

Dominio pelagico

Quaderni habitat

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Museo Friulano di Storia Naturale - Comune di Udine

coordinatori scientifici

Alessandro Minelli · Sandro Ruffo · Fabio Stoch

comitato di redazione

Aldo Cosentino · Alessandro La Posta · Carlo Morandini · Giuseppe Muscio

"Dominio pelagico · il Santuario dei cetacei Pelagos"

a cura di Giulio Relini

testi di

Mario Astraldi · Mireno Borghini · Chantal Cima · Mauro Fabiano · Loris Galli · Fulvio Garibaldi ·
Luca Lanteri · Priscilla Licandro · Eleonora Marzi · Cristina Misic · Giovanni Palandri · Lidia Orsi Relini ·
Giulio Relini · Marco Relini · Silvio Spanò · Anna Vetrano

illustrazioni di

Roberto Zanella

progetto grafico di

Furio Colman

foto di

Emilio Alberti 76 · Archivio Acquario di Genova 126, 131 · Archivio CNR 20 · Archivio Ministero
dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Pandaphoto): E. Coppola 102; F. Di Domenico 11;
G. Lacz 89, 114; V. Puggioni 95, 110, 118, 145; A. Tommasi 70, 104 · Flavio Bacchia 12, 74, 80, 91, 112,
138, 141 · Simone Bava 30 · Paolo Bocchetti 127 · Marcello Conticelli 66 · Marco Cruscanti 45, 46/1 ·
Alessandra De Olazabal 46/2 · Eleonora De Sabata 7, 53, 56/4, 107, 111 · Vitantonio Dell'Orto 82, 84, 139,
144 · Furio Finocchiaro 16 · Fulvio Garibaldi 79, 97, 105, 109, 113, 115, 137 · Giuliano Gerra 81 ·
Vittorio Gazale 77, 124 · Vincenzo Massimiliano Giacalone 93 · Angela Lo Giudice 43 · Cristina Misic 36, 38 ·
Helena Norrman 49 · Luigi Pane 44, 47/1, 48 · Roberto Parodi 83, 85, 86, 87, 88 · Roberto Pronzato 52,
56/1, 58/1, 58/2, 58/3, 116 · Giulio Relini 26, 51, 57, 63/2, 122, 134, 136 · Marco Relini 6, 8, 13, 21/1, 21/2,
31, 47/2, 55, 56/2, 56/3, 60, 61, 63/1, 64, 65 67, 68, 71, 72, 75/1, 75/2, 75/3, 90, 94, 96, 101/1, 101/2,
119, 121, 123, 128, 129/1, 129/2, 130, 133, 135 · Roberto Rinaldi 69, 78 · Ugo Sacchi 32, 33, 34, 37 ·
Valentina Vivaldelli 117, 125

Volume realizzato con la partecipazione della Società Italiana di Biologia Marina (SIBM)

©2007 Museo Friulano di Storia Naturale · Udine

*Vietata la riproduzione anche parziale dei testi e delle fotografie.
Tutti i diritti sono riservati.*

ISBN 88 88192 30 1

ISSN 1724-7209

In copertina: Mare in tempesta (foto Furio Finocchiaro)

QUADERNI HABITAT

Dominio pelagico

Il Santuario dei cetacei "Pelagos"

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE
MUSEO FRIULANO DI STORIA NATURALE · COMUNE DI UDINE

Quaderni habitat



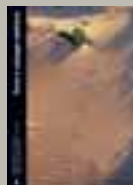
1
Grotte e
fenomeno
carsico



2
Risorgive
e fontanili



3
Le foreste
della Pianura
Padana



4
Dune e
spiagge
sabbiose



5
Torrenti
montani



6
La macchia
mediterranea



7
Coste marine
rocciose



8
Laghi costieri
e stagni
salmastri



9
Le torbiere
montane



10
Ambienti
nivali



11
Pozze, stagni
e paludi



12
I prati aridi



13
Ghiaioni e
rupi di
montagna



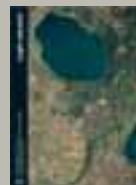
14
Laghetti
d'alta quota



15
Le faggete
appenniniche



16
Dominio
pelagico



17
Laghi
vulcanici



18
I boschi
montani di
conifere



19
Praterie a
fanerogame
marine



20
Le acque
sotterranee



21
Fiumi e
boschi ripari



22
Biocostruzioni
marine



23
Lagune,
estuari
e delta



24
Gli habitat
italiani

Indice

Introduzione	7
Giulio Relini	
Caratteristiche oceanografiche	13
Anna Vetrano · Mireno Borghini · Eleonora Marzi · Mario Astraldi	
Batterioplancton e fitoplancton	33
Mauro Fabiano · Cristina Misic · Priscilla Licandro	
Mesozooplancton	45
Priscilla Licandro · Cristina Misic · Mauro Fabiano	
Macroplancton e micronecton	53
Lidia Orsi Relini · Giovanni Palandri · Chantal Cima · Marco Relini	
Cefalopodi e pesci	67
Lidia Orsi Relini · Giulio Relini · Marco Relini · Fulvio Garibaldi	
Rettili, uccelli e mammiferi	79
Lidia Orsi Relini · Loris Galli · Fulvio Garibaldi · Giovanni Palandri · Silvio Spanò	
Aspetti di conservazione e gestione	103
Giulio Relini · Fulvio Garibaldi · Luca Lanteri	
Proposte didattiche	127
Giulio Relini	
Bibliografia	147
Glossario	149
Indice delle specie	151



Introduzione

GIULIO RELINI

Gli ambienti marini, e i relativi ecosistemi, possono essere suddivisi in due grandi categorie: quelli che appartengono al dominio bentonico, se legati al fondo e quelli del dominio pelagico, se presenti nella massa d'acqua; ambedue possono far parte della provincia neritica se si trovano sulla platea continentale, oppure della provincia oceanica, al di là della platea continentale. Le successive suddivisioni sono ben definite per il dominio bentonico, più incerte e variabili per quello pelagico.

Comunemente per indicare le acque pelagiche della provincia oceanica, cioè quelle non sovrastanti la platea continentale, si utilizzano i termini di "mare aperto" o "acque del largo" (*offshore* in inglese).

Le comunità dei due domini presentano caratteristiche fondamentalmente differenti. Il pelagico è costituito da un mezzo vasto e in continuo movimento che a prima vista può sembrare alquanto omogeneo. La maggior parte dei suoi componenti viventi è costituita da elementi di piccola taglia e con breve ciclo di vita e i cambiamenti della composizione della flora e della fauna in un determinato luogo possono essere considerevoli e repentini: tutto ciò porta a considerare con maggiore attenzione le interazioni con le caratteristiche fisiche e chimiche dell'ambiente.

La conoscenza è ovviamente legata alla ricerca, che deve ricorrere a svariate tecniche di misura e campionamento estese a tutta la colonna d'acqua e deve tenere conto del continuo cambiamento.

Il dominio pelagico, pertanto, è un ambiente in movimento e fortemente tridimensionale; lo spostamento delle masse d'acqua, la diluizione, la dispersione, possono rapidamente e sostanzialmente modificare la composizione dei popolamenti, capaci di compiere notevoli migrazioni verticali sia per la componente planctonica che per quella nectonica.

I brevi cicli di vita della maggior parte dei planctonti causano spesso ampie



Medusa (*Cotylorhiza tuberculata*)

Balenottera (*Balaenoptera physalus*)

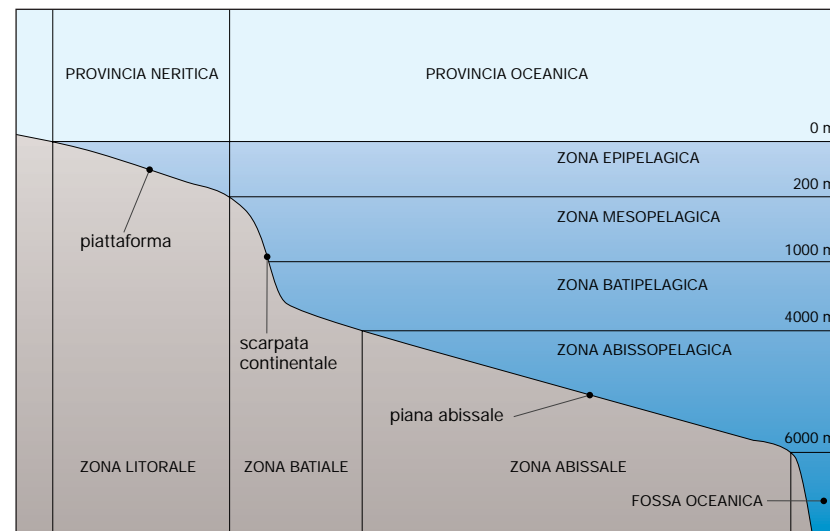


Totano gioiello (*Histioteuthis bonnellii*) in livrea argentea

fluttuazioni nella composizione delle comunità biotiche, ed i cambiamenti stagionali nell'abbondanza dei produttori primari possono incidere in modo determinante sui livelli trofici successivi. Nell'ambiente pelagico un ruolo molto importante è quello svolto dal "microbial loop", ovvero il flusso di energia nella serie fitoplancton-materia organica disciolta-batteri-protozoi-zooplankton (vedi scheda a pag. 42).

Come accennato, la classificazione degli ecosistemi bentonici, anche in relazione alla loro distribuzione verticale, è ben definita ed accettata; molto aleatoria è quella del dominio pelagico per le ragioni sopra esposte. La più semplice zonazione verticale è quella riportata nello schema sottostante: una zona epipelagica, che si estende dalla superficie fino a circa 200 m di profondità; una zona mesopelagica, compresa tra 200 e 1000 m; una zona batipelagica, da 1000 a 4000 m; una zona abissopelagica da 4000 a 6000 m ed infine, una zona adipelagica al di là dei 6000 m di profondità.

Secondo un'altra classificazione, la zona epipelagica sarebbe limitata ai primi 50 m in media, seguita dalla mesopelagica che si estenderebbe solo fino a 300 m. La difficoltà sta nel definire questi limiti facendo riferimento a fattori ecologici, come ad esempio temperatura, luce, salinità, ecc., e in particolare in Mediterraneo ove esiste, al di là dei 200 m di profondità, un'omeotermia intorno ai 13°C. Un'altra difficoltà è in relazione allo spostamento delle masse d'acqua, in particolare ai fenomeni di risalita (*upwelling*) di acque profonde, fredde e ricche di nutrienti.



Schema relativo alla distribuzione degli ambienti marini rispetto alla profondità

Per descrivere il dominio pelagico, questo quaderno prende come esempio il Santuario per i Mammiferi Marini nel Mediterraneo, "Pelagos", un'ampia zona del bacino corso ligure provenzale, una delle aree meglio note del *Mare Nostrum*. Il Santuario per i mammiferi marini è sorto grazie ad un accordo tra Francia, Italia e Principato di Monaco sottoscritto a Roma il 25 novembre 1999 e ratificato dall'Italia con legge 14 ottobre 2001 n° 391 (G. U. n° 253, 30/10/2001). In base all'art. 3 dell'accordo, il Santuario è costituito da zone marittime situate nelle acque interne e nei mari territoriali della Repubblica Francese, della Repubblica Italiana e del Principato di Monaco, nonché dalle zone di alto mare adiacenti. I suoi limiti sono i seguenti: ad ovest, una linea che va dalla punta Escampobariou (punta ovest della penisola di Giens, 43°01'70"N, 06°05'90"E) a Capo Falcone (40°58'00"N, 08°12'00"E); ad est una linea che va da Capo Ferro, situato sulla costa nord orientale della Sardegna (41°09'18"N, 09°31'18"E) a Fosso Chiarone, situato sulla costa occidentale italiana (42°21'24"N, 11°31'00"E). Il Santuario copre una superficie di 87.500 km² con uno sviluppo costiero di oltre 2000 km lineari, dei quali circa 350 km appartengono alla Liguria. Comprende tutto il Mar Ligure, quasi tutto il Tirreno settentrionale, una piccola parte del Tirreno centrale e del Mare di Sardegna, tutto il Mare di Corsica. I dati riportati in questo volume fanno riferimento in particolare al settore occidentale del Santuario.

Dal punto di vista geomorfologico il bacino ligure si può dividere in due metà molto differenti tracciando un segmento congiungente Genova con Capo Cor-



Delimitazioni dell'area del Santuario per i Mammiferi marini del Mediterraneo

so: il Mar Ligure orientale, che interessa anche parte della costa toscana, presenta fondi caratterizzati da una notevole estensione della piattaforma e profondità massime non superiori ai mille metri; la porzione occidentale, che interessa la costa ligure e francese, presenta, al contrario, una piattaforma molto ristretta e grandi profondità presso la costa; una estesa superficie di fondo marino si estende ininterrotta al di sotto della batimetrica dei 2000 metri.

Questa parte del Mediterraneo, in cui la colonna d'acqua mediamente è di 2500 metri, è stata spesso citata dagli studiosi come "oceano in miniatura" tenendo conto dei grandi processi oceanografici che vi si possono studiare, ivi inclusa la distribuzione degli organismi e le loro interrelazioni in ecosistemi di grande ricchezza specifica. In particolare i vertici dell'ecosistema delle acque del largo del Mar Ligure occidentale, con grandi cetacei misticeti e odontoceti, grandi perciformi (tonni, pesce spada, altri rostrati), gli squali pelagici (isuridi, alopidi e carcarinidi) oggi rappresentano elementi di grandissimo richiamo per un pubblico sempre più vasto.

Questo mare risulta molto frequentato da cetacei non solo in base agli studi degli ultimi 25 anni, ma anche ai documenti antichi, tra cui si possono citare alcuni toponimi di epoca romana imperiale: un tratto di costa della Riviera Ligure di Ponente, tra i centri abitati di *Albingaunum* (Albenga) e *Albintimilium* (Ventimiglia) si chiamava *Costa Balenae*, mentre la più famosa località della Riviera Ligure di Levante, Portofino, si chiamava *Portus Delphini* e come tale era indicato nelle carte geografiche almeno fino al XVI secolo.



Banco di tonno rosso (*Thunnus thynnus*)



Caratteristiche oceanografiche

ANNA VETRANO · MIRENO BORGHINI · ELEONORA MARZI · MARIO ASTRALDI

13

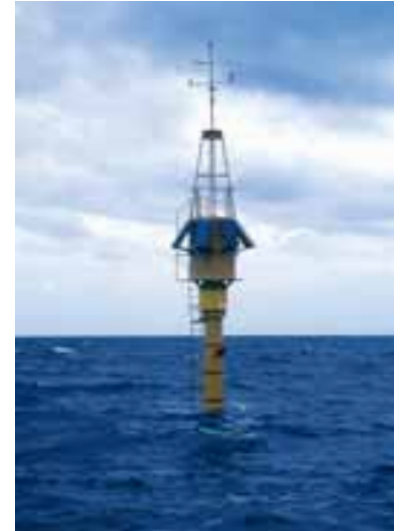
■ Introduzione

L'oceanografia è la disciplina che, utilizzando le scienze di base (essenzialmente la fisica), studia il movimento e la circolazione delle masse d'acqua degli oceani e dei grandi mari e le loro proprietà fisiche e chimiche, anche al fine di comprendere come questi fattori influenzino le zone costiere, l'atmosfera ed il clima; questa definizione, ovviamente, non tiene conto dell'oceanografia biologica.

Le correnti marine, le onde, le maree e le altre fenomenologie del mare sono indotte da elementi forzanti quali i venti, la rotazione terrestre, l'attrazione gravitazionale e la variabilità delle caratteristiche termoaline delle masse d'acqua del mare, cioè la temperatura, la salinità e, quindi, la densità. Ad essi va aggiunta l'influenza, in molti casi determinante, prodotta dalla topografia dell'area considerata. Le masse di acqua marina sono quindi in continua interazione sia fra loro che con tutti gli elementi che le circondano.

Avvengono così, costantemente, scambi di materia ed energia con i sistemi vicini e questa forte interconnessione determina le caratteristiche fisico-chimiche delle acque e, di conseguenza, condiziona in maniera assai rilevante gli organismi che in questi mari vivono.

Gli studi di oceanografia richiedono mezzi e strumenti particolarmente costosi, quali navi e boe oceanografiche, satelliti, apparecchiature da lasciare in mare per un certo tempo (come le catene di correntometri) ed altra strumentazione di precisione. Recentemente il telerilevamento sta assumendo una sempre maggiore rilevanza.



Boa del CNR, con apparecchiature per la misura dei parametri dell'acqua e dei dati meteorologici, ormeggiata dal 1983 su un fondale di più di 1000 metri, circa a metà tra Genova e Capo Corso; la parte immersa è di circa 40 metri, quella emersa di 10

I banchi di pesce azzurro si muovono anche in funzione delle caratteristiche delle acque

Masse d'acqua

Le masse d'acqua vengono definite attraverso valori di temperatura (t) e salinità (s) che risentono della loro origine (luogo di provenienza e/o processo attraverso cui vengono create).

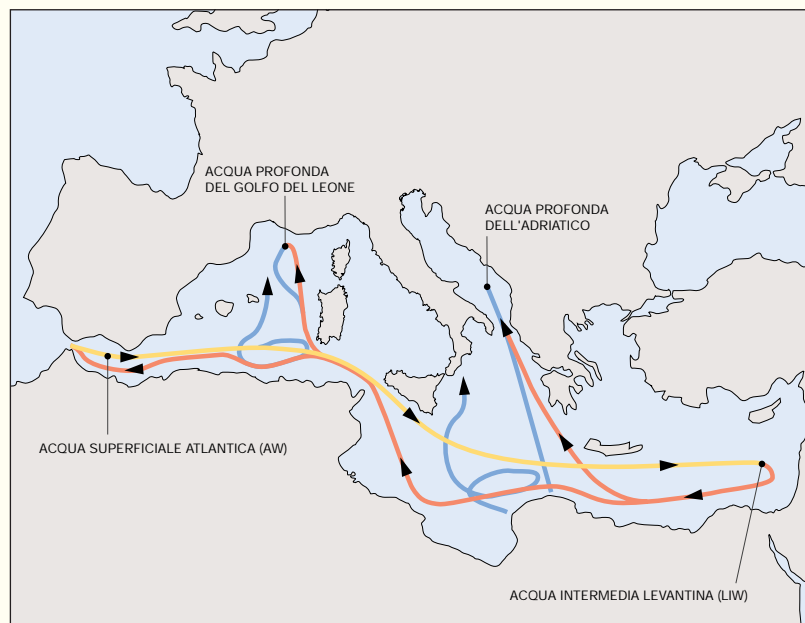
Temperatura e salinità sono proprietà quasi-conservative, ossia variano lentamente (per diffusione con masse d'acqua adiacenti), a meno che non vengano coinvolte in altri processi, nel qual caso esse possono modificarsi in maniera sostanziale. Anche il contenuto in ossigeno, seppure in misura minore, può servire a definire l'origine di una massa d'acqua.

Seguendo queste proprietà, la stessa massa d'acqua può essere riconosciuta

nei vari punti di un bacino, anche lontano dal luogo di provenienza.

Provenendo dal vicino oceano, l'Acqua Atlantica (AW), si identifica facilmente nel Mediterraneo per un minimo subsuperficiale di salinità.

L'Acqua Levantina Intermedia (LIW) proviene dal Mediterraneo Orientale ed è quindi caratterizzata da un massimo relativo di t e s (oltre che da un minimo di ossigeno), alle profondità intermedie. A causa dei processi cui è soggetta e della sua provenienza (si tratta di un'acqua inizialmente situata in superficie), l'Acqua Profonda del Mediterraneo Occidentale (WMDW) è alquanto fredda, relativamente poco salata e presenta un contenuto abbastanza alto in ossigeno.



Rappresentazione schematica della circolazione termoalina nel bacino, con le principali celle di circolazione indicate dalle linee diversamente colorate: le gialle indicano la corrente superficiale di AW, le rosse l'acqua intermedia LIW, mentre le linee blu rappresentano le acque di fondo

Salinità dell'acqua di mare

La salinità è la concentrazione dei sali minerali disciolti per unità di volume.

In oceanografia si definisce come l'ammontare, espresso in grammi, di tutti i solidi solubili disciolti in un chilogrammo di acqua di mare. Si misura generalmente in grammi per chilogrammo (g/kg) o parti per mille (‰). La salinità nell'acqua di mare varia da 33‰ a 37‰, con una media di 35‰. In mare aperto la salinità diminuisce a causa delle precipitazioni, aumenta per evaporazione e mescolamento con corpi d'acqua adiacenti.

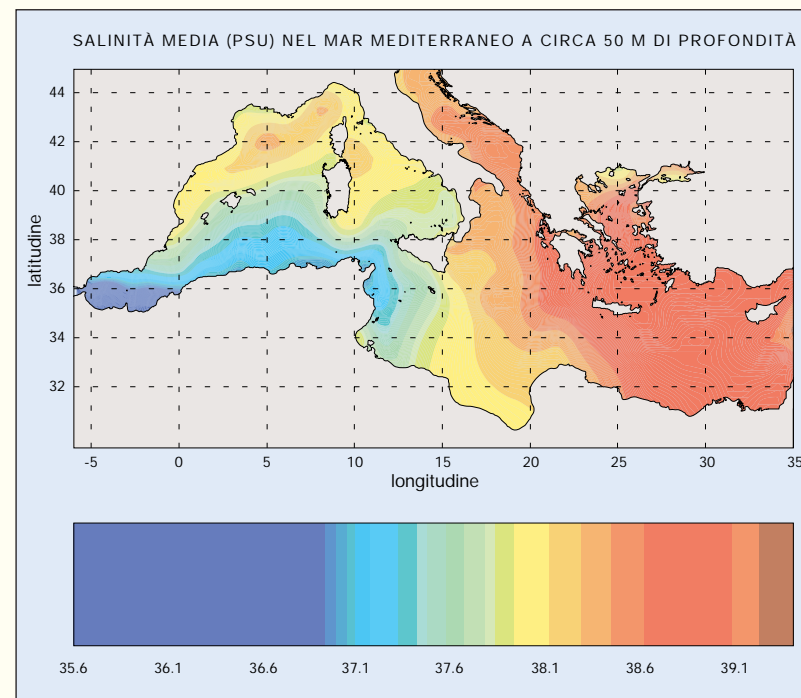
Vicino alla costa la salinità diminuisce grazie all'apporto di fiumi e canali di acqua dolce che scaricano in mare.

In acque molto fredde, la salinità generalmente aumenta durante la formazione di ghiaccio, e diminuisce con lo scongelamento.

Una certa variazione di salinità può essere rilevata anche tra gli strati superiori e quelli inferiori dell'acqua.

In tutte le distese di acqua salata il sale più diffuso è, notoriamente, il cloruro di sodio (NaCl), più comunemente detto "sale da cucina" che da solo rappresenta il 77% dei sali marini, cioè cloruri e solfati. Tra i solfati il più importante è il solfato di magnesio, responsabile del sapore amaro dell'acqua di mare.

Il rapporto tra gli ioni è costante e, quindi, è sufficiente misurarne uno (il cloro che è il più abbondante, più del 55%) per avere la salinità totale.



Densità dell'acqua di mare

La densità dell'acqua è funzione di due grandezze: temperatura e salinità. L'acqua più è salata più è densa, più è calda più è leggera. La dinamica dell'oceano è controllata essenzialmente dalla densità delle acque. Da un punto di vista di correnti verticali si può schematicamente affermare che se la densità dell'acqua aumenta con la profondità non si avranno spostamenti verticali di masse d'acqua, perché quella superficiale è più leggera e quindi "galleggia" sugli strati sottostanti. Se, al contrario, l'acqua in superficie è più densa che in profondità la situazione è instabile e l'acqua di superficie tende a scendere verso il basso in un processo detto "convettivo".

L'unico modo di fare aumentare la salinità è un'evaporazione elevata dell'acqua, quindi per avere densità elevate dell'acqua di superficie è necessaria una forte evaporazione a basse temperature. Queste due condizioni possono essere verificate d'inverno quando la temperatura atmosferica è molto bassa e in zone in cui il vento raggiunge velocità elevate, in modo da favorire l'evaporazione.

Se la densità in superficie è abbastanza elevata e rimane tale per un periodo sufficiente di tempo, l'acqua superficiale si inabissa fino a raggiungere il fondo oceanico. In tal caso eseguendo un profilo verticale di temperatura e salinità nella zona di formazione di acqua di fondo, le due grandezze risultano



I forti venti contribuiscono al rimescolamento delle acque

costanti ad ogni profondità, visto che l'acqua di superficie è scesa fino a mescolarsi con tutti gli strati sottostanti. A questo punto, grazie alla sua densità elevata, l'acqua scorre tappezzando tutto il fondo oceanico e arrivando in profondità anche in zone molto lontane dalla zona di formazione.

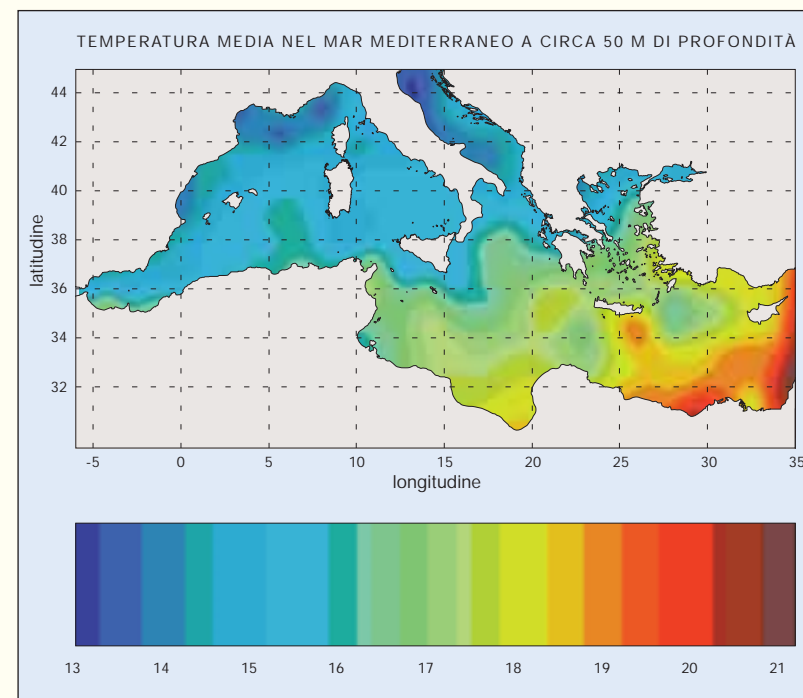
Bilancio termico

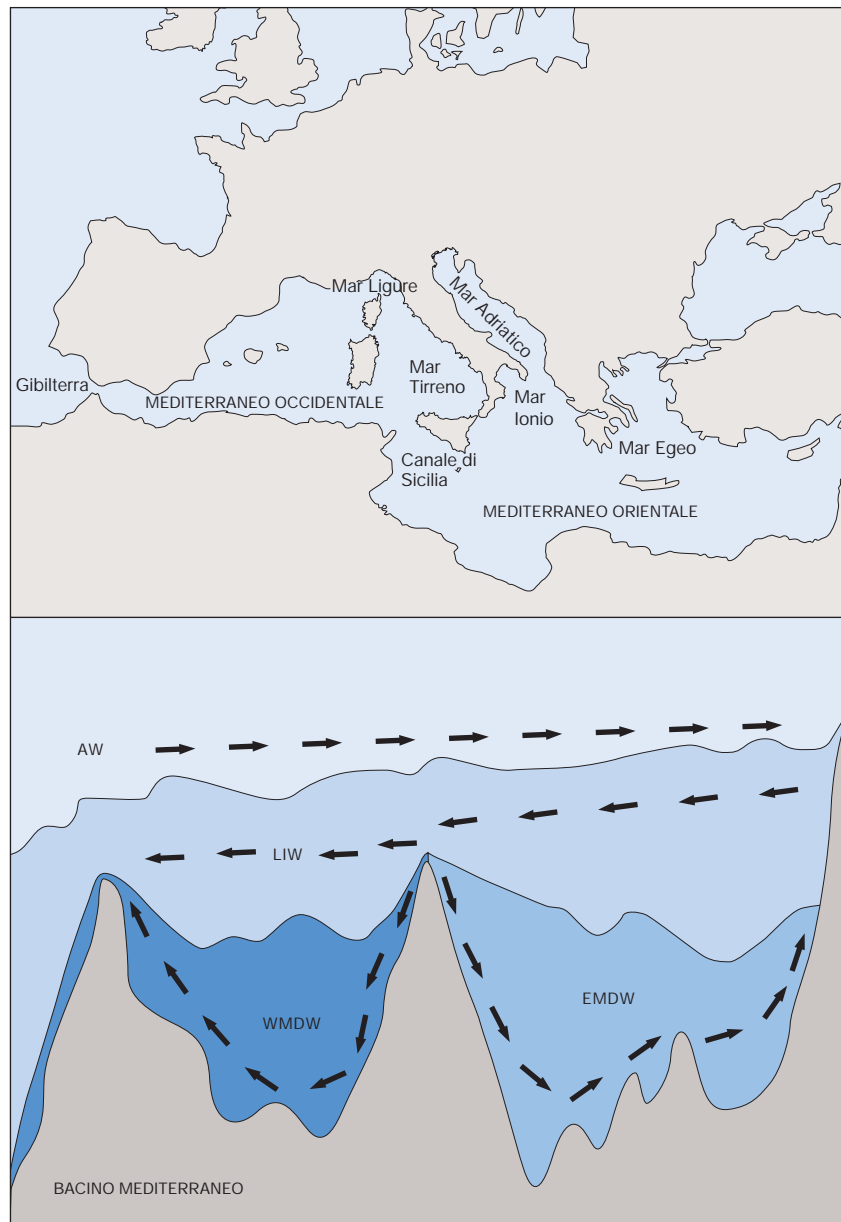
Il bilancio termico del mare dipende da quattro meccanismi: il riscaldamento per effetto della radiazione solare e gli scambi con l'atmosfera, suddivisi in scambio di radiazione termica, scambio di calore sensibile e di calore latente. Lo scambio di calore sensibile corrisponde al trasferimento di calore "per

contatto" fra superficie marina e masse d'aria sovrastanti.

Lo scambio di calore latente corrisponde al raffreddamento della superficie marina per evaporazione ed al riscaldamento dell'atmosfera durante il successivo processo di condensazione del vapore.

Su scala globale e in media annuale arrivano alla superficie della Terra circa 340 W/m^2 sotto forma di radiazione solare. Circa la metà di essi vengono assorbiti dalla superficie oceanica, che ne trasferisce circa un terzo all'atmosfera al netto degli scambi reciproci di radiazione termica. I rimanenti $2/3$ sono ripartiti fra calore latente e calore sensibile, dove il primo costituisce il contributo cinque o sei volte maggiore.





In alto, il Mar Mediterraneo con i principali bacini e, in basso, sezione verticale della batimetria lungo un asse che include lo Stretto di Gibilterra ed il Canale di Sicilia; sono indicate le principali masse d'acqua ed il loro contributo alla circolazione termalina

■ Il Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è un bacino semichiuso, ovvero un mare circondato da terre in cui gli unici scambi di acqua con l'esterno avvengono in genere attraverso uno stretto. Nel nostro caso questo è lo stretto di Gibilterra.

Geomorfologicamente il Mar Mediterraneo è suddiviso in due bacini principali: Occidentale (in letteratura: WM) ed Orientale (EM), a loro volta suddivisi in altri bacini (Mar Tirreno, Mar Adriatico, ecc.). Da un punto di vista oceanografico viene definito come un bacino di concentrazione, in quanto l'evaporazione, ovvero l'acqua persa verso l'atmosfera sotto forma di vapore (circa 1 m l'anno per unità di superficie) supera quella guadagnata attraverso le precipitazioni e l'apporto fluviale. Ciò determina una più elevata salinità delle masse d'acqua rispetto ai bacini circostanti. Il deficit che così si produce viene compensato da un flusso di acqua atlantica entrante attraverso lo Stretto di Gibilterra.

Lo scambio di acqua da una parte all'altra di questo stretto avviene dunque con l'ingresso in superficie di un'acqua caratterizzata da salinità, temperatura e densità relativamente basse proveniente dall'Oceano Atlantico, e l'uscita, sul fondo, di un'acqua mediterranea, con valori più elevati degli stessi parametri. Questi due flussi fanno parte di una grande cella di circolazione che si estende da Gibilterra fino a Cipro e che costituisce la circolazione termalina del bacino mediterraneo, indotta dalle differenze di temperatura e salinità tra masse d'acqua adiacenti, ovvero dalle differenze delle proprietà termaline. In essa, l'Acqua Atlantica superficiale (in letteratura: AW) viaggia verso est con densità progressivamente crescente, mentre il flusso di ritorno, costituito da Acqua Levantina Intermedia (LIW), scorre ad una profondità compresa tra i 200 e i 600 m. Al di sotto circola l'Acqua Profonda (DW), più densa della sovrastante LIW. La DW è presente, con caratteristiche diverse, in entrambi i bacini (rispettivamente EMDW e WMDW), e solo grazie ad uno specifico processo fisico (effetto Bernoulli) riesce a superare le soglie relativamente elevate dello Stretto di Sicilia e dello Stretto di Gibilterra. È a causa di questo processo che la WMDW, che si trova ad un livello più basso della soglia di Gibilterra, entra a far parte, con la LIW, dell'Acqua Mediterranea che contribuisce significativamente alla circolazione termalina del vicino Oceano Atlantico.

Sia le masse d'acqua intermedie che quelle profonde che partecipano a questa cella di circolazione vengono prodotte durante l'inverno in siti particolari, nei quali le acque superficiali, pre-condizionate dalle situazioni climatiche e dai processi oceanografici esistenti, vengono a contatto con i venti freddi e secchi di origine continentale che ne aumentano significativamente la densità. Vengono così favoriti i movimenti di convezione verticale che, quando si

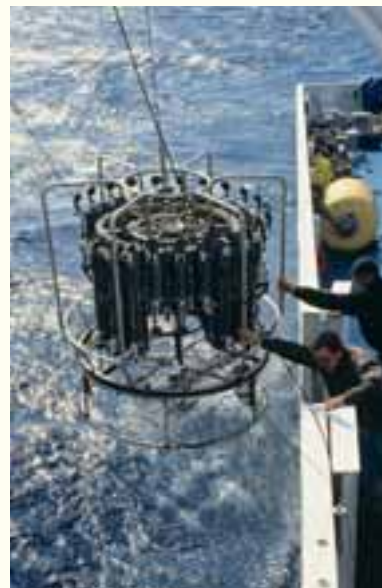
Satelliti in oceanografia: il telerilevamento

I satelliti risultano indubbiamente gli strumenti più potenti e completi per lo studio della dinamica dell'oceano mondiale. Oggi il telerilevamento, ovvero l'uso dei satelliti per uso scientifico, è un settore in continua evoluzione, in cui gli ambiti applicativi si espandono di pari passo con i progressi della ricerca tecnologica. I satelliti scientifici sono attualmente in grado di fornire agli oceanografi un'enorme quantità di informazioni multidisciplinari riguardanti lo stato dell'intera superficie oceanica del pianeta Terra. Esse includono il monitoraggio sia delle proprietà fisiche dell'oceano, quali la temperatura superficiale e le anomalie dell'altezza della superficie del mare, che delle caratteristiche biologiche, come il colore del mare che permette di stimare la concentrazione di diverse sostanze in sospensione, inclusi i pigmenti del fitoplancton.

La temperatura superficiale viene misurata tramite sensori infrarossi, montati a bordo dei satelliti, che misurano la radiazione elettromagnetica infrarossa emessa dalla superficie dell'oceano. Essa viene chiamata radiazione termica perché una radiazione a questa frequenza (1-30 μm) riscalda. La quantità di radiazione termica infrarossa emessa da un oggetto è associata alla sua temperatura, per cui misurando la quantità di radiazione emessa dall'oceano possiamo calcolare la sua temperatura (Sea Surface Temperature). Il sensore SST più importante è l'AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer"), montato su satelliti ad orbita polare della NOAA ("National Oceanic and Atmospheric Administration", USA) dal 1978: in un'orbita polare il satellite ruota attorno ai poli compiendo una rivoluzione del pianeta in circa 90 minuti. Questi satelliti, essendo a bassa quota (900-1000 km), devono avere una velocità elevata per poter resistere all'attrazione terrestre e quindi impiegano



La nave oceanografica Urania



Immersione di una rosetta per campionamento e raccolta dati e, a destra, una sonda multiparametrica

minor tempo a compiere un giro completo attorno alla terra. Di solito un satellite di questa classe è programmato in modo da passare sopra una data area (per esempio una stazione ricevente) a tempi regolari, ad esempio intervalli di 6 o 12 ore, e il tempo di visibilità è soltanto di circa 12-15 minuti. La risoluzione è di circa un chilometro.

Sonda multiparametrica CTD

A bordo delle navi da ricerca viene allestito un sistema di acquisizione di dati oceanografici comprendente una sonda multiparametrica detta CTD (Conductivity/Temperature/Depth).

La sonda (vedi foto) viene calata a mare, dalla superficie al fondo, e fornisce varie informazioni, a seconda dei sensori di cui è dotata, sulla colonna d'acqua che essa attraversa. Per calarla in mare si utilizza

generalmente un verricello dotato di cavo idrologico, ovvero un cavo capace di sostenere il peso della sonda e contemporaneamente di trasferire i dati a bordo in tempo reale.

I dati trasferiti a bordo vengono registrati in continuo su un personal computer, che, con appositi software, mostra in tempo reale i profili delle grandezze misurate.

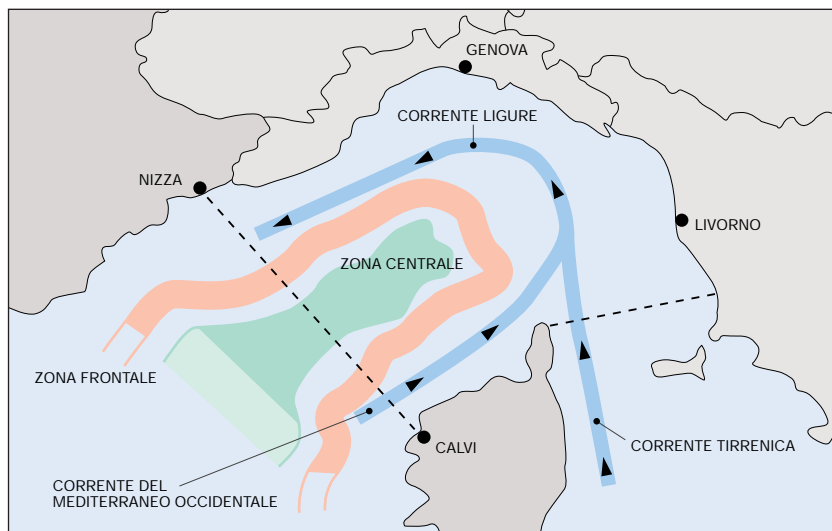
La sonda CTD è dotata generalmente di tre sensori di base, in grado di effettuare le misure dirette di conduttività, temperatura e pressione. La densità dell'acqua di mare si ottiene dalle misure di salinità, temperatura e pressione. C'è inoltre la possibilità di aggiungere al CTD altri sensori ausiliari, utilizzati per la misura di ossigeno disciolto (sensore di ossigeno), per la fluorescenza (fluorimetro), per la profondità (altimetro), per la torbidità, per l'irradianza ecc.

sviluppano fino al fondo del bacino, danno luogo alla formazione delle DW (Golfo del Leone e M. Adriatico), mentre quando sono più deboli (area levantina) producono nuova LIW.

Il Mar Mediterraneo, infine, è considerato un mare oligotrofico, ovvero povero di nutrienti, vale a dire tutti quegli elementi inorganici indispensabili per i produttori primari (piante in senso lato) capaci di sintetizzare la sostanza organica in zone prossime alla superficie (la luce è un fattore limitante), rendendoli così disponibili per i livelli più alti della catena alimentare (pesci, cetacei, ecc). Poiché, in condizioni normali, questi elementi sono significativamente presenti nelle acque di fondo, il Mar Mediterraneo tende ad esportarli nel vicino oceano in cambio di acque superficiali più povere.

■ Il Mar Ligure

Il Mar Ligure è il bacino più settentrionale del Mediterraneo Occidentale. Si estende per un'area di circa 50.000 km², circondato dalle coste della Liguria, della Provenza orientale e, a sud, dalla Corsica settentrionale. Il bacino ligure è allungato nella direzione nordest-sudovest, e si apre, nella sua parte occidentale, verso il Golfo del Leone ed il bacino Algerino-Provenzale. Nella sua parte orientale, il Mar Ligure è collegato al Mar Tirreno attraverso il Canale di Corsica, un passaggio ampio in superficie circa 90 km, e circa 30 Km sul fondo posto a 450 m di profondità tra la Corsica e l'isola di Capraia.



Mar Ligure con una rappresentazione schematica delle principali strutture dinamiche e delle correnti

Lo sviluppo della piattaforma continentale è molto ridotto (con la sola eccezione della costa Toscana) e ciò pone la fascia costiera sotto l'effetto diretto del mare profondo. La batimetria della scarpata continentale segue l'andamento della costa, degradando rapidamente fino ai 1000 m. Tra le particolarità più evidenti sono da citare due canyon presenti rispettivamente al largo di Genova e di Punta Mesco ed un promontorio sottomarino che si estende al largo di Nizza. Il centro del bacino è uniformemente profondo degradando progressivamente fino ad una profondità massima di 2700 m.

Il Mar Ligure, per la sua collocazione geografica, risente principalmente dei venti legati alle perturbazioni provenienti dall'Atlantico. Spostandosi da ovest verso est, queste richiamano dapprima venti meridionali mentre quando si allontanano dall'area lasciano il posto a venti nord-occidentali. Il vento dominante è il Libeccio, che proviene da sud-ovest e dà luogo a forti mareggiate che interessano soprattutto la riviera di levante e le coste toscane, mentre lo Scirocco, che proviene dal Golfo della Sirte, interessa maggiormente la riviera di ponente, con aria caldo/umida portatrice di pioggia e temporali.

La rigidità climatica tipica di questa regione durante l'inverno è dovuta alle periodiche intrusioni di venti forti, freddi e secchi come la Tramontana e, soprattutto, il Maestrale; quest'ultimo rappresenta uno dei principali fattori che influenzano la circolazione del Mar Ligure e di tutto il Mediterraneo Occidentale.

		AUTUNNO	INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE
CANALE DI CORSICA	temperatura	18.00	14.00	14.20	20.08
	salinità	37.80	37.90	37.80	38.21
	densità	27.30	28.49	28.55	27.20
COSTA FRANCESE	temperatura	17.00	13.70	14.10	19.51
	salinità	37.95	38.00	37.95	38.06
	densità	27.80	28.70	28.50	27.22
ZONA CENTRALE	temperatura	16.00	12.95	13.70	18.08
	salinità	38.05	38.25	38.05	38.17
	densità	28.00	28.99	28.80	27.72

Caratteristiche termoline dell'Acqua Atlantica superficiale (Atlantic Water) all'interno del Mar Ligure

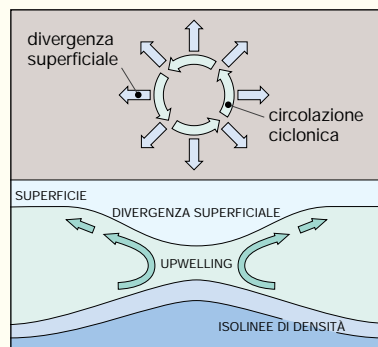
Upwelling

Nell'emisfero nord, una corrente che circola in senso antiorario (ciclonico) genera un vortice divergente, ovvero l'acqua superficiale tende a spostarsi verso l'esterno del vortice. Ciò determina un abbassamento del livello marino in corrispondenza della zona centrale del vortice stesso.

Questa mancanza di acqua, per la legge della continuità del volume, deve essere compensata con una risalita dagli strati profondi; questo comportamento dinamico si definisce *upwelling* e la regione in cui si verifica viene detta di divergenza. Il fenomeno inverso si definisce *downwelling* e la regione corrispondente di convergenza.

La risalita delle acque di fondo genera una risalita del termoclino, ovvero le isolinee di temperatura, salinità e densità si dispongono a duomo per compensare il gradiente di pressione orizzontale.

Una divergenza oceanica a grande scala si può riconoscere dal colore dell'acqua superficiale: le acque risalite dal fondo sono spesso più verdi di quelle circostanti perché ricche di nutrienti e sono quindi in grado di sostenere larghe popolazioni fitoplanctoniche.

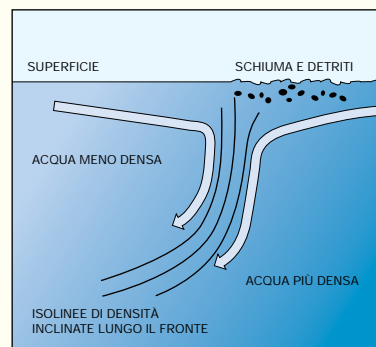


Fronte oceanico

Negli oceani i fronti sono superfici inclinate che separano corpi d'acqua con caratteristiche idrologiche molto diverse. Tali superfici sono caratterizzate da valori massimi di variabilità orizzontale delle proprietà idrologiche entro una distanza relativamente breve. I fronti oceanici sono analoghi ai fronti atmosferici tra masse d'aria differenti, e possono svilupparsi su varie scale spaziali. La caratteristica essenziale è la differenza di densità dell'acqua esistente da un lato e dall'altro del fronte stesso. Inoltre, poiché i fronti sono generalmente regioni dove l'acqua superficiale converge (ovvero muove verso la stessa direzione da entrambi i lati del fronte), possono essere individuati da una striscia di schiuma o detriti galleggianti.

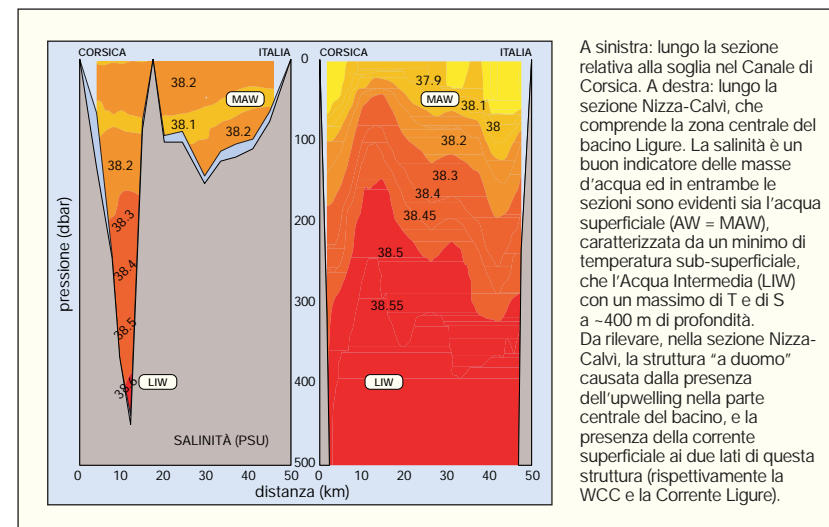
La convergenza può essere legata al vento, ma può anche dipendere dal contrasto di densità attraverso il fronte stesso.

L'effetto principale della convergenza dei fronti è l'accumulo ed il trasporto verso il basso di sali nutritivi necessari per la fotosintesi degli organismi vegetali, con conseguente incremento della produzione primaria ed arricchimento nutritivo per pesci e cetacei.



Circolazione delle masse d'acqua. La dinamica a grande scala del Mar Ligure è caratterizzata da un'ampia e ben definita circolazione ciclonica (anti-oraria) che interessa tutto il bacino e che coinvolge sia l'acqua superficiale (AW) che la sottostante acqua intermedia (LIW), fino ad una profondità di circa 600-700 m. Essa viene alimentata da due correnti indipendenti, che fluiscono verso nord lungo i due lati della Corsica: la Corrente Tirrenica (ECC-Eastern Corsica Current), che entra nel bacino attraverso il Canale di Corsica, trasportando le acque più calde provenienti da sud, e la Corrente del Mediterraneo Occidentale (WCC-Western Corsica Current). Quest'ultima convoglia nel Mar Ligure un'acqua più fredda di origine occidentale. A nord della Corsica queste due correnti si uniscono generando la Corrente Ligure (Ligurian Current), con proprietà intermedie fra le due.

Si tratta di una corrente abbastanza stabile, che, con un'ampiezza di circa 20 km ed una profondità di circa 150 m, fluisce lungo la costa Ligure-Provenzale fino al Golfo del Leone e rappresenta il ramo iniziale di una corrente che può arrivare fino a Gibilterra scorrendo lungo le coste della Francia e della Spagna. Sebbene la circolazione ciclonica presente in questa parte del bacino resti ben definita durante tutto l'arco dell'anno, essa va incontro ad importanti cambiamenti col variare delle stagioni, passando grossomodo da un'unica grande struttura ciclonica in inverno a due o più celle ridotte, distribuite sull'ampiezza del bacino. È possibile che una di esse occupi l'area del Mar Ligure.



Distribuzione verticale della salinità nello strato superficiale ed intermedio (0-500 m) misurata a settembre 2000



Tratto di mare antistante la costa della Corsica sottoposto all'azione del Maestrale

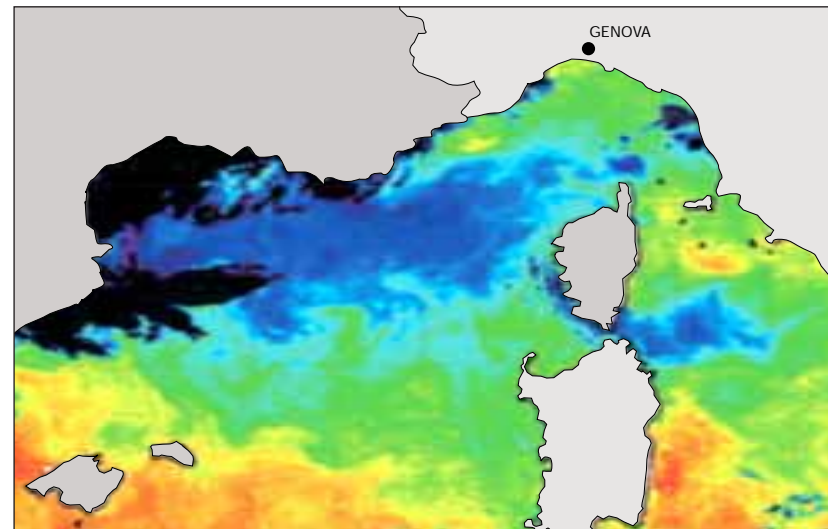
Flussi e variabilità. Ad ogni corrente sono associati una velocità media (m/sec) ed un flusso medio. Quest'ultimo rappresenta la quantità di acqua che la corrente trasporta in un certo lasso di tempo (m^3/sec). Poiché l'ordine di grandezza è intorno alle centinaia di migliaia (10^6), si utilizza un'unità di misura chiamata Sverdrup (Sv) che equivale a $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$.

A causa della variabilità dei forzanti, i flussi subiscono delle variazioni sia nell'arco dell'anno (variabilità stagionale) che da un anno all'altro (variabilità interannuale). Essi vengono meglio quantificati in quei luoghi dove è possibile definire con qualche certezza l'estensione, sia verticale che orizzontale della corrente, quindi in prossimità di stretti o canali. È questo il caso della Corrente Tirrenica, che penetra nel Mar Ligure attraverso il Canale di Corsica. Questo canale esercita un ruolo strategico nel bilancio del Mediterraneo Occidentale perché rappresenta l'unica via di comunicazione tra il Mar Ligure ed il Mar Tirreno e quindi con la parte meridionale del bacino. Le misure svolte da tempo in quest'area indicano un flusso medio annuale di circa 0.65 Sv, diretto verso nord. Esso mostra un'evidente variabilità sia a livello stagionale (è elevato in inverno, mentre diventa quasi nullo in estate) che interannuale (si può ridurre anche del 50/60% da un anno all'altro).

La definizione del flusso della Corrente del Mediterraneo Occidentale avviene con un'incertezza maggiore perché, in uno spazio aperto, rimane più difficile valutare l'estensione della corrente. Il valore medio stimato comunque è di circa 1.15 Sv, anch'esso diretto verso nord. Questa corrente presenta una varia-

bilità stagionale meno pronunciata (essa si mantiene anche durante l'estate) rispetto a quella del Canale di Corsica. Anche la corrente risultante (Corrente Ligure) presenta una chiara variabilità stagionale, con valori più alti da Dicembre a Maggio. In questo periodo essa è sostenuta principalmente dalla Corrente Tirrenica. Durante l'estate, invece, il contributo dal Canale diventa pressoché nullo, per cui la corrente lungo la fascia costiera Ligure è composta quasi esclusivamente da acqua proveniente dal Mediterraneo Occidentale. Il flusso medio annuale di questa corrente, dato dalla somma dei flussi relativi alle due correnti, è di circa 1.8/2 Sv.

Upwelling. La presenza di una circolazione ciclonica che occupa, oltre al Mar Ligure, l'intera parte settentrionale del Mediterraneo Occidentale, favorisce lo sviluppo di un processo di divergenza delle acque superficiali che, a sua volta, determina una risalita delle acque profonde nella parte centrale del bacino. Dato che questo movimento ascendente porta verso la superficie le acque più fredde e più salate del fondo, questa regione è caratterizzata, durante tutto l'anno, da acque aventi temperature più basse e salinità più elevate rispetto al resto del bacino. Ciò determina anche un aumento della loro densità. Questo processo produce alcune conseguenze importanti nella massa d'acqua presente in quest'area.



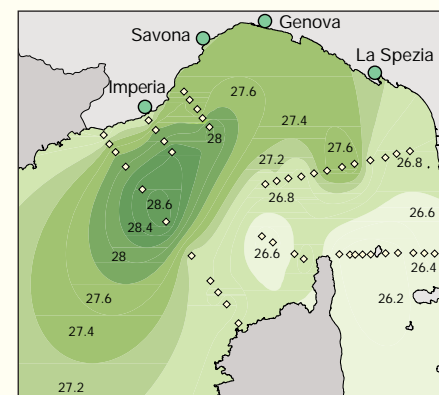
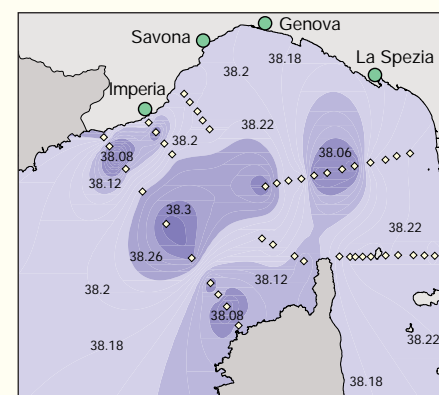
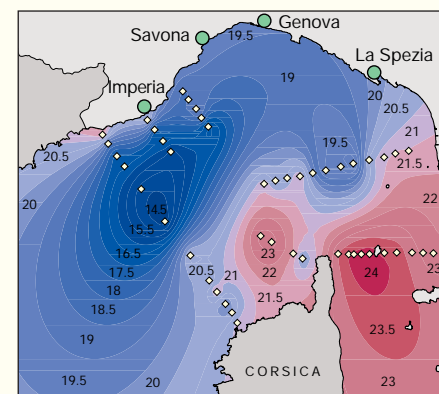
Temperatura superficiale rielaborata da una immagine satellitare dell'11 agosto 1999; in azzurro le acque con temperature più basse legate alla presenza dell'*upwelling* attivo al centro del Mediterraneo nord-occidentale, in rosso le acque meridionali più calde, in verde le acque con proprietà intermedie, incluso il Mar Tirreno; da rilevare l'ingresso dell'Acqua Tirrenica nel Mar Ligure attraverso il Canale di Corsica ed il sistema frontale tra questa corrente e la parte centrale del bacino, che circonda l'area di *upwelling*

- 1) una maggior omogeneizzazione delle proprietà interne delle acque soggette ai movimenti di risalita e, quindi, una diminuzione della stratificazione esistente;
- 2) una distribuzione "a duomo" della struttura risultante con una sensibile inclinazione verso l'alto delle isolinee (linee di ugual temperatura, salinità e densità, dette rispettivamente isoterme, isoaline e isopicne). Poiché le acque profonde sono anche significativamente più ricche in nutrienti rispetto a quelle superficiali, questo processo determina un continuo apporto di sostanze nutritive nella parte centrale del bacino.

Fronte ligure-provenzale. Poiché la corrente costiera, costituita da acque più calde e meno salate, viene a contatto con le acque più fredde e più salate dell'interno del bacino, si produce una zona di transizione (la regione frontale), relativamente ristretta e caratterizzata da una rapida variazione orizzontale di temperatura, salinità e densità in senso normale alla costa. Questo fronte accompagna lo sviluppo della Corrente Ligure lungo tutta la costa italiana e francese del bacino a circa 20 km dalla costa. Esso rappresenta l'intersezione con la superficie di uno strato frontale inclinato per la presenza del processo di upwelling al centro del bacino.

Secondo dati di ricercatori francesi, che più degli altri si sono interessati allo studio di questa struttura, il fronte si estende per un'ampiezza di circa 20 Km verso il largo e per 300 m in profondità, presentando un gradiente orizzontale di densità compreso tra 0.2 e 0.4 kg/m³. L'area occupata dal fronte è sede di intensi movimenti verticali di acqua, sia verso il basso (convergenza) che verso l'alto (divergenza) che si succedono alternativamente procedendo verso il largo e che contribuiscono ad arricchire ulteriormente il contenuto di sali nutritivi in questa parte del bacino. Il fronte ligure-provenzale è un fronte permanente, in cui esiste un equilibrio tra il campo di densità ed il campo di corrente. Questo equilibrio viene mantenuto dai diversi fattori che influenzano la circolazione in quest'area: i processi di formazione di acqua profonda che avvengono durante l'inverno, la massa d'acqua dolce apportata dai corsi d'acqua che scaricano lungo la costa, l'effetto del vento ed altri. Il fronte superficiale è ben visibile dalle immagini da satellite della temperatura superficiale (SST, Sea Surface Temperature) così come dalle mappe superficiali di temperatura, salinità e densità ricavate dalle misure dirette con sonda multiparametrica (CTD, Conductivity-Temperature-Depth).

Generalmente il fronte ligure-provenzale presenta, sia in superficie che in profondità, un andamento a meandri che sembrano spostarsi nella direzione prevalente della corrente (anti-oraria), come delle onde che si propaghino attorno ad un vortice ciclonico centrale, generando al loro interno altri piccoli vortici.



Distribuzione orizzontale di temperatura (in alto), salinità (al centro) e densità (in basso) nel Mar Ligure, a 25 m di profondità.

I punti rappresentano le stazioni in cui sono state effettuate le misure con la sonda multiparametrica CTD durante il mese di settembre 2000.

Le isolinee, ovvero le linee di ugual temperatura (isoterme), salinità (isoaline) e densità (isopicne) sono state ottenute per interpolazione orizzontale con i valori di temperatura, salinità e densità misurati nelle stazioni.

Nonostante alcune aree centrali del bacino non presentino una buona copertura CTD, le distribuzioni mostrano come l'area centrale sia la più fredda, ma anche la più salata e la più densa, a causa dell'*upwelling* attivo in questa regione.

In contrapposizione alla zona centrale, la regione costiera appare con temperature, salinità e densità più basse, mentre la zona intermedia, dove le isolinee sono più ravvicinate, indica la presenza del fronte Ligure-Provenzale.

La temperatura e la densità mostrano inoltre una regione più calda e più densa al nord della Corsica, indicando la presenza di un piccolo vortice anticiclonico (ovvero con circolazione oraria della corrente), che si affianca alla circolazione ciclonica generale del bacino Ligure. Nella parte ovest del Canale di Corsica si evidenzia l'ingresso nel bacino della Corrente Tirrenica, mentre la Corrente del Mediterraneo Occidentale scorre lungo la costa occidentale della Corsica.

Formazione dell'Acqua Profonda (DW). Si tratta di un processo che avviene durante l'inverno in alcune (poche) regioni dell'oceano globale, dove si sviluppano, come conseguenza di condizioni atmosferiche estreme, intensi processi di interazione all'interfaccia tra l'oceano e l'atmosfera. Tra queste regioni, che includono le aree Artiche ed Antartiche, c'è anche il Mediterraneo, bacino in cui la formazione di acqua profonda avviene in tre località distinte: l'area nord-occidentale, il Mar Adriatico e l'area Cretese.

Nel Mediterraneo nord-occidentale si verificano, durante l'inverno, condizioni climatiche molto severe, che diventano particolarmente critiche nel Golfo del Leone. Esse sono prodotte da periodiche intrusioni di venti, molto energetici, freddi e secchi, di origine continentale, come il Maestrone e la Tramontana. Soffiando su un mare più caldo, (anche di 10°C), questi venti inducono forti processi di interazione tra l'aria ed il mare che sottraggono calore ed acqua dal bacino. I valori di evaporazione e di calore sensibile e latente, che si mantengono relativamente bassi durante l'estate, aumentano significativamente a partire dall'autunno fino a raggiungere un massimo a dicembre. È stato calcolato che l'evaporazione media invernale in quest'area è di circa 0.54 g/cm² al giorno, con picchi, durante i più forti colpi di Maestrone, di 2.30 g/cm² al giorno. Come conseguenza di questa azione si forma, nell'area del Golfo del Leone, un vortice ciclonico avente un diametro di circa 100 Km, che è, a sua volta inserito, nella circolazione ciclonica dell'intero bacino. Esso definisce la specifica area di formazione per l'acqua profonda del Mediterraneo Occidentale.



Pesce luna (*Mola mola*) in galleggiamento

Come conseguenza di questa azione, le acque superficiali all'interno di quest'area diventano sempre più dense, fino a raggiungere un valore che consente loro di sprofondare.

Se l'azione degli eventi atmosferici è sufficiente, questo valore può diventare più alto della densità delle acque relative al secondo strato (la LIW) per cui queste particelle d'acqua che giungono dalla superficie, continuano il loro movimento verticale fino al fondo, formando l'Acqua Profonda del Mediterraneo Occidentale (WMDW). In questo caso, e per brevi periodi, tutta la colonna d'acqua, diventa omogenea dalla superficie fino al fondo. Quando cessa l'azione che ha prodotto questo processo si ripristina ben presto la stratificazione originale, mentre nelle acque profonde rimane il segnale dell'avvenuto processo. Oltre che da bassi valori di temperatura, esso è indicato da un valore relativamente elevato di ossigeno. L'apporto periodico di questo elemento contribuisce a sostenere la vita anche a queste profondità.

Dove le condizioni atmosferiche non risultano così rigide, l'acqua superficiale che sprofonda, trova il proprio equilibrio a livello della stratificazione intermedia causata dalla presenza della LIW. Questo è ciò che in genere avviene nel centro del Mar Ligure e che dà luogo alla formazione dell'Acqua Intermedia Invernale (WIW). Quest'acqua si trova spesso in forma di strutture isolate (lenti), che, seguendo il verso della stratificazione si muovono inizialmente verso la costa per poi propagarsi per l'intero bacino occidentale fino al Canale di Sardegna.



La nave oceanografica Minerva sulle tracce di grandi cetacei

Batterioplancton e fitoplancton

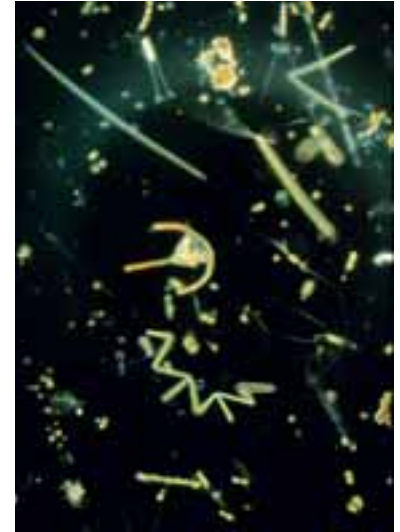
MAURO FABIANO · CRISTINA MISIC · PRISCILLA LICANDRO

Nel suo complesso il Mar Mediterraneo è stato definito un mare oligotrofo (vedi scheda a pagg. 34-35), caratterizzato da basse concentrazioni di nutrienti (composti inorganici dell'azoto, del fosforo e del silicio) e conseguente scarsa produzione primaria planctonica.

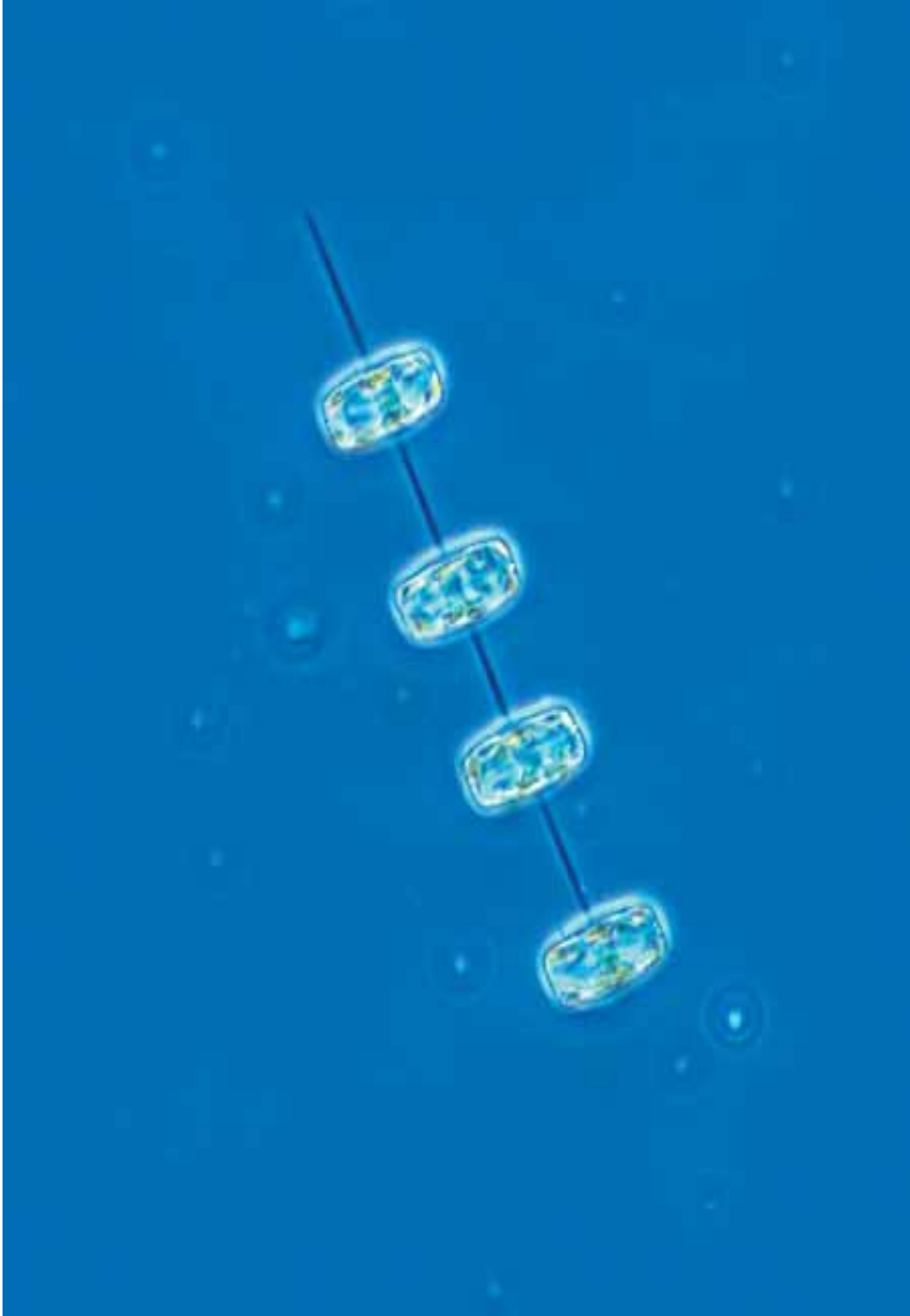
La catena alimentare è dominata da produttori e consumatori di piccole dimensioni. La maggior parte del flusso di carbonio passa attraverso le comunità microbiche, capaci di riciclare efficientemente il materiale organico prodotto limitando il flusso ai livelli trofici superiori. Tuttavia il Mar Mediterraneo non è un sistema omogeneo, ma è costituito da numerosi bacini che presentano caratteristiche ecologiche differenti.

All'interno di questo mare sussiste un gradiente da ovest ad est, con le zone più occidentali, tra le quali anche il Mar Ligure, caratterizzate da un'oligotrofia meno spiccata. Il Mar Ligure, infatti, presenta variazioni stagionali che vanno da condizioni di oligotrofia estiva ed invernale a condizioni di mesotrofia primaverile, con un periodo di transizione durante il mese di maggio. Tali caratteristiche dipendono dall'ampia variabilità stagionale della struttura dell'intera colonna d'acqua, da fenomeni meteorologici che, pur a piccola scala spaziale e temporale, influenzano sensibilmente la superficie e dalle peculiari condizioni idrologiche derivanti dalla presenza del fronte Ligure-Provenzale.

Questi fattori ambientali influiscono sulla componente vegetale monocellulare e, dato il fatto che nelle acque di mare aperto è proprio l'entità di quest'ultima a determinare il flusso di materiali ed energia all'intera colonna d'acqua, modellano la struttura della rete trofica.



Fitoplancton del mar Mediterraneo



Colonia della diatomea *Thalassiosira rotula* con il caratteristico filamento chitinoso che unisce le cellule

Il trasferimento di energia alimentare dai produttori primari ai consumatori (primari, secondari ecc.) è definito catena alimentare (o trofica). Vista la complessità di tali trasferimenti è più opportuno riferirsi a questo fitto incrociarsi di relazioni alimentari con la terminologia di rete alimentare.

Negli ambienti di mare aperto, dove la profondità dei fondali non consente la presenza di una flora bentonica, i produttori primari sono organismi unicellulari vegetali e alcuni batteri (fitoplancton) che flottano nello strato illuminato del mare e sono definiti "autotrofi". Essi sfruttano l'energia solare per combinare tra loro molecole inorganiche (come anidride carbonica e sali minerali) al fine di costituire nuovi materiali organici e replicarsi (produzione di biomassa).

Questa biomassa è il principale supporto trofico per i consumatori (eterotrofi), facenti parte del micro- (ad esempio protozoi) e del meso- e macrozooplankton (crostacei, molluschi pteropodi, salpe ecc.). All'interno di questi gruppi è possibile riscontrare, inoltre, la presenza di altri consumatori (carnivori e detritivori), che si nutrono di altri organismi, di materiale organico non vivente o di entrambe, in un'ampia gamma di strategie trofiche. Tutti questi organismi vengono a loro volta consumati da predatori di taglia più grande, principalmente celenterati e crostacei.

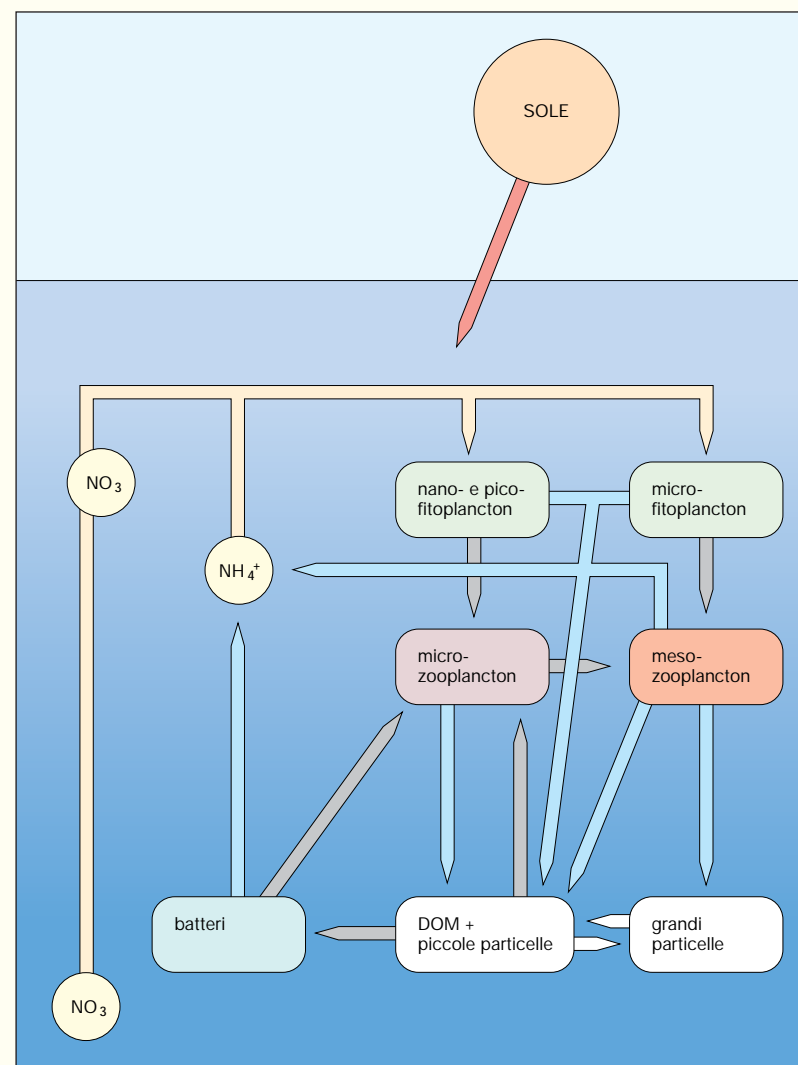
Salendo nei livelli trofici si incontrano predatori di maggiori dimensioni, come cefalopodi, pesci fino ad arrivare ai mammiferi. Il materiale di scarto (di escrezione, eliminazione, essudazione includendo anche gli organismi morti) proveniente da tutti questi livelli trofici è riciclato dai microrganismi eterotrofi più diffusi, i batteri.

A seconda della caratterizzazione quantitativa e qualitativa dei vari livelli trofici e dell'entità e velocità degli scambi tra essi (flussi), gli ecosistemi naturali ven-

gono definiti in base ad una scala di trofia (stato trofico), da ecosistemi "poveri" od oligotrofici (fino all'ultraoligotrofia) ad ecosistemi "ricchi" o eutrofici. Per quanto concerne i livelli inferiori delle reti alimentari, anche se la biomassa batterica eterotrofa diminuisce dalle acque eutrofiche a quelle oligotrofiche, tuttavia il suo contributo alla biomassa microbica totale è maggiore nelle acque oligotrofiche, dove può superare anche la biomassa fitoplanctonica. In queste condizioni la biomassa batterica può costituire fino al 50% del materiale organico sospeso nella zona superficiale della colonna d'acqua. Benché la biomassa batterica sia inferiore in condizioni oligotrofiche, questi batteri generalmente crescono più velocemente e tale crescita è stimolata in maniera diversa sia dal fitoplancton che dallo zooplankton. In particolare, il fitoplancton eserciterebbe una stimolazione fornendo materiali organici da consumare, mentre lo zooplankton, nutrendosi anche di batteri, li manterrebbe in un continuo stadio di accrescimento esponenziale.



Il dinoflagellato *Ceratium declinatum*



Schema di rete trofica pelagica: le frecce grigie corrispondono alle relazioni tra i diversi livelli trofici (il verso della freccia indica il passaggio da un livello inferiore ad uno superiore); le frecce azzurre indicano le perdite di materiali sotto forma di escreti od essudati; in giallo sono evidenziati i flussi da materiale inorganico (nitrati NO_3 , ammoniaca - NH_4^+) a produttori primari; in rosso l'apporto energetico dal sole sotto forma di radiazione luminosa; in bianco le trasformazioni biochimiche del materiale organico detritico (particelle e sostanze disciolte, DOM)

■ I produttori primari: il fitoplancton

Nel Mar Ligure del largo i produttori primari (autotrofi, vedi scheda a pagg. 34-35) sono costituiti da organismi monocellulari molto semplici di dimensioni comprese tra 0,2 μm e 2 μm (batterioplancton o picoplancton autotrofo) ad organismi monocellulari più complessi da pochi micron a oltre 100 μm (nano e micro-fitoplancton). La varietà specifica è notevole.

Synechococcus è il principale costituente del picoplancton autotrofo (ciano-batteri), implicato nel ciclo biogeochimico dell'azoto grazie alla sua capacità di utilizzare l'azoto atmosferico e renderlo disponibile, oltre che a se stesso, alle altre tipologie di organismi autotrofi.

Il fitoplancton del Mar Ligure presenta una varietà assimilabile a quella riscontrata in altre aree del Mediterraneo, con una rilevante presenza di primnesiofite durante tutto l'anno ed un incremento nell'abbondanza di diatomee (fino al 30%) e nanoflagellati (fino al 40%) nei periodi di fioritura primaverile.

Tra le diatomee hanno notevole rilevanza le specie di grandi dimensioni quali *Chaetoceros* sp. (in particolare *Chaetoceros curvisetus*), *Skeletonema costatum*, *Nitzschia delicatissima*, *Leptocylindrus danicus* ed altre specie del genere *Thalassiosira*. Specie di diatomee di dimensioni intermedie sono invece *Nitzschia seriata*, *Asterionella japonica*, *Thalassiothrix frauenfeldii*, *Biddulphia mobiliensis*.



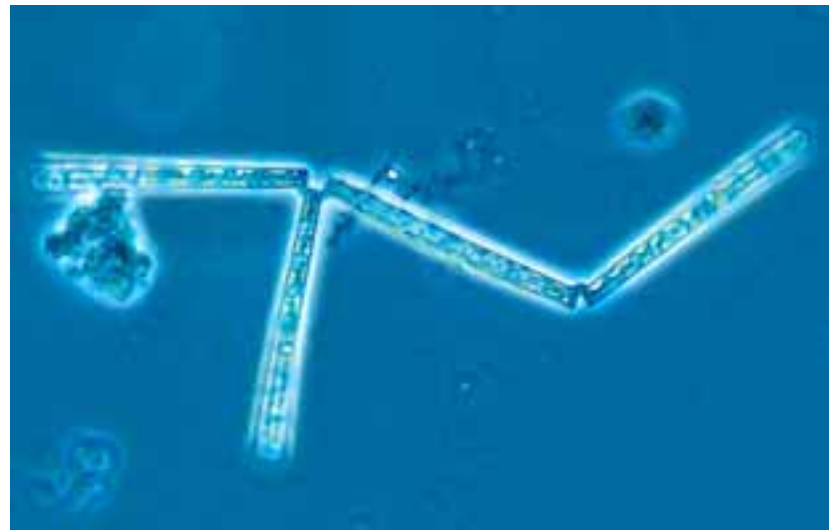
Colonia della diatomea *Chaetoceros curvisetus*

Tra i dinoflagellati sono da citare *Ceratium fusus*, *Ceratium furca*, e *Ceratium tripos*, oltre ai generi *Peridinium*, *Goniiodoma* e *Gonyaulax*.

Oltre ai già citati produttori primari, nel Mediterraneo nord occidentale i protozoi ciliati che contengono clorofilla e che possono effettuare la fotosintesi ammontano dal 20 al 50% della biomassa totale di tale gruppo. Generalmente questi organismi permangono nella zona sottosuperficiale e, benché abbiano la capacità di spostarsi autonomamente, le loro migrazioni sono dell'ordine della decina di metri, in concomitanza con le fluttuazioni del massimo di clorofilla-a.

Variazione stagionale e spaziale dei produttori primari: successioni e distribuzione verticale. Il mescolamento invernale che porta nello strato superficiale (eufotico, ovvero lo strato dove penetra luce sufficiente per i processi fotosintetici) acque ricche in nutrienti inorganici ed il crescere dell'irraggiamento solare favoriscono l'instaurarsi di fioriture fitoplanctoniche generalmente nei mesi di aprile e maggio. Rapidamente il consumo dei nutrienti inorganici e la maggiore stratificazione termica determinano una diminuzione della componente autotrofa, in concomitanza con variazioni delle caratteristiche meteomarine quali episodici eventi di vento intenso e forte copertura nuvolosa.

Tali condizioni si traducono, generalmente durante maggio e giugno, in una transizione verso l'oligotrofia estiva. I valori massimi di clorofilla-a tendono a



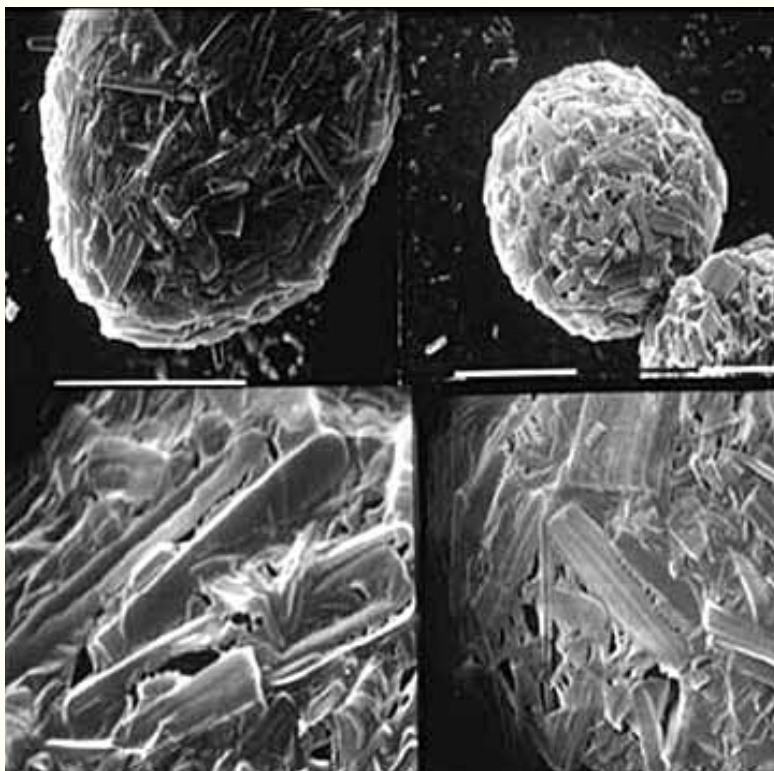
Diatomee della specie *Thalassiosira nitzschoides*

I boli fecali prodotti dallo zooplancton giocano un ruolo fondamentale nei flussi di materia dalla superficie al fondo dei mari. Le caratteristiche salienti di questo particolare tipo di particelle sono, generalmente, la notevole abbondanza e, quando presentano grandi dimensioni, alta velocità di sprofondamento che li rende efficienti vettori di materia ed energia verso la profondità.

La velocità di sedimentazione è un parametro importante per valutare il valore effettivo dei boli fecali nei flussi verticali di materia.

Minore è tale velocità maggiore è il

tempo di permanenza in colonna d'acqua e, pertanto, la possibilità che il bolo fecale possa essere consumato. La velocità di sedimentazione dipende da numerosi fattori ambientali e specifici dei boli fecali quali densità, dimensione e forma e presenza o assenza di una membrana (detta peritrofica) che ne aumenta la compattezza. I boli fecali del microplankton (protozoi e piccoli organismi pluricellulari) hanno, quindi, un ruolo minore nei flussi verticali di materia, e anche tra i diversi organismi di maggiori dimensioni esistono differenze sostanziali.

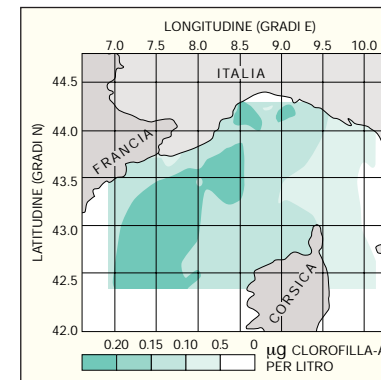


Microfotografie di boli fecali. Sono visibili i frustuli di diatomee all'interno della matrice

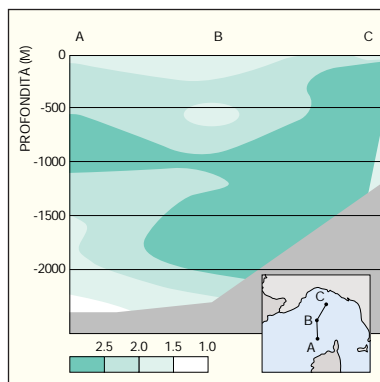
decrescere sensibilmente e repentinamente nel periodo di transizione (da 3 mg/m³ a meno di 1 mg/m³) allineandosi con i valori tipici del periodo oligotrofo. Inoltre, si assiste ad un passaggio da una comunità di organismi di grandi dimensioni (ad esempio diatomee) ad una caratterizzata da piccoli organismi (ad esempio i cianobatteri). La distribuzione verticale dei gruppi fitoplanctonici è prevalentemente definita dalle concentrazioni di nutrienti, in particolare dei fosfati, che costituiscono spesso il principale fattore limitante. Le diatomee, che necessitano di elevate concentrazioni di nutrienti, sono più abbondanti al di sotto del

massimo di clorofilla, cioè in acque dove il prelievo di nutrienti è stato minore. Le primnesiofite, meno limitate dal fosforo delle diatomee, dominano a livello del massimo di clorofilla, dove il fosforo è carente ma è presente ancora una concentrazione utile di nitrati, mentre i cianobatteri, meno esigenti e capaci di un maggiore adattamento ad elevato irraggiamento grazie a particolari pigmenti (ficobiliproteine), sono più abbondanti nei primi 20 m. Nella tarda primavera, quando le concentrazioni di sali nutritivi in superficie scendono sensibilmente, la crescita fitoplanctonica è limitata alle zone più profonde, dove il flusso di nitrati permette lo sviluppo e la luce non è ancora un fattore limitante. Questo fenomeno collabora, in sinergia con le modificazioni fisiche della colonna d'acqua, allo sprofondamento della quota del massimo di clorofilla.

Entità della produzione e della biomassa primarie. La produzione primaria del Mar Ligure del largo (in media per la zona illuminata) è stata valutata recentemente tra 86 e 232 g/cm² per anno, superiore a quanto riscontrato per l'area costiera ma nell'ambito di recenti valutazioni relative all'intero Mar Mediterraneo. La peculiare idrologia influisce in modo positivo sull'entità della biomassa e della produzione primarie. Il fronte Ligure-Provenzale, richiamando acqua intermedia ricca di nutrienti verso la superficie, sostiene la produzione per lunghi periodi e genera ampi gradienti orizzontali e verticali di materiali organici. Nel periodo primaverile (marzo-aprile) la zona frontale mostra valori sempre superiori (fino a 170 mg clorofilla-a/m²) alla media del Mediterraneo occidentale (25 mg clorofilla-a/m²). Anche in estate, quando i valori diventano uniformi in tutta l'area, si possono osservare incrementi nell'area frontale.



Valori medi di clorofilla-a nello strato illuminato (fino a 60-80 m), nel periodo agosto-settembre 2003; si nota un incremento a livello del fronte Ligure-Provenzale lungo l'arco costiero della Riviera di Ponente e della Costa Azzurra



Distribuzione verticale del rapporto proteine/carboidrati in un transetto tracciato dalla Liguria alla Corsica

Il flusso di materiali organici nel sistema pelagico: da produttori primari a consumatori e degradatori.

Lo spostamento della struttura della comunità verso un maggiore contributo di organismi di piccole dimensioni (ad esempio i cianobatteri) durante il periodo di transizione pre-oligotrofico ha importanti implicazioni ecologiche, influenzando sulla strutturazione dei livelli trofici superiori e sull'entità dei flussi verticali di materiali agli strati profondi. Ad un sistema primaverile basato sul rapporto tra diatomee produttrici e consumatori mesozooplanctonici (pic-

coli crostacei, celenterati ecc.), durante il periodo di transizione si affianca un sistema basato sui cianobatteri, i quali vengono efficientemente utilizzati dal microzooplancton a fini alimentari, in particolare protozoi ciliati che incrementano il loro consumo della produzione primaria dall'8 al 40%.

Durante il periodo di transizione è stato osservato che il flusso di materiale organico verso gli strati più profondi era, all'inizio del campionamento, circa il 6-14% della produzione primaria e solo l'1-2% al termine. Mentre nel periodo tardo primaverile il flusso di materiali al fondo è rilevante (40-50 mg/cm² al giorno) e costituito da cellule senescenti ed aggregate e da boli fecali (prodotti di scarto dello zooplancton, vedi scheda a pag. 38), nel periodo pre-oligotrofico tale flusso si riduce notevolmente (meno di 10 mg/cm² al giorno).

Il flusso di materiali al fondo non solo cambia quantitativamente, ma anche qualitativamente a causa dell'attività di consumo da parte degli organismi tanto nello strato superficiale che durante la discesa delle particelle verso il fondo.

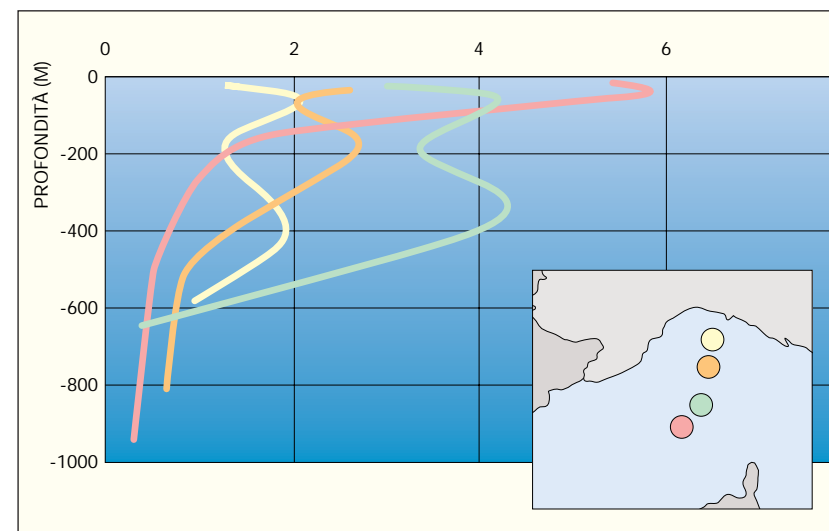
Questi processi tendono, infatti, a rimuovere i materiali più facilmente degradabili e/o digeribili, portando ad esempio a minori concentrazioni di proteine per un consumo attivo delle componenti azotate. Ciò comporta, generalmente, una pioggia verso il fondo di materiale organico poco appetibile. L'appetibilità del materiale organico può essere valutata in modi differenti, tra i quali i rapporti tra le diverse componenti chimiche e biochimiche. Tra i diversi indicatori riscontrabili in letteratura ampio uso hanno il rapporto tra contenuto in carbonio e in azoto (rapporto C/N) e quello tra proteine e carboidrati. Alcuni autori, valutando le variazioni con la profondità del rapporto C/N dell'area costiera del Mar Ligure durante l'autunno, hanno evidenziato un incremento (corrispondente ad una diminuita appetibilità del materiale organico) scen-

dendo in profondità, dove osservavano valori oltre 20 partendo da valori superficiali di 10-13. Nella zona centrale del bacino, invece, i movimenti delle masse d'acqua causano il trasferimento rapido di una quantità rilevante di materiali organici di recente produzione nelle acque più profonde, nella zona periferica del fronte. Questo fatto può incrementare il valore alimentare del materiale organico (come dedotto dal valore crescente del rapporto proteine: carboidrati passando dallo strato superficiale (valore 1,9) a quello profondo (valore 2,3), concedendo un maggiore beneficio alimentare agli organismi che lo consumano.

Da un punto di vista generale durante il periodo primaverile (marzo-aprile) ma anche durante l'estate il fronte gioca un ruolo di "chemostato" (sistema per il mantenimento in stato stazionario di una coltura di cellule), mantenendo il sistema fitoplanctonico in attività fornendolo di nutrienti inorganici, ed esportando orizzontalmente e verticalmente il materiale organico così prodotto.

Il ruolo dei batteri nei processi di trasformazione del materiale organico.

In mare i batteri sono i principali demolitori e rimineralizzatori del materiale organico, sia di quello disciolto (dimensioni inferiori a 0,4 µm) che particellato (dimensioni comprese tra 0,4 µm e 200 µm, vedi scheda a pag. 42). In Mar Ligure i batteri possono rappresentare, nelle zone oligotrofe di mare aperto, dall'8 al 40% del materiale particellato.

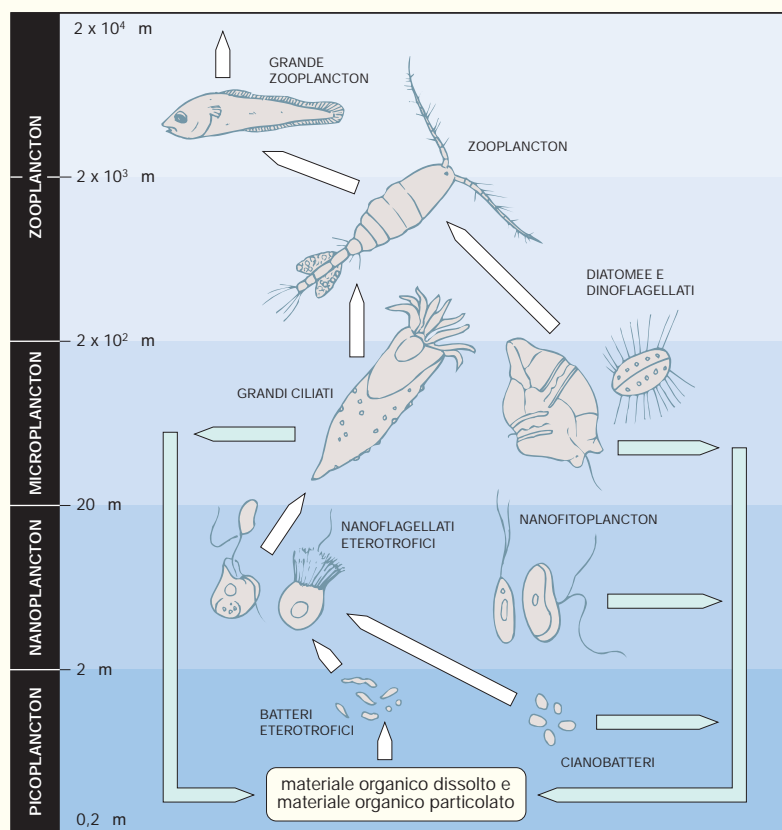


Profili verticali di attività microbica per la degradazione delle proteine (enzima leucina aminopeptidasi della frazione > 0,2 µm, n mol/lh, valori mediati del periodo primaverile ed estivo) nell'area del Golfo di Genova: nello strato profondo sono visibili, per alcune stazioni, gli incrementi di attività attorno ai 200 e 400 m

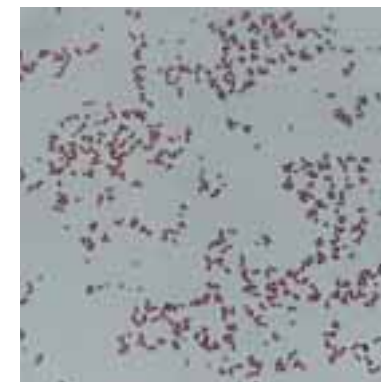
L'importanza dei batteri all'interno delle reti trofiche è un tema che si è grandemente sviluppato a partire dagli anni '80, con l'elaborazione del concetto di circuito microbico (in inglese: "microbial loop").

Il "microbial loop" si basa sul fatto che, nelle acque marine, una sconfinata riserva di energia e materiali si trova sotto forma di materiale organico disciolto, la cui taglia varia da dimensioni molecolari (aminoacidi, zuccheri semplici ecc.) a quelle dei colloidali fino al limite, arbitrario, di 0,45

µm. Questo materiale deriva dalle molteplici attività biotiche, spesso sotto forma di scarto ed escreto. Gli unici organismi in grado di utilizzare efficientemente questa riserva sono i batteri, che quindi si pongono in primo piano come utilizzatori e riciclatori di tutto quello che i livelli trofici superiori tendono a disperdere. Essi, infatti, utilizzano questo materiale anche per la propria crescita e replicazione, trasformando quindi sostanze inutilizzabili in biomassa di elevato valore alimentare.



I processi degradativi e rimineralizzativi dei batteri sono effettuati mediante l'uso di enzimi particolari, che attaccano le diverse matrici organiche in modo da staccare piccoli frammenti (monomeri) che possono essere introdotti nella cellula facilmente ed essere utilizzati per il metabolismo e l'accrescimento, rilasciando composti inorganici di rifiuto come ammoniaca ed anidride carbonica. La versatilità che i batteri dimostrano nella sintesi degli enzimi deputati alla degradazione del materiale organico, generalmente



Batteri marini

esposti sulla superficie cellulare e definiti ecto-enzimi, la rapidità ed efficienza del metabolismo e la presenza di questi micro-organismi in tutte le condizioni ambientali, fanno sì che i processi del circuito microbico (vedi scheda a pag. 42) assumano un'importanza determinante nel bilancio dei materiali nelle reti alimentari.

Generalmente i processi di degradazione e rimineralizzazione seguono un andamento decrescente con la profondità, essendo relazionati tanto alla biomassa batterica presente che al materiale detritico degradabile, i quali mostrano abbondanze e concentrazioni superiori nello strato superficiale. Tale andamento non è sempre seguito fedelmente nel Mar Ligure, presentando massimi di attività a 200-400 m nella zona periferica del fronte. L'incremento di attività implica l'accumulo di comunità microbiche in uno strato dove la produzione primaria è nulla e la produzione secondaria modesta. Tuttavia, alcune ricerche hanno evidenziato nelle stesse aree da 370 ad 800 m di profondità la presenza di popolazioni macroplanktoniche e micronectoniche che potrebbero sostenere le sviluppate comunità microbiche. Recenti studi suggeriscono una relazione tra i massimi subsuperficiali di attività microbiche e la migrazione zooplanktonica, che libera nella colonna d'acqua materiali come i boli fecali.

I valori di attività microbica nella colonna d'acqua mostrano che la potenzialità di degradazione dei microrganismi che vivono nelle masse d'acqua profonde è effettivamente rilevante, benché tanto la sostanza organica disponibile che le abbondanze batteriche siano inferiori a quelle della zona eufotica. Il rapporto tra i tassi di degradazione per via enzimatica e la produzione batterica evidenziano, inoltre, che i batteri che vivono negli strati profondi sono maggiormente adattati di quelli della superficie al consumo di materiali ad alto peso molecolare.

Mesozooplankton

PRISCILLA LICANDRO · CRISTINA MISIC · MAURO FABIANO

■ I consumatori del plancton auto-trofo: gli organismi zooplanctonici

Zooplankton nelle acque d'altura.

La distribuzione dello zooplankton (vedi scheda a pagg. 46-47) nel Mar Ligure è strettamente legata sia alla profondità del fondale che alle caratteristiche idrologiche del bacino, in particolare la circolazione ciclonica e la presenza del fronte Ligure-Provenzale che hanno significativi effetti sulla produzione primaria e sulla distribuzione spaziale dei popolamenti pelagici.

Le informazioni sullo zooplankton del Mar Ligure d'altura sono ad oggi relativamente scarse. Alcuni studi svolti da ricercatori d'oltralpe nell'area compresa

tra la riviera francese e la Corsica hanno analizzato nel dettaglio la distribuzione del popolamento a copepodi, gruppo numericamente dominante del meso-zooplankton (ovvero lo zooplankton pescato con rete avente maglia di 200 μm) in questa zona. I risultati hanno mostrato come per alcune specie quali ad esempio *Temora stylifera*, il fronte sia una barriera talmente invalicabile da limitarne la distribuzione alle sole acque costiere, mentre per altre, come *Calanus helgolandicus*, la zona frontale ed i vortici ad essa associati ricchi di sostanze nutritive e di fitoplancton, rappresentino una sorta di "nursery" dove riprodursi e svolgere le prime delicate fasi dello sviluppo.

Il quadro generale che è emerso dall'analisi di una campagna oceanografica (dicembre 1990) condotta su un reticolo di stazioni che copre tutta la zona del Mar Ligure antistante la costa italiana, mostra che a fine autunno la biomassa del meso-zooplankton in peso secco (si intende con peso secco la biomassa ottenuta pesando con una bilancia di precisione lo zooplankton precedentemente essiccato) presenta in tutta l'area valori compresi tra 0,8 e 4,2 mg/m^3 .



Echinopluteo, larva di echinoderma



Il termine plancton dal greco "Planktōs" che significa "ciò che erra passivamente" è stato creato nel 1887 dallo studioso tedesco Hensen il quale aveva definito il plancton come "tutto ciò che galleggia nell'acqua". Volendo dare una definizione più precisa di ciò che è il plancton si può dire che esso raggruppa tutti gli organismi viventi, di natura vegetale (fitoplancton) ed animale (zooplancton), che vivono costantemente (oloplancton) o solo durante una fase della loro vita (meroplancton) nelle acque, in seno alle quali vengono passivamente trasportati. Essi possono tuttavia compiere piccoli spostamenti autonomi con i quali non riescono a contrastare il flusso delle correnti.

Con il termine "zooplancton" si intende una quantità di taxa zoologici con una varietà notevole di forme, dimensioni e modalità di funzionamento. Volendo generalizzare in base alle caratteristiche più evidenti all'occhio di un osservatore è possibile distinguere lo zooplancton "a crostacei" da quello "gelatinoso", anche

se esistono altre varietà di organismi (ad esempio molluschi pteropodi). Il primo raggruppa gli organismi provvisti di un esoscheletro sclerificato costituito principalmente da chitina. Nonostante le grandi diversità morfologiche, la maggior parte dei crostacei ha uno schema comune di sviluppo che prevede delle metamorfosi da uno stadio larvale all'altro mediante una serie di mute. Durante la muta il vecchio esoscheletro si stacca dall'epidermide e viene eliminato ("exuvia"); in seguito il corpo appare molle, fino a che la nuova cuticola si sclerifica. In questo periodo l'animale può crescere; l'accrescimento si svolge perciò a sbalzi coincidenti con le mute.

In mare lo zooplancton "a crostacei" è costituito soprattutto da copepod, da cladoceri e da alcune larve meroplanctoniche (soprattutto di cirripedi e decapodi). Questi gruppi sono i principali componenti del "mesozooplancton" ovvero del plancton di misura compresa tra 0.2 mm e 20 mm.

Con zooplancton "gelatinoso" si intendono invece tutti quegli organismi accomunati da grande fragilità e trasparenza dovute ad un elevato tenore di acqua presente nei tessuti (sempre più del 95% e fino a più del 99% del loro peso). Grazie a questa peculiarità gli organismi gelatinosi hanno una densità prossima a quella dell'acqua di mare, e ciò facilita il loro galleggiamento. Lo zooplancton gelatinoso è rappresentato essenzialmente da meduse, sifonofori, ctenofori, chetognati e tunicati, quindi da organismi che possono essere estremamente semplici (es. meduse e sifonofori, ctenofori) o invece molto più complessi (appendicularie, salpe e dolioli) dal punto di vista evolutivo. Gli organismi gelatinosi sono i principali componenti del "macrozooplancton" (lunghezza compresa tra 2-20 cm) ma sono presenti in grande quantità anche nel mesozooplancton.

Sia nello zooplancton a crostacei che in quello gelatinoso si possono trovare

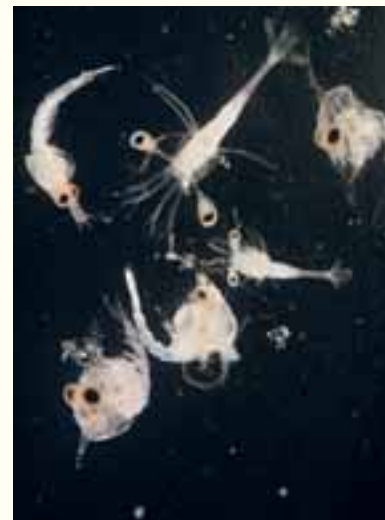
diverse tipologie di cicli vitali caratterizzati da una riproduzione asessuata (dove gli individui si riproducono per gemmazione o partenogenesi) o sessuata (gameti femminili vengono fecondati dai gameti maschili) o entrambe. Nel caso di riproduzione sessuata si rivelano fondamentali le condizioni ambientali (ad esempio temperatura dell'acqua, disponibilità di cibo) al momento della schiusa delle uova e durante le prime fasi dello sviluppo. Se tali condizioni si allontanano troppo dalle preferenze della specie, il compimento completo del ciclo riproduttivo potrebbe risultare compromesso. Diversamente, i tempi che caratterizzano una riproduzione asessuata sono molto più veloci permettendo alle popolazioni di specie che hanno "adottato" questa strategia riproduttiva di raggiungere rapidamente concentrazioni molto elevate in presenza di condizioni ambientali favorevoli. Questo spiega in parte le pululazioni unispecifiche di organismi che a volte si osservano nello zooplancton.



Copepode *Candacia armata*



Cladocero *Evadne tergestina*



Larve di crostacei



Salpe (*Salpa* sp.)



Il copepode ciclopoide *Oithona helgolandica*

La maggior povertà di biomassa si localizza sugli alti fondali nella zona centro-occidentale del bacino mentre valori più alti interessano i margini di questa zona ed anche tutto il settore orientale del Mar Ligure dove i fondali sono minori di 500 m.

La distribuzione delle concentrazioni degli organismi zooplanctonici ricalca quella della biomassa secca del mesozooplankton. Se si esclude la platea che è la zona più ricca in assoluto, i maggiori addensamenti di organismi si trovano al margine del circuito ciclonico ed in particolare nella zona del fronte al largo della costa della Liguria occidentale. Anche dal punto di vista della comunità degli organismi è apparsa una chiara separazione tra

le diverse zone del bacino. La comunità è infatti più diversificata sulla platea e nella zona del fronte. Però essa è, in ogni settore, composta principalmente dai copepodi e le forme dominanti sono sempre i generi *Clausocalanus* e *Oithona*.

In dicembre le acque d'altura del Mar Ligure sono colonizzate dalla specie *Clausocalanus paululus*, la più piccola tra le specie di *Clausocalanus* rinvenute (*C. pergens*, *C. furcatus*, *C. arcuicornis*, *C. mastigophorus*) e l'unica presente in tutto il bacino, incluse le acque estremamente povere al centro del circuito ciclonico. Le forme adulte di *C. paululus* sono accompagnate da numerose forme giovanili ad indicare che questa specie si riproduce ed è ben adattata alle acque oligotrofe povere di fitoplancton quali sono quelle liguri a fine autunno, quando l'energia è canalizzata nella rete alimentare pelagica soprattutto attraverso i batteri ed il detrito organico.

Il genere *Oithona* viene secondo in importanza nel Mar Ligure d'altura seguito a distanza da *Oncaea*, due copepodi ubiquitari presenti in tutti gli oceani e a tutte le latitudini e probabilmente, come numero, i più abbondanti metazoi del mare.

Seconde in importanza dopo i copepodi sono le appendicolarie, piccoli tunicati che si nutrono di sostanza in particelle finissime che assumono filtrando grandi quantità di acqua marina attraverso un complesso apparato di filtrazione. La biologia, le basse necessità metaboliche ed il regime alimentare delle forme dominanti nel plancton d'altura - *C. paululus*, *Oithona* e appendi-

colarie - possono spiegare la loro diffusione nelle acque oligotrofe del Mar Ligure a fine autunno.

L'analisi dei dati relativi a campagne oceanografiche svolte in Mar Ligure in altri momenti stagionali (maggio, luglio, ottobre) ha mostrato che il popolamento mesozooplanktonico d'altura è sempre dominato dal genere *Clausocalanus* il quale rappresenta mediamente in ogni campagna dal 50 al 60% del numero di organismi. Questo ha portato a definire il Mar Ligure d'altura un "bacino a *Clausocalanus*".

All'interno del genere dominano sempre le forme giovanili (50-65% del numero totale di individui), indicando che *Clausocalanus* si riproduce in tutte le stagioni. Due specie sono risultate alternarsi in dominanza nel corso dell'anno, *C. paululus* (nei mesi di luglio e dicembre) e *C. pergens* (nei mesi di maggio e ottobre).

Durante i mesi primaverili specie di taglia relativamente più grande (*Centropages typicus*, *Pleuromamma gracilis*, *Mesocalanus tenuicornis*, *Heterorhabdus papilliger*, *Euchirella rostrata*) sono abbondanti nella zona centrale, più ricca dal punto di vista trofico in sali nutritivi e biomassa fitoplanctonica, mentre solo *C. typicus* domina sull'ampia platea continentale nel settore di levante del bacino.

Distribuzione fortemente eterogenea è stata notata anche per il macroplankton (ovvero lo zooplankton raccolto con rete avente maglia di circa 1 cm) sulle trasversali costa-largo effettuate in differenti stagioni nel bacino ligure. In linea generale la zona della divergenza è caratterizzata da un popolamento macroplanktonico scarso in quantità e qualitativamente povero, mentre lungo il ramo periferico del circuito ciclonico o nella zona di contatto tra questo ed il centro della divergenza il popolamento è più abbondante e più ricco di specie. Alcune forme, come i molluschi pteropodi tecosomi, appaiono strettamente legate alle acque situate alla periferia del circuito ciclonico, dove si trovano in grandi quantità sia in estate che in autunno, in contrasto con la povertà di individui e di specie osservata nell'asse della divergenza. Grande abbondanza di macroplankton gelatinoso e di micronecton è stata notata in estate nella zona frontale.

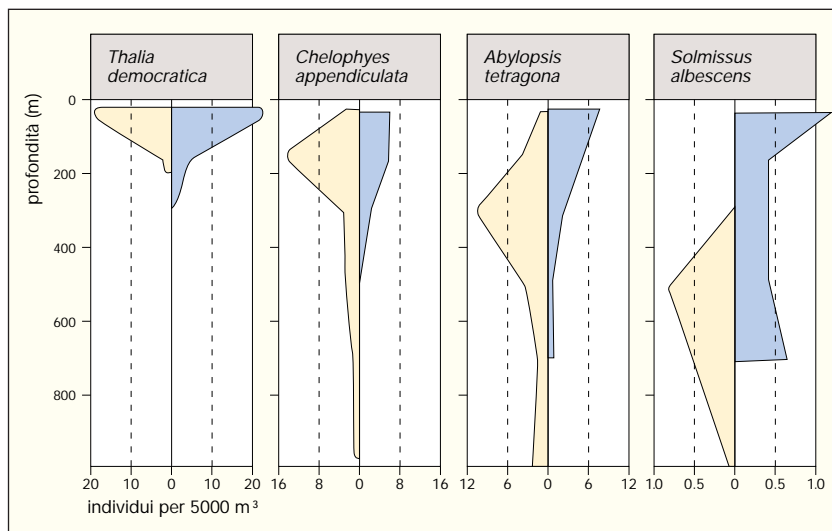


Il tunicato *Pyrosoma atlanticum*

Distribuzione verticale dello zooplancton. La quantità dello zooplancton totale e delle singole specie che lo compongono, varia al variare della profondità. L'analisi di una colonna d'acqua profonda 0-1900 m esaminata nel tardo autunno al largo di Albenga (Liguria occidentale) ha mostrato che il 64% del peso secco ed il 79% del numero di copepodi presenti sull'intera colonna era concentrato nei primi 200 m d'acqua, dove sono addensati gli organismi autotrofi. La biomassa secca ha mostrato successive forti contrazioni alle profondità di 50, 200 e 1000 m passando dai valori piuttosto modesti, tipici del Mar Ligure in dicembre in acque più superficiali (2.4 mg/m³ nello strato 0-50 m), a quantità molto scarse nelle acque più profonde (0.06 mg/m³ nello strato 1000-1900 m).

Anche se il popolamento nel suo complesso era addensato in acque superficiali le singole specie di copepodi hanno mostrato una diversa distribuzione verticale. Infatti poche specie dei generi *Paracalanus*, *Clausocalanus* ed *Oithona* erano addensate nei primi 50 m d'acqua; numerose altre forme erano più sparse al di sotto di 50 m di profondità tra cui ad esempio individui del genere *Oncaea*, *Lucicutia* e stadi giovanili di scolecitricidi; o ancora vi erano copepodi presenti dalla superficie a 1000 m ed oltre di profondità quali *Calanus helgolandicus*, *Pleuromamma abdominalis* e *Pleuromamma gracilis*.

La distribuzione verticale dello zooplancton è notoriamente influenzata dalle migrazioni verticali degli organismi che lo compongono. Alcune specie zooplanctoniche, infatti, sono in grado di effettuare significativi spostamenti nel-



Distribuzione verticale media di giorno (giallo) e notte (blu) di alcune specie 6 miglia a largo di un'area costiera

la colonna d'acqua, risalendo in superficie o sprofondando a livelli sottosuperficiali a seconda delle diverse ore del giorno (migrazioni nictemerali) o a seconda della stagione e del periodo riproduttivo (migrazioni stagionali e ontogenetiche).

Le più ampie migrazioni verticali dello zooplancton si svolgono nelle acque d'altura che, essendo caratterizzate nell'area centro-occidentale del bacino ligure da profondità sempre superiori ai 500 m, permettono a varie specie di svolgere migrazioni verticali fino ed oltre la zona mesopelagica (200-700 m). In particolare sono state documentate, dai numerosi studi svolti dai ricercatori francesi, migrazioni ontogenetiche o stagionali per copepodi (*Calanus helgolandicus*, *Neocalanus gracilis*, *Euchaeta acuta* e *Pleuromamma abdominalis*) e per pteropodi (*Cavolinia inflexa*, *Clio pyramidata* e *Cymbulia peronii*).

Migrazioni giornaliere sono state invece osservate in alcuni sifonofori (*Abylopsis tetragona* e *Chelophyes appendiculata*), nella medusa *Solmissus albescens* e nel tunicato *Pyrosoma atlanticum* che è in grado di spostarsi di più di 500 m in verticale nell'arco delle 24 ore.

Per alcune specie sono stati osservati spostamenti giornalieri che determinano una distribuzione cosiddetta "bimodale", con una parte della popolazione che raggiunge la superficie durante le ore notturne ed un'altra parte che contemporaneamente si dispone a maggiori profondità. Ad esempio una distribuzione verticale bimodale è stata osservata in Mar Ligure per il sifonoforo *Lensia conoidea*.



Il mollusco pteropode scarpetta della Madonna (*Cymbulia peronii*)