima, su pareti rocciose oltre i 30-50 metri di profondità, è caratterizzata da uno strato basale dominato principalmente da alghe incrostanti, spugne, briozoi. Su queste si sviluppa uno strato elevato dominato dalle gorgonie e occasionalmente dal corallo rosso (*Corallium rubrum*).

La seconda si osserva su fondi mobili in cui alcune specie di alghe rosse incrostanti tendono ad accrescersi intorno ad un nucleo in zone in cui sono presenti forti correnti laminari. Questi nuclei “rotolano” sul fondo, costituendo materiale organico di tipo vegetale che, localmente, può consolidarsi in microstrutture non più in grado di essere trasportate. Queste continuano ad accrescersi sul fondo e possono generare fondi duri su una matrice originaria di fondo mobile.

Non tutti i popolamenti del circalitorale sono costituiti da biocostruttori. Esistono importanti biocenosi di fondo mobile fangoso in cui è dominante la componente animale (principalmente policheti) in quanto le alghe non possono insediarsi. A queste profondità, infatti, arriva la più leggera componente sedimentaria di origine continentale, che costituisce i fanghi.

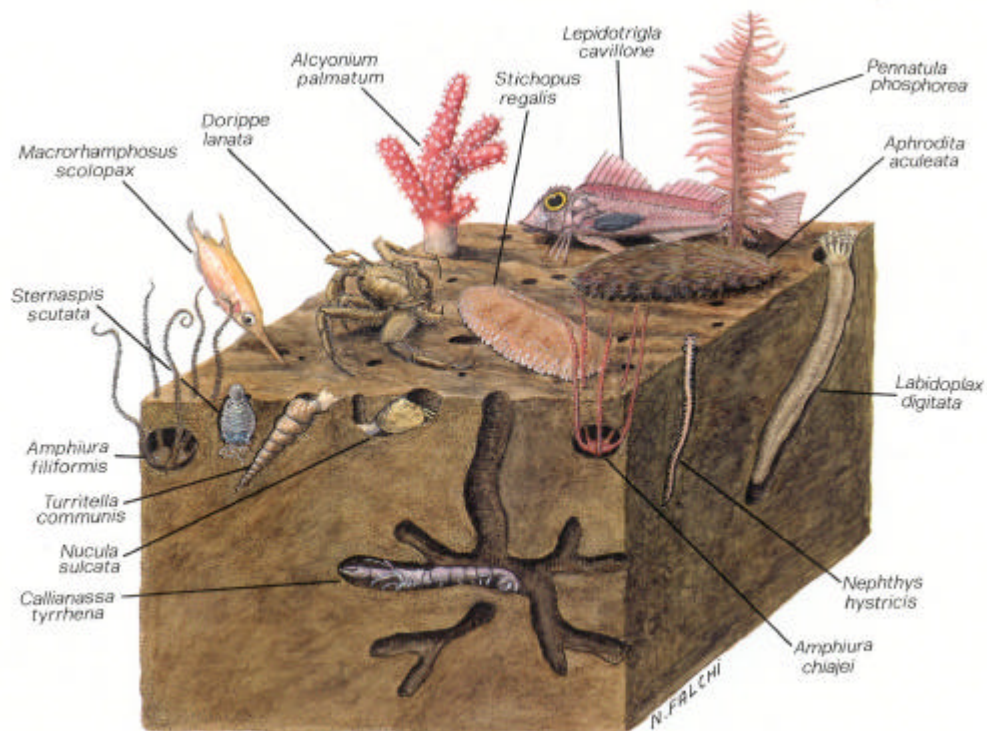


Fig. 9.9 – Rappresentazione del Piano circalitorale di fondo mobile

## 9.2 Acque lagunari e di estuari

Le acque **eurialine**, come sono spesso chiamate quelle di ambienti lagunari o di estuario, sono tipiche di bacini semichiusi che mettono in comunicazione il mare con le acque continentali creando condizioni di salinità variabile (eurialinità). Sono ambienti instabili e transitori in quanto gli apporti sedimentari dall'entroterra e la colonizzazione da parte di piante acquatiche, tende a colmare gradualmente tali bacini che per loro natura hanno profondità limitata. Profondità medie di un metro possono, infatti, essere considerate normali per molte lagune.

Le condizioni fisico - chimiche sono estremamente variabili e questo influenza la fauna e la flora presenti. A tal riguardo è importante notare come la gran parte delle specie presenti sia o di origine marina o di origine continentale e la loro dominanza relativa è funzione oltre che della salinità, della distanza dai rispettivi ambienti di origine. Non esiste quindi una vera e propria fauna di ambienti salmastri, se non limitata a pochi elementi, e questo è da ricondurre alla precarietà di tali sistemi.

Confideremo in questa breve sintesi alcuni aspetti generali che caratterizzano prioritariamente questi ambienti in ogni parte del mondo ma ci riferiremo alla realtà mediterranea quando elencheremo specie o descriveremo caratteristiche ambientali specifiche. Unica eccezione sarà lo spazio dedicato alle foreste di mangrovie che, per peculiarità e diffusione in tutti i mari caldi, meritano uno specifico approfondimento.

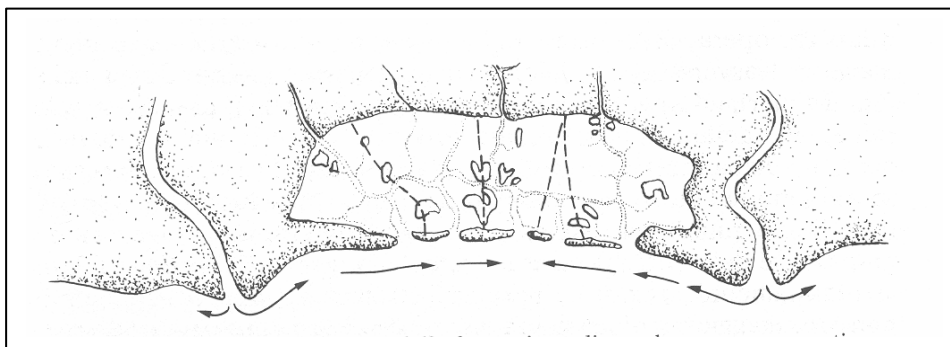


Fig. 9.10 - Schema di formazione di una laguna (Brambati, 1988)

### 9.2.1 Definizioni e caratteristiche

In relazione alle loro origini geologiche, gli ambienti eurialini possono essere divisi in:

- Laghi costieri.** Sono quelli generalmente formati alla fine dell'ultima glaciazione quando il livello del mare con la sua risalita invase le basse pianure costiere e le aree di estuario. Sono generalmente separati da un cordone litorale talvolta in comunicazione con il mare, ma il loro idrodinamismo non è influenzato in maniera significativa dalle maree.
- Lagune.** Sono tipiche anch'esse di aree costiere pianeggianti su cui arrivano spesso più foci. Il trasporto di sedimenti costiero crea barre sabbiose, usualmente parallele alla costa, che isolano una parte di acque. Il collegamento con il mare è sempre presente tramite canali. Il regime idraulico di questi bacini è completamente dominato dai ritmi di marea.
- Bacini tettonici.** In questo caso l'accesso del mare verso le acque interne è favorito da un processo tettonico, in particolare lungo le linee di faglia.
- Fiordi.** Sono incisioni strette e profonde causate da antichi eventi di erosione da ghiacciai. Sono particolarmente frequenti lungo le coste della Norvegia e del Cile.

Le modalità di circolazione delle acque di mare, con maree correnti e moto ondoso, o delle acque continentali, in relazione alla portata sono in grado di influenzare le caratteristiche di salinità di questi ambienti. Ad esempio, per citare il caso più semplice, le maree entranti sono in grado di aumentare il tasso di salinità ma allo stesso tempo la portata delle acque continentali può variare in relazione alle precipitazioni e a sua volta ridurre il tasso di salinità. Tutto questo provoca una condizione di variabilità della salinità a volte prevedibile negli andamenti stagionali, ma spesso anche con episodi repentini non prevedibili. Per la definizione di questi ambienti in base al grado di salinità si utilizzano quindi i valori di media annuale che sono poi ricondotti alle seguenti categorie:

- a) Acque dolci (fino allo 0,5 ‰ di salinità)
- b) Acque oligoaline (0,5-5 ‰)
- c) Acque mesosaline (5-18 ‰)
- d) Acque polialine (18-30 ‰)
- e) Acque marine (30-40 ‰)
- f) Acque iperaline (oltre 40 ‰)

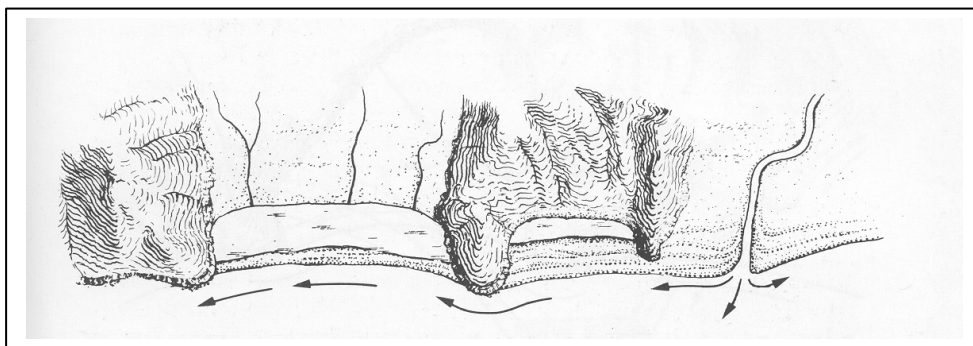


Fig. 9.11 - Schema di formazione di laghi costieri (Brambati 1988)

Altrettanto importanti per la caratterizzazione di questi ambienti sono gli apporti dalle acque continentali che condizionano tanto l'elevato tenore in Nutrienti quanto l'abbondante tasso di sedimentazione. L'alto contenuto in composti dell'Azoto e del Fosforo è facilmente riconducibile alla condizione di dilavamento che porta un corso di acqua ad accumulare tali sostanze nella sua parte terminale. Per questo motivo, non solo tali elementi non sono mai fattori limitanti in questi bacini, ma spesso la loro eccessiva presenza crea dei problemi in quanto in grado di indurre elevatissime produzioni primarie non collegate a biomasse proporzionali degli altri livelli trofici.

I processi di sedimentazione sono estremamente complessi in quanto sono legati a numerosi fattori quali il movimento delle acque, la dimensione e la natura delle particelle in sospensione, la morfologia del fondale. Ad esempio quando il particolato fine trasportato dal corso d'acqua incontra le acque salate crea dei flocculi che tendono a precipitare sul fondo formando una strato sospeso di fango liquido che può essere rimobilizzato in presenza di idrodinamismo accentuato.

Questa condizione di sospensione di sedimenti fini, unita alle elevate biomasse fitoplanctoniche, causa una ridotta trasparenza delle acque e quindi una limitata penetrazione della luce. In alcuni momenti è possibile calcolare una profondità di compensazione posta a pochi decimetri dalla superficie, con le conseguenti condizioni critiche che questo può causare.

Altro fattore fisico estremamente variabile negli ambienti salmastri è la temperatura. Le basse profondità, infatti, rendono le acque esposte tanto alle elevate temperature estive quanto alle basse temperature invernali. Escursioni termiche che vanno da 0 a 30 gradi nell'arco dell'anno sono quindi comuni contro un'escursione in mare che per il Mediterraneo è compresa tra i 13 e i 27 gradi in media.

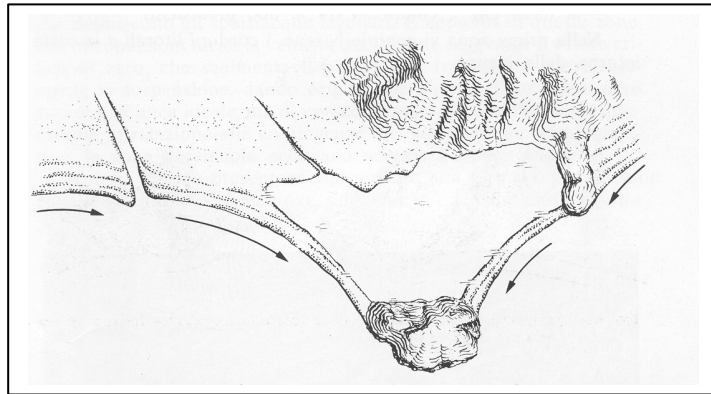


Fig. 9.12 - Schema di formazione di una lago costiero per trasporto convergente di sabbie litorali (es. Orbetello, Bramati 1988)

### 9.2.2 I popolamenti animali e vegetali

Come abbiamo accennato la componente di specie tipicamente eurialine deve essere considerata minoritaria in quanto a seconda della distanza dalle origini marine o di acque interne, i relativi popolamenti condizionano gli ambienti salmastri. Sicuramente la componente marina è quella maggiormente rappresentativa anche perché esistono molte specie marine in grado di sopportare una notevole riduzione di salinità mentre sono poche le specie di acque interne in grado di sopportare una salinità superiore al 5 ‰.

Per quello che riguarda le lagune mediterranee possiamo suddividere i popolamenti vegetali in tre gruppi principali:

- a) Vegetazione di **aptofite** insediate su substrati duri naturali o artificiali.
- b) Vegetazione di **rizofite** insediate su fondi mobili sabbiosi o fangosi.
- c) Vegetazione di **pleustofite** non fissate al substrato che possono essere ulteriormente divise in **acropleustofite** se galleggiano sulla superficie dell'acqua e **benthopleustofite** se rotolano sui fondi mobili.

Il primo gruppo comprende, tra le alghe più comuni, i generi *Ulva* ed *Enteromorpha* che d'estate diventano pleustofite secondarie e possono quindi essere considerate del terzo gruppo. Quest'ultimo gruppo comprende anche specie dei generi *Cladophora* e *Chaetomorpha* che per estensione della loro presenza possono essere considerate caratteristiche di una gran parte delle lagune italiane.

Tra le rizofite ricordiamo alcune importanti fanerogame come *Zostera noltii*, *Cymodocea nodosa*, e *Ruppia spiralis* che svolgono un importante ruolo nel controllo dei nutrienti presenti nei sedimenti.

Per quello che riguarda le specie animali presenti sul fondo possiamo distinguere anche in questo caso tre gruppi principali:

- a) Specie con affinità marina, comuni in aree semichiusure che anche se tornano al mare per la riproduzione, preferiscono un idrodinamismo ridotto come quello che è presente in lagune, baie o porti.
- b) Specie tipiche di ambienti eurialini che si riproducono all'interno di questi ambienti e possono sopportare le estreme condizioni presenti. Spesso si trovano nelle aree più interne delle lagune e talvolta si sovrappongono a specie di acque interne.

- c) Specie opportuniste, tanto di acque marine che di acque interne, che in conseguenza delle loro strategie possono ben adattarsi alle condizioni ambientali limite quali ad esempio la carenza di ossigeno sul substrato per eccessivo carico organico e circolazione ridotta.



*Enteromorpha intestinalis*



*Ulva laetevirens*

Fig. 9.13

La distribuzione spaziale del macrobenthos ovviamente riflette le condizioni ambientali della laguna, consentendo una lettura, attraverso indicatori biologici, che in ambienti ad estrema variabilità come quelli lagunari è particolarmente efficace. Ad esempio, i sei laghi costieri laziali (Fogliano, Monaci, Caprolace, Sabaudia, Fondi e Lungo) mostrano ampie variazioni delle comunità bentoniche: dalle caratteristiche più marine del Lago di Caprolace dove predominano le specie del primo gruppo, a quelle più isolate tipiche del secondo gruppo per il lago di Fondi fino alle condizioni di elevato inquinamento organico ed estrema variabilità ambientale che caratterizza le specie del terzo gruppo comuni nel lago Lungo e in quello di Monaci.

In sistemi lagunari di ampie dimensioni come ad esempio la laguna di Orbetello possono essere presenti tutte le condizioni trofiche lungo un gradiente mare-laguna.

I popolamenti planctonici mostrano una estrema variabilità. Alcune specie fitoplanctoniche sono comuni in acque salmastre e sono all'origine di importanti bloom che possono portare spesso a biomasse comprese tra 5 e 50 mg/m<sup>3</sup> di clorofilla a con episodi fino a 200 mg/m<sup>3</sup>. Bisogna però sottolineare che non sempre queste imponenti fioriture sono da imputare ad eccesso di nutrienti. In molti casi sono gli squilibri nei diversi livelli trofici, con assenza ad esempio di fitofagi come alcune specie di zooplancton o filtratori bentonici, che possono impedire quei meccanismi di controllo biologico che normalmente limitano tali eccessi di produzione primaria.

Lo zooplancton, infatti, è spesso scarsamente rappresentato nelle acque eurialine e in particolare in quelle con ridotte comunicazioni con il mare. In questi casi è sempre presente una componente meroplanctonica legata alle componenti bentoniche presenti e poche specie di copepodi e rotiferi di acque salmastre.

Il ruolo della componente zooplanctonica è anche di importanza strategica nell'alimentazione degli stadi giovanili di molte specie ittiche, e questo crea ulteriore squilibrio e riduzione rispetto ai potenziali produttori primari.

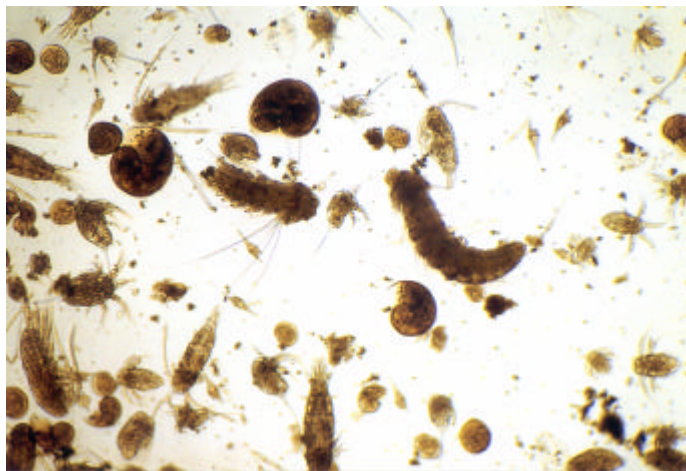


Fig.9.14 - Un'immagine di zooplancton lagunare

### 9.2.3 Produzioni e reti alimentari

Gli ambienti salmastri, possono essere eccezionalmente produttivi tanto da essere confrontabili, per produzione primaria, con i più importanti ecosistemi della terra. Ma la carenza di erbivori non consente una adeguata trasformazione tanto che spesso più del 50 % della biomassa vegetale prodotta, non viene consumata e si accumula sul fondo sotto forma di detrito. In molte aree salmastre il ruolo principale della produzione vegetale è svolto dalle macrofite, e questo particolarmente là dove le acque si mantengono trasparenti e la penetrazione della luce sul fondo è ottimale. A questo fine è essenziale il ruolo di alcune fanerogame che con le loro radici intrappolano il sedimento impedendo la risospensione e utilizzando direttamente i nutrienti presenti al suo interno. Anche per le macrofite è valido il principio di un ridotto numero di erbivori in grado di alimentarsi direttamente su di esse. Per cui gran parte finisce sul fondo come detrito e viene riutilizzato dalle numerose specie detritivore presenti. Queste possono essere sia specie filtratrici di materiale risospeso come alcuni bivalvi (ad esempio *Cerastoderma glaucum*) che consumatrici del sedimento come numerosi policheti. Entrambi questi meccanismi di alimentazione possono essere presenti in ogni laguna sebbene in presenza di sedimenti fini la frazione di deposit feeders (come vengono chiamati i consumatori del detrito presente nel sedimento) è molto maggiore. L'enorme disponibilità trofica offerta dalla componente di detrito lagunare fa sì che il potenziale di sviluppo di detritivori sia molto elevato e questo spiega la elevatissima densità di individui di queste specie che possono essere osservati sui fondali. Quello che accade è che il ruolo trofico svolto negli ambienti marini dagli erbivori viene svolto per la gran parte degli ambienti salmastri dai detritivori. Ne consegue che numerose specie di predatori quali crostacei, pesci e uccelli si alimenta direttamente o indirettamente di detritivori. Da questo deriva la complessiva elevata capacità produttiva degli ambienti eurialini che altrimenti attraverso il passaggio vegetali erbivori non sarebbero in grado di utilizzare il potenziale trofico presente.

Inoltre l'abbondanza di alimento rende gli ambienti lagunari particolarmente favorevoli come aree di **nursery**, ovvero di concentrazione di giovanili, di specie nectoniche. Questi da mare entrano nelle lagune per accelerare la loro crescita e ridurre così i rischi di predazione durante le fasi giovanili, e successivamente tornano a mare.



Alcune di queste specie, che trascorrono un lungo periodo in acque salmastre, devono essere considerate a tutti gli effetti vere e proprie specie eurialine.

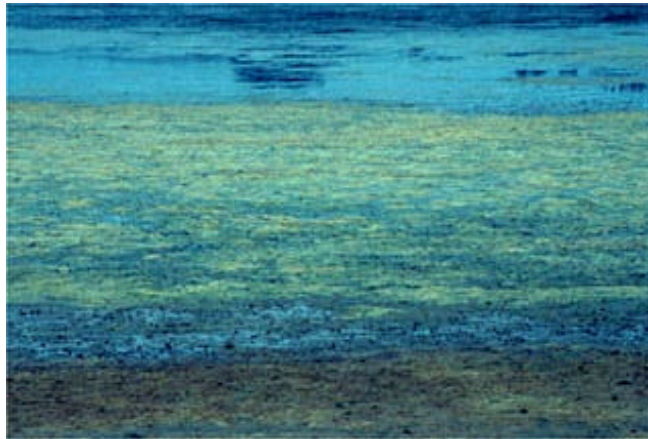


Fig. 9.15 - Una estesa copertura di macrofite all'interno di un lago salmastro

#### 9.2.4 Specie ittiche eurialine

Le principali specie ittiche eurialine mediterranee sono l'anguilla, la spigola, l'orata e cinque specie di Mugilidi. Si tratta di specie che si riproducono in mare ma allo stadio giovanile entrano da mare nelle acque salmastre e trascorrono una parte della loro vita in questi ambienti fino al momento della riproduzione in cui tendono a ritornare a mare. Ricordiamo brevemente il ciclo di queste specie:

- a) *Anguilla anguilla*. I giovanili, trasparenti (*ceche*), entrano nelle acque salmastre in inverno e si pigmentano diventando *gialle* (di nome e di fatto, nella regione ventrale). Si accrescono nelle acque interne distribuendosi dalle acque salmastre fino ai corsi di acque interne per centinaia di chilometri, per diversi anni. Le femmine raggiungono le taglie maggiori (fino a 3 kg) e si spingono con più facilità verso le acque interne. I maschi non superano i 150-200 g e rimangono prevalentemente nelle acque salmastre. Sono onnivori. Giunti a maturazione metamorfosano, diventano anguille *argentine* (nere sul dorso e bianche sul ventre) e tendono a tornare a mare. Durante le notti di burrasca senza luna di Ottobre-Novembre si muovono in gran numero verso le foci a mare. L'unica area riproduttiva nota è il Mar dei Sargassi.
- b) *Dicentrarchus labrax*. La spigola ha giovanili che entrano nelle lagune in primavera. E' il più vorace predatore di questi ambienti. Raggiunge i 7-8 kg di peso. La riproduzione avviene sempre in mare.
- c) *Sparus aurata*. L'orata si riproduce in mare all'inizio dell'inverno e i giovanili entrano in laguna a primavera. E' una specie a rapida crescita che si alimenta su organismi bentonici prevalentemente molluschi bivalvi.
- d) *Mugil cephalus*. E' il più grande dei Mugilidi. Si riproduce tra Agosto e Ottobre e i giovanili entrano in laguna dall'autunno alla primavera. E' una specie fitoplanctofaga e detritivora.

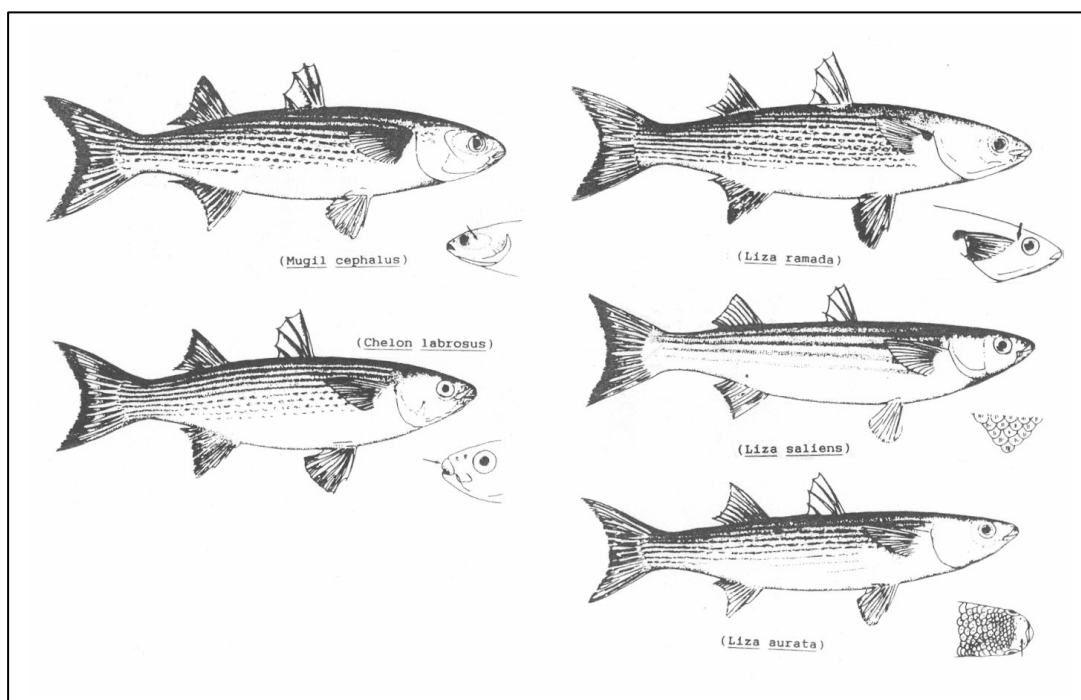


Fig. 9.16 - I Mugilidi eurialini delle coste italiane

- e) *Liza ramada*. Si riproduce in mare tra Settembre e Dicembre e i giovanili entrano in laguna in primavera. E' una specie di piccole dimensioni raggiungendo i 300-400g. E' un detritivoro che si rivolge preferibilmente alle frazioni più fini di sedimento.
- f) *Liza sapiens*. Altra piccola specie presente particolarmente in Adriatico. Si alimenta su detrito come la precedente. Si riproduce dalla primavera all'estate e i giovanili risalgono in laguna in autunno. Ha preferenza per acque a bassa salinità.
- g) *Liza aurata*. E' la più affine alla salinità marina delle tre specie di *Liza*. Si alimenta sui fondi sabbiosi in vicinanza delle foci a mare: Si riproduce in autunno fino alla fine di Novembre. I giovanili entrano in laguna in primavera.
- h) *Chelon labrosus*. Specie di grosse dimensioni e ad affinità marina. E' onnivora ma preferisce "brucare" sui fondi rocciosi. Si riproduce alla fine dell'inverno e i giovanili risalgono in Maggio-Giugno.

Tutte queste specie sono ben conosciute dall'uomo da epoche assai remote in quanto parte dei loro cicli sono svolti in acque facilmente accessibili e controllabili. Questa conoscenza ha permesso la messa a punto di una delle prime forme di gestione delle risorse ittiche, molto vicina a quello che oggi possiamo considerare acquacoltura. Sono note, infatti, fin dai tempi degli etruschi strutture in grado di controllare i collegamenti delle lagune con il mare, dette **lavorieri**. Queste facilitano l'ingresso dei giovanili da mare e ne impediscono la fuga, ovvero catturano gli animali adulti che tornano a mare per la riproduzione.

Per parlare però di vera acquacoltura marina dobbiamo arrivare intorno agli anni '70, con la messa a punto dei sistemi di riproduzione artificiale e con l'alimentazione per tutte le fasi del ciclo di crescita. E' interessante notare che è proprio con la Spigola e l'Orata che si sono avviate le prime produzioni totalmente in ambiente artificiale.



Fig. 9.17 - Il lavoriero del lago dei Monaci nell'area pontina

### 9.2.5 Lo stato trofico e le distrofie

Le acque eurialine nella loro condizione intermedia tra le acque marine e le acque continentali sono recettori naturali di nutrienti ma sono anche sede elettiva di accumulo di acque reflue provenienti da attività agricole o da centri urbani. Tutto questo genera spesso condizioni di sovraccarico di nutrienti che innescano produzioni primarie eccessive per l'ambiente. In particolari condizioni, comuni prevalentemente in estate, questi squilibri portano ad una fase nota come **crisi distrofica** che può provocare morie diffuse di organismi.

Le dinamiche dei passaggi energetici in ambienti eurialini sono lontane dall'essere semplici nonostante il ridotto numero di specie e la dominanza di alcune di queste. Basta ricordare la peculiarità del ruolo del detrito rispetto al plancton nell'essere base delle principali catene alimentari in laguna.

Grazie alla bassa profondità della gran parte delle lagune, il vento è in grado di rimescolare l'intera massa d'acqua. Questo permette una buona ossigenazione del fondale consentendo i processi di decomposizione aerobica della sostanza organica ad opera dei batteri. Nelle lagune più profonde e stratificate per la salinità, le acque superficiali ossigenate possono non raggiungere gli strati in vicinanza del fondale. I processi di decomposizione anaerobica possono prevalere in questi casi.

Ma anche per le lagune con bassi fondali si possono osservare casi di degradazione anaerobica durante la stagione estiva. Alte temperature e conseguente aumento della salinità dovuta all'evaporazione, insieme alla scarsa circolazione verticale legata all'assenza di venti, porta ad una riduzione dell'Ossigeno disciolto presente. Allo stesso tempo si può avere un denso strato di macrofite sul fondo o in superficie che riducono ulteriormente la circolazione verticale. Queste producono per fotosintesi una gran quantità di ossigeno che però non può essere trattenuto dall'acqua di giorno e aumentano il deficit di ossigeno la notte (niente fotosintesi e grande richiesta per la respirazione). Alla fine della notte si possono verificare condizioni critiche di caduta di Ossigeno a valori prossimi a zero lungo tutta la colonna. In condizioni anossiche si sviluppano degradazioni anaerobiche dal fondo che aggravano ulteriormente lo stato degli organismi provocandone la morte.

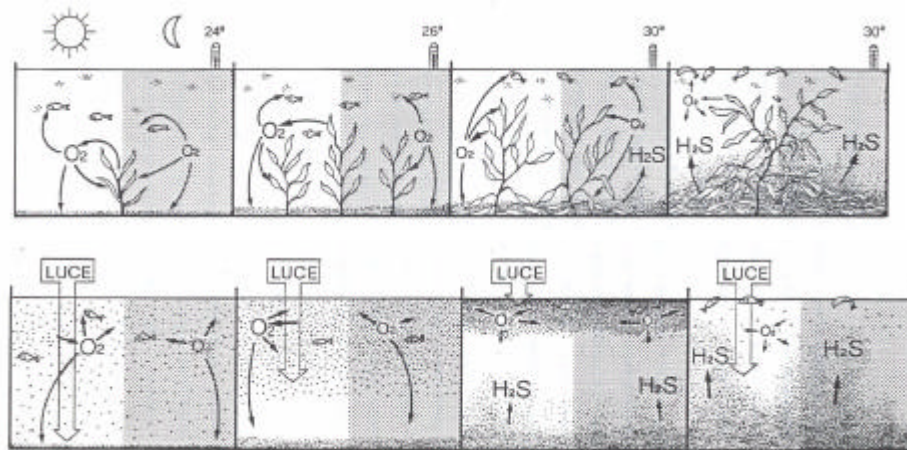
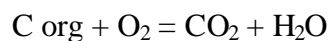


Fig. 9.18 - Schema di crisi distrofica indotta da fitobenthos e fitoplancton

Condizioni distrofiche simili alle precedenti possono essere indotte anche da bloom fitoplanctonici in cui le altissime densità di cellule superficiali impediscono la penetrazione della luce e quindi della fotosintesi e della produzione di Ossigeno negli strati vicini al fondo, innescando anche in questo caso degradazioni anaerobiche tossiche per gli organismi.

Ricordiamo che la decomposizione aerobica avviene utilizzando l'Ossigeno come accettore di elettroni:



mentre in assenza di Ossigeno uno degli accettori di elettroni più comuni è il Solfato  $SO_4^{2-}$ . Quest'ultimo in un processo anaerobico noto come solfato-riduzione, ha come prodotto acido solfidrico  $H_2S$  che in acqua è presente con la forma anionica  $HS^-$ .

Man mano che procede la solfato-riduzione sul fondo in prossimità del sedimento, si genera un gradiente di  $HS^-$  che risale la colonna d'acqua. Il rilascio di  $HS^-$  è autostimolato dall'assenza di Ossigeno. Inoltre l'acido solfidrico reagisce ulteriormente con l'Ossigeno nelle zone dove questo è presente per dare Solfato e Zolfo colloidale in un processo di solfato-ossidazione che riduce ancora il tenore di ossigeno. L'ambiente diviene tossico per animali e vegetali perché  $HS^-$  interferisce con il sistema di trasporto degli elettroni nella respirazione cellulare. Inoltre la bassa concentrazione di ossigeno sul fondo ostacola l'assorbimento di nutrienti da parte delle rizofite ed in particolare delle fanerogame arrestando la crescita ed incrementando il loro tasso di mortalità. Il processo può continuare ad autoinnescarsi in quanto la morte degli organismi fornisce altra materia organica per la solfato-riduzione. I metalli presenti nel sedimento, ed in particolare il Ferro, reagiscono con  $H_2S$  precipitando sotto forma di Solfuri. Questi hanno un tipico colore nero che caratterizza i sedimenti in condizione di riduzione.



Fig. 9.19 - Moria di pesci in seguito a crisi distrofica

### 9.3 Le mangrovie

Sotto il nome di **Mangrovie** sono raggruppate un insieme di piante, appartenenti a diverse famiglie, che formano un'associazione di specie in grado di vivere lungo coste basse e sabbiose tropicali, nell'intervallo tra i limiti superiore ed inferiore delle maree e quindi adattate a vivere a contatto con l'acqua di mare.

E' stato stimato che il 60-75 % delle coste tropicali è occupato da mangrovie ed infatti i limiti geografici di queste specie sono legati a fatti climatici. Le temperature ottimali per la loro presenza sono quelle non inferiori ai 20°C.

Si distinguono due gruppi principali di mangrovie: quelle della regione indo-pacifica (60 specie) e quelle della regione atlantica (10 specie). Una delle principali caratteristiche di questa fascia di vegetazione costiera è quella di presentarsi con gruppi di specie ricorrenti distribuite lungo il gradiente costa-mare. Nonostante questo però, non è possibile descrivere una zonazione valida per tutte le condizioni in quanto numerosi fattori sono in grado di modificare la loro presenza. Ad esempio se i livelli di salinità aumentano troppo le mangrovie tendono ad essere sostituite da altre specie più tolleranti come la *Salicornia*. La salinità quindi funziona da una parte come eliminatore dei competitori terrestri consentendo alle mangrovie di occupare uno spazio importante ma dall'altra diventa nuovamente un limite superato il quale sono favorite altre specie.

Ulteriori fattori condizionanti sono la natura del sedimento e il clima. I sedimenti devono essere, infatti, compatti per evitare condizioni di scarsa tenuta anche se queste caratteristiche possono portare a scarsa circolazione e quindi rischi di anossie. Il clima tropicale ottimale deve essere caratterizzato da abbondanti precipitazioni.

Le mangrovie dunque si stabiliscono su coste sedimentarie dove sono presenti ampie escursioni di marea e l'influenza del moto ondoso è minima. La mancanza di un efficace idrodinamismo provoca un accumulo di sedimenti fini, che tendono ad accentuare la compattezza e la tendenza all'anossia ma le radici di queste piante hanno evoluto meccanismi per evitare i danni legati allo stato riduttivo dei sedimenti. Le specie del genere *Avicennia* producono pneumatofori che fuoriescono dal sedimento mentre quelle del genere *Rhizophora* hanno radici aeree soltanto in parte inserite nel sedimento.

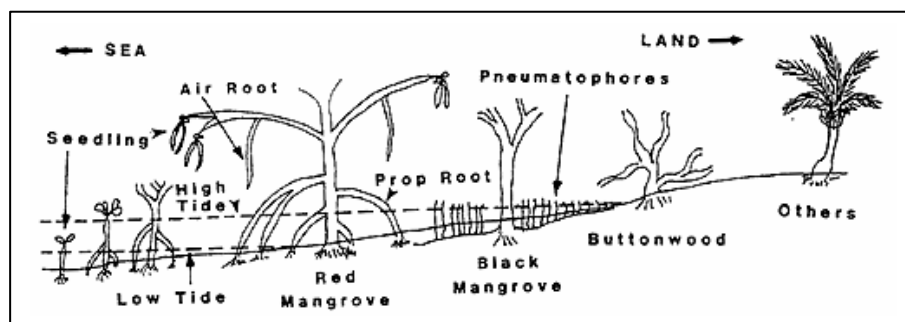


Fig. 9.20 - Distribuzione costa-mare delle diverse specie di mangrovie

Altro problema fondamentale per le mangrovie è quello di assorbire l'acqua contro il gradiente di pressione osmotica che esiste tra l'acqua marina e il sistema vascolare della pianta. Numerosi sono i meccanismi evolutisi a tal fine quali l'eliminazione di sale in foglie specializzate o l'esclusione del sale dalle radici per mezzo di processi di ultrafiltrazione nella membrana cellulare.

Molte mangrovie sono vivipare, ovvero hanno semi che germinano mentre sono attaccati alla pianta. Formano, infatti, un frutto allungato che quando è rilasciato cade verticalmente nel fango ed è impiantato immediatamente già in fase vegetativa. In altri casi galleggia a lungo sull'acqua prima di insediarsi anche a notevolissima distanza dall'origine.

Le mangrovie formano un sistema altamente efficace che arriva a produzioni di 350-500 g C/m<sup>2</sup>/anno. La gran parte di questa produzione primaria, anche in questo caso, entra nel sistema acquatico come detrito. E' interessante notare come da studi effettuati su questo detrito vegetale è stato dimostrato un suo uso multiplo e ripetuto. I detritivori, infatti, digeriscono i microrganismi presenti sulla superficie del materiale vegetale e lo restituiscono all'ambiente finemente macerato. Qui è nuovamente attaccato da altri microrganismi e riutilizzato da altri detritivori. Almeno tre passaggi di questo tipo sono stati descritti:

- a) grossi detriti vegetali sono attaccati da organismi "masticatori" e restituiti come detrito più fine.
- b) questa frazione si accumula sul sedimento ed è consumata dai classici detritivori (deposit feeders).
- c) la frazione ulteriormente immessa nell'ambiente è molto leggera, rimane in sospensione ed è utilizzata dai filtratori.



Fig. 9.21 - Il *Periophthalmus* sulle radici aeree di una mangrovia

All'insieme di questi detritivori sono poi legati piccoli carnivori e, successivamente, grandi carnivori come pesci e uccelli.

L'elevata produzione primaria delle mangrovie, consente quindi di sostenere una complessa fauna associata che può essere descritta tanto in una zonazione verticale quanto in una orizzontale.

Quella verticale ad esempio, può essere effettuata partendo dalle foglie che essendo totalmente indipendenti dall'influenza delle maree, ospitano una fauna principalmente terrestre costituita da insetti, mammiferi e uccelli. Al disotto delle foglie e fino alle radici cominciano ad apparire specie marine sessili come molluschi gasteropodi e crostacei decapodi, per poi passare a specie di invertebrati sessili come balani, ascidie, spugne e ostriche.

Altri crostacei decapodi, tra cui i granchi fantasma, vivono perforando il sedimento intorno alle radici. Particolare è anche l'adattamento alla vita aerea di un gruppo di pesci appartenenti alla famiglia dei Gobidi, del genere *Periophthalmus*. Questi usano le loro pinne pettorali per camminare fuori dall'acqua sulle radici delle mangrovie. Inoltre gli occhi posti in cima alla testa sembrano meglio adattati alla visione terrestre che a quella marina, mentre un sacco vascolarizzato presente tra la bocca e le branchie, consente la respirazione aerea.

## 9.4 Le Barriere Coralline

Sono tra gli ambienti marini più belli per varietà di specie e colori, caratterizzati da una diversità tra le più elevate tra gli ecosistemi marini. Le barriere coralline sono distribuite all'interno delle isoterme dei 20 °C di temperatura superficiale, e quindi nelle regioni intertropicali. Possono sopportare temperature delle acque occasionalmente inferiori ma già con temperature minime regolarmente pari o inferiori ai 18°C non possono sopravvivere. Riescono invece a sopportare temperature massime fino ai 36-40°C. Osservando la loro distribuzione nelle regioni tropicali si nota una assenza in grandi aree dell'America meridionale occidentale e dell'Africa occidentale: Questa assenza è da legare alla presenza in queste regioni di importanti upwelling di acque fredde di origine antartica che riducono la temperatura delle acque costiere impedendo il loro sviluppo. La più grande barriera corallina è la Grande Barriera australiana che si estende per circa 2000 km della costa orientale dai confini con la Nuova Guinea fino a nord di Brisbane.

### 9.4.1 Struttura, morfologia e origine

Sono costituite da specie di Cnidari dell'Ordine dei Madreporari in grado di depositare enormi quantitativi di carbonato di calcio, conosciuti come **coralli ermatipici** e caratterizzati dalla presenza di cellule vegetali simbiotici che prendono il nome di **zooxantelle**. Sono nella maggior parte dei casi organizzati in strutture coloniali con polipi che vivono in uno scheletro comune di carbonato di calcio. Esistono anche specie solitarie costituite da un unico polipo con il suo scheletro. Altre specie di coralli non ermatipici ovvero non in grado di creare biocostruzioni di carbonato di calcio, sono ugualmente presenti nelle aree di barriere coralline. Queste sono normalmente suddivise in tre categorie, barriere, atolli e scogliere frangenti, a seconda della loro origine. La teoria della subsidenza, per la prima volta proposta da Darwin, spiega come la formazione degli atolli sia dovuta ad un graduale immergersi, per subsidenza appunto, di isole di origine vulcanica, sulle cui coste la barriera continua ad accrescersi recuperando, con la biocostruzione, la discesa delle coste da cui aveva avuto origine.

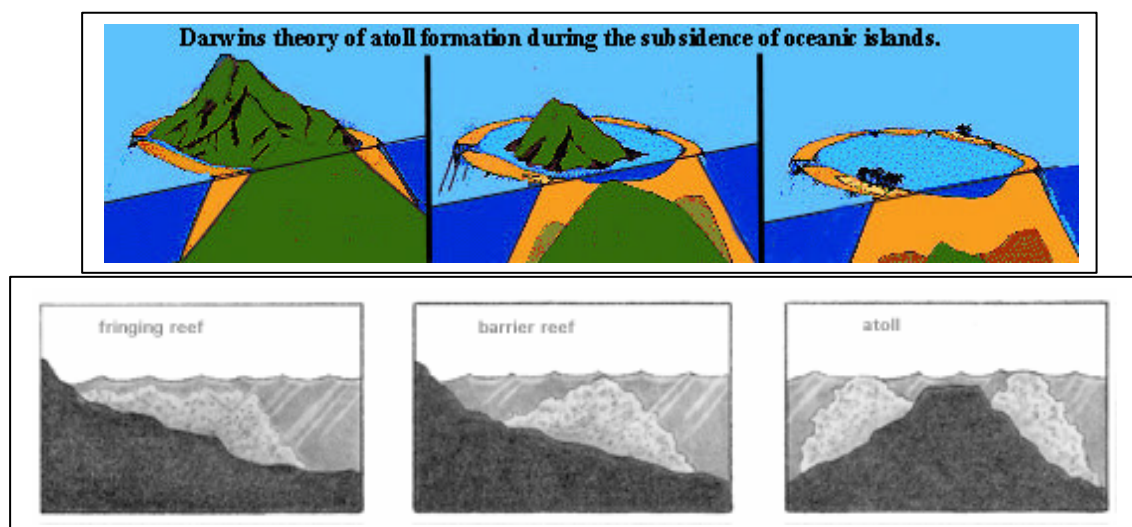


Fig. 9.22 - L'origine degli atolli corallini

Gli atolli sarebbero il residuo di isole ormai sommerse la cui linea di costa corallina ha continuato a vivere accrescendosi e restando a forma di anello con una laguna interna, in quanto le aree interne non possono essere colonizzate da coralli per l'elevata sedimentazione e il basso idrodinamismo presente. In questo modo possono spiegarsi tutte e tre forme tipiche di biocostruzioni madreporiche presenti nelle isole del Pacifico in quanto non sarebbero altro che tre stadi di un processo evolutivo nel tempo. Lungo le masse continentali o in isole non vulcaniche le forme possibili sono sostanzialmente due. La prima è quella delle biocostruzioni intorno alle zone intertidali che costituiscono appunto le aree frangenti che crescono lungo coste stabili. E' questa la forma più comune in zone ad elevato idrodinamismo che consente un ricambio sufficiente in tutte le aree sviluppate dalle biocostruzioni. La seconda forma è legata allo svilupparsi a distanza dalla costa delle biocostruzioni con un complesso di barriera caratterizzato da un'alternanza di canali, che consentono la circolazione dell'acqua, e da strutture madreporiche. L'estensione costa - largo in questi casi può essere notevole. Nella parte più interna può esserci un'area lagunare secondaria per ridotto idrodinamismo.

#### 9.4.2 Fattori limitanti

Oltre alla temperatura, che sicuramente è il principale fattore di controllo delle barriere coralline, esistono altri fattori in grado di condizionarne lo sviluppo. La salinità è tra questi in quanto i Madreporari ermatipici devono essere considerati organismi tipicamente stenohalini ovvero intolleranti alle diminuzioni di salinità. Nelle aree tropicali con idonee condizioni di temperatura ma presenza di foci di fiumi, come alla foce del rio delle Amazzoni o in quella dell'Orinoco, non si osserva presenza di barriere coralline. Sempre correlabile con la presenza di foci è un altro fattore limitante che è la sedimentazione eccessiva, anch'essa tipica delle zone estuarine. La gran parte delle specie è, infatti, incapace di sopravvivere ad eccessivi tassi di sedimentazione che tende a intasare le strutture per l'alimentazione fino a provocare un vero e proprio soffocamento degli animali. Oltre a ciò, la torbidità indotta da una eccessiva sedimentazione, impedisce la fotosintesi e quindi la vita delle zooxantelle che, come vedremo, hanno un ruolo fondamentale nel ciclo vitale delle colonie. La luce quindi è l'ultimo grande fattore limitante. I coralli si sviluppano in acque limpide normalmente a basse profondità e mai oltre i 50 60 m.

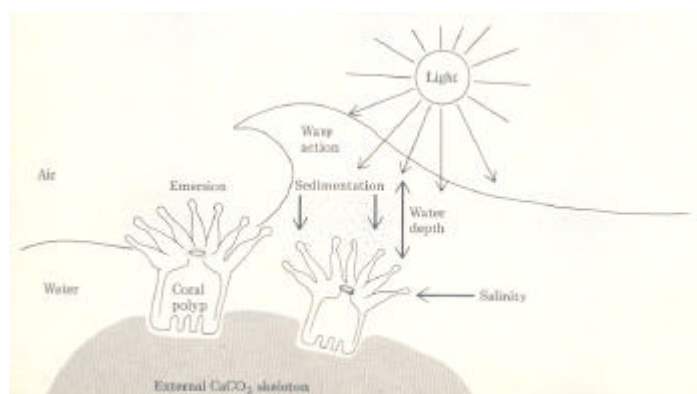


Fig. 9.23 – I fattori limitanti allo sviluppo delle barriere coralline

Le aree di massimo sviluppo di barriere sono spesso caratterizzate da una forte azione idrodinamica provocata da onde. Queste strutture sono, infatti, molto resistenti all'azione del moto ondoso e anzi traggono vantaggio dal ricambio di acqua che ne deriva. Questo inoltre allontana scorie e sedimenti



che altrimenti tenderebbero a soffocare gli animali oltre a rinnovare la presenza di organismi planctonici che servono da alimento.

L'esposizione all'aria è infine un ultimo fattore critico. L'esposizione della gran parte dei coralli è infatti limitata agli usuali intervalli di marea. Se per un qualche motivo si prolungano questi tempi vi è una rapidissima mortalità.

### **9.4.3 Il ruolo delle zooxanthelle**

Come abbiamo accennato lo sviluppo delle biocostruzioni madreporiche è aiutato in buona parte dalla presenza di alghe simbiotiche, le zooxanthelle. E' questo il motivo per cui le strutture coralline reagiscono all'ambiente con modalità che ricordano forme vegetali, come, ad esempio, la dipendenza dalla luce. Le zooxanthelle sono alghe unicellulari, derivate da Dinoflagellati, che vivono all'interno dei polipi, in particolare nei loro tentacoli. Sono anche comuni in altre forme di organismi marini come ad esempio le attinie o le Tridacne. La simbiosi tra questi organismi, così distanti tra loro, porta alle zooxanthelle il vantaggio della difesa dalla predazione e l'accesso a nutrienti che derivano dai prodotti di escrezione dei polipi. I vantaggi per i polipi possono essere vari come la rimozione di prodotti di escrezione, l'ossigenazione per mezzo della fotosintesi, la sintesi di carboidrati che possono essere utilizzati per l'alimentazione, la facilitazione della calcificazione e la sintesi dei lipidi. I primi due punti sono probabilmente poco significativi in quanto le acque superficiali e con elevato idrodinamismo sono ricche di ossigeno e in grado di mantenere un adeguato ricambio. L'utilizzazione di carboidrati è stata dimostrata con l'uso di  $^{14}\text{C}$  utilizzato dalle zooxanthelle durante la fotosintesi, anche se tutti i coralli ermatipici catturano organismi planctonici con i tentacoli e le nematocisti. Alcuni coralli molli come quelli della famiglia Xenidae hanno perso la capacità di alimentarsi autonomamente e dipendono interamente dalle zooxanthelle. Il punto più significativo di questa simbiosi sembra essere legato alla capacità di calcificazione che migliora nei coralli ermatipici grazie alle zooxanthelle. E' stato dimostrato che l'esposizione alla luce aumenta la deposizione di Carbonato di Calcio dei coralli. Infatti, il buio o altri inibitori della fotosintesi riducono il tasso di crescita dello scheletro calcareo.

Rimuovendo  $\text{CO}_2$  con la fotosintesi, le zooxanthelle sposterebbero l'equilibrio dei carbonati (vedi ciclo del Carbonio) verso condizioni favorevoli alla precipitazione del Carbonato di Calcio.

### **9.4.4 Produttività**

Come è stato descritto le aree tropicali sono generalmente a ridotta produzione primaria in conseguenza degli scarsi apporti di nutrienti dalle acque profonde. Il meccanismo operato dalle zooxanthelle, con il recupero diretto dei nutrienti dalle escrezioni dei polipi, consente il raggiungimento di produzioni primarie molto elevate dell'ordine di  $1500\text{-}3500 \text{ g C/m}^2/\text{anno}$ . Ma è una produzione primaria non disponibile a successivi livelli trofici. Come è quindi spiegabile la ricca e complessa vita che si osserva nelle barriere, tale da farle considerare vere e proprie oasi in mezzo al "deserto" tropicale? La risposta non è ancora definitiva in quanto molti aspetti della vita di questo complesso ecosistema devono ancora essere chiariti dalla ricerca. Quello che si può oggi ipotizzare è che la bassa profondità delle barriere consenta un riciclo breve della sostanza organica attraverso decomposizione batterica e produzione secondaria ad opera di detritivori che anche in questa occasione, come abbiamo già visto per le acque lagunari, possano sostenere gli altri livelli della rete trofica. Inoltre la disponibilità di nutrienti immediatamente disponibili favorisce lo sviluppo di forme vegetali sessili in aree adiacenti come le aree lagunari a contatto con la barriera in cui si sviluppano frequentemente vasti prati di fanerogame. Ancora in vicinanza dei margini

batimetrici inferiori si sviluppano alghe rosse calcaree che contribuiscono alla biocostruzione del sistema. Tutte le forme di produzione primaria si rivolgono però successivamente a produzioni secondarie legate più al detrito che ad erbivori. Questo non vuol dire che gli erbivori siano assenti, basta infatti ricordare le numerose specie di ricci che raschiano le microalghe bentoniche così come alcune specie di pesci come i pesci pappagallo, ma che il loro ruolo nel trasferire la risorsa energetica nei successivi livelli trofici è di scarsa importanza.

#### 9.4.5 Cicli biologici

Gli Cnidari possono riprodursi per via sessuale o per via asessuale. Con la riproduzione sessuale si produce una larva planctonica, la **planula**, che una volta insediatasi è in grado di sviluppare una nuova colonia mentre la via di riproduzione asessuale produce nuove parti della stessa colonia, ma non produce nuove colonie. Sono necessari numerosi anni per il raggiungimento della prima maturità sessuale. Una colonia può misurare da pochi millimetri a diversi metri di diametro. I coralli possono essere ermafroditi o a sessi separati. La fecondazione avviene nella cavità gastrovascolare della femmina e le uova fecondate sono trattenute fino alla formazione della planula. Il tasso di reclutamento è stato stimato per la Grande Barriera australiana tra 1 e 13 nuove colonie per metro quadro per anno.

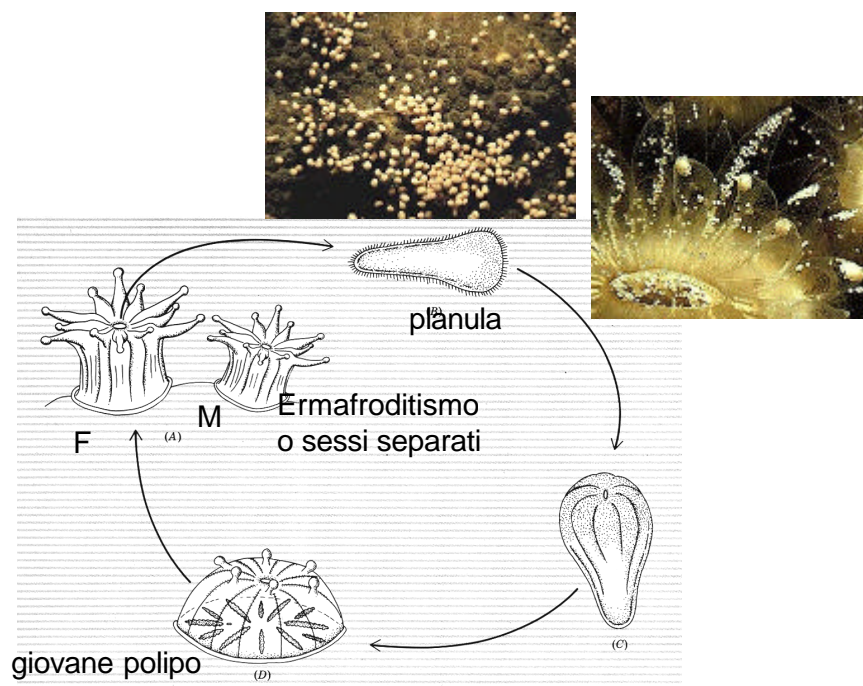


Fig. 9.24 – Ciclo riproduttivo dei polipi del corallo

#### 9.4.6 Composizione e zonazione delle barriere

Le barriere coralline sono comunità di organismi che utilizzano i diversi habitat presenti a seconda delle esigenze ecologiche. Vi sono specie che prediligono le aree più esposte al moto ondoso altre

che viceversa prediligono un ridotto idrodinamismo, ma sostanzialmente quello che caratterizza questi ambienti è che la crescita di forme coloniali bentoniche, complessifica il sistema, con questo favorendo una sempre maggiore specializzazione da parte delle specie che vi vivono. Questo può spiegare l'elevata diversità animale che si è evoluta in questi ambienti.

La distribuzione delle specie, in relazione ai diversi fattori ambientali e alle interazioni biologiche, segue quindi una zonazione che nelle sue linee principali può essere prevedibile.

Prendendo in considerazione la distribuzione delle specie di un atollo cominciando dalla parte più esterna avremo la scarpata esterna su cui le specie di corallo cominciano ad essere abbondanti solo al di sopra dei 50 m di profondità. Le specie a questa profondità sono poche e scarsamente resistenti al moto ondoso. Proseguendo verso minori profondità il numero di specie aumenta così come la loro resistenza all'idrodinamismo. Intorno ai 15 metri di profondità si forma una sorta di gradino e da qui fino alla superficie vi è il massimo della complessità strutturale di questo ecosistema. I coralli crescono in altezza dal fondo ma si alternano a canali ortogonali alla linea emergente che facilitano il deflusso del moto ondoso. Nella figura sottostante è illustrata una tipica zonazione dei principali organismi di barriera in relazione alla profondità.

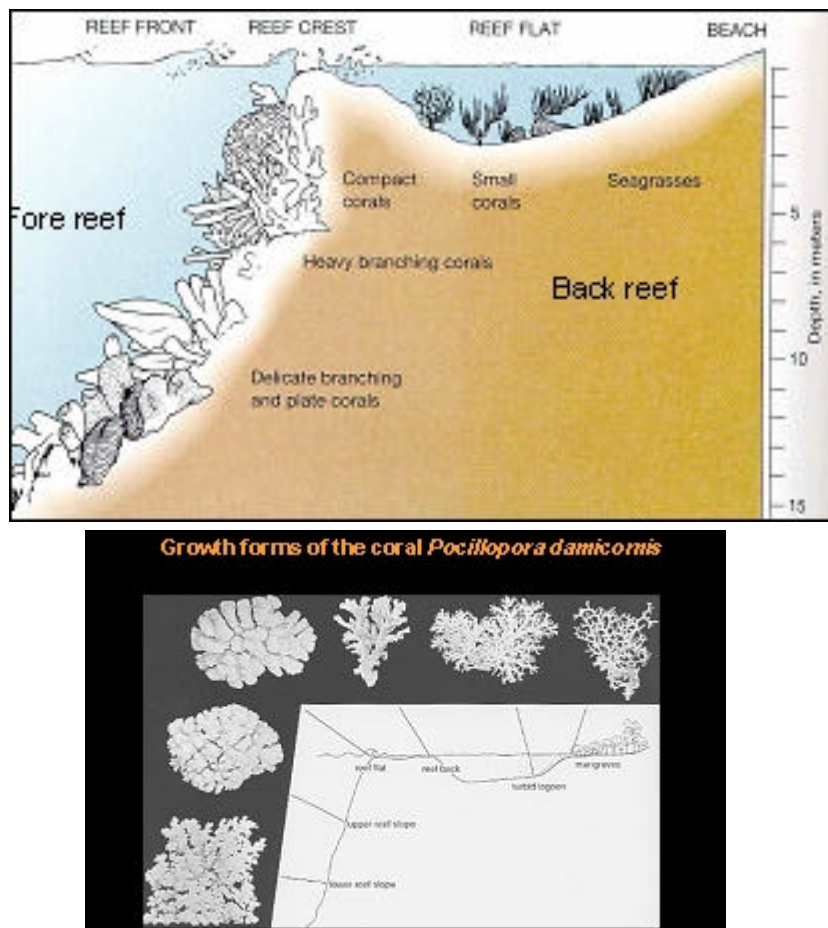


Fig. 9.25 – Modalità di crescita dei coralli ermatipici in una barriera corallina.

#### 9.4.7 Diversità e interazione tra specie

Le barriere coralline sono probabilmente i sistemi più complessi viventi all'interno degli oceani. Il numero di specie presenti è molto elevato e conseguentemente le interazioni tra loro. Una delle più evidenti condizioni osservabili anche da un semplice bagnante è che non vi è virtualmente alcuno spazio libero all'interno delle barriere. Le specie bentoniche dominanti, i coralli appunto, accrescendosi nel tempo interagiscono tra loro poiché inevitabilmente si trovano a competere per lo spazio e per la luce. Sono particolarmente le colonie incrostanti o massicce che occupano lo spazio inferiore e competono maggiormente. I coralli eretti e ramificati si accrescono verso l'alto rapidamente e quindi sono in grado di superare il primo livello di maggior competizione sviluppandosi in uno spazio libero. Gradualmente le specie erette creano problemi alle specie incrostanti sottostanti, a crescita lenta, che possono anche morire per sottrazione della luce. Come possono queste ultime sopravvivere se competitivamente perdenti? Il meccanismo di difesa è stato scoperto non molto tempo fa: le specie incrostanti a crescita lenta estendono filamenti dalle cavità gastrovascolari che, quando incontrano tessuto vivente di una colonia di altre specie, digeriscono il tessuto vivente e quindi uccidono la parte entrata nell'area vitale. Così le specie incrostanti possono impedire di essere coperte dalle specie ramificate.

Le aggressioni tra specie sessili sono quindi comuni tra i coralli delle barriere e sono un meccanismo per impedire la monopolizzazione da parte di una o poche specie consentendo così il mantenersi di una elevatissima diversità.

Nonostante che all'interno della barriera vivano moltissime specie di altri invertebrati oltre ai coralli, di fatto quasi nessuno di questi è visibile, ad eccezione di qualche echinoderma e di grandi tridacne. La barriera sembra dominata da coralli sul fondo e da numerosissimi pesci in acqua libera. La ragione è che qualunque piccolo organismo lasciato libero e accessibile viene predato immediatamente. Vi è un numero estremamente alto di animali che si alimenta sulla barriera e quindi tutti gli animali hanno sviluppato meccanismi di difesa efficienti. Gli stessi coralli sono utilizzati da molte specie, in particolare pesci, come il balestratore molti Tetradontidi e Chetodontidi: questi predano alcuni polipi ma non distruggono la colonia, e i polipi in breve ricrescono. Il meccanismo di consumo dei polipi dei coralli può essere paragonato al "brucare" degli erbivori. Tra le specie note per il loro predare i coralli ricordiamo la stella di mare *Acanthaster planci*: Questa specie è assente in Atlantico e piuttosto rara nel Pacifico.

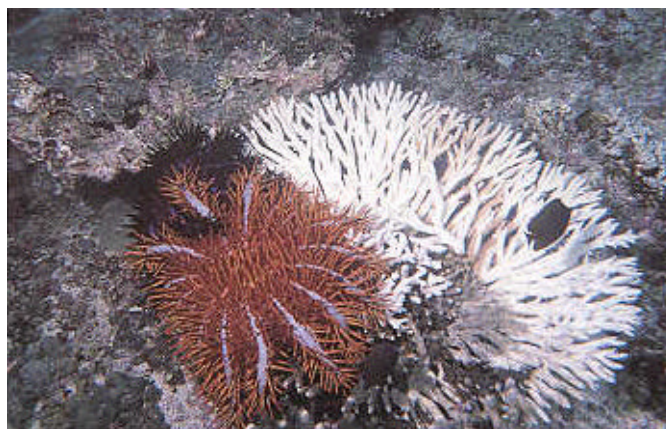


Fig. 9.26- *Acanthaster planci*

Qualche anno fa però si osservò una esplosione in alcune aree del Pacifico occidentale e questo aumento di densità mise in crisi ampie barriere coralline per eccesso di predazione, fino alla loro totale distruzione in alcuni casi.

Tra i competitori per lo spazio all'interno delle barriere non dobbiamo dimenticare le alghe ed in particolare quelle incrostanti come le alghe rosse calcaree. Queste occupano gli spazi più profondi della barriera mentre piccole alghe bentoniche sono presenti in acque più superficiali. Perché queste non competono efficacemente per lo spazio con i coralli avendo, tra l'altro, maggior velocità di crescita e quindi maggiore adattabilità alle condizioni presenti? Anche in questo caso la risposta è ancora nella elevata pressione da parte degli erbivori che consumandole attivamente non consentono una loro dominanza così come avviene in tutti i climi temperati.

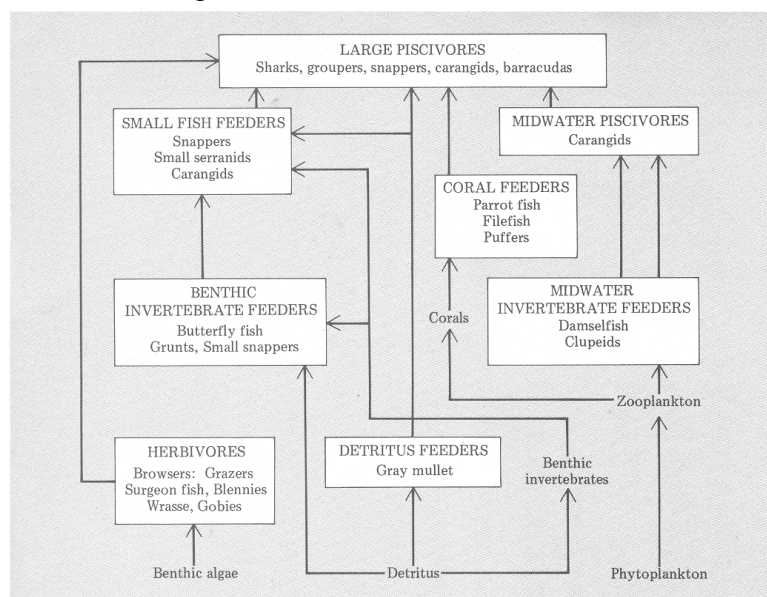
### 9.4.8 I pesci della barriera

Insieme ai coralli i pesci sono l'elemento caratterizzante di ogni barriera corallina. La ricchezza di specie presenti è infatti comparabile con quella dei coralli e molte volte superiore a quello che è il numero massimo di specie presenti in interi mari. Ad esempio le 5-600 specie di pesci del mediterraneo (comprendendo dalle specie costiere alle specie abissali) sono circa un quarto del numero totale delle specie ittiche delle barriere filippine.

Uno dei motivi di questa elevata diversità è collegabile, come abbiamo visto, con l'estrema eterogeneità di condizioni presenti all'interno di una barriera. Ma questo non è sufficiente in quanto molti altri ambienti sono estremamente articolati ma non ospitano un così elevato numero di specie. Due teorie sono le più attendibili nello spiegare tale condizione. La prima sostiene che un elevato grado di specializzazione può portare ad adattamenti validi per una specifica situazione su una barriera. Ciò significa che i pesci hanno nicchie ecologiche molto simili che permettono una coesistenza di più specie in una determinata area. La seconda teoria sostiene, al contrario, che i pesci non sono specializzati in quanto vi sono più specie che hanno necessità simili e vi è competizione attiva tra di loro. I successi e la permanenza nel tempo sono determinati dalle possibilità che ha una specie di occupare uno spazio libero. Questo lascerebbe ipotizzare una limitata potenzialità di spostamenti nella maggior parte dei pesci di barriera. In realtà nessuna di queste ipotesi è totalmente convincente, e l'elevatissima biodiversità delle specie ittiche di barriera rimane ancora un problema non del tutto spiegato.

La comprensione dei legami trofici presenti tra i pesci di barriera può aiutare a comprendere i meccanismi del suo funzionamento energetico.

Fig. 9.27 – Legami trofici tra pesci all'interno di una barriera corallina



La maggior parte dei pesci di barriera (tra il 50 e il 70%) è carnivoro e appare, più che specializzato, opportunistico all'interno di alcune grandi categorie di prede. Si alimentano quindi più su quello che è disponibile che su specifiche prede. Queste evidenze tenderebbero a ridurre la validità della teoria dell'estrema specializzazione come base della diversità. Erbivori ed omnivori sono, probabilmente in parti simili, la rimanente modalità di alimentazione.

Un altro aspetto ancora non ben spiegato dei pesci di barriera sono i brillanti colori che li caratterizzano. Perché una tale necessità di evidenza in ambienti in cui la pressione di predazione è così elevata? Una spiegazione è quella della colorazione di avvertimento per segnalare il pericolo di veleni o altro rischio per indurre i predatori a non attaccare. Ma possono anche servire per confondere il predatore camuffando le reali dimensioni o l'orientamento dell'animale. Ma entrambi questi aspetti esistono in tutti i mari mentre la varietà di forme e colori è tipica delle sole barriere coralline.

Per completare il numero di questioni irrisolte relative alle barriere dobbiamo citare la *ciguatera*, grave forma di intossicazione con sintomi neurologici, che colpisce l'uomo se si nutre di alcuni pesci di barriera. Il problema è che le specie tossiche non sono sempre le stesse nel tempo e nello spazio. Variano ad esempio da barriera a barriera, e in diversi periodi dell'anno (non prevedibili!) alcune specie possono essere tossiche mentre in altri no. Tutto quello che si conosce della *ciguatera* è che le tossine presenti nella carne dei pesci hanno origine sui coralli delle barriere, e che si trasmettono nelle catene alimentari.

#### **9.4.9 Regressione e recupero delle barriere**

Le barriere possono avere danni da diverse fonti di disturbo. La prima è di tipo meteorologico: uragani e tifoni caratteristici delle zone intertropicali sono in grado di apportare gravi distruzioni alle barriere più superficiali, con tempi di recupero che possono essere anche dell'ordine di decine di anni. Ma in questa situazione il recupero della condizione originaria è quasi sempre raggiunto. Il secondo caso è quello di squilibri che avvantaggiano specie pericolose per la barriera. E' questo il caso della stella *Acanthaster planci* di cui abbiamo accennato. Questa specie si alimenta sui polipi del corallo e se la sua densità di popolazione aumenta oltre certi limiti può creare danni seri, come si è osservato alcuni anni or sono. Infatti, la cattura selettiva per scopi commerciali di un gasteropode di grandi dimensioni che si alimenta di questa stella, e quindi la riduzione del predatore, ha consentito la grande diffusione e il conseguente danno per alcune barriere.

Infine le modificazioni ambientali indotte da opere dell'uomo. Le barriere hanno necessità di caratteristiche ambientali molto stabili che lungo le coste tropicali antropizzate spesso sono alterate. Ad esempio i cambiamenti lungo la linea di costa con sversamenti di sedimenti di origine continentale o le immissioni di effluenti urbani con elevati carichi trofici, possono causare una progressiva moria di coralli con profonda modificazione di tutta la struttura della comunità presente. Quest'ultimo caso è il più complesso da recuperare in quanto normalmente non è modificabile la tendenza di sviluppo umano lungo una costa senza interferire pesantemente su quello che si è realizzato nel corso di anni o decenni.

## 9.5 Gli ambienti profondi

Come abbiamo avuto modo di dire nei capitoli iniziali, la gran parte dell'ambiente marino è costituito da zone profonde prive di luce. Il 90% dei fondali marini ha, infatti, profondità superiori ai 1000 metri. Il rapporto quindi tra i fondali della piattaforma continentale e il resto dei fondali marini dovrebbe farci considerare i primi nient'altro che una piccola eccezione rispetto ad un ambiente caratterizzato esclusivamente da buio e temperatura costante.

Sebbene questa parte dell'ambiente marino sia nettamente dominante, le conoscenze fino ad oggi disponibili sono limitate dalle difficoltà di esplorazione delle aree profonde.

### 9.5.1 La zonazione degli ambienti profondi

In questo capitolo tratteremo come zone profonde tutte quelle al di sotto del limite inferiore della piattaforma continentale, anche se non si dovrebbe parlare di fauna profonda fino al termine della scarpata continentale. Sono state molte le suddivisioni proposte per l'ambiente profondo ma nessuna è generalizzabile ed accettata concordemente da tutti i ricercatori. Il principale motivo di questa discordanza di opinioni è probabilmente da imputare alle scarse conoscenze ecologiche che si hanno di questi ambienti.

La suddivisione che proponiamo nella tabella sottostante riassume una zonazione per le principali fasce pelagiche e bentoniche. Per inciso, va ricordato che del poco che conosciamo di questi ambienti il benthos è sicuramente dominante in quanto gli attrezzi per il campionamento sul fondale sono sicuramente più semplici di quelli per le acque pelagiche. Per questo motivo, alcuni recenti lavori sulla fauna ittica profonda ipotizzano una potenziale presenza di diverse migliaia di specie ancora sconosciute.

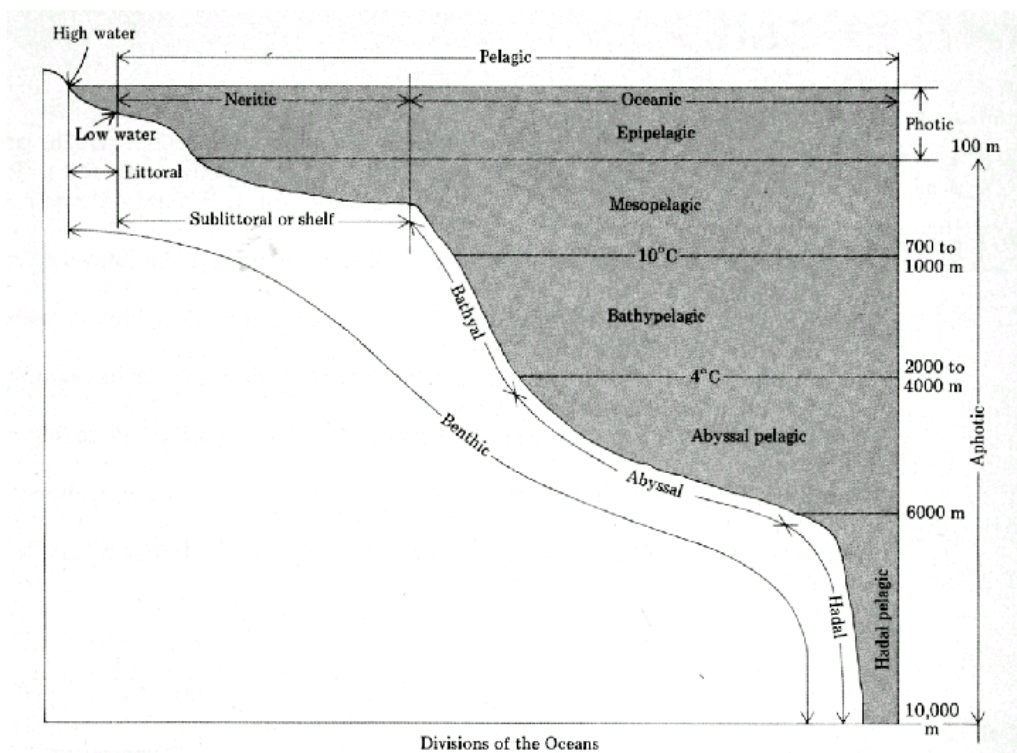


Fig. 9.28 – Zonazione degli ambienti profondi

## 9.5.2 Caratteristiche ambientali

Sono ambienti estremamente stabili per ciò che riguarda i principali parametri fisico-chimici. Ne riassumiamo brevemente le caratteristiche.

La luce: non essendoci non costituisce in apparenza un problema. In realtà tutta la parte mesopelagica riceve luce di debole intensità e quindi non utile per la fotosintesi ma necessaria per l'orientamento e il movimento di molti organismi. L'assenza di luce nella restante parte dei fondali non significa poi assenza di vita poiché, come vedremo, la bioluminescenza acquista un importante significato.

La salinità: la salinità in ambienti distanti dalle terre emerse e dalla superficie diventa molto costante e quindi non rappresenta un fattore di selezione per le diverse specie.

L'ossigeno: vale anche per l'ossigeno il principio di elevata costanza per le acque profonde anche se questo sembrerebbe essere in contrasto con la dislocazione spaziale delle sorgenti primarie, ovvero le acque superficiali dove avvengono gli scambi con l'atmosfera e si effettua la fotosintesi. In realtà anche se la circolazione dalla superficie al fondo è molto lenta una volta sul fondo le masse d'acqua ossigenate tendono a mantenersi tali a causa delle basse temperature presenti e per il basso consumo dovuto allo scarso numero di individui presenti.

La temperatura: abbiamo visto come le più importanti variazioni di temperatura avvengano nei primi strati d'acqua per effetto dell'irraggiamento solare e che il termoclino rappresenti il passaggio verso zone termicamente sempre più stabili. Sotto il termoclino la temperatura discende sempre più lentamente con il procedere in profondità e sotto i 2000-3000 m la temperatura può essere considerata costante in tutti i mari. Nessun altro ambiente sulla faccia della terra presenta condizioni così stabili di temperatura ma anche di tutti gli altri parametri precedentemente citati.

La pressione: l'unico fattore che si modifica in maniera significativa con il procedere in profondità è la pressione. La pressione aumenta di una atmosfera ogni 10 metri di profondità il che significa una potenziale variazione da 20 a 1000 atmosfere per profondità comprese tra i 200 e i 10.000 metri (la pressione delle gomme delle auto è normalmente di 2 atmosfere!). La variazione di pressione è drammatica se sono presenti parti gassose in quanto la pressione tende a ridurle progressivamente mentre per l'incomprimibilità dei liquidi tutte le parti non contenenti gas non tendono a collassate. Tuttavia questo non significa che la pressione non eserciti importanti effetti sulla fisiologia di ogni organismo.



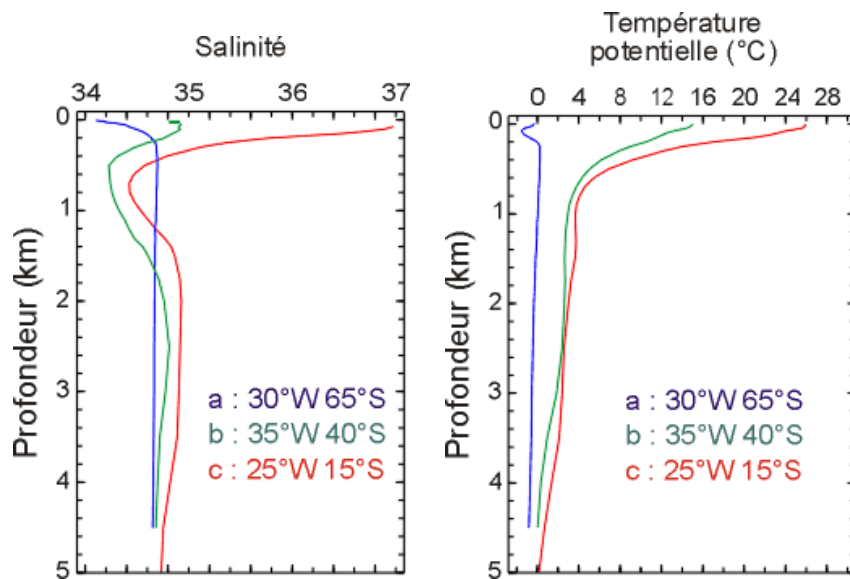


Fig. 9.29 – Andamento della salinità e della temperatura con la profondità

### 9.5.3 Gli adattamenti degli organismi

Gli organismi di ambienti profondi hanno sviluppato adattamenti a tutti i fattori sopra citati.

Molti di questi adattamenti non sono ancora ben conosciuti in quanto riguardano aspetti della fisiologia che non sono facilmente studiabili in ambienti diversi da quello di origine.

Altri adattamenti sono più evidenti e direttamente osservabili. Il principale tra questi ultimi è il colore che gli organismi assumono.

I pesci mesopelagici assumono, ad esempio, una colorazione piuttosto uniforme che va dal grigio al nero, mentre molti invertebrati come crostacei e cefalopodi hanno un colore rosso. Entrambe queste colorazioni tendono a far scomparire l'animale, il grigio-nero quale colore medio dell'ambiente ed altrettanto il rosso, che essendo stato assorbito nei primissimi metri d'acqua è un colore che a quelle profondità non c'è e quindi dà all'animale il colore medio presente nell'ambiente.

Un altro adattamento è la presenza di grandi occhi. Questi organi sono particolarmente sviluppati per permettere, da una parte la visione a bassissima intensità luminosa che molte specie utilizzano negli spostamenti verticali verso gli strati mesopelagici, dall'altra per percepire i segnali prodotti da altri organismi tramite bioluminescenza.

Questo adattamento si osserva però per pesci presenti fino a circa 2000 metri oltre questa profondità gli animali cominciano ad avere occhi ridotti o assenti in quanto il buio assoluto non rende necessari gli occhi per molte specie. Questo naturalmente è anche collegato all'importanza che la bioluminescenza ha per ogni specie: le specie che non hanno necessità di percepire la presenza di altri individui vedono così ridurre l'importanza degli occhi e viceversa per quelle specie in cui i segnali luminosi hanno grande importanza. Ad esempio molti cefalopodi anche di grandi profondità hanno occhi molto sviluppati probabilmente per percepire la presenza di individui della stessa specie per la riproduzione. Nell'oscurità degli ambienti profondi vi è infatti anche il problema della bassa densità degli individui di ogni specie che può portare a difficoltà nel reperimento del partner per la riproduzione. Uno dei fini della bioluminescenza è il riconoscimento di segnali specie-specifici. La soluzione al problema della riproduzione può seguire molte altre strade e sicuramente una tra le più caratteristiche è quella di alcuni pesci del genere *Ceratoidea* in cui le grandi femmine hanno un piccolissimo maschio, parassita, che vive attaccato nella loro zona ventrale.

Altro adattamento frequente nei pesci è la presenza di lunghe appendici tattili che hanno la funzione di percepire la presenza del fondo o di altri organismi.

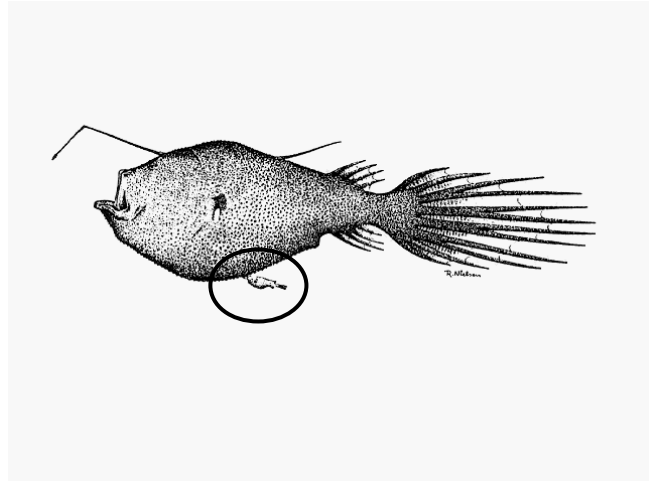


Fig. 9.30 – *Bathypteroides* (a sinistra) e *Ceratoidea* (il maschio è evidenziato nel circoletto) (a destra)

Ancora comune è il cosiddetto gigantismo abissale. Alcune specie, infatti, raggiungono dimensioni molto maggiori rispetto alle specie affini di acque più superficiali, come ad esempio l'Isopode *Bathynomus giganteus* che raggiunge i 40 cm di lunghezza. La spiegazione più accreditata è che la bassa temperatura e il poco cibo disponibile riducano il tasso di crescita aumentando la longevità, cosa osservata anche nei mari freddi, con il conseguente raggiungimento di dimensioni maggiori. Ma non tutte le specie abissali hanno la tendenza al gigantismo. La gran parte delle specie bentoniche è, infatti, più piccola delle analoghe di acque superficiali tanto che se di tendenza si deve parlare per ciò che concerne la dimensione questa è verso la riduzione della taglia media delle specie.

#### 9.5.4 La bioluminescenza

**La bioluminescenza** è la produzione di luce ad opera di organismi viventi. Il meccanismo di produzione di luce da parte degli organismi acquatici è ben conosciuto e simile a quello degli organismi terrestri come le lucciole.

Gli organi che producono luce sono i **fotofori** e sono particolarmente abbondanti nei pesci e nei cefalopodi. Il più elevato numero di organismi con fotofori si osserva nei primi strati delle acque profonde e quindi nello strato mesopelagico. Con l'aumentare della profondità diminuiscono gli organismi bioluminescenti così come, abbiamo detto, gli animali con occhi sviluppati.

Le funzioni della bioluminescenza sono numerose: oltre alla funzione di riconoscimento per la riproduzione, può avere il fine di confondere un predatore nel momento dell'attacco come avviene negli ambienti illuminati con il nero dei cefalopodi, oppure servire da esca per attrarre altri organismi, oppure ancora per illuminare una parte di fondale su cui si cercano prede.

La natura chimica della bioluminescenza, nella maggior parte degli organismi studiati, implica l'interazione di due sostanze, la luciferina e l'enzima luciferasi, che, in presenza di ossigeno, danno luogo alla produzione di luce. Nella maggior parte dei cnidari e dei ctenofori, però, la luminescenza sembra essere prodotta diversamente, poiché non richiede ossigeno e implica la presenza di una singola sostanza, una "fotoproteina" (equorina), che produce luce alla presenza di calcio (es. la medusa *Aequorea*).

La luce prodotta dagli organismi è compresa nella regione visibile dello spettro e alcuni animali possono addirittura emettere fasci luminosi di diverso colore nelle varie parti del corpo. Mentre i

batteri producono continuamente luce in presenza di ossigeno, negli altri organismi la luminescenza compare solo in risposta ad uno stimolo e sono sotto il controllo del sistema nervoso. I più estesi fenomeni di bioluminescenza che si registrano sulla superficie del mare (“fosforescenza del mare”) si devono soprattutto a *Noctiluca miliaris*, un dinoflagellato.

La luminescenza negli animali marini ha origine da tre fonti:

- secrezioni extra-cellulari
- processi intracellulari
- batteri simbiotici

Nel primo caso le strutture produttrici di luce risultano essere generalmente delle ghiandole, mentre negli altri due casi sono spesso coinvolti degli organi complessi, i fotofori (fig. 9.31). Di seguito sono riportati i principali gruppi con le specie in cui sono descritti fenomeni di bioluminescenza.

**Cnidari** - la bioluminescenza è comune nelle meduse (es. *Aequorea*) e nelle piccole colonie di idroidi come quelle appartenenti alle specie del genere *Obelia*. In questi animali coloniali la produzione di luce è affidata a particolari cellule, fotociti, che si trovano nello strato endodermico degli stoloni, dell'asse principale e dei rami laterali.

**Ctenofori** - Questi animali producono al buio, se disturbati, un'intensa luce verde lungo le pareti degli otto canali digerenti sottostanti le otto fila di pettini.

**Policheti** - Molte specie appartenenti a questa classe presentano il fenomeno della bioluminescenza. Le specie del genere *Chaetopterus* (vivono affondate nella sabbia) quando stimolate producono un secreto luminoso, per mezzo di cellule ghiandolari sparse sulla superficie anteriore del corpo, che viene scaricato all'esterno. Questo secreto ha una funzione probabilmente protettiva poiché la regione del corpo interessata, pur richiamando l'attenzione del predatore, può essere facilmente rigenerata. In *Odontosyllis enopla*, specie delle Bermuda, l'incontro tra i due sessi avviene mediante uno scambio di segnali luminosi. Ogni mese, pochi giorni dopo la luna piena, circa un'ora dopo il tramonto, questo polichete nuota in superficie per rilasciare i gameti. La femmina vi giunge per prima e nuota in circolo emettendo lungo il corpo una luminescenza verde brillante. A seguire arrivano i maschi, di dimensioni più piccole, che nuotano rapidamente verso le femmine emettendo lampi di luce intermittenti.

**Crostacei** - Alcuni gamberi batipelagici dell'ordine Decapoda (*Systellapsis*, *Eterocarpus* e *Plesipenaeus*) producono una secrezione luminosa per mezzo di ghiandole poste attorno alla bocca e alla base dei pereopodi con lo scopo di disorientare eventuali predatori. Anche alcune specie di copepodi e di ostracodi (es. *Cypridina*) producono un secreto luminoso. *Cypridina serrata* produce una nube azzurra molte volte più grande del suo corpo che le permette di fuggire ad eventuali predatori.

**Molluschi** - Le specie che presentano questo fenomeno sono il bivalve *Pholas dactylus*, il gasteropode pelagico *Phyllirhoe bucephala*, in cui la luce è prodotta da cellule ghiandolari situate sull'epidermide e sparse su tutto il corpo, e i cefalopodi. Questi ultimi presentano degli organi fotogeni (**fotofori**) particolarmente sviluppati soprattutto nelle specie che vivono a grandi profondità. In alcune specie di *Cranchidae* il fotoforo risulta composto da una massa di cellule fotogene che poggiano su uno strato connettivale il quale ha il compito di riflettere la luce.

In alcuni cefalopodi (es. *Lycoteuthis* e *Calliteuthis*), invece, gli organi luminosi sono estremamente complessi essendo costituiti da cellule fotogene, tessuto lenticolare, cellule riflettenti, uno strato di pigmento e una plica cutanea che se abbassata agisce da tendina oscuratrice, mentre sollevata consente l'emissione di luce. Il valore adattivo della bioluminescenza nei cefalopodi non è del tutto chiaro poiché può servire a confondere i predatori, ad attirare la preda o a mantenere uniti gli individui dello stesso branco.

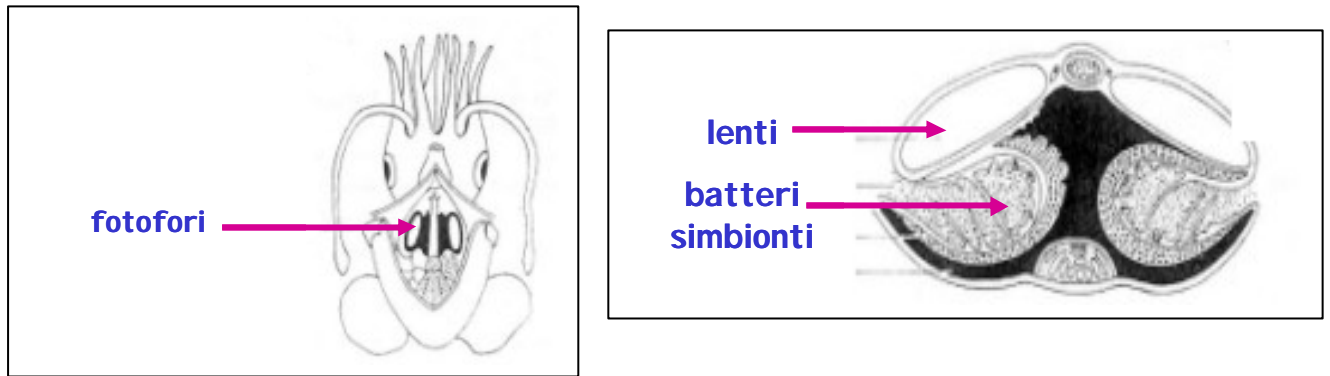


Fig. 9.31 – Fotofori

**Echinodermi** - In *Ophiotrix angulata*, un'ofiura del Nord America, è stata registrata al buio una tenue luminescenza allorché l'animale veniva stimolato.

**Tunicati** - Il fenomeno della bioluminescenza si manifesta in maniera eclatante nelle colonie giganti di *Pyrosoma spinosum* presenti a largo della Nuova Zelanda. I singoli individui rispondono con una brillante luminescenza a stimoli di varia natura arrestando il battito delle ciglia che rivestono le fessure faringee. La luce emessa rappresenta un segnale per gli individui circostanti che, a loro volta, interrompono il battito delle ciglia divenendo luminosi. Ne consegue che la colonia quando incontra un ostacolo si arresta e viene attraversata da onde luminose che hanno la funzione di disorientare un potenziale predatore.

**Teleostei** - In molti teleostei batipelagici sono presenti numerosi fotofori disposti, in file o gruppi, lungo tutto il corpo. I fotofori sono composti da una massa di cellule fotogene avvolte parzialmente da uno strato riflettente che poggia su uno strato di cellule pigmentate. In alcune specie è presente, sulla faccia rivolta verso l'esterno, una lente che serve a concentrare la luce. I fotofori, in alcune specie, comunicano verso l'esterno attraverso un dotto di varia lunghezza.

La luce di alcuni cefalopodi e pesci è prodotta da batteri simbiotici che vivono nei fotofori degli animali. I batteri emettono luce in continuazione e l'animale ne controlla l'emissione attivando un "otturatore" (plica cutanea nei cefalopodi).



Fig. 9.32 – Myctophidae con fotofori luminosi

### 9.5.5 La fauna profonda

La fauna profonda è caratterizzata dagli stessi gruppi animali presenti nelle acque superficiali ma la composizione percentuale varia. Ad esempio gruppi minori di crostacei quali Isopodi, Anfipodi, Tanaidacei e Cumacei, costituiscono il 30-50 % della fauna abissale. Policheti ed Oloturie sono ugualmente comuni.

E' interessante fare qualche considerazione sulla diversità presente su questi fondali in relazione alla fauna bentonica. Per anni sono stati considerati dei deserti o qualcosa di simile. In realtà la difficoltà di campionare popolamenti a bassa densità quali quelli presenti in questi fondali ha creato questa errata convinzione. Dalla metà degli anni sessanta, con la messa a punto di sistemi di campionamento più efficaci e con l'approfondimento degli studi, ci si è resi conto che erano presenti comunità assai complesse.

Questa diversità è stata spiegata da varie teorie. Una, quella del tempo di stabilità di Sanders, di cui abbiamo parlato, dice che gli ambienti con condizioni ambientali altamente stabili consentono alle specie di evolversi in forme altamente specializzate, ad esempio, in relazione all'alimentazione, consentendo quindi l'aumento del numero di specie.

Una seconda ipotesi, completamente opposta alla precedente, è quella della teoria del disturbo. In sintesi sostiene che in realtà non c'è nessuna specializzazione alimentare negli ambienti profondi perché la gran parte degli animali sono detritivori e si alimentano indiscriminatamente su quello che trovano. La diversità è dovuta al fatto che la densità delle popolazioni è talmente bassa rispetto agli spazi disponibili che nessuna specie riesce ad entrare in competizione con le altre .

Un'ultima ipotesi è quella dello "spazio disponibile": Il numero di specie di ogni ambiente è direttamente correlato alla superficie disponibile, per cui la diversità degli ambienti profondi è semplicemente dovuta al fatto che sono gli ambienti più estesi del nostro pianeta.

Probabilmente tutte e tre le teorie forniscono una parte del significato dell'elevata diversità presente nelle acque profonde, e, in ogni caso, non si è in grado allo stato attuale di considerarne valida una più delle altre.

La fauna pelagica è meno conosciuta, come abbiamo accennato, per la difficoltà di campionamento. Possono essere individuate due componenti: una di specie non migranti che vivono stabilmente ad una determinata quota batimetrica, un'altra che compie migrazioni nictemerali. Questi organismi vivono sotto i 450 m di giorno e si spostano verso la superficie di notte per alimentarsi di plancton. Comprendono la gran parte dei pesci mesopelagici, Eufasiacei e Decapodi. La loro densità nelle diverse posizioni notturna e diurna è così marcata che possono essere individuati con l'uso di semplici apparecchiature acustiche come gli ecoscandagli, in quanto la loro presenza genera una riflessione dell'onda acustica analogamente a quanto viene provocato dal fondale. Sono pertanto chiamati *deep scattering layers* (DSL) (vedi figg. 6.5 e 6.6).

### 9.5.6 Ambienti anossici

Come abbiamo avuto modo di vedere, l'ossigeno disciolto è in grado di raggiungere qualunque profondità oceanica, e di mantenersi nel tempo a causa del suo ridotto consumo per opera degli organismi presenti. Infatti, la bassa densità di tali organismi non è in grado di influire significativamente sulla concentrazione di ossigeno presente in masse di acqua così grandi.

Tuttavia esistono numerosi ambienti profondi caratterizzati da una cronica condizione anossica non legata al consumo di ossigeno ma a particolari conformazioni del fondale o anomalie nella circolazione. La più comune di queste condizioni è quella di una stratificazione legata a diverse condizioni di salinità, in cui masse d'acqua meno salate e più ossigenate permangono sul fondo senza riuscire a rimescolarsi con le masse superficiali. Esempi di questo tipo sono comuni in Mar Nero e nel Mar Baltico. Una seconda condizione è quella in cui la stratificazione è legata ad una morfologia particolare per cui non si realizza una circolazione verticale accentuata da un forte termoclino permanente quale quello delle acque equatoriali. Esempio di questa condizione è la Fossa del Cariaco, in Venezuela. Si tratta di una fossa di 1400 m in cui le acque sono in anossia dai 350 m fino al fondo.

In questi ambienti le produzioni sono a carico di batteri chemiosintetici anaerobi secondo quei modelli produttivi descritti nei precedenti capitoli. Soltanto là dove la stratificazione tra aree anossiche e aree ossigenate è in stretta vicinanza, le produzioni batteriche possono essere utilizzate da altre forme viventi, come vere e proprie produzioni primarie. Infatti, il limite imposto dall'anossia rende queste produzioni non utilizzabili se non da pochissime specie nelle altre condizioni.

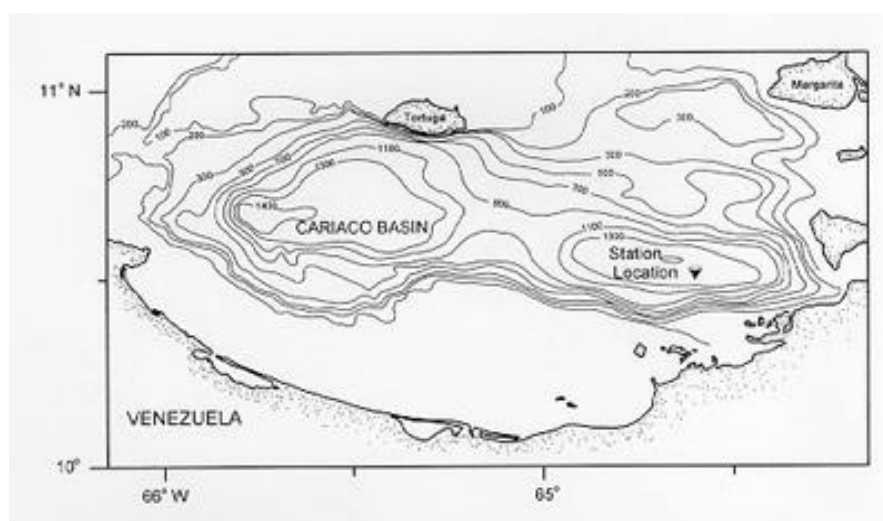


Fig. 9. 32 – Fossa del Cariaco

### 9.5.7 Gli hydrothermal vents.

Vi sono vaste regioni dei fondali abissali in cui vengono prodotti gas che possono modificare le caratteristiche delle masse d'acqua, offrendo opportunità ad alcuni gruppi di specie che si sono specializzate alla vita in tali particolari condizioni.

Le caratteristiche di tali gas sono diverse e sinteticamente possono essere raggruppate in:

- a) emissioni di gas caldo di origine tettonica (*hydrothermal vents*) presenti lungo le grandi rift oceaniche.
- b) sorgenti di idrocarburi gassosi freddi e idrogeno solforato da depositi organici fossili.
- c) sorgenti di metano da zone di subduzione.

Le attività di emissioni idrotermali lungo le dorsali oceaniche sono assai più frequenti di quanto fosse noto fino a pochi anni fa. La messa a punto di strumenti per le esplorazioni in acque profonde ha documentato la diffusione di emissioni gassose dalle fratture presenti lungo le dorsali, che sono riconducibili alla reazione dell'intrusione di acque fredde a contatto con il magma profondo, con la produzione di vapor acqueo a pressione unita a molti gas.

Ma l'aspetto più interessante per il biologo, è stato lo scoprire una ricca fauna associata a queste emissioni più o meno calde. Infatti l'importante sviluppo di batteri chemioautotrofi in grado di utilizzare composti inorganici contenenti solfuri come substrato ossidante, diviene la fonte di energia primaria di questi ambienti. Le specie che sostituiscono gli erbivori hanno molto spesso questi batteri quali simbionti che utilizzano per l'alimentazione. Sono Bivalvi e Pogonofori bentonici, ad esempio, che ricoprono assai densamente i fondali.

Carnivori e detritivori, quali crostacei e pesci, utilizzano ulteriormente questa importante base alimentare.



Fig. 9. 33 – Hydrothermal vents

## 10. ALTERAZIONE DEGLI ECOSISTEMI MARINI

Tratteremo in questa ultima parte del testo di degrado ambientale inteso quale modificazione delle caratteristiche naturali dell'ambiente marino: E' forse questo quello che si chiama inquinamento ? Bisogna stare attenti alla corretta interpretazione del termine in quanto, come abbiamo visto nei precedenti capitoli, esistono numerose condizioni "naturali" in cui i parametri ambientali vengono a modificarsi creando condizioni ostili o impossibili per la vita. Casi quali i fondi anossici per stratificazione da salinità o per emissione di gas sono esempi di queste condizioni "naturali" che, in quanto tali non possono essere chiamate inquinamento. **Inquinamento** è la modificazione dell'ambiente marino, con alterazione dei suoi parametri fisico-chimici e dei popolamenti animali e vegetali, causata dall'uomo mediante azione diretta o indiretta sulle acque, sulle coste e sui fondali.

### 10.1 Inquinamento da sostanze tossiche

Un gran numero di sostanze tossiche può essere immesso dall'uomo nell'ambiente marino e questo può avvenire come singolo episodio accidentale, spesso catastrofico, ovvero come immissione continua di piccoli quantitativi ad esempio in certi processi industriali.

Una prima importante suddivisione di queste sostanze è quella di come loro sono assimilate dagli organismi viventi. Si parla quindi di sostanze che si accumulano per quelle che continuano a concentrarsi nei tessuti nel passaggio da un livello trofico ad un altro, e sostanze che non si accumulano per quelle che sono metabolizzate e quindi non si concentrano anche in esposizione cronica all'inquinante. E' evidente che le sostanze tossiche che si accumulano possono essere molto pericolose poiché possono aumentare progressivamente la loro concentrazione nel passaggio verso i livelli trofici più elevati. Questo può avvenire ad esempio con alcuni metalli e con i pesticidi.

I metalli sono stati rilasciati nell'ambiente dall'uomo fin dai tempi remoti in cui è iniziata la loro estrazione da cave e miniere. Infatti, il processo di estrazione provoca poi esposizione di frammenti e scorie che vengono poi dilavate e trasportate fino a mare. E' noto ad esempio il caso dell'estrazione di mercurio dal monte Amiata effettuata dai Romani che ha condizionato e condiziona tuttora la concentrazione di questo metallo nel mare a valle, lungo la costa del Tirreno centrale. I metalli sono anche trovati in grandi quantità negli scarichi urbani e in quelli industriali e dell'agricoltura. Sebbene siano noti gli effetti tossici sull'uomo non altrettanto sono conosciuti gli effetti sugli organismi marini. Mercurio, Piombo, Cadmio, Zinco, Rame sono tra i più importanti tra i metalli tossici e tutti sono in grado di accumularsi ed avere effetti tossici se ingeriti dall'uomo.

Il **Mercurio** è il più noto di questi metalli. Nella sua forma composta di metil-mercurio viene assimilato e concentrato nell'organismo causando gravi danni al sistema nervoso. Il comportamento folle del cappellaio matto in Alice nel Paese delle meraviglie descrive un caso di avvelenamento da mercurio assai frequente in Inghilterra nel diciannovesimo secolo, tra i fabbricanti di cappelli. Ma ancora più interessante è il caso di avvelenamento per consumo da prodotti marini. Mentre, infatti, nel primo caso è il contatto diretto con la sostanza a creare l'avvelenamento, nel caso di consumo di pesce è la concentrazione nelle catene alimentari marine che induce poi rischi per la salute. Il più famoso esempio è quello della baia di Minamata in Giappone, in cui scaricavano alcune industrie e contemporaneamente lavorava una comunità di pescatori. Molti si ammalarono accusando casi di cecità per il consumo regolare che facevano del pesce della baia. Tra gli organismi a maggior concentrazione di mercurio sono sicuramente, anche in Mediterraneo, i grandi pelagici carnivori e a ciclo biologico molto lungo.



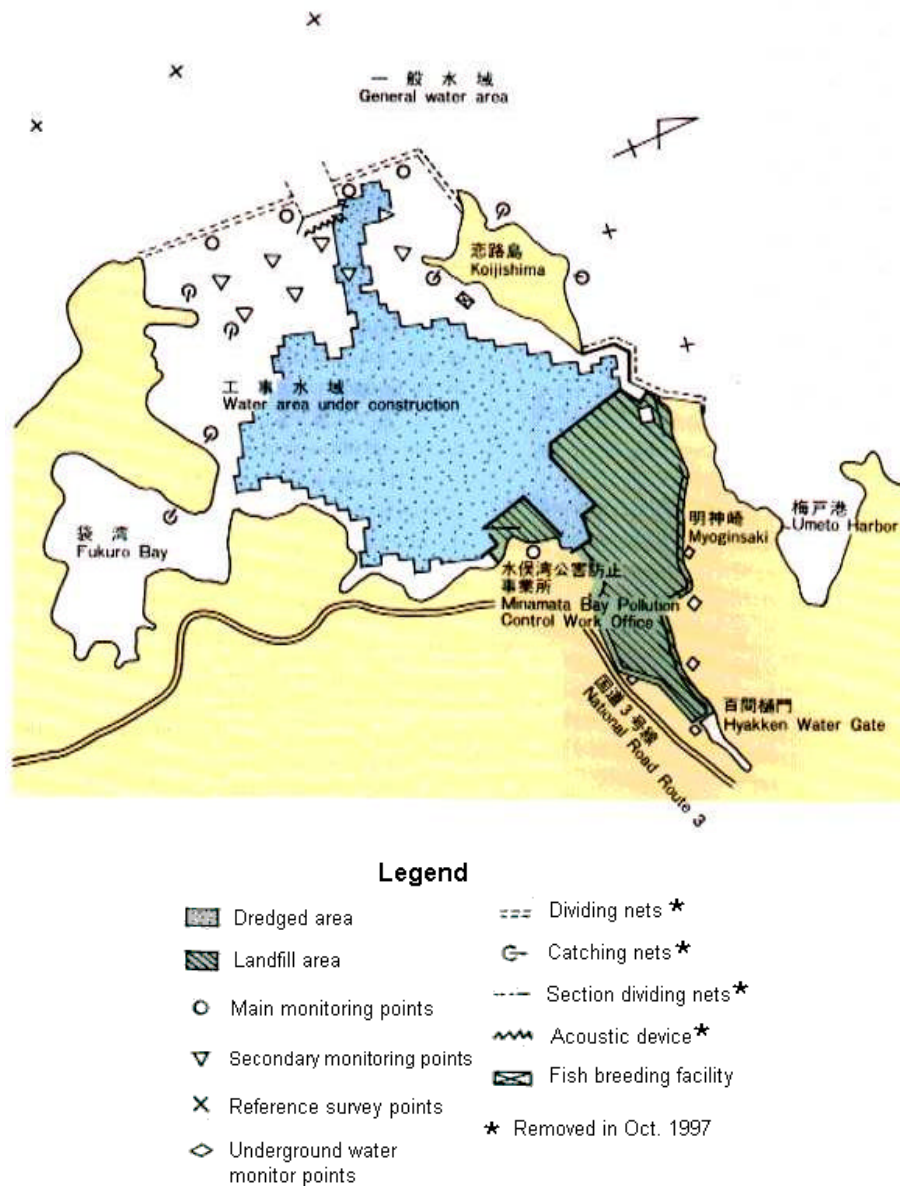


Fig. 10.2 – Pianta della Baia di Minamata e degli interventi effettuati in seguito al fenomeno di inquinamento

Anche del **Piombo** è ben conosciuta la tossicità. Era usato dai Romani per le tubature e il vasellame e alcuni ritengono che l'intossicazione cronica conseguente (saturismo) abbia influito nel declino dell'impero.

Oggi è comune in molti processi industriali in quanto presente come additivo dei carburanti, nelle batterie, nelle vernici. E' trovato in quantità importanti in mare nelle vicinanze di estuari e sedimenti marini adiacenti aree urbane. Anche questo metallo ha una importante azione tossica sul sistema nervoso.

I **pesticidi** includono una vasta categoria di sostanze usate per uccidere gli insetti che sono poi dilavate e concentrate nell'ambiente marino. Le forme di resistenza che sviluppano i diversi insetti producono una immissione di sostanze sempre nuove e ad elevata tossicità. Non possiamo trattare tutti i diversi composti, storicamente ed ancora oggi impiegati. E' tuttavia interessante descrivere in breve il ruolo che ha avuto il più noto, anche se attualmente vietato, tra i pesticidi: il DDT (diclorodifeniltricloroetano).

All'inizio del secolo scorso, il **DDT** è stato impiegato largamente per eliminare le zanzare portatrici di malaria, e sicuramente ha contribuito alla soluzione di questo grave problema sanitario. Negli anni 60 si avevano morie di uccelli marini e nei loro tessuti si osservavano grandi concentrazioni di DDT. Si è così compreso il loro modo di concentrarsi lungo la catena alimentare incrementando la tossicità nei carnivori. Questo è il motivo per cui è stato vietato il suo uso, ma nonostante ciò dopo decenni di assenza di uso è ancora possibile osservare concentrazioni di questa sostanza anche in regioni estreme come quelle polari.

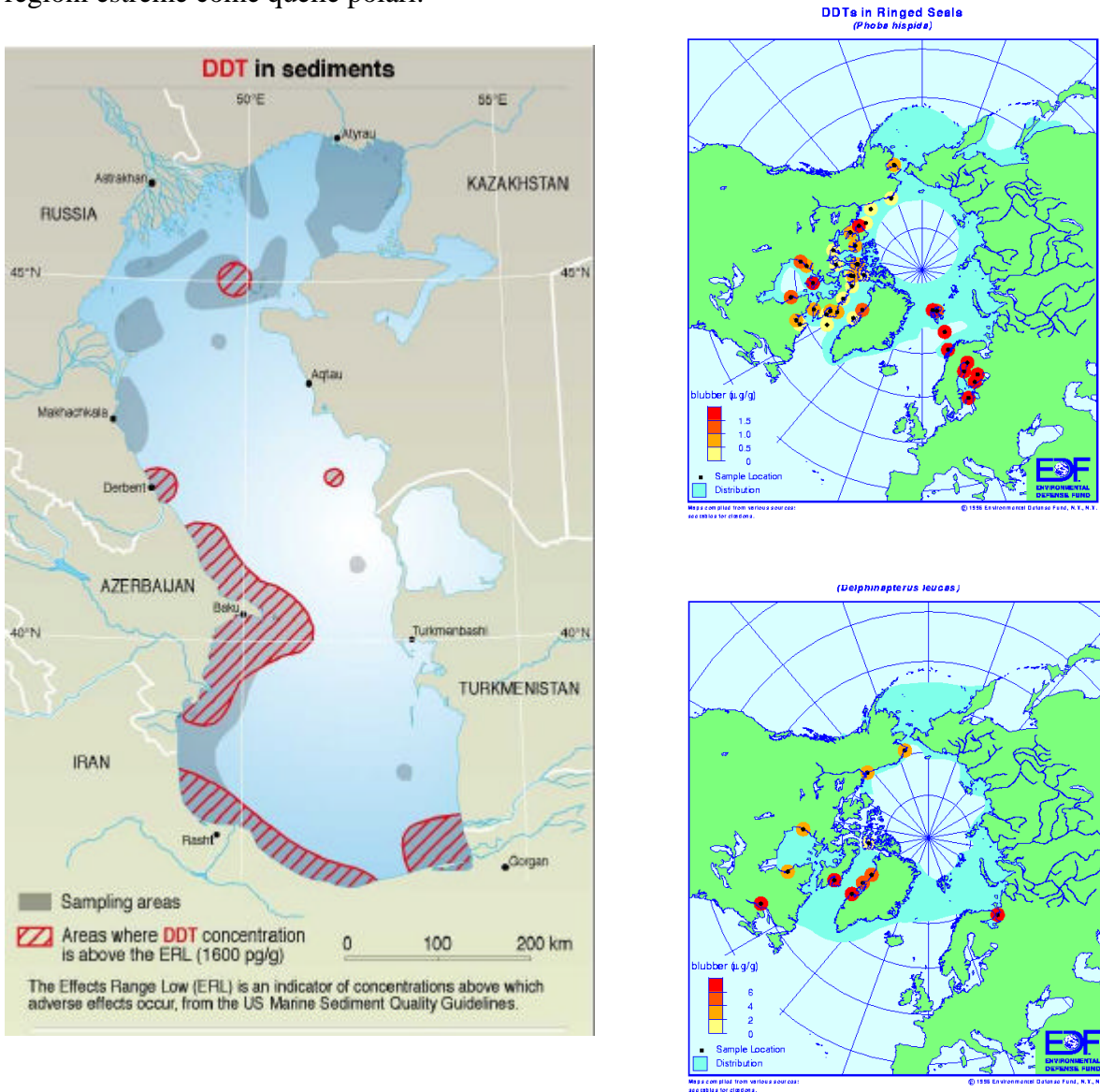


Fig. 10.3 – A sinistra: mappa del Mar Caspio e della concentrazione di DDT nei sedimenti; a destra: concentrazione di DDT nella foca (in alto) e nel beluga (in basso) al polo nord.

Anche i **PCB** (policlorobifenili) sono state sostanze ampiamente usate nell'industria elettrica, delle plastiche e delle vernici. Sono state vietate negli anni 70 a seguito della comprensione della loro tossicità e dell'accumulo nell'ambiente marino con un tempo di eliminazione, dalle catene alimentari, molto lento. Per questo motivo, alcuni tratti di mare in cui versavano effluenti industriali con elevate concentrazione di tali sostanze, sono stati interdetti alla pesca per lunghissimi periodi. I sedimenti inquinati, infatti, consentivano attraverso gli organismi detritivori una continua reimmissione in circolo di tali sostanze.

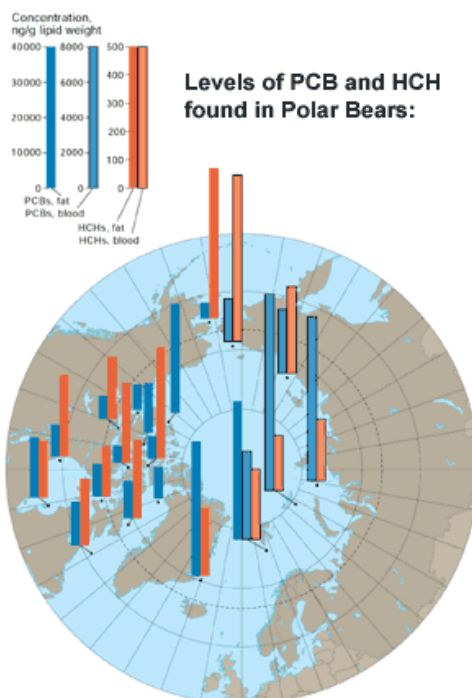


Fig. 10.4 – Livello di PCB e HCH ritrovati nell'orso polare.

## 10.2 Inquinamento da petrolio

Dall'inizio del secolo scorso, con la crescente industrializzazione, il petrolio è andato assumendo un ruolo sempre più importante nell'economia dei paesi occidentali, tanto che oggi la dipendenza da questo combustibile condiziona gli equilibri politici oltre che economici del pianeta. Tanta importanza significa che nessuno può farne a meno e quindi diventa fondamentale il trasporto, principalmente via mare, dai paesi produttori ai paesi consumatori. Trasporto significa rischio di incidenti e conseguenti immissioni in mare. Questa è una delle principali fonti di inquinamento da petrolio. Nella figura 10.5 sono illustrate le principali vie di trasporto del greggio via mare.

Esistono anche altre fonti di inquinamento da petrolio quali scarichi e perdite da terra da impianti industriali o in mare da pozzi di petrolio off-shore.

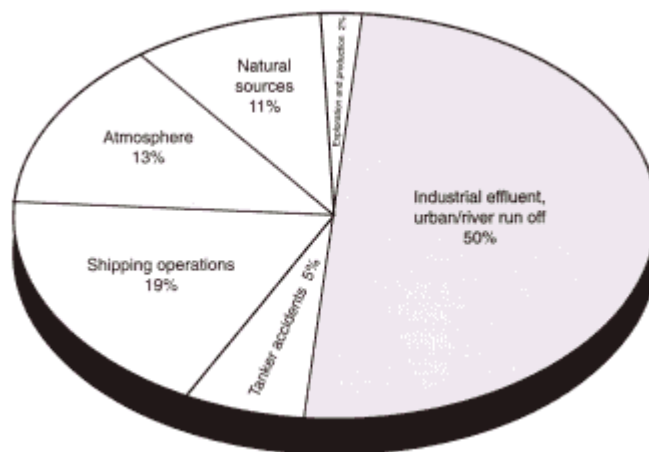
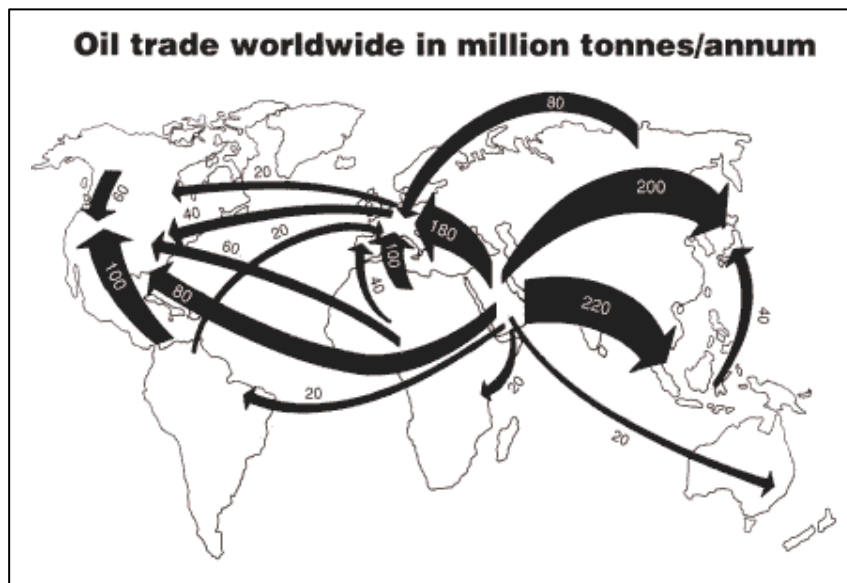


Fig. 10.5 – Le principali rotte del petrolio nei mari del mondo (in alto); provenienza del petrolio sversato negli oceani (in basso)

Sotto il nome di petrolio si comprendono una serie di idrocarburi liquidi di origine organica. I principali sono:

- Idrocarburi saturi
- Idrocarburi insaturi
- Idrocarburi aromatici
- Cicloparaffine

Il petrolio greggio contiene miscele di questi idrocarburi che vengono poi estratti per distillazione frazionata ottenendo così in successione benzine, kerosene, gasoli, oli, paraffine, catrami e bitumi.

Il petrolio disperso in mare tende immediatamente a galleggiare spandendosi su superfici anche molto ampie. Ad esempio 100 kg di petrolio coprono 1 km<sup>2</sup> con uno spessore di 0,001 mm.

Dal momento dello sversamento, la massa di greggio sparsa sulla superficie ha destini diversi: la frazione più leggera evapora e dopo un giorno il 50% dei composti a 13-14 atomi di carbonio non sono più presenti. A questo punto rimangono le frazioni più pesanti che gradualmente tendono ad

affondare, emulsionandosi prima con l'acqua di mare e in seguito precipitando sul fondale. Sono queste masse viscite emulsionate che sono trasportate dalle onde e dalle correnti sulle spiagge ricoprendole progressivamente di strati di catrame sempre più consistente man mano che prosegue l'evaporazione.

Le conseguenze dell'inquinamento da greggio possono essere diverse. Innanzitutto va considerata una mortalità generalizzata che riguarda gli organismi bentonici. E' evidente, infatti, che la copertura dei fondali con strati consistenti di idrocarburi pesanti soffoca meccanicamente gli organismi di fondo ed altera in maniera persistente gli ambienti sui quali non può essere rapido il ritorno alla normalità. Anche gli organismi planctonici subiscono gravi danni ad opera della modificazione delle caratteristiche delle acque che emulsionate a diverso grado con idrocarburi divengono tossiche e incompatibili con la vita di piccoli organismi. Le alghe unicellulari ad esempio hanno un blocco della divisione cellulare e della fotosintesi. I pesci hanno maggior resistenza, essendo anche in grado di spostarsi rapidamente, ma tendono ad accumulare nei loro tessuti frazioni importanti di idrocarburi. Sicuramente alcuni uccelli marini, che vivono sulla superficie del mare o sulle spiagge, sono tra gli organismi più sensibili all'azione diretta dell'inquinamento da petrolio.

Le condizioni di alterazione causate dalla copertura dei fondali e delle spiagge è tuttavia reversibile in quanto le diverse componenti del petrolio sono soggette a degradazione da parte di diversi microrganismi. Oltre ai batteri numerosi lieviti sono in grado di biodegradare gli idrocarburi. Tanto più sottile è lo strato di idrocarburi tanto più velocemente avverrà la sua degradazione in quanto più direttamente accessibile.

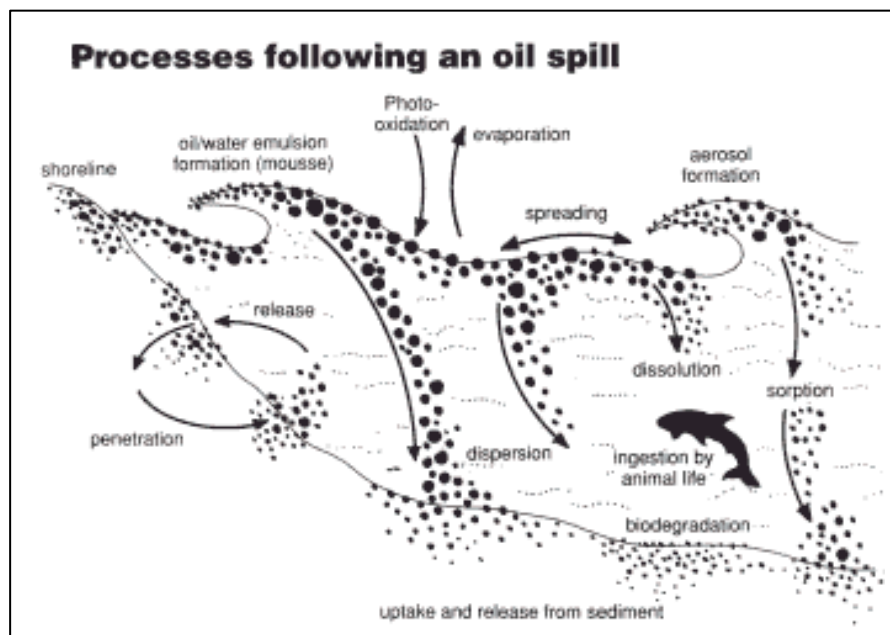


Fig. 10.6 – I processi che il petrolio subisce una volta sversato in mare

### 10.3 L'eutrofizzazione

L'eutrofizzazione, come inquinamento, è l'accresciuta presenza di nutrienti in mare, causata da attività umane, in grado di causare incremento della crescita algale. In pratica soltanto il Fosforo e L'Azoto possono essere considerati tra i nutrienti inquinanti, in quanto controllabili.

Abbiamo visto come possano esserci anche condizioni di arricchimento di nutrienti "naturali" come ad esempio nelle zone di upwelling o in aree lagunari, ed anche in questo caso possiamo trovarci in condizioni di eutrofizzazione ma non possiamo considerarlo inquinamento

Quindi l'eutrofizzazione che ci interessa in questo paragrafo è esclusivamente quella conseguente alle immissioni in mare da parte dell'uomo.

Le sorgenti principali di questo tipo di nutrienti sono:

- a) Scarichi urbani
- b) Dilavamento terreni agricoli
- c) Scarichi di allevamenti

E' buona norma per una corretta gestione di queste immissioni stabilire la capacità massima che può avere il bacino ricevente e poi di conseguenza gestire gli apporti. Ad esempio, il Po trasporta dalle 10.000 alle 20.000 tonnellate di fosforo l'anno che influenzano in maniera significativa l'Adriatico settentrionale provocando fioriture fitoplanctoniche elevatissime (fino a 100 mg/m<sup>3</sup>).

Gli impianti di depurazione hanno un forte effetto di incremento dei nutrienti in quanto mineralizzano la sostanza organica accelerando un processo naturale altrimenti lungo e complesso. Infatti sono caratterizzati da un **trattamento primario** in cui avviene un primo filtraggio meccanico, un **trattamento secondario** in cui i composti più tossici, come l'azoto ammoniacale, sono ossidati con trattamenti aerobi. Il residuo in questa fase è di fosfati e nitrati in forme disciolte che possono essere immessi in mare ed utilizzati immediatamente dalle componenti vegetali. Solo pochi impianti conducono un **trattamento terziario**, tra l'altro molto costoso, che elimina fosfati e nitrati. In assenza di questo trattamento la depurazione aumenta il rischio eutrofizzazione, in quanto rende maggiormente disponibili i nutrienti .

Gli effetti di questo aumento di nutrienti sono quelli descritti nei precedenti paragrafi e vanno da un semplice aumento delle produzioni primarie come è frequente nelle aree costiere di tutti i continenti a imponenti fioriture nelle aree più chiuse fino a vere e proprie crisi distrofiche, con cadute di ossigeno e moria di organismi, come sono state descritte per gli ambienti lagunari.

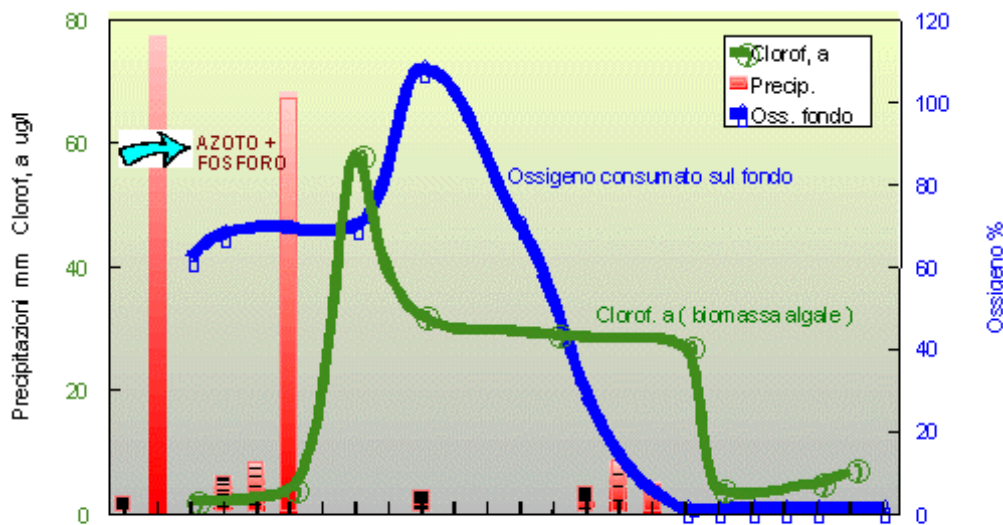


Fig. 10.7 - schematizzazione del processo di eutrofizzazione in mare

## 10.4 Le alterazioni sedimentarie

Tutte le modificazioni apportate dall'uomo lungo la linea di costa creano alterazioni nel complesso equilibrio del trasporto del sedimento solido e nelle sue caratteristiche. Le origini di queste alterazioni sono molteplici. Innanzitutto, tagliando la linea di costa con opere di costruzione diverse, siano esse strade, complessi residenziali o altro si modifica anche il flusso di dilavamento delle acque meteoriche facilitando la dispersione di frazioni di sedimento sottile anche in aree dove questo non era presente. Ma è l'attività di costruzione stessa, con i riporti di terra necessari, che causa immissioni di sedimenti anomali, ed in quantitativi elevati, verso mare. Questo potrebbe sembrare apparentemente di secondaria importanza per la vita degli organismi e quindi non essere una vera e propria causa di inquinamento, ma in realtà numerosi studi recentemente svolti nella zona costiera dimostrano assolutamente il contrario. La deposizione di questa frazione in aree a basso idrodinamismo causa una lenta e continua copertura dei fondali e della relativa fauna, provocando spesso la morte di molti organismi sessili. A questo si aggiunge una modificazione della trasparenza delle acque in quanto, questa frazione sottile che spesso si solleva dal fondo, fa perdere la trasparenza originaria, modificando le condizioni fotosintetiche delle specie preesistenti e quindi alterando spesso definitivamente le biocenosi originarie. La riconquista di una condizione di equilibrio stabile che riduca il dilavamento anomalo dall'entroterra e l'infangamento in mare è spesso molto più lento di quanto possa essere calcolato in quanto si sommano diverse concause che condizionano a catena l'equilibrio sedimentario. Tra queste va citata anche la modificazione del trasporto solido lungo costa che può essere alterato dalle costruzioni.: l'esempio più eclatante è quello dei porti che si insabbiano. Un molo di un porto che esce dalla costa provoca un'interruzione del trasporto solido e una deposizione del sedimento a valle. Se direzione delle correnti ed entità del trasporto non sono ben calcolati, questa interruzione provoca l'insabbiamento delle aperture dei porti. E se questo avviene facilmente come è possibile osservare in molti piccoli nuovi porti, immaginiamo quanto possa essere diffuso la dove non ci sia un problema di navigazione. Di fatto le numerose costruzioni costiere creano continue alterazioni del trasporto che spesso si traducono in alternanze di zone a più rapida deposizione e di zone in erosione. Sono fenomeni facilmente osservabili lungo tutte le nostre coste. E dinamica instabile delle spiagge e dei sedimenti costieri significa anche alterazioni sedimentarie sui fondali e conseguenti condizioni di instabilità per i popolamenti bentonici su questi presenti.

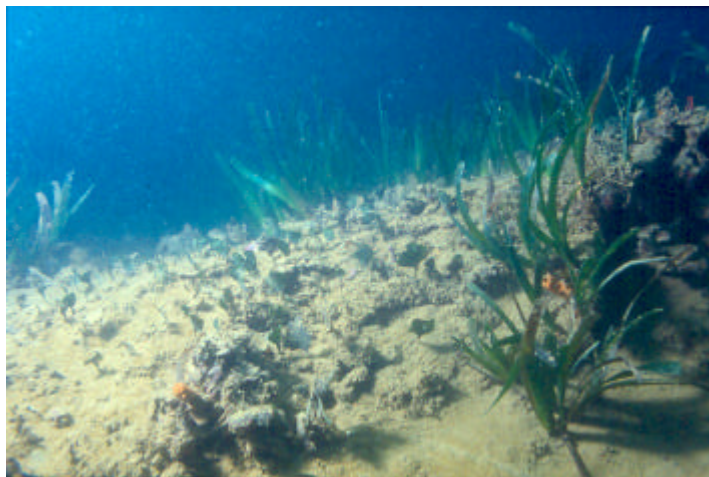


Fig. 10.8 – Sedimento fine ricopre un fondale con fasci isolati di Posidonia

## 10.5 Il prelievo di risorse della pesca

Le risorse della pesca, altrimenti dette **alieutiche** in quanto destinate all'alimentazione umana, sono risorse rinnovabili in grado cioè di mantenere la propria consistenza nel tempo, ma sono però anche esauribili. Pertanto esse vanno gestite, adattando il tasso di prelievo alla loro capacità di rinnovarsi. E di questo si occupa la **“biologia della pesca”** ed in particolare lo **“stock assessment”**.

Devono essere quindi considerate attività in grado di modificare l'ambiente marino non solo in quanto riduzione delle popolazioni di interesse commerciale, ma anche per l'impatto sulle specie accessorie e sull'ambiente bentonico in cui queste vivono .

Le risorse alieutiche possono essere suddivise in:

- Risorse bentoniche (hanno relazioni stabili con il fondo): sono ad es. i Molluschi bivalvi che vivono infossati nel sedimento;
- Risorse demersali (hanno relazioni più o meno stabili con il fondo): Pesci ossei, Pesci cartilaginei, Crostacei, Cefalopodi
- Risorse pelagiche (nella colonna d'acqua): i piccoli pelagici e i grandi pelagici quali sardine e tonni.

L'analisi della dinamica di una risorsa ittica è basata sul concetto di **“stock”**. Lo “stock” è la frazione di una popolazione ittica sfruttata dalla pesca. Scopo del cosiddetto “stock assessment” è quindi quello di trovare il giusto livello di sfruttamento di uno stock.

La valutazione delle risorse alieutiche passa attraverso una serie di processi che prevedono la stima della loro abbondanza in senso spazio – temporale, e l'analisi della composizione demografica di uno stock. La prima richiede la raccolta di informazioni sulla distribuzione delle principali specie in senso orizzontale (geografico) e verticale (secondo la profondità) e sulla loro abbondanza. La seconda richiede la raccolta di dati biologici e biometrici a livello di individuo, quali: lunghezza, peso corporeo, sesso, stadio di maturità delle gonadi, età.

Altro parametro fondamentale da considerare è lo **“sforzo di pesca”** e la **“cattura per unità di sforzo”** (c.p.u.e.: catch per unit effort). Il primo parametro indica l'intensità dell'attività di pesca, e può essere rappresentato in diversi modi: numero di imbarcazioni per attrezzo, numero di giornate di lavoro in mare, numero di attrezzi impiegati, lunghezza delle reti, potenza dei motori, tonnellaggio delle barche, ecc. La cpue indica la cattura ottenuta per ogni unità di sforzo.

La raccolta di tali parametri, la loro archiviazione e l'elaborazione mediante i modelli messi a punto dalla **“dinamica di popolazione”** permette poi di stimare fattori di incremento (accrescimento e reclutamento) o di decremento (mortalità) di uno stock.

La figura seguente illustra lo stock come un sistema biologico semplice.

Gli individui che formano lo stock nel tempo si accrescono, aumentano cioè la loro massa corporea (C), con caratteristiche che sono tipiche di ogni specie. Arrivati all'epoca della maturità sessuale, gli individui si riproducono (R) (anche qui con caratteristiche e modalità diverse per ogni specie) e i giovani nati, attraverso diversi stadi di sviluppo e con modalità varie, si vanno ad aggiungere alla popolazione originaria. Nel momento in cui i giovani pesci, o meglio le giovani **“reclute”** entrano nello stock, diventano cioè sfruttabili, si ha la cosiddetta fase di **reclutamento (R)**.

Quella del reclutamento è una fase critica per lo stock. Al suo successo è legata la sopravvivenza e il successo dello stock stesso. Il reclutamento può essere continuo se avviene per lunghi periodi nel corso dell'anno (ad es. il merluzzo ha un periodo di reclutamento esteso dalla primavera all'autunno, con due picchi proprio in queste due stagioni) o discreto se avviene solamente in un periodo ristretto dell'anno (ad es. la triglia ha un reclutamento unico che avviene in agosto-ottobre). Ogni specie può avere poi delle aree di reclutamento (o aree di nursery) dove i giovani si



concentrano una volta complete le primissime fasi del loro sviluppo, si accrescono e reclutano allo stock. Queste aree possono essere molto costiere, con fondali sabbiosi in pochissimi metri di profondità per la triglia o possono essere situate al largo, al bordo della platea continentale, tra 100 e 200 m di profondità, come nel caso del merluzzo.

Il nostro ipotetico stock è sottoposto poi a due forme di perdita: la mortalità naturale e la mortalità da pesca. La mortalità naturale ( $M$ ) è legata a tutte quelle perdite dovute a fattori naturali, quali l'invecchiamento, le malattie, la predazione. La mortalità da pesca ( $F$ ) è legata al prelievo di individui da parte dell'uomo, quindi all'attività di pesca. La somma di queste due mortalità è la mortalità totale ( $Z$ ).

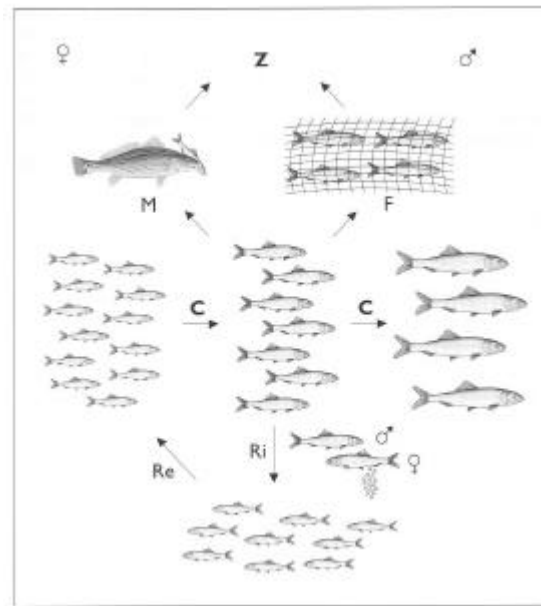


Fig. 10.9 – Schematizzazione di uno stock e dei fenomeni che lo caratterizzano

L'ingresso delle nuove generazioni nello stock è in genere visibile attraverso l'analisi delle distribuzioni di frequenza delle lunghezze. Ogni gruppo di animali della stessa età da infatti luogo ad una coorte, come illustrato nella figura seguente. La coorte degli animali appena reclutati è quella spostata più a sinistra ed è la più numerosa ( $0^+$ ). Man mano che ci sposta a destra nel grafico avremo le coorti degli animali più grandi, quelli del primo e secondo anno, meno numerose, e infine quelle del terzo anno e ancora più vecchie, che tendono a sovrapporsi e ad essere meno riconoscibili.

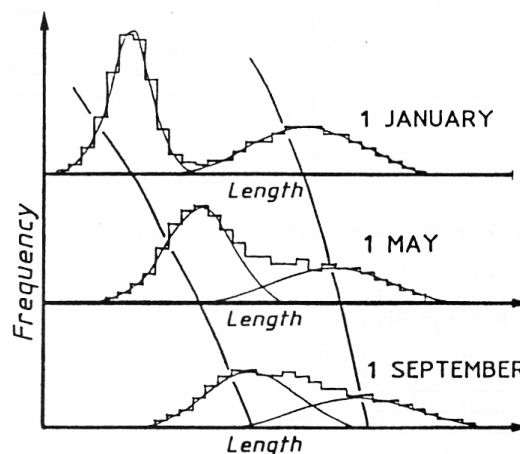


Fig. 10.10 – Distribuzione di frequenza di una popolazione ittica e suo accrescimento nel tempo

Un eccessivo prelievo da parte della pesca, non bilanciato da un idoneo reclutamento, può portare lo stock in uno stato di **sovrasfruttamento** (overfishing).

Un modello molto semplice per schematizzare cosa avviene ad uno stock sottoposto ad attività di pesca non gestita da parte di una certa marineria è illustrato nel disegno successivo.

All'inizio dell'attività di pesca i rendimenti della flotta sono elevati, e tendono ad aumentare all'aumento dello sforzo di pesca (fase di pre-sviluppo, di crescita e di pieno sviluppo). Lo stock reagisce bene a questo prelievo, che avviene soprattutto a carico degli animali di maggiori dimensioni, la sua biomassa è elevata. Arrivati ad un certo punto, si supera l'equilibrio tra alti rendimenti e buone condizioni dello stock in e allora le catture iniziano a diminuire e lo stock mostra segni di sovrappesca (diminuzione delle catture, diminuzione delle taglie medie catturate, ecc.). All'aumentare dello sforzo di pesca i rendimenti non fanno altro che calare e lo stock evidenzia vistosi segni di sovrasfruttamento (le catture avvengono soprattutto a carico dei giovanili, le rese sono molto basse). Il punto di equilibrio tra sforzo di pesca, rendimenti e stato dello stock viene normalmente indicato con il nome di MSY (Maximun Sustainable Yield) o massimo rendimento sostenibile. La successiva fase di collasso porta ad una diminuzione dello sforzo di pesca, della biomassa dello stock e dei rendimenti. A questo punto può esserci una fase di recupero, in cui si ha un certo equilibrio tra i nuovi livelli di sforzo di pesca e di catture.

In realtà tutto il discorso viene complicato dalla caratteristica di multispecificità degli stock presenti soprattutto nel Mediterraneo, dalla presenza cioè contemporaneamente di molte specie che vengono sfruttate dalla pesca, tanto che si preferisce parlare di stock multispecifici.

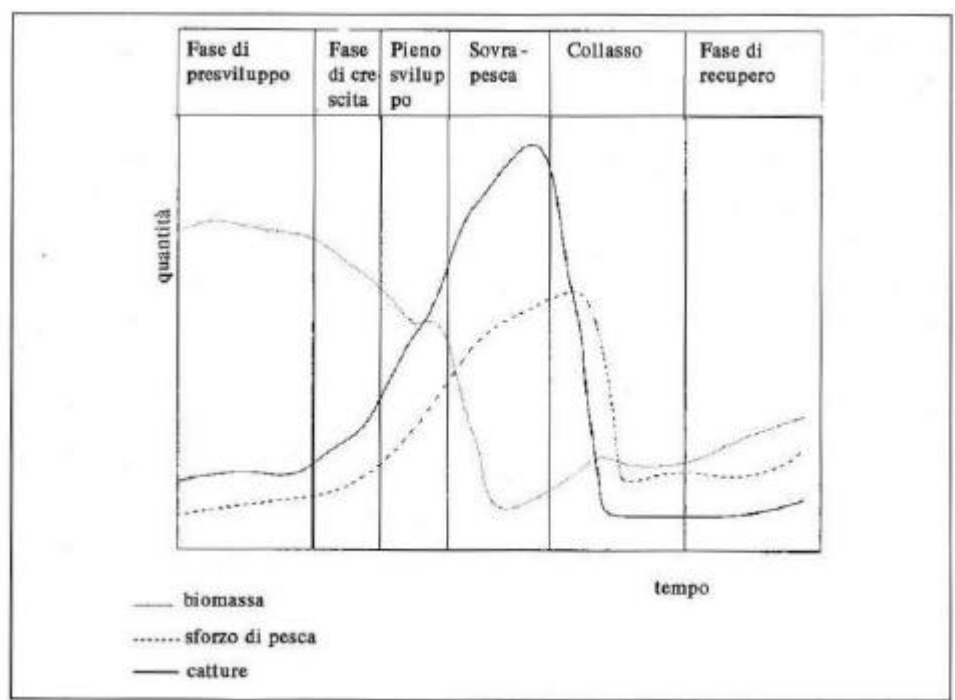


Fig. 10.11 – Schematizzazione della storia di uno stock sottoposto ad attività di sfruttamento

Abbiamo visto come un eccessivo sforzo di pesca possa modificare la struttura e la consistenza di uno stock, fino a portarlo al collasso. Sulla base di indicazioni di tipo biologico, ma anche sociale, economico, ecc., opportune misure di gestione vengono adottate per salvaguardare gli stock. Queste misure prevedono:

- definizione di una quota massima (TAC) prelevabile da uno stock, ad es., per anno. Tale sistema viene ampiamente adottato nel nord Europa, anche se con risultati non sempre soddisfacenti; nel Mediterraneo viene applicato per la pesca del tonno, in Italia per la pesca dei molluschi bivalvi.

- regolamentazione degli attrezzi da pesca: norme per limitare soprattutto la cattura dei giovanili o di specie protette. Sono pertanto stabilite le dimensioni minime della maglie delle reti, vietate reti quali le spadare per il pesce spada, ecc.
- riduzione della capacità di pesca, ovvero del numero e potenza delle imbarcazioni. Nel nostro paese questa misura è applicata non concedendo più nuove licenze di pesca per determinati mestieri (p.e. pesca a strascico).
- riduzione dello sforzo di pesca, attraverso la riduzione delle ore o delle giornate in cui è possibile pescare con un determinato attrezzo.
- riduzione della mortalità, soprattutto dei giovanili: questo avviene in Italia attraverso il divieto di pesca a strascico entro le tre miglia di distanza dalla costa o entro la profondità di 50 m. In questo modo si intende proteggere tutta la fascia costiera, importante zona di nursery e accrescimento per moltissime specie. Altra misura prevede una taglia minima pescabile per molte specie.  
La protezione delle aree di nursery in realtà andrebbe estesa anche alle acque del largo, alle nursery presenti cioè sulla platea continentale (merluzzo) o ancora più al largo (scampi, gamberi).
- fermo di pesca. Altra misura adottata in Italia è il fermo di pesca o riposo biologico. si tratta del divieto di pesca nel periodo estivo - autunnale dell'attività di pesca a strascico. Con questo sistema si intende proteggere la fase di reclutamento della maggior parte delle specie costiere

Molte risorse alieutiche hanno subito in questi ultimi anni dei veri e propri tracolli, talvolta per l'assenza di misure di gestione ma spesso anche per la presenza di misure di gestione inadeguate o insufficienti. Tra le specie più sensibili all'impatto della pesca ci sono sicuramente quelle a ciclo vitale lungo e riproduzione tardiva che con catture importanti si trovano spesso ad avere delle taglie medie inferiori alla taglia minima di riproduzione e quindi rischiano in tali condizioni improvvisi collassi. Caso eclatante di questi ultimi anni è quello del merluzzo atlantico. Seppur gestito con TAC stabiliti ogni anno per i diversi paesi, ha avuto una serie di crolli di produzione che hanno costretto la chiusura totale della pesca in molte aree. Questo dimostra come spesso la risorsa non può essere gestita esclusivamente considerando la dimensione della popolazione, ma sia necessario un approccio che valuti lo stato complessivo dell'ecosistema all'interno del quale si trova la risorsa.

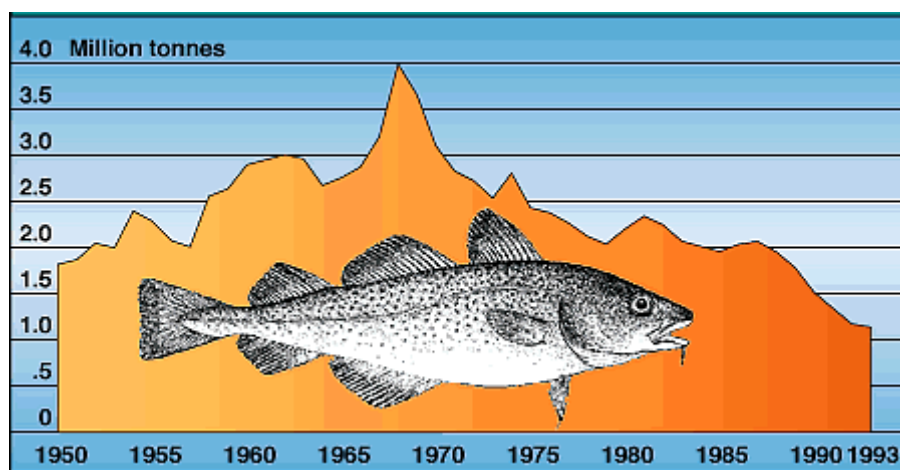


Fig. 10.12 – Andamento delle catture negli ultimi 40 anni del merluzzo atlantico

Le attività di pesca hanno sempre un impatto oltre che sulle specie oggetto di pesca su una serie di specie accessorie prive di interesse commerciale. Alcuni attrezzi, quali quelli che operano sulle acque pelagiche per la cattura di tonni o pesci spada, possono ad esempio catturare mammiferi

marini come stenelle, delfini o altre che non solo sono prive di valore commerciale ma spesso hanno anche importanza naturalistica o sono in condizione di rarefazione o rischio di estinzione. Ancora più gravi possono essere gli effetti degli attrezzi che catturano gli organismi presenti sul fondale, come le reti a strascico. Se utilizzate in maniera impropria o illegale (ad esempio all'interno delle tre miglia dalla costa o con profondità inferiori ai 50 m) danneggiano le biocenosi bentoniche. In Mediterraneo è stato osservato come la regressione di alcune praterie di Posidonia sia imputabile all'attività di pesca a strascico illegale. I danni alle biocenosi possono avere poi conseguenze, a volte difficilmente stimabili, su specie che, ad esempio, si alimentano o vi trovano rifugio durante le fasi giovanili. Le ricadute di un degrado ambientale con la riduzione della complessità biologica derivante dall'uso di attrezzi invasivi deve quindi essere considerata, potenzialmente o realmente, una grave sorgente di impatto e come tale deve essere gestita con tutte le cautele che per ogni attività a rischio di danno ambientale devono essere prese.



Fig. 10.13 – Un gran numero di giovanili di merluzzo mediterraneo (*Merluccius merluccius*) in una pescata della pesca a strascico (a sinistra); fasci di Posidonia e altri invertebrati bentonici catturati da una rete a strascico in una cala costiera illegale (a destra).



## 10.6 Il “Global change”

Con il termine *Global change* ci si riferisce oggi principalmente alle modificazioni climatiche indotte dal riscaldamento terrestre, a sua volta conseguenza dell’aumento della CO<sub>2</sub> nell’atmosfera (il famoso effetto serra).

La combustione di idrocarburi fossili (tutti i derivati del petrolio) e la deforestazione sono i principali imputati di tale condizione. Si tratta quindi di uno stato di inquinamento trasversale in grado di condizionare poi tutti gli ambienti della terra.

Queste modificazioni si sono osservate negli ultimi cinquant’anni, ma hanno la loro origine all’inizio del secolo scorso quando con la rivoluzione industriale iniziò l’impiego dei combustibili fossili. Il taglio delle foreste con la riduzione della più importante fonte di consumo della CO<sub>2</sub>, ha ulteriormente aggravato il fenomeno. Molti ricercatori ritengono che proseguendo questo andamento la concentrazione di CO<sub>2</sub> nell’atmosfera potrebbe raddoppiare nei prossimi cento anni.

Il riscaldamento ha provocato alcune modificazioni già in molti mari. In Mediterraneo ad esempio l’aumento di temperatura media annuale è stato dimostrata per gli ultimi venti anni, e questa modificazione ha influito su numerosi organismi animali e vegetali. Specie ittiche a distribuzione meridionale o addirittura nuovi ingressi dalla regione indo-pacifica attraverso Suez, si sono diffusi rapidamente verso il Mediterraneo centrale e settentrionale. La donzella pavonia (*Thalassoma pavo*), labride comune in tutti i fondi rocciosi costieri, era presente fino a qualche anno fa soltanto dal Nord Africa al Lazio. Oggi è diventata comune in tutte le acque fino alla Liguria. Ancora più eclatante è stata la diffusione del decapode (*Percnon gibbesi*) che in pochi anni dalle zone subtropicali e tropicali dell’Atlantico attraverso lo Stretto di Gibilterra si è diffuso dapprima lungo le coste dell’Africa e poi lungo buona parte della costa tirrenica. Numerosi esempi potrebbero essere ancora fatti ma, al di là delle modificazioni di abbondanza di specie di grandi dimensioni o di interesse per la pesca, fenomeni di alterazioni più complesse potrebbero osservarsi. Le modificazioni di microfauna e flora, ad esempio, sono in grado di condizionare la sopravvivenza di larve e giovani di altre specie in un equilibrio complesso che spesso è difficilmente interpretabile. Ancora importanti effetti possono derivare nelle aree inquinate o a scarso ricambio in cui un aumento delle temperature può aggravare le condizioni eutrofiche

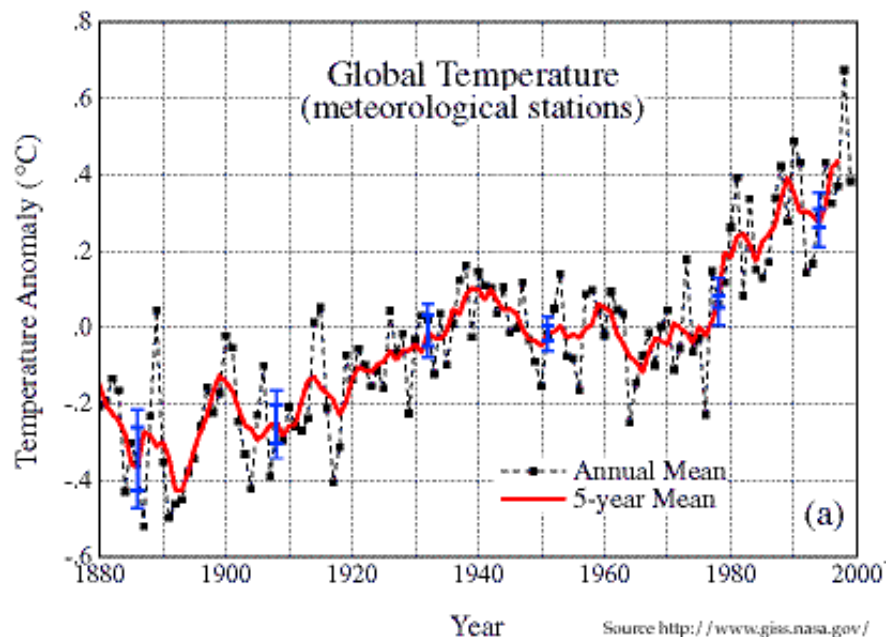


Fig. 10.14 – Andamento delle anomalie della temperatura negli ultimi 220 anni



Fig. 10.15 – A sinistra *Thalassoma pavo*, a destra il decapode *Percnon gibbesi*

Ancora più evidente potrebbe essere il fenomeno in quelle aree costiere soggette ad upwelling. Ad esempio lungo le coste della California i venti di nord-ovest causano il trasporto a largo delle acque superficiali e la risalita di acque profonde ricche di nutrienti. Il riscaldamento globale può intensificare questo processo perché la temperatura diurna sulla terra adiacente aumenta mentre diminuisce il raffreddamento notturno. Questo porta ad un aumento delle differenze di temperatura fra la terra e il mare incrementando i venti e conseguentemente gli upwelling.

Questo effetto è stato dimostrato per il Nord Pacifico dove negli ultimi venti anni l'intensità dei venti è aumentata e conseguentemente gli upwelling. Al contrario nelle aree di mare aperto non esistono evidenze di effetto di aumento della produzione primaria.

Un altro degli effetti ipotizzati è quello dell'innalzamento del livello medio del mare per effetto dello scioglimento dei ghiacci polari, che potrebbe provocare un aumento della massa liquida di acqua. Noi siamo, in questo momento della storia geologica, in una fase di regressione dei grandi ghiacciai, per cui i due effetti potrebbero andare a sommarsi causando un sostanziale aumento del livello del mare. Alcuni studi ipotizzano un aumento del livello del mare di un metro nei prossimi 50-100 anni. Se ciò fosse vero sarebbe facilmente immaginabile il grave danno che ne potrebbe conseguire per molti degli insediamenti umani costieri. Molte sarebbero anche le modificazioni inerenti la fauna e la flora. Basta pensare che le barriere coralline potrebbero averne danni irreversibili in quanto il tasso di crescita delle madrepore difficilmente raggiunge i 10 cm annui. Se la risalita del livello marino fosse superiore al recupero di crescita della barriera, l'aumento di spessore d'acqua sopra la barriera consentirebbe l'ingresso di onde dirompenti, in grado di distruggere la barriera.

Importanti modificazioni potrebbero anche aversi nella circolazione oceanica complessiva. Infatti, le modificazioni termiche possono modificare i venti, e non soltanto, come abbiamo visto, le brezze termiche mare-terra e viceversa, ma anche la struttura dei più importanti venti.

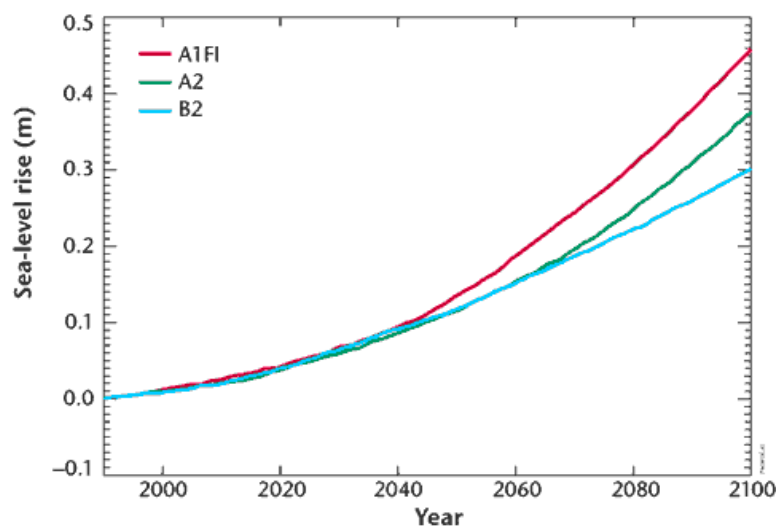


Fig. 10.16 – Crescita del livello medio del mare nei prossimi anni secondo tre modelli di diversi Autori

### L'interazione di più effetti inquinanti

Nel considerare ogni inquinamento si tende a descrivere alterazioni causate da singole sostanze o azioni, i cui effetti hanno una precisa conseguenza sugli organismi e quindi sulle popolazioni e sulle comunità. In realtà in molte circostanze possono coesistere forme di inquinamento diverse e le conseguenze che queste sono in grado di provocare sull'ambiente non sono mai la semplice somma dei singoli effetti. Le modificazioni ambientali che spesso partono da cause puntiformi, come ad esempio nell'arricchimento trofico delle acque, coinvolgono poi a catena, con un processo spesso non prevedibile, una serie ulteriore di alterazioni che possono amplificarsi con la sinergia di altre fonti di inquinamento. E così dall'arricchimento organico si può passare ai bloom fitoplanctonici, alle crisi distrofiche, alle cadute di ossigeno, alle morie di organismi, ovvero alla comparsa di specie tossiche alloctone qualora concorra un cambiamento climatico con l'innalzamento delle temperature.

Un esempio di questo tipo è fornito dal complesso di fattori inquinanti accresciutisi negli ultimi anni in molti mari. In uno in particolare, il Mar Nero, tutto questo è ben documentato ed evidente anche a causa della sua conformazione di bacino chiuso.

L'azoto e il Fosforo presenti in questo mare sono cresciuti cinque volte dal 1950 al 1980 per gli apporti dei tre principali fiumi, tra cui in particolare il Danubio.

Bloom di dinoflagellati sono diventati così sempre più importanti modificando la struttura originaria dei popolamenti fitoplanctonici. Anche lo zooplancton si è accresciuto di conseguenza e con specie di piccole dimensioni. Esplosioni di organismi planctonici di grosse dimensioni come le meduse *Aurelia aurita* e *Noctiluca miliaris* sono diventate frequenti. L'aumento di fitoplancton ha diminuito la trasparenza delle acque, portandola da 15-18 m a 2-2.5 m. Di conseguenza la copertura vegetale bentonica si è drasticamente ridotta e modificata. Nel 1950 vi era una copertura di un'alga rossa del genere *Phyllophora* di circa 10000 km<sup>2</sup> ridottasi a 50 km<sup>2</sup> nel 1990.

L'aumento di fitoplancton nella colonna d'acqua ha portato ad un aumento della sostanza organica sul fondo di 15-20 volte. Buona parte dei fondali sono quindi attualmente in condizioni di anossia. Nel 1991 il 50% dei pesci bentonici della costa della Romania sono morti per anossia.

Il Mar nero aveva una importante produzione ittica che dava lavoro a circa due milioni di persone. Le specie catturate erano 26. Attualmente le specie catturate sono 6 e le catture sono diminuite da 80000 tonnellate annue a circa 4000 tonnellate. Questo è da imputare in parte alle alterate condizioni ambientali in parte ad un eccesso di prelievo che ha spinto le risorse residue in una condizione di overfishing.

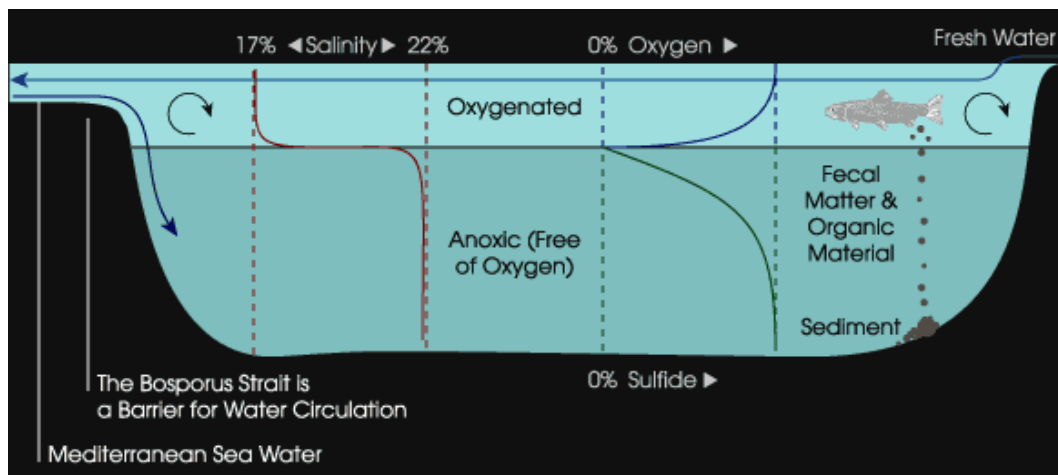


Fig. 10.17 -

Tutti i principali fiumi che si immettono nel Mar Nero sono altamente inquinati con metalli pesanti ed idrocarburi di diversa natura. Il Danubio da solo scarica 1.000 t di Cromo, 4.500 t di Piombo, 6.000 di Zinco, 60 t di Mercurio e 50.000 t di petrolio. Alte concentrazioni di un derivato del DDT sono trovate nelle uova dei pellicani e il 25 % della popolazione della medusa *Aurelia aurita* mostra anomalie imputabili a mutazioni da agenti cancerogeni.

Molte nuove specie sono state introdotte con le acque di sentina delle navi. Tra queste particolarmente significativa è stata l'introduzione dello Ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* dalle coste Atlantiche del Nord America. La popolazione di questa specie si è accresciuta in maniera inimmaginabile raggiungendo densità di 100 individui m<sup>3</sup>. La predazione da parte di questi Ctenofori sulle giovani reclute di acciuga ha ulteriormente ridotto la biomassa di questa specie. Allo stesso tempo lo Ctenoforo non è utilizzato da altre specie ittiche per l'alimentazione e quindi contribuisce anche indirettamente al depauperamento delle risorse della pesca.

Infine il prelievo di acque continentali per l'agricoltura ha ridotto la portata dei fiumi causando un aumento della salinità che ha influito sul comportamento migratorio dello Storione. Inoltre la riduzione dell'apporto di acqua dolce e l'aumento di salinità potrebbero essere corresponsabili dell'aumento dello strato di acque anossiche sul fondo.

Il quadro che si è delineato evidenzia una condizione che è comune a molti mari, ma è esasperata in questo caso dalle condizioni di ridotto ricambio e circolazione delle acque.

Le importanti conseguenze documentate dall'evolvere dello stato di diversi tipi di inquinamento e il conseguente effetto a catena delle alterazioni ambientali osservate, sono un importante elemento di riflessione su quanto sia delicato il tema della valutazione degli effetti dell'inquinamento sull'ambiente marino.



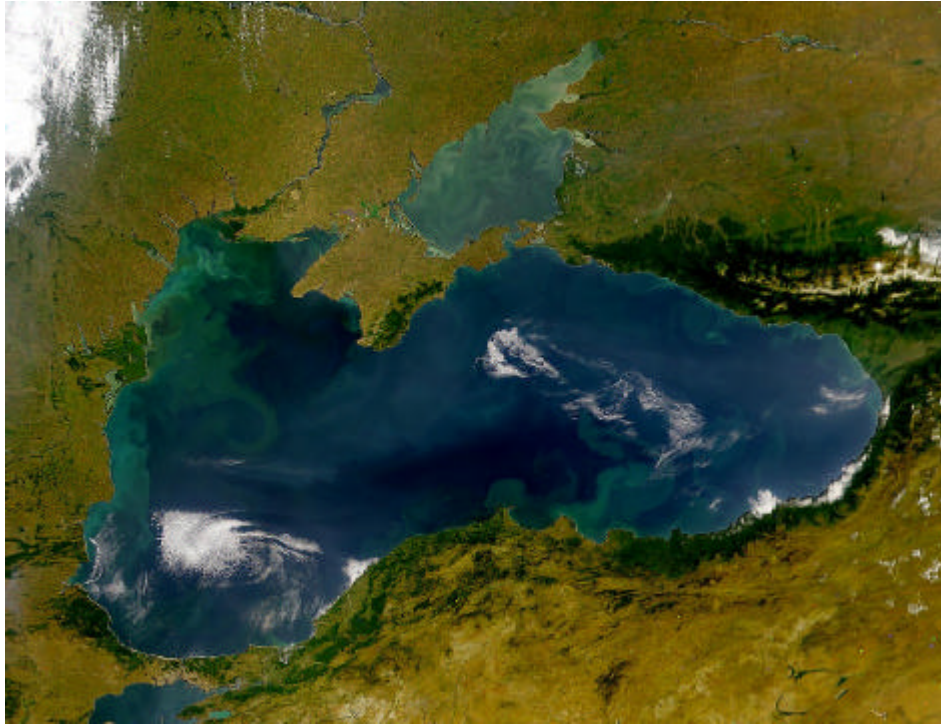


Fig. 10.18 – Il Mar Nero