

I MOVIMENTI DEL MARE E I PARAMETRI AMBIENTALI



In questo capitolo scopriremo:

- ✓ quali sono i principali movimenti del mare
- ✓ da cosa sono generate le correnti marine
- ✓ le caratteristiche delle maree
- ✓ il moto ondoso
- ✓ le caratteristiche fisico chimiche delle acque marine
- ✓ i movimenti del mare e le sue caratteristiche all'interno dell'Area Marina Protetta di "Portofino"

Prima sezione

I moti del mare

Il Promontorio di Portofino è un imponente sperone di roccia che divide il Golfo Tigullio dal Golfo Paradiso. La sua collocazione particolare fa sì che correnti e moto ondoso differiscano da una zona all'altra dell'area marina protetta.

La vita marina dipende in gran parte dai moti del mare, soprattutto dalle correnti che, nella zona soggetta a tutela, apportano una grande quantità di plancton, nutrimento essenziale per gran parte degli organismi bentonici come le gorgonie. Una delle zone in cui le correnti marine sono più intense è quella di Punta del Faro di Portofino dove, a partire dagli anni novanta, il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova con cadenza quindicinale rileva alcuni dati fisico chimici e biologici sulla colonna d'acqua. È ovvio che le ricerche vengono effettuate anche in altri siti in cui esistono condizioni diverse per effettuare studi comparativi.

Esistono differenze evidenti tra le correnti che si instaurano in mare a livello superficiale e quelle di mare profondo che risultano più continue. Ovvio la considerazione che le correnti di superficie sono legate in massima parte ai venti, mentre quelle più profonde in gran parte a differenze di temperatura o di salinità tra masse d'acqua. Queste differenze causano, tra l'altro, anche l'instaurarsi di correnti verticali.

I nutrienti e i piccoli organismi che non sono in grado di opporsi alle correnti viaggiano per chilometri all'interno di esse finendo per alimentare direttamente o indirettamente tutti gli animali marini. Da questa semplice considerazione si comprende che alterazioni delle correnti potrebbero causare danni enormi alla vita marina.

La marea lungo le coste dell'area marina protetta non ha grandi oscillazioni, provoca solo limitate variazioni del livello del mare. Tuttavia, come si avrà modo di constatare all'interno del capitolo relativo alla vita negli ambienti costieri, i movimenti di marea sono essenziali per la sopravvivenza di molti organismi.

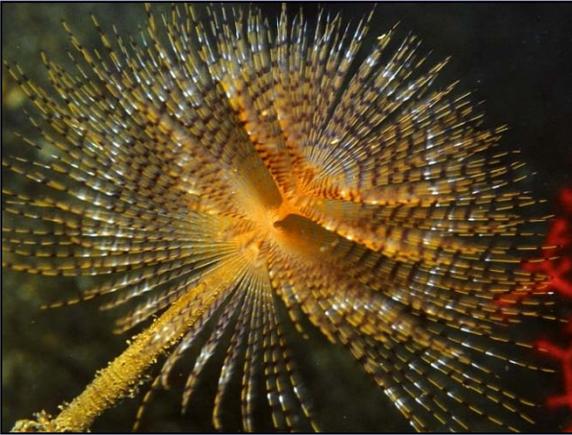
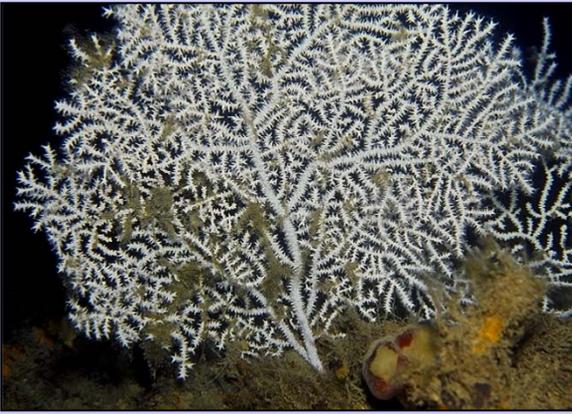
Anche il moto ondoso riveste importanza per gli ambienti marini e produce il rimescolamento delle acque superficiali con quelle più profonde. Generalmente dopo forti mareggiate si ha un'ossigenazione del mare, in quanto le onde



1) In alto: un'onda si infrange sulla costa.

2) Al centro: la costa del promontorio si noti la limitata zona di marea.

3) In basso: la zona di marea (frangia intermareale).



Alcuni animali marini sfruttano i movimenti del mare per sopravvivere, altri ne sono trasportati non potendovisi opporre.

4) In alto: una gorgonia bianca, orientata con il suo "ventaglio" perpendicolarmente alla direzione della corrente, così da poter catturare il plancton.

5) Al centro: un anellide polichete che estroflette alcune appendici per respirare e catturare piccoli organismi trasportati dai movimenti del mare.

6) In basso una medusa che, pur avendo moto proprio, non riesce ad opporsi alle correnti finendo talvolta spiaggiata.

"catturano" l'ossigeno atmosferico e lo rendono disponibile nelle acque. Si ricorda comunque che l'ossigenazione delle acque marine è in realtà effettuata soprattutto dai vegetali marini.

Spesso dopo lunghi periodi di "bonaccia" e di riscaldamento del mare, soprattutto in coincidenza con la stagione estiva, possono formarsi sopra agli organismi bentonici sessili, cioè fissati al substrato, strati di alghe mucillaginose, dette volgarmente "mucillagini", antiestetiche e dannose soprattutto per le gorgonie. Le mareggiate in questo caso svolgono un'altra importante funzione perché sono in grado di "ripulire" gli organismi e rendere limpide le acque.

Il moto continuo del mare anche in superficie apporta inoltre continuo nutrimento ad animali costieri come i mitili consentendone la sopravvivenza.

Le Correnti marine

Le principali correnti marine, presenti in tutti i mari, possono in qualche modo essere paragonate a fiumi, che si muovono con velocità lenta ma costante, scorrendo in un alveo inesistente, e le loro acque sono diverse da quelle che le circondano per temperatura, salinità e spesso anche per "colore" (più o meno torbide). Mentre il moto ondoso è un movimento non costante legato ai venti che interessa la porzione più superficiale del mare e non trasporta particelle d'acqua, ma le fa oscillare intorno ad una posizione centrale, le correnti marine sono movimenti costanti che spostano spesso per notevoli distanze grandi masse d'acqua.

Le correnti sono quindi movimenti di masse d'acqua che si originano per ripristinare condizioni di equilibrio tra zone diverse di mare. Nelle acque marine vi sono diversi fattori che possono variare, come ad esempio la salinità e la temperatura, che determinano variazioni di densità. Quando esistono ad esempio differenze di temperatura tra due masse d'acqua può accadere che l'acqua più calda e meno densa scivoli verso quella più fredda e densa. Si attivano così flussi di liquido, influenzati anche da altre forze tra cui quella derivante dalla rotazione terrestre, in grado di trasportare in zone diverse quanto le correnti contengono in sospensione.

La forma delle coste può influenzare le correnti causandone alterazione di direzione e forza. Le acque non potendo circolare liberamente possono determinare, nel punto in cui si ammassano, un leggero sollevamento del livello del mare.

Dove invece, come ad esempio vicino alla costa, vengono spostate masse d'acqua superficiali (azione del vento che spira dalla costa verso il mare aperto) può crearsi un movimento ascensionale di acque profonde (upwelling).

Quando le acque si raffreddano tendono scendere in profondità. Le variazioni di temperatura più che essere legate all'alternanza giorno/notte sono dovute all'avvicinarsi delle stagioni.

I movimenti delle acque possono essere anche piuttosto complessi. Ad esempio acque più salate e più calde si spostano verso basse latitudini e in queste zone tendono a raffreddarsi. Giunte alla stessa temperatura delle acque circostanti la loro maggior salinità le rende più dense e ne causa lo scivolamento in profondità.

Si comprende facilmente quindi come il sistema delle correnti sia influenzato da fattori diversi, ma risulta essenziale perché non solo trasporta organismi in zone anche molto distanti, ma anche sostanze chimiche e ioni, importanti per la vita del mare, come i fosfati. Si possono usare diversi criteri per classificare le correnti marine:

- 1) A seconda delle cause che le determinano;
- 2) In relazione alla loro profondità;
- 3) In base alla temperatura delle loro acque.

In base alle cause si distinguono:

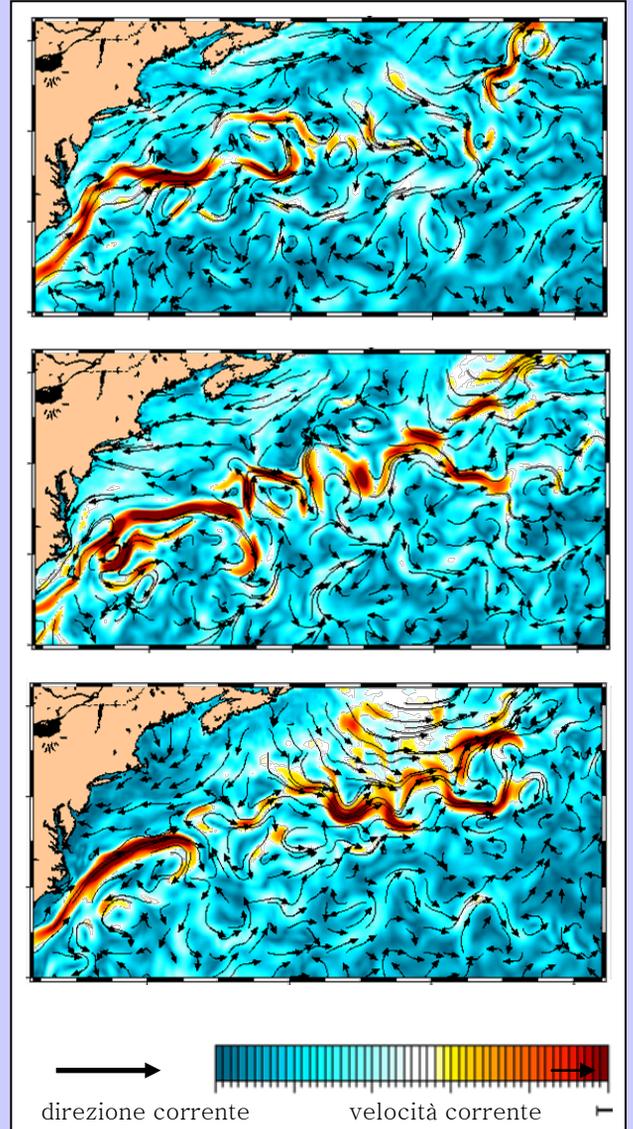
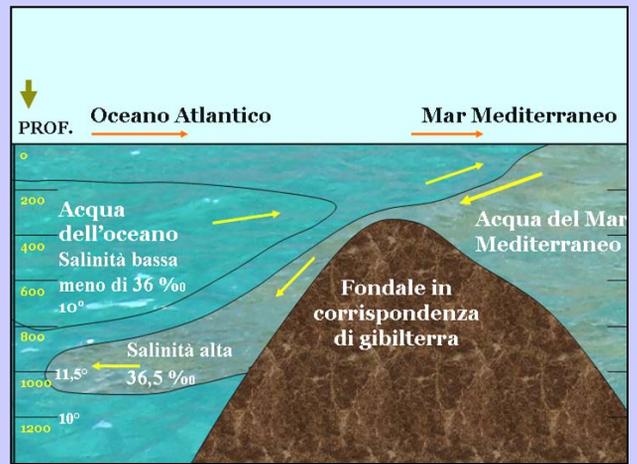
Correnti di gradiente

Sono causate da differenze di pressione sulla superficie del mare o anche da differenze di densità tra masse d'acqua contigue.

Si formano quando esistono dislivelli della superficie delle acque causati dall'azione del vento, o perché masse d'acqua vicine hanno diversa temperatura o salinità. Le correnti di gradiente che si formano per ristabilire le condizioni di equilibrio (superficie orizzontale, identica salinità e temperatura) sono generalmente insignificanti.

Vicino alla costa, a causa di venti sostenuti, possono accumularsi grandi masse d'acqua che, non potendo ritornare al largo a causa del vento contrario, originano correnti di una certa entità che scorrono parallele alla costa.

Le correnti di gradiente che si originano quando si è in presenza di masse d'acqua adiacenti con differenti densità si formano generalmente più in profondità rispetto a quelle causate dal vento



7) Sopra: lo scorrimento delle masse d'acqua a Gibilterra.

8) In basso: alcune cartine che evidenziano la velocità della Corrente del Golfo (rosso/mattone velocità max) nel giorno 15 marzo; la prima carta in basso è relativa all'anno 2002 e la seconda all'anno 2005 e la terza al 2007. Si noti che in alcuni tratti del percorso raffigurato nelle carte più recenti, la corrente ha diminuito la sua velocità. Materiale dal sito www.nrlssc.navy.mil, dei laboratori di ricerca navale degli Stati Uniti.

Gli effetti dell'inquinamento sulla Corrente del Golfo

La Corrente del Golfo forma una circolazione di acque che, dal Golfo del Messico, arriva a lambire le coste delle isole britanniche sino all'Islanda e oltre. Dal centro America l'acqua più calda e meno salata che è anche più leggera forma un flusso superficiale e durante la sua corsa cede calore all'atmosfera e alle terre vicine. In corrispondenza del nord Europa l'acqua, raffreddata completamente, è, rispetto alla circostante, molto più salata e quindi più densa e pesante cosicché "sprofonda" muovendosi in senso contrario senza, ovviamente, raffreddare l'atmosfera.

È opinione comune di alcuni studiosi che la Corrente del Golfo possa diminuire gradualmente la sua velocità sino a scomparire definitivamente se non si riusciranno a ridurre le emissioni di CO₂ nell'atmosfera; vediamo nello specifico cosa è stato ipotizzato. Lo scioglimento dei ghiacci dovuto al generale riscaldamento della crosta terrestre e causato dall'effetto serra porterà ad un aumento di acqua fredda negli oceani. Mano a mano che tale fenomeno aumenterà, l'acqua in eccesso, non salata, farà diminuire la salinità di quella che origina la Corrente del Golfo, rallentando la velocità e la consistenza della corrente calda. Già oggi alcuni studi confermano che la salinità in prossimità delle coste scozzesi è in costante diminuzione.

Gli effetti della Corrente del Golfo consentono alle isole britanniche di fruire di inverni miti.

Se venisse annullata la corrente fra un centinaio di anni la Gran Bretagna avrebbe un clima rigido del tutto simile a quello islandese!



9) Il Kilimanjaro in Africa fotografato nell'anno 1993 e nell'anno 2000. Anche se la differenza tra un anno e l'altro può essere dovuta a variazioni periodiche è comunque evidente la regressione del ghiacciaio sulla cima del monte.

Correnti di deriva

Queste correnti si formano quando masse d'aria, spinte da venti costanti, trascinano masse d'acqua adiacenti grazie all'attrito.

Questo è quanto succede, per esempio, nel caso della corrente nord equatoriale causata dagli Alisei, venti costanti equatoriali. Essa è deviata verso nord dal margine settentrionale del continente Sudamericano e confluisce nel Golfo del Messico da dove le acque defluiscono nuovamente nell'Atlantico formando la calda corrente del Golfo, che, da quel momento in poi, diventa una corrente che si muove verso latitudini più elevate, in grado di esercitare la ben nota azione mitigatrice sul clima dei paesi del nord Europa affacciati sull'Atlantico.

Appare ovvio che la direzione delle correnti di deriva è la stessa in cui spirava il vento. Gli strati di acqua superficiale a contatto con le masse d'aria in movimento vengono trascinati con maggiore intensità; sempre meno quelli che si trovano via via più in profondità che avranno anche direzione più varia.

il movimento delle acque che origina la corrente marina ha inizio in ritardo rispetto al momento in cui inizia a spirare il vento. Inoltre la corrente raggiunge la velocità di regime in modo graduale aumentando lentamente la sua velocità.

Possono essere necessari anche due giorni perché una corrente generata da venti sostenuti arrivi alla velocità di regime!

La velocità della corrente che si genera in questo modo può dipendere da molti fattori. In primo luogo l'assenza di ostacoli nello specchio acqueo dove si sta originando la corrente. La presenza di limitazioni impedisce che il flusso d'acqua raggiunga la velocità di regime, indicativamente 60-70 volte inferiore alla velocità del vento che l'ha generata.

Correnti inerziali

Quando cessa una forza di gradiente che ha scatenato un flusso d'acqua, per nuove condizioni come l'instaurarsi di un vento che livella nuovamente la superficie del mare, si manifestano correnti inerziali sostenute dalle forze di rotazione terrestre (f. geostrofica). Le correnti inerziali sono pertanto correnti che tendono a ruotare, e sono frequenti in bacini costieri o comunque in specchi acquei dove mutano spesso le condizioni idrologiche e meteorologiche.

L'intensità di queste correnti è proporzionale alla velocità iniziale e può arrivare anche a 10/30 cm/sec.

Correnti di marea

A differenza di quelle di gradiente e di deriva si tratta di correnti periodiche che si possono sovrapporre ad altri flussi, amplificandone o riducendone l'effetto. Ovviamente sono strettamente legate agli innalzamenti ed agli abbassamenti del livello del mare, ma il loro moto risulta sfasato rispetto a questi movimenti. Le correnti di marea coinvolgono tutta la massa d'acqua, dalla superficie al fondo, e risentono anch'esse della forza geostrofica, tendendo a ruotare in senso orizzontale. La loro velocità è bassa in mare aperto mentre, man mano che si giunge in prossimità di canali o bassi fondali, aumenta considerevolmente, sino a qualche metro al secondo.

In base alla profondità si distinguono:

Correnti superficiali

Sono correnti che si muovono entro i 200 metri di profondità. Tra le più note e studiate vi è ancora la Corrente del Golfo, quella del Labrador e quella di Humboldt.

Correnti profonde

Vengono ulteriormente classificate come **interne**, se interessano lo strato d'acqua al di sotto dei 200 metri di profondità, e **di fondo** se scorrono vicino al fondale.

Le correnti profonde sono spostamenti di acqua molto lenti e non sempre facili da studiare; una corrente profonda, ad esempio, esce dal Mediterraneo verso l'Atlantico attraverso lo Stretto di Gibilterra.

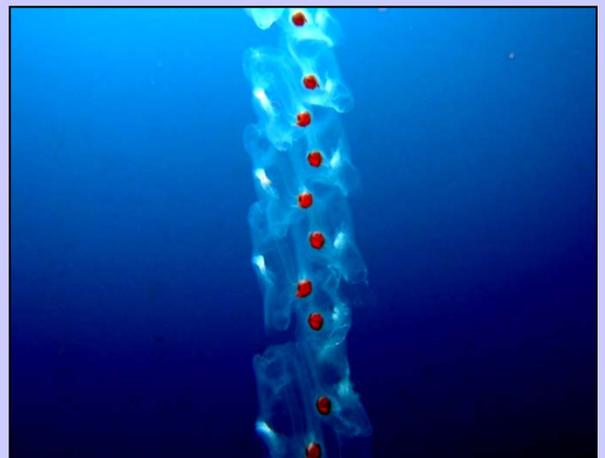
In base alla temperatura si distinguono:

Correnti calde o fredde

Le correnti calde sono quelle che hanno temperatura superiore a quella delle acque circostanti. Le fredde hanno invece temperatura inferiore a quella delle acque circostanti.

Le correnti oceaniche

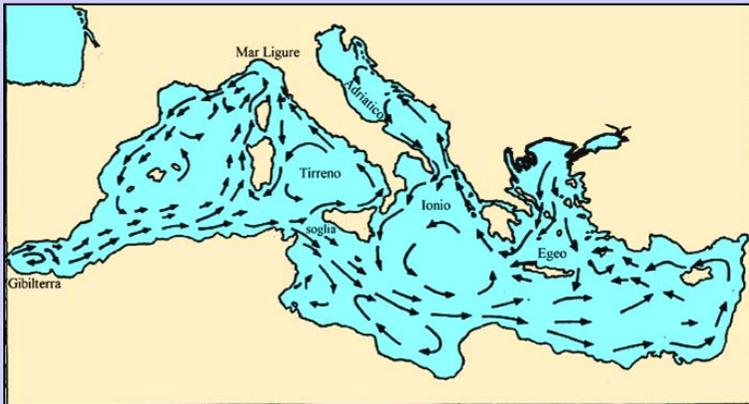
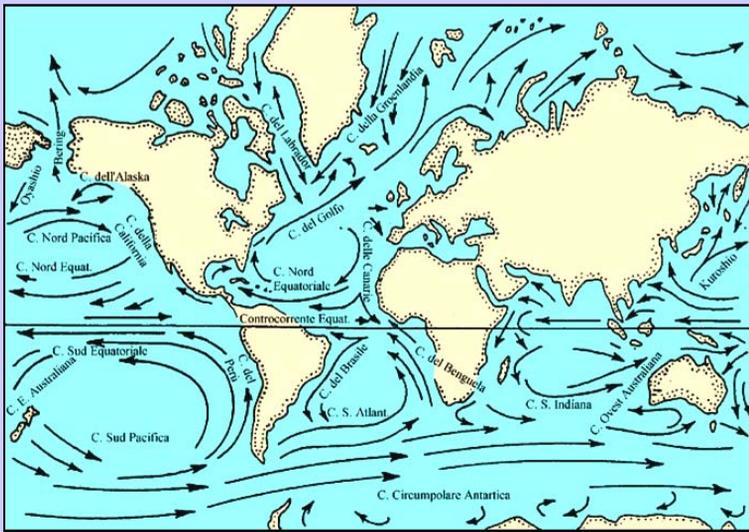
Le correnti marine superficiali determinano il complesso sistema della circolazione oceanica



Le correnti marine trasportano una grandissima quantità di organismi planctonici.

10 e 11) Nelle due immagini in alto si può osservare un fondale a - 70 metri ricco di gorgonie. La loro sopravvivenza dipende proprio dalle correnti che scorrono in profondità e trasportano plancton in abbondanza, i cui organismi, mescolati a residui organici di diverso tipo, sono visibili nelle immagini come macchioline bianche.

12) Nella foto in basso si osserva una colonia di salpe, tunicati in grado di muoversi solo se trasportati dalla corrente.



dovuto al fatto che le acque equatoriali sono costantemente riscaldate e tendono ad espandersi e a fluire verso nord e verso sud sostituite da acque più fredde provenienti dal basso (maggiore profondità) che a loro volta si scaldano e tenderanno a fluire anch'esse nella stessa maniera (correnti di convezione).

Le correnti equatoriali alimentate da queste acque calde si scindono in due rami principali che danno origine alla circolazione oceanica nei due emisferi. Le correnti spostandosi dall'Equatore verso i Poli, non procedono lungo i meridiani ma, deviate dalla forza di Coriolis, tendono a formare dei circuiti chiusi e distinti nei singoli oceani e nei due emisferi dove circolano in senso orario in quello Boreale e antiorario in quello Australe.

La circolazione all'interno del bacino del mediterraneo

Le condizioni particolari del Mediterraneo, che appare come un mare chiuso e solo parzialmente influenzato dalle grandi correnti oceaniche, fanno sì che nel suo bacino le correnti siano solitamente deboli con direzioni che variano da zona a zona.

I moti delle masse d'acqua che si instaurano sulla superficie delle acque sono condizionati dai venti che, distante dalla costa, sono in grado di dare origine a correnti di grande intensità.

Il Mediterraneo è un mare soggetto ad una forte evaporazione causata dal riscaldamento solare, specialmente nelle zone orientali del suo bacino, non sufficientemente compensata dall'apporto di acqua dolce fluviale e piovana. In queste zone la maggiore salinità e quindi densità delle acque origina una corrente di fondo che attraversa tutto il mediterraneo e arriva ad oltrepassare in uscita lo Stretto di Gibilterra.

Per contro, in corrispondenza dello stretto, può instaurarsi una corrente di senso contrario in superficie. Una volta entrata nel Mediterraneo l'acqua proveniente dall'Oceano Atlantico continua quindi a scorrere verso est, dividendosi in un ramo principale ed in altri secondari.

Il ramo principale, che risente della forza di Coriolis, scorre verso destra rasentando la costa

13) In alto: una carta che rappresenta l'andamento delle correnti oceaniche.

14) Al centro: l'andamento generale delle correnti nel Mediterraneo.

15) In basso: una cartina che descrive l'andamento generale delle correnti superficiali per la penisola italiana nel mese di giugno.

africana e perdendo gradualmente la propria energia. Da questo dipartono altri rami minori che tendono anch'essi a esaurirsi man mano ci si allontana da Gibilterra.

Le maree

Il fenomeno delle maree consiste in oscillazioni periodiche con innalzamenti (*flussi*) e abbassamenti (*riflussi*) ritmici del livello del mare. La fase di massimo sollevamento delle acque si chiama alta marea, quella di massimo abbassamento prende il nome di bassa marea.

La differenza tra l'altezza raggiunta dall'acqua durante l'alta marea e quella raggiunta durante la bassa marea è detta ampiezza di marea.

L'ampiezza delle maree varia da luogo a luogo: dipende dalle dimensioni e dalla forma dei bacini marini.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, in mezzo all'oceano le maree hanno ampiezze piuttosto basse, pari a poche decine di centimetri. E' soltanto quando l'onda di marea giunge in prossimità delle coste, dove il fondale e' meno profondo, o passa attraverso canali e strettoie, che si possono osservare notevoli variazioni di altezza nel livello del mare.

Cercando di semplificare il fenomeno si può osservare che il Sole, pur avendo una massa decisamente maggiore di quella della Luna, ha sulla Terra un' attrazione decisamente inferiore (circa la metà di quella lunare) a causa della sua enorme distanza. Quindi la periodicità delle maree è essenzialmente legata al ritmo dei movimenti lunari. Ma non è questa la sola causa del fenomeno, infatti se così fosse si dovrebbero avere in ogni punto un solo flusso e un solo riflusso al giorno, perché la Luna culmina una sola volta al giorno su ogni meridiano.

L'ampiezza delle maree

La marea più ampia del mondo e' senz'altro quella della Baia di Fundy, in Nuova Scozia (Canada), dove l'ampiezza dell'onda di marea può raggiungere i 19,6 metri.

L'aspetto della costa cambia notevolmente dall'alta alla bassa marea come si può osservare nelle foto in basso.

In Italia le maree maggiori si registrano nell'alto Mar Adriatico, con ampiezza massima che non supera di molto il metro.

In Europa le maree maggiori si registrano sulle coste francesi della Manica. In Bretagna presso Saint-Malo e su alcune coste britanniche superano abbondantemente i 10 metri.

La marea più famosa e suggestiva e' però quella di Mont Saint-Michel, in Normandia, dove si dice che durante l'alta marea l'acqua risalga verso la terraferma alla velocità di un cavallo al galoppo. Qui l'ampiezza dell'onda di marea può arrivare a quasi 15 metri.

In Liguria la marea ha dislivelli massimi di circa 40-45 cm.

Il ritardo delle maree

La conoscenza del ritardo con il quale si manifestano le maree in un dato luogo riveste una grande importanza ai fini del traffico portuale. Sono state costruite quindi delle carte su cui vengono disegnate le linee cotidali, luogo dei punti in cui l'alta marea si verifica con lo stesso ritardo rispetto al passaggio della Luna su un meridiano prefissato (di solito Greenwich). Ogni linea è poi contraddistinta da un numero che indica l'ora di porto ed evidenzia come, a partire da punti anfidromici, le maree ruotino in senso opposto nei due emisferi per effetto della forza di Coriolis.



16) Costa bretone: differenza tra alta e bassa marea.

Le maree nella storia

Il fenomeno delle maree è stato descritto già dagli antichi greci e collegato correttamente al ciclo lunare. I primi resoconti di navigatori che avevano oltrepassato lo stretto di Gibilterra parlavano di incredibili maree (rispetto a quelle del Mediterraneo che non superavano il metro) che si avevano oltre tale stretto.

I resoconti di Caio Giulio Cesare riguardanti le sue spedizioni militari, effettuate con navi lungo le coste atlantiche della Gallia, mettono in evidenza le strategie militari messe a punto sfruttando le maree (coste che diventavano irraggiungibili, navi lasciate a secco, scogli improvvisamente mortali...).

Al comportamento delle maree, già noto quindi ai Greci e ai Romani, fu possibile dare un'interpretazione soddisfacente solo dopo che Newton ebbe annunciato la legge della gravitazione universale. I fattori che entrano in gioco nella genesi delle maree sono però molto numerosi e il loro studio teorico è uno dei più complessi della meccanica celeste.

L'esperienza invece insegna che quando in un punto si ha l'alta marea, essa si presenta anche al suo antipode: ciò è dovuto al fatto che a provocare le maree concorrono insieme l'azione gravitazionale esercitata dalla Luna sulla Terra e la forza centrifuga dovuta al moto di rivoluzione del sistema Terra – Luna.

Gli aspetti in gioco

I principali aspetti da considerare per calcolare a tavolino l'ampiezza, la frequenza e l'orario delle maree sono:

Aspetti astronomici:

- La Luna: la sua massa, il suo passaggio, la sua distanza, l'inclinazione della sua orbita sul piano equatoriale;
- Il Sole: la sua massa, la sua distanza, l'inclinazione della sua orbita sul piano equatoriale;
- L'asse di rotazione del sistema Terra – Luna.

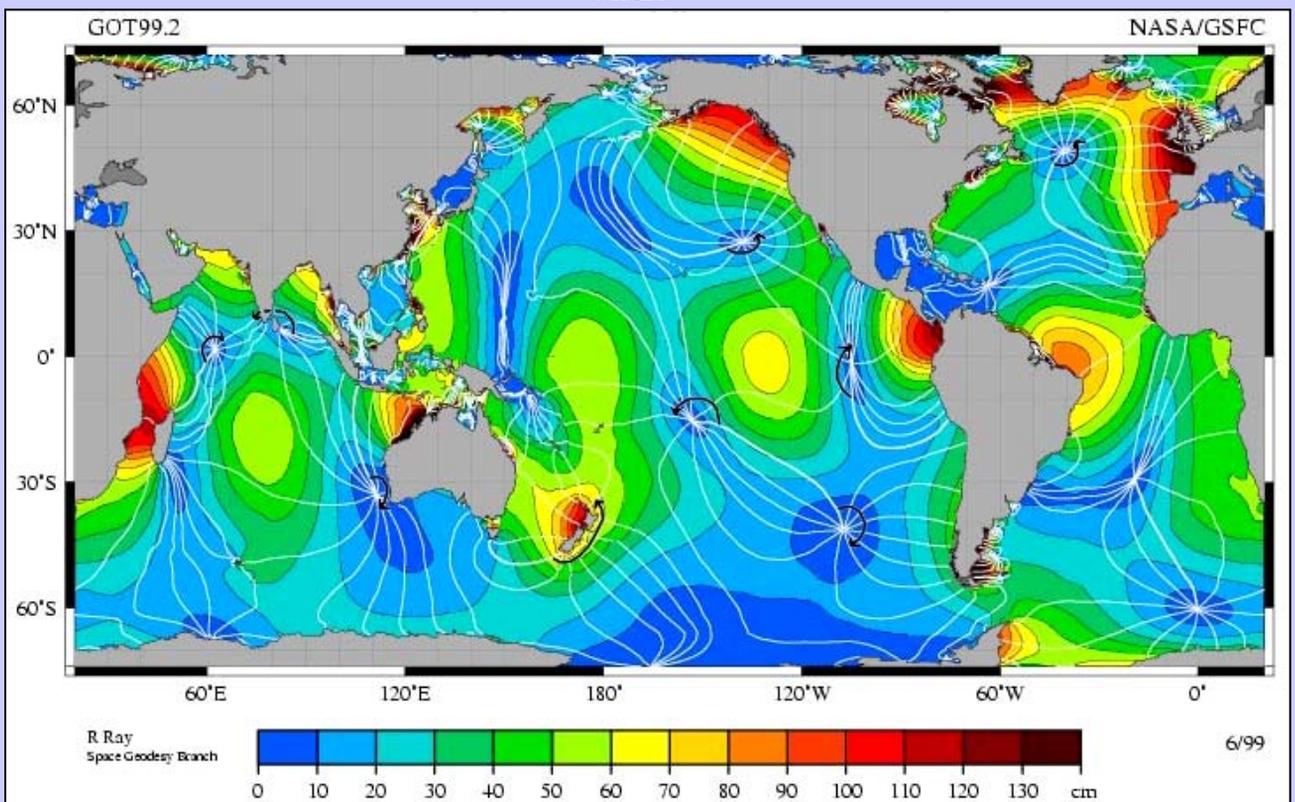
Aspetti geografici:

- La differenza di profondità dei fondali;
- La forma a cuneo delle baie;

Aspetti meteorologici: agiscono indipendentemente dalle maree, ma in alcune combinazioni possono renderle catastrofiche per le attività dell'uomo;

- L'intensità e direzione dei venti.

17) Nella figura l'ampiezza della componente semidiurna M2 (lunare principale) delle maree nelle acque marine mondiali. Le righe bianche sulla carta corrispondono alle linee cotidali che uniscono i punti in cui si ha l'alta marea nello stesso istante, sebbene a intervalli di un ora per ogni linea. I punti in cui le curve si incontrano sono detti anfidiromici. In tali punti la marea è nulla.



Esistono tuttavia delle zone in cui un giorno lunare si manifesta con un solo flusso e un solo riflusso. In questo caso le maree sono chiamate maree diurne .

Altre volte si possono avere due alte e due basse maree ogni giorno lunare, ma con ampiezza diversa. In questo caso le maree sono dette maree miste.

A causa dell'attrito con il fondo marino e dell'attrito interno delle masse d'acqua, l'alta marea non si verifica esattamente quando la Luna culmina sul meridiano del luogo considerato, ma si può presentare con un certo ritardo, detto ora di porto, che varia anche per zone relativamente vicine e può raggiungere le dodici ore.

La presenza di forti maree può quindi influenzare le attività dell'uomo e permettere inoltre lo sviluppo di attività economiche particolari, come la raccolta di molluschi sui banchi di sabbia lasciati liberi dalle acque: da qui la forte produzione di ostriche, cozze, capesante sulle coste bretoni.

Già secoli or sono, in Bretagna, si sfruttava la marea per mettere in moto i mulini; questi vennero in seguito dismessi. Oggi lo stesso principio viene applicato per la produzione di energia elettrica tramite sbarramenti dove il movimento delle maree fa girare turbine.

La forte ampiezza delle maree attrae sulle coste interessate dal fenomeno molti turisti.

Il moto ondoso

Il moto ondoso è il più appariscente e irregolare dei moti del mare. Le onde sono generate dal vento principalmente attraverso due azioni:

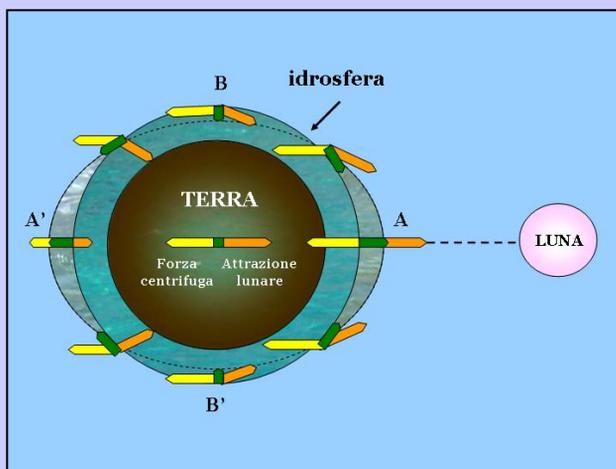
- L'attrito, che trascina le particelle d'acqua nella direzione verso cui spirava il vento;
 - La compressione e il risucchio delle stesse particelle d'acqua, determinata dall'impatto dell'aria con la superficie irregolare del mare.
- Poiché il vento ha caratteristiche assai mutevoli, anche le onde cambiano spesso direzione e intensità ed il loro movimento è molto complesso da studiare.

Quando la velocità del vento è bassa (inferiore a 4km/h), la tensione superficiale dell'acqua si oppone al suo movimento e si formano solo piccole increspature.

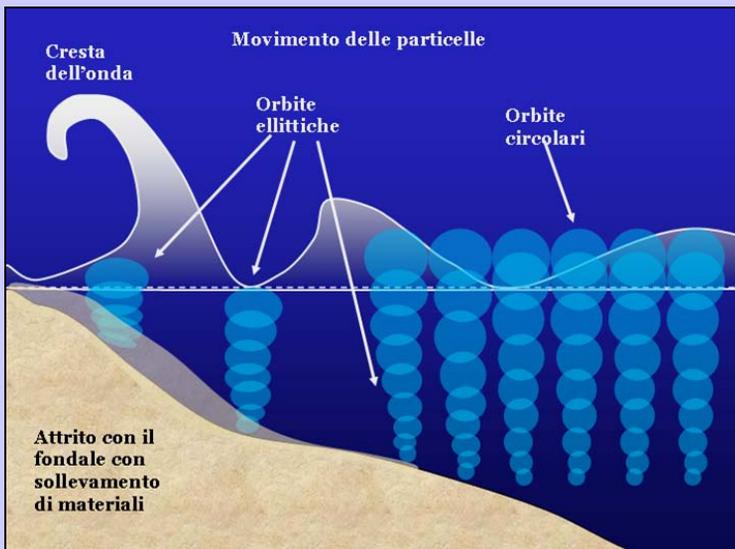
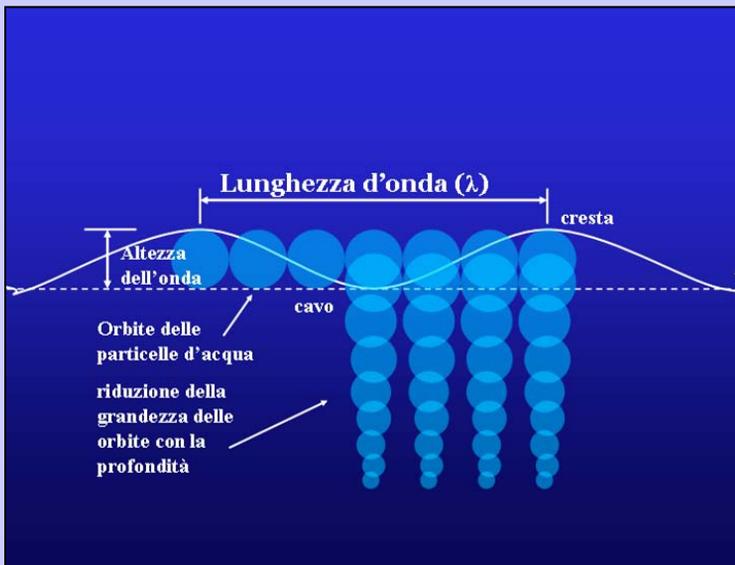
Con l'aumentare della velocità l'impatto dell'aria sulla superficie del mare allarga le depressioni e sottovento si creano delle turbolenze che sollevano le creste. A velocità ancora superiori le creste si sollevano a tal punto da perdere l'equilibrio e rovesciarsi in avanti formando una schiuma bianca: sono questi i frangenti al largo. Le onde che si formano in presenza di vento sono dette onde forzate ed hanno creste aguzze. Le onde continuano a propagarsi, per inerzia, anche al di fuori della zona in cui soffia il vento e si smorzano lentamente a causa degli attriti.



18) Quando il Sole, la Luna e la Terra si trovano allineati le azioni lunisolari si sommano e si raggiungono i valori massimi delle maree (maree vive). Quando invece Sole e Luna formano un angolo retto con la Terra le attrazioni lunisolari si annullano parzialmente e si hanno le minime oscillazioni del mare (maree morte).



19) Nella figura in alto la Terra è rappresentata come se fosse vista da un polo celeste. Lo spessore dell'idrosfera è stato esagerato per evidenziare meglio il fenomeno. Le lunghezze dei vettori sono proporzionali rispettivamente alle forze componenti (attrazione e centrifuga) e alla loro risultante. Considerando la Terra ricoperta da un involucro d'acqua con spessore uniforme, i valori massimi della marea si osservano nei punti A e A': nel primo, che è più vicino alla Luna, prevale l'attrazione lunare, mentre nel secondo prevale la forza centrifuga. Spostandosi verso i punti B e B', la risultante delle due forze diminuisce di intensità e muta direzione, per cui si osserva una progressiva attenuazione dell'innalzamento del livello marino e poi addirittura un suo abbassamento.



20 e 21) Schemi relativi alla formazione ed alle caratteristiche delle onde.

In questo caso le onde hanno un profilo vicino a quello sinusoidale e si chiamano onde libere.

Un'onda marina è caratterizzata: dall'altezza h , che è il dislivello fra la parte più depressa (cavo) e quella più elevata (cresta); dalla lunghezza λ , che è la distanza fra due creste o due cavi, e dal periodo, che è lo spazio di tempo intercorrente fra il passaggio di due onde nello stesso punto. Il rapporto fra lunghezza e altezza è circa costante ($\lambda/h = 30$).

Le caratteristiche del moto ondoso variano a seconda che si consideri il mare aperto o le vicinanze della costa. Nel primo caso si hanno onde di oscillazione: ogni particella d'acqua superficiale è soggetta ad un moto circolare, su di un piano verticale, senza subire traslazione. D'altra parte, già nel 1802, il fisico boemo Gerstner aveva intuito che le onde si propagano per trasferimento di energia cinetica, senza trasporto di materia. Anche le particelle sotto la superficie compiono un movimento circolare ma, a causa dell'attrito interno, esso decresce in ampiezza man mano che ci si allontana dalla superficie. La profondità massima a cui arriva il moto ondoso dipende dalla lunghezza e dall'altezza dell'onda.

In genere, ad una profondità uguale a $1/9$ di λ , il diametro del cerchio descritto dalle particelle si dimezza, a $2/9$ di λ si riduce ad $1/4$ e a $9/10$ di λ non vi è più alcun movimento.

Avvicinandosi alla costa, quando la profondità dell'acqua diventa minore o uguale a $\lambda/2$, l'onda tocca il fondo e si creano delle interferenze: i cerchi diventano delle ellissi e sul fondo si ha un movimento orizzontale che trascina la sabbia avanti e indietro. Diminuendo la profondità, si ha anche un rallentamento della velocità di propagazione, per cui le onde si avvicinano l'una all'altra. Quando l'onda è ormai prossima alla costa, l'attrito con il fondale ne frena maggiormente il cavo della cresta che, avanzando a maggior velocità, si sbilancia in avanti e precipita spumeggiando: si formano così i frangenti di spiaggia. Il moto da ellittico diventa orizzontale e genera un'onda di traslazione che trasporta l'acqua verso riva.

A tale flusso segue un movimento opposto di riflusso, che di norma agisce al di sotto della nuova onda di arrivo e da origine alla risacca.

Le onde possono subire riflessioni e rifrazioni.

La riflessione è un fenomeno dovuto al fatto che il flusso di un'onda è perpendicolare alla stessa, mentre il suo riflusso è perpendicolare alla riva. Perciò se l'onda si infrange con un certo angolo sulla costa le particelle d'acqua si troveranno a percorrere traiettorie a dente di sega, mentre se si infrange perpendicolarmente alla riva, flusso e riflusso tenderanno ad annullarsi.

Su coste irregolari con fondali bassi, nell'onda riflessa si ha solitamente una perdita di energia. Nel caso di falesie verticali, come nel fronte sud del Promontorio di Portofino, e fondali relativamente alti, onda diretta e onda riflessa si sommano dando origine ad un'onda stazionaria. La rifrazione è una variazione di direzione che si verifica quando le onde giungono con un certo

angolo rispetto alla costa lineare. Il fronte d'onda in prossimità della costa risente dell'attrito con il fondale e tende a disporsi parallelamente ad essa, per esempio in presenza di promontori, insenature o isole vicine al litorale. In quest'ultimo caso sul lato sottovento si crea una zona di calma detta zona d'ombra, che viene sfruttata dalle imbarcazioni in navigazione in caso di tempesta. Una zona d'ombra si può formare anche dove ci sono un capo o un promontorio molto protesi verso il mare: se il vento soffia contro uno dei due versanti, su quello opposto, controvento, il moto ondoso può essere quasi assente.

Le caratteristiche fisico-chimiche del mare

Le caratteristiche fisiche

Oltre all'idrodinamismo esistono altri fattori fisici che condizionano la vita nel mare e che sono in qualche modo in relazione con i fattori chimici, tra questi la densità, la luce, la pressione e la temperatura.

Queste caratteristiche sono strettamente influenzate dai rapporti dell'idrosfera marina con il riscaldamento delle acque e con la luce solare.

La luce

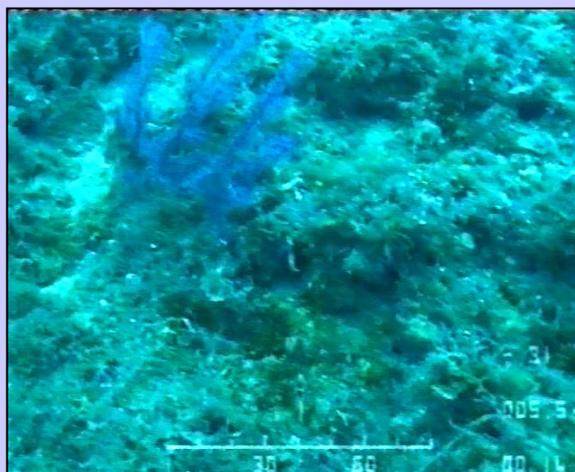
Durante la loro penetrazione nelle acque marine le bande energetiche colorate che compongono i raggi solari vengono assorbite sempre più, man mano che si scende in profondità. Le radiazioni che riescono a penetrare solo nei primi strati di acqua sono quelle a minore energia come il rosso e il giallo. Più in profondità giungono il verde, il viola e, per ultimo, il blu.

Ne deriva che la luce blu riesce a penetrare sino in profondità, "colorando" i fondali profondi e "tingendo" anche la superficie del mare di questo colore che risulta dominante rispetto agli altri.

L'assorbimento della luce in acqua è così rilevante che, già a poche decine di metri dalla superficie, la luce che filtra può essere pari all'1% di quella che penetra. Per questo le alghe o le piante acquatiche che vivono in profondità hanno pigmenti fotosintetici accessori, per riuscire a captare la minima radiazione luminosa.

Anche la torbidità, dovuta a particelle in sospensione, può causare la diminuzione di luce sott'acqua.

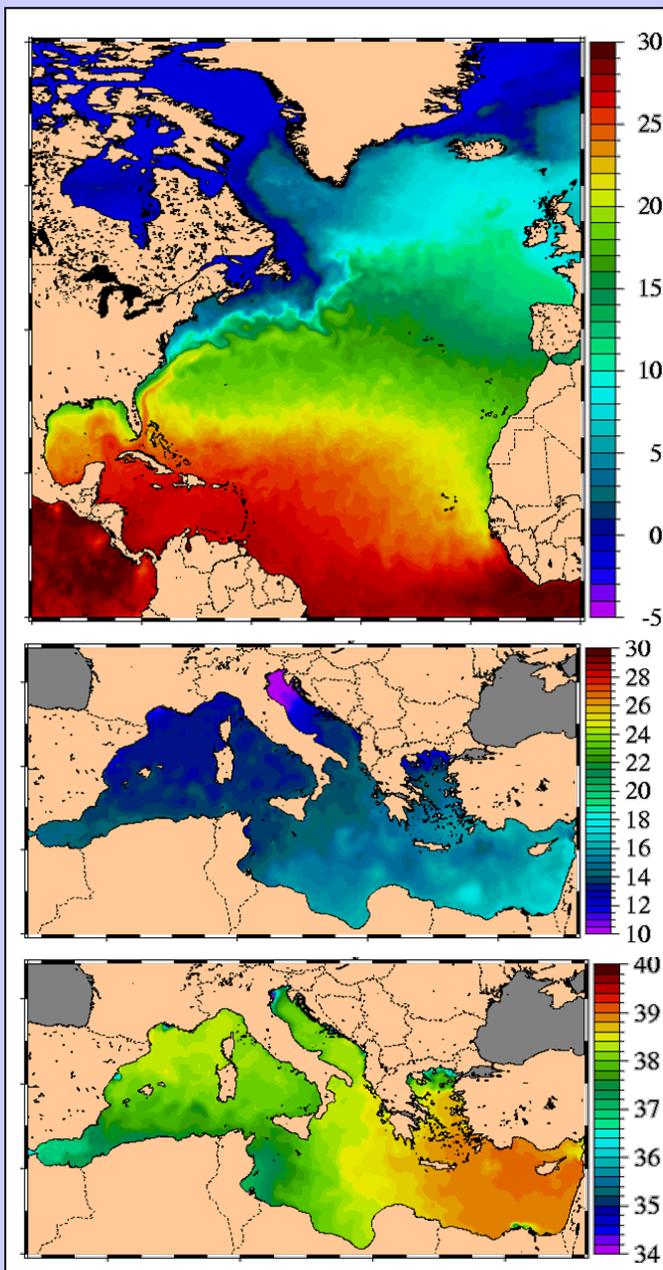
La luce che entra in acqua viene rifratta ed in qualunque momento del giorno è come se i raggi entrassero verticali in acqua.



22) In alto: le onde erodono in continuazione la costa anche grazie ai materiali che smuovono dal fondale in corrispondenza della battigia. Nell'immagine tra gli spruzzi si possono osservare piccoli ciottoli scuri.

23) Al centro: propagazione della luce nelle acque superficiali;

24) In basso: l'immagine di una gorgonia rossa illuminata dalla luce naturale. Già a pochi metri di profondità alcune radiazioni vengono assorbite, per cui i colori appaiono diversi. Solo una fonte di luce artificiale (torcia) può sopperire alla mancanza di radiazioni luminose naturali.



25) In alto: la carta delle temperature della superficie del mare in nord Atlantico intorno alla metà di marzo del 2005.

26 e 27) Al centro e in basso: le condizioni di temperatura e salinità nel Mediterraneo intorno alla metà di marzo 2005. Le acque marine hanno caratteristiche che, soprattutto in superficie, mutano frequentemente a seconda delle stagioni e delle zone di mare. Come si vede dalle immagini nel bacino del Mediterraneo la temperatura delle acque superficiali del mare è influenzata dalla latitudine e anche dagli apporti idrici, come nell'area del delta del Po. In modo analogo anche la salinità delle acque superficiali aumenta a latitudini più basse, diminuendo in corrispondenza di apporti di acque dolci fluviali.

Materiale dal sito www.nrlssc.navy.mil, dei laboratori di ricerca navale degli Stati Uniti. Accedendo alla sezione 7320 (ocean dynamics & prediction) si possono visionare anche dati storici e recenti relativi a salinità, temperatura, correnti di superficie, loro velocità e altezza della superficie del mare.

Questa caratteristica è sfruttata dai pesci pelagici che, per cacciare o per mimetizzarsi, hanno sviluppato la colorazione scura del dorso, che si confonde con il blu scuro delle acque viste dall'alto, e quella più chiara del ventre. Quest'ultima, se il pesce viene osservato dal basso, si confonde con il colore che i raggi luminosi del sole fanno assumere alla superficie delle acque marine osservate da qualche metro di profondità.

La pressione

La pressione aumenta con la profondità ma non influenza troppo la vita degli organismi che vivono sott'acqua perché i loro fluidi corporei, come i normali liquidi, sono incompressibili.

Gli organismi adattati a vivere a discreta profondità possono risentire però di brusche risalite, come quelle derivanti da catture, che possono causare la dilatazione e la rottura della vescica natatoria, o embolie, perché l'azoto disciolto nei loro tessuti subisce un brusco sbalzo di pressione.

La temperatura

In mare le condizioni di temperatura sono molto varie.

La temperatura superficiale, fino a circa 100 metri di profondità, varia al variare della latitudine e delle stagioni, anche se si mantiene più costante rispetto a quella delle terre emerse a causa dell'elevato calore specifico dell'acqua, da cui deriva l'azione mitigatrice del mare sul clima.

Allo strato superficiale del mare segue quello detto *termoclino*, che può trovarsi in alcuni mari caldi oltre i 600 metri di profondità mentre nei nostri mari tra i -15 e i -40 metri. In questo strato ridotto si ha un brusco abbassamento della temperatura sino a valori di 4-5 °C.

A maggiori profondità, in acque profonde, le temperature diminuiscono fino - 4000 metri dove raggiungono il valore minimo che può arrivare a -2 °C, mentre oltre si mantengono pressoché costanti.

Nel Mediterraneo tuttavia anche su fondali a profondità rilevanti, superiori ai 4000 metri, si possono misurare temperature piuttosto alte (12-13 °C).

Nello stretto di Gibilterra in superficie vi è l'ingresso di acque fredde atlantiche, meno

dense anche perché meno salate, mentre alla profondità di circa 300 metri escono, con le correnti di fondo, acque più fredde e dense.

La temperatura, determinando variazioni di densità e di viscosità dell'acqua, può influenzare le correnti e i moti del mare ed ha grande influenza sulla vita degli organismi marini. Può quindi condizionare il loro nuoto e, se particolarmente rigida, provocare il rallentamento del loro metabolismo.

La densità

La densità delle acque marine dipende da altri fattori quali la salinità, la temperatura e la pressione esistente alla profondità in cui si trova la massa d'acqua presa in esame.

Il valore della densità è compreso tra i 1,008 e 1,030 g/cm³ se non si considerano le variazioni dovute alla pressione. In mari parzialmente isolati, tenuto conto che il valore aumenta all'aumentare della salinità e all'abbassarsi della temperatura, possono rilevarsi valori ancora maggiori.

Man mano che si scende in profondità la densità aumenta per via che le masse d'acqua subiscono un aumento di pressione. Lo studio di questo parametro in acqua di mare consente di realizzare carte con linee che uniscono tutti i punti ad ugual densità il cui esame è importante per comprendere i movimenti delle masse d'acqua in mare. Se queste linee (isopicniche) sono a strati e parallele alla superficie marina, con valori di pressione più alti in profondità si è in presenza di una condizione di stabilità. Tutte le altre condizioni risultano instabili e causano movimento di masse d'acqua (correnti termoaline).

Altre caratteristiche fisiche minori

Il Colore

È legato alla riflessione del colore del cielo e alla diffusione delle radiazioni a lunghezza d'onda minore della luce, che si diffondono meglio di quelle a lunghezza maggiore, quindi in acque limpide domina l'indaco, seguito dall'azzurro e poi dal verde.

La Trasparenza

È un fattore estremamente variabile e legato alle sostanze disciolte o in sospensione.



28 a,b,c) In alto: tre immagini del colore del mare. L'estrema variabilità dipende in gran parte dal colore del cielo e dalla limpidezza delle acque.

29) In basso: la coda di un capodoglio. Questo animale ha nel capo l'organo di spermaceti che gli consente di restare immerso ad elevate profondità e in apnee lunghissime. Quando vuole immergersi l'animale raffredda con l'acqua di mare l'olio contenuto nell'organo, che diventa più denso dell'acqua circostante e gli permette di scendere in profondità. Quando vuole risalire non fa altro che irrorare con il sangue l'organo riscaldando l'olio e rendendolo meno denso dell'acqua di mare circostante.

Le caratteristiche chimiche

La salinità

La composizione chimica dell'acqua di mare è piuttosto complessa. Nel corso dei millenni gli apporti di materiale dai corsi d'acqua, l'erosione delle coste ed il mescolamento di questi materiali hanno contribuito ad arricchire di elementi chimici l'acqua e alla formazione di sali presenti sotto forma di ioni. Ulteriori fattori che concorrono alla sua composizione sono gli scambi e l'interazione tra superficie marina e l'atmosfera, i processi chimico-fisici che si originano tra gli ioni in soluzione e i minerali presenti nei sedimenti marini, nonché i processi biochimici (fotosintesi e metabolismo animale) e, in questi ultimi anni anche l'apporto dovuto alle attività industriali e antropiche.

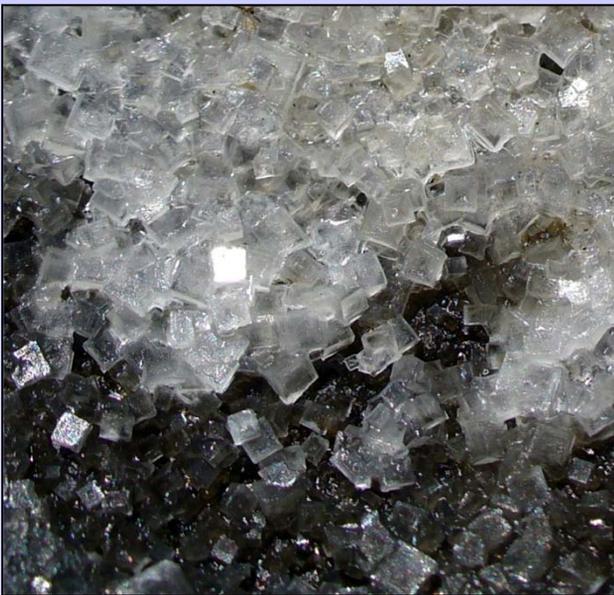
I mari del mondo sono collegati tra loro e questo ha fatto sì che la distribuzione percentuale dei sali e degli elementi chimici nelle acque sia costante; eccezion fatta per alcune zone fortemente inquinate. La concentrazione può essere invece influenzata da condizioni come l'evaporazione o al contrario l'apporto di acque dolci (piogge, apporti fluviali ecc..).

La concentrazione dei sali si misura in quantità di grammi di sale per litro di acqua e si aggira in media tra il 30 e il 40 per mille, cioè 30 o 40 grammi di sale in 1 litro di acqua. Nei nostri mari il valore della salinità si aggira attorno al 35/36 per mille. Nella tabella affianco si può vedere come la concentrazione dei sali sia piuttosto alta in mari caldi e più bassa in mari freddi, ad esempio nel Golfo di Finlandia, dove la concentrazione di sali è dieci volte inferiore.

La composizione chimica dell'acqua di mare

Mentre la concentrazione di sali disciolti può variare molto da un mare all'altro, i rapporti tra i vari sali rimangono abbastanza costanti e sono riportati nella tabella della pagina affianco. I sali sono ovviamente presenti in acqua in forma ionica insieme a tracce di numerosi elementi. I principali ioni sono il sodio, il cloro, il magnesio, il calcio, il potassio, il bromo, e i gruppi atomici SO_4^{2-} , BO_3^{3-} e HCO_3^- . Quelli che in sostanza determinano la salinità dell'acqua di mare, sono il catione più abbondante (sodio), e l'anione più abbondante

	Tipica acqua di mare	Mediterraneo orientale	Golfo di Arabia e Kuwait	Mar Rosso a Jeddah
Cloro (Cl^-)	18.980	21.200	23.000	22.219
Sodio (Na^+)	10.556	11.800	15.850	14.255
Solfato (SO_4^{2-})	2.649	2.950	3.200	3.078
Magnesio (Mg^{2+})	1.262	1.403	1.765	742
Calcio (Ca^{2+})	400	423	500	225
Potassio (K^+)	380	463	460	210
Bicarbonato (HCO_3^-)	140	-	142	146
Stronzio (Sr^{2+})	13	-	-	-
Bromo (Br^-)	65	155	80	72
Borato (BO_3^{3-})	26	72	-	-
Fluoro (F^-)	1	-	-	-
Silicato (SiO_3^{2-})	1	-	1,5	-
Iodio (I^-)	<1	2	-	-
Altri	-	-	-	-
Totale solidi disciolti (TDS)	34.483	38.600	45.000	41.000



30) In alto: ioni principali che si trovano nell'acqua di mare (mg/L) Tratto dalla rivista: Water Condition & purification, Gennaio 2005.

31) In basso: un accumulo di sale in cristalli in una pozza di scogliera nell'Area Marina Protetta di "Portofino".

(cloro).

I sali più diffusi che si formano invece dopo l'evaporazione dell'acqua sono quindi il cloruro di sodio (NaCl, 30 grammi per litro), il comune sale da cucina, il Cloruro di Magnesio (MgCl₂) e quello di Potassio (KCl).

Tra i sali disciolti in forma ionica che consentono lo sviluppo della vita in mare vi sono i nitrati e i fosfati che si formano durante la decomposizione degli esseri viventi o dalla degradazione delle loro sostanze di rifiuto. Sono detti anche "nutrienti" perché costituiscono la sostanza di cui necessitano i vegetali per produrre, grazie all'energia della fotosintesi, zuccheri e proteine.

Altri elementi risultano fondamentali, come la silice, che, pur non partecipando ai processi biologici, è necessaria ad alcuni organismi, come le diatomee e le spugne, per la costruzione di gusci e spicole (strutture che costituiscono l'impalcatura dell'animale).

Altri elementi sono invece presenti in minime quantità ma sono comunque essenziali per la sopravvivenza di molte specie viventi e vengono denominati "oligoelementi".

Gli oligoelementi sono sostanze disciolte nell'acqua in percentuali molto piccole o addirittura in tracce. Tra i più importanti, che intervengono in numerose funzioni biologiche, vi è il ferro, lo zinco e il rame.

Nell'acqua di mare sono disciolti anche numerosi gas che derivano dalle interazioni tra superficie marina e atmosfera (effetto mareggiate ecc.). Tuttavia i gas sono presenti in mare in concentrazioni diverse. Bassa temperatura e salinità favoriscono l'aumentare dei gas disciolti ed ogni gas ha caratteristiche diverse che lo rendono più o meno solubile. L'ossigeno è più solubile in acqua dell'azoto, così il mare è più ricco in ossigeno disciolto rispetto all'aria. L'ossigeno disciolto, che diminuisce gradualmente con la profondità, viene consumato dagli organismi marini, ma a sua volta viene prodotto negli strati d'acqua di superficie dall'attività fotosintetica dei vegetali, soprattutto del fitoplancton.

Un ruolo fondamentale per la fotosintesi clorofilliana viene svolto dall'anidride carbonica, come in ambiente terrestre.

Il PH dell'acqua marina

Il grado di acidità dell'acqua di mare è soggetto a variazioni da zona a zona, stagionali o legate alla profondità delle masse d'acqua.

Le acque marine hanno reazione debolmente alcalina che può variare, come accade per il Mediterraneo, tra valori di 7,94 e 8,14.

Rapporti percentuali tra i principali Sali disciolti in mare

NaCl	77,76%
MgCl ₂	10,87%
MgSO ₄	4,73%
CaSO ₄	3,60%
K ₂ SO ₄	2,45%
CaCO ₃	0,33%
MgBr ₂	0,26%

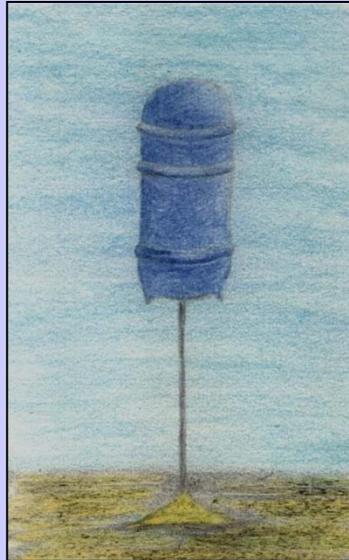
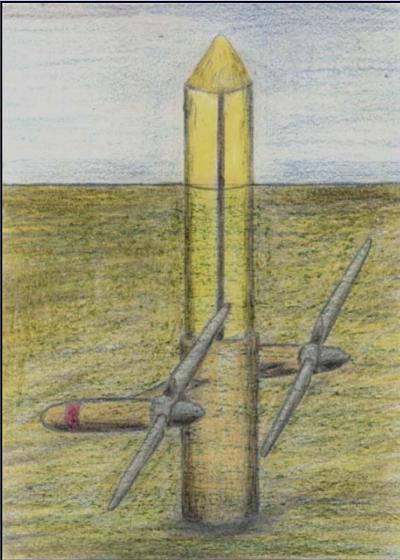


32) In alto: una tabella che mostra il rapporto percentuale tra i vari Sali disciolti in mare.

33) Al centro: un ascidia. Si tratta di un tunicato in grado di accumulare, in notevoli quantità nei suoi tessuti, vanadio (oligoelemento presente nell'acqua di mare).

34) In basso: una *Disidea sp.* i cui tessuti sono sorretti da spicole "costruite" dall'animale utilizzando gli ioni disciolti nell'acqua di mare.

L'energia del mare



35) In alto: le strutture "pelamis" utilizzate in Portogallo. Si tratta di strutture a forma tubolare fissate al fondale marino. Il movimento dell'acqua al loro interno attiva delle turbine che producono energia;

36 e 37) in basso da destra: disegni di uno strumento a pale che sfrutta i movimenti del mare per produrre energia dalle correnti e di una struttura sommersa per sfruttare l'energia delle onde;

potenziale di conversione in energia elettrica. Altre ipotesi prevedono invece di utilizzare le variazioni di pressione che si riscontrano al di sotto della superficie del mare, altre ancora utilizzano dei galleggianti che "copiano" il moto ondoso trasferendolo a dei generatori per mezzo di pistoni idraulici.

Una diversa tecnologia che utilizza il moto ondoso sfrutta l' *ampiezza dell'onda* ed è basata su una struttura semisommersa che grazie al movimento dettato dalle onde agisce su dei pistoni idraulici per azionare dei generatori.

Anche il *principio di Archimede* si presta allo sfruttamento del moto ondoso.

Il progetto che si basa su di esso prevede l'utilizzo di una struttura ancorata al fondo marino nella quale una camera d'aria è compressa al momento del passaggio dell'onda sopra il sistema e risale quando l'onda è passata. Nel sistema commerciale si dovrebbe sviluppare una potenza di 2 MW, con una struttura (completamente sommersa) alta 30 metri e di 10 metri di diametro. La massima efficienza di questo sistema si prevede con onde di ampiezza pari a 5 metri.

Un altro modo per utilizzare le onde affronta la questione in modo più tradizionale: cattura l'acqua dell'onda in un bacino sopraelevato tramite una "rampa" e la fa passare attraverso delle turbine ad elica posizionate poco sopra al livello medio/inferiore dell'onda e al centro del "bacino".

In linea di principio è possibile convertire almeno cinque tipi di energia presenti nel mare: quella delle correnti, delle onde, delle maree, delle correnti di marea e del gradiente termico tra superficie e fondali.

Attualmente esiste un impianto per lo sfruttamento delle maree in Francia, mentre sono in corso esperimenti per lo sfruttamento del potenziale energetico delle onde nel Regno Unito, in Norvegia e in Giappone, e del gradiente termico negli Stati Uniti. L'Unione Europea ha di recente concluso uno studio che identifica circa 100 siti suscettibili di essere utilizzati per la produzione di energia elettrica dalle correnti marine. In Italia è lo stretto di Messina ad essere stato identificato tra i siti più promettenti.

L'idea di sfruttare il moto delle onde del mare per ottenere energia elettrica, nonostante i problemi, non smette di solleticare la fantasia degli ingegneri. Ci sono allo studio ipotesi per concentrare e focalizzare le onde in modo da aumentarne l'altezza e il

Seconda sezione

Le correnti di superficie nel Mar Ligure

Il Mar Ligure è un mare aperto nel quale, anche se con lievi variazioni stagionali, si crea una circolazione ciclonica delle correnti superficiali, cioè con verso antiorario, di forma approssimativamente ellittica. Viene così a determinarsi la presenza di una corrente permanente con andamento parallelo alla costa e diretta verso ovest, con una velocità media di circa 1 Km/h, che in profondità tende a rallentare. Tale circolazione è generata dall'interazione fra le acque provenienti dallo Stretto di Gibilterra e quelle dense e salate che hanno origine nel Mediterraneo orientale.

Le masse d'acqua presenti vicino alla costa tendono a muoversi da levante a ponente e la loro velocità è anche influenzata dalla circolazione atmosferica, come quando nel Golfo di Genova si hanno perturbazioni atmosferiche, depressioni o discontinuità frontali, che causano proprio aumenti di velocità delle correnti.

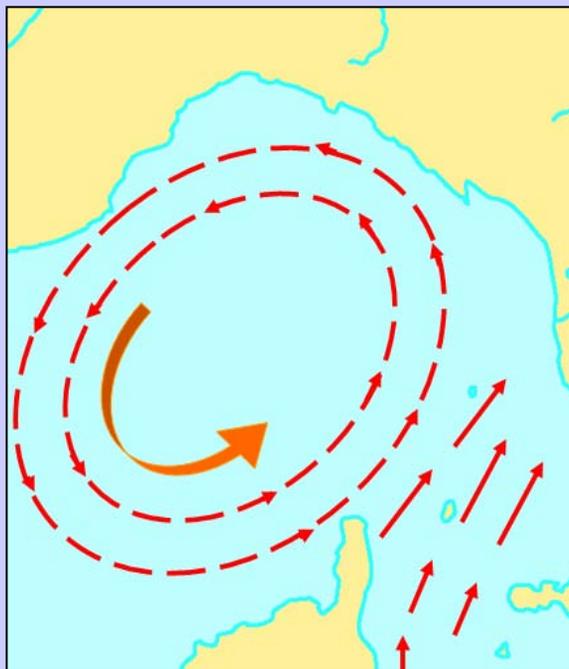
L'effetto della presenza dell'anticiclone atlantico sul Mediterraneo occidentale e quindi sul Mar Ligure causa un'attenuazione del circuito principale (levante-ponente) e lo svilupparsi di circuiti secondari. Si ha quindi il formarsi di una corrente costiera che si muove da ponente a levante.

In grandi linee si possono individuare andamenti stagionali delle correnti. Così in primavera e autunno si riscontrano in prevalenza movimenti da levante a ponente, mentre nei mesi estivi si osservano generalmente movimenti in entrambi i sensi ma con velocità ridotte, con prevalenza di moti da ponente a levante. Soprattutto in direzione ponente e di ampiezza ridotta sono ancora i movimenti nella stagione invernale.

I parametri fisici e chimici di superficie nel Mar Ligure

La densità all'interno del bacino compreso tra Liguria e Corsica è piuttosto elevata nel periodo invernale e primaverile e tende a diminuire nel periodo estivo. Vicino alla costa inoltre i valori stagionali tendono ad essere leggermente più bassi.

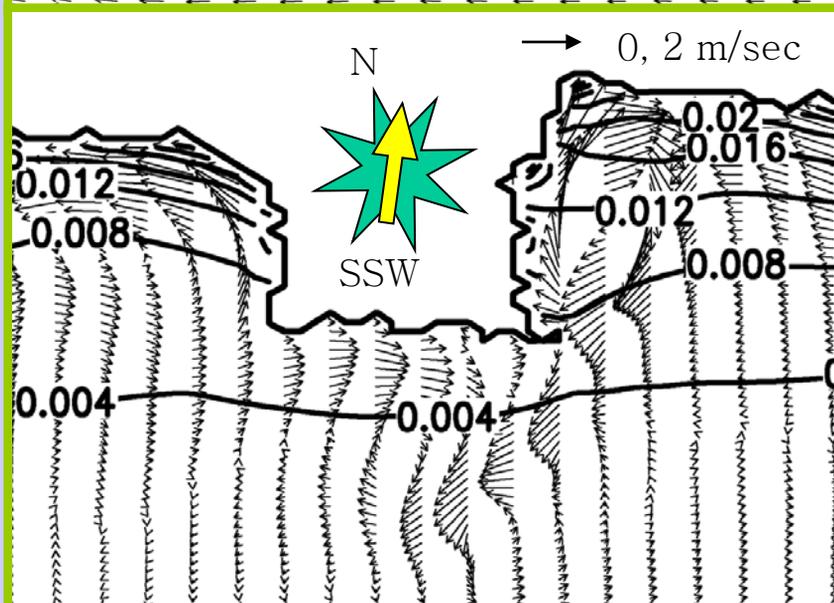
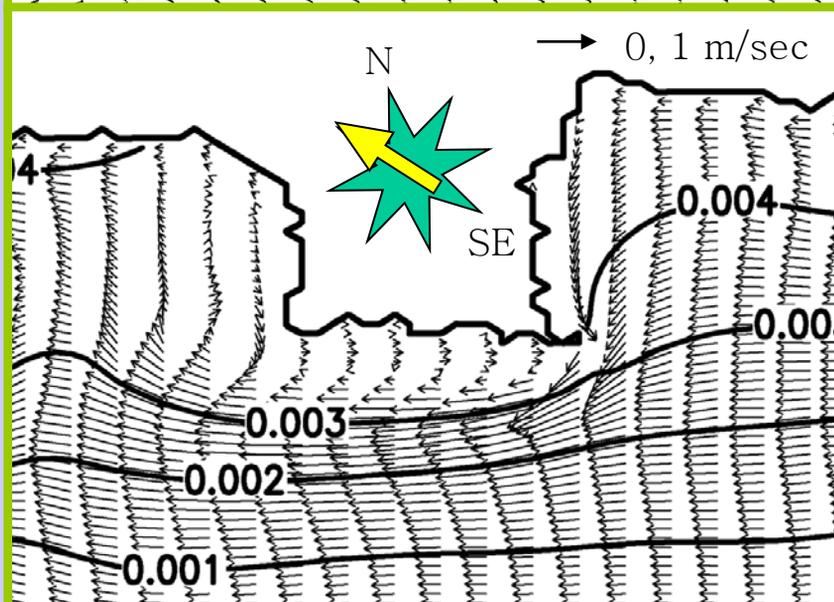
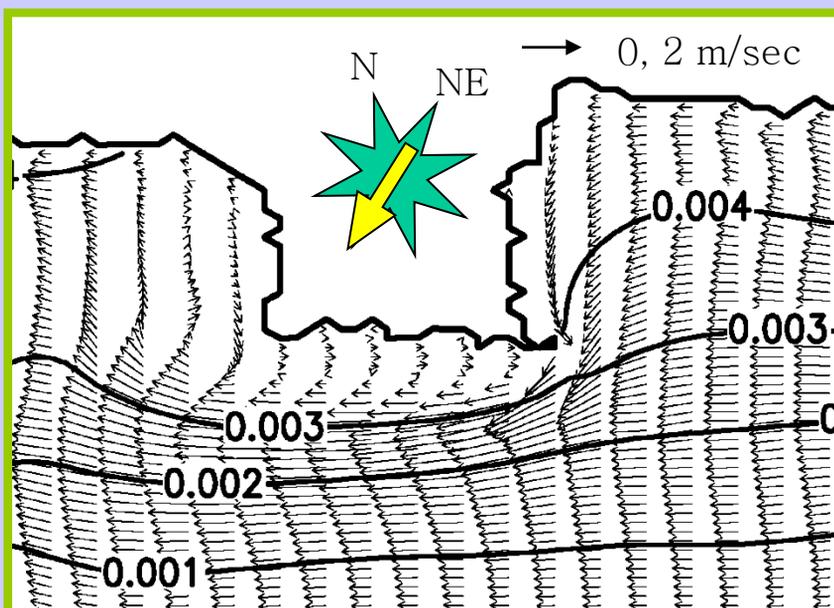
Le temperature più basse si riscontrano tra



1) In alto: uno schema generale che indica il movimento della corrente nel Mar Ligure nel periodo estivo.

2) Al centro: le perturbazioni atmosferiche possono influenzare la velocità delle correnti.

3) In basso: la quasi assenza di rimescolamento tra le acque più profonde del mare (fredde) e le acque di superficie (riscaldiate dal sole) consente ai bagnanti, nel periodo estivo, di godere di acque tiepide.



dicembre e maggio: 13-15 °C. In luglio e agosto si rilevano temperature più alte che si aggirano tra i 20-24 °C. vicino alla costa in ogni periodo considerato le temperature tendono ad essere leggermente più elevate.

La salinità non ha grandi sbalzi nei vari periodi dell'anno. Nello stesso momento si possono invece avere zone di mare dove la salinità è maggiore: generalmente più al largo.

Il sistema circolatorio di superficie che si sviluppa intorno al Promontorio di Portofino

La circolazione delle acque intorno al Promontorio di Portofino è ben evidenziata nelle tre immagini a lato che descrivono l'andamento delle correnti di superficie in funzione dei venti principali. Da notare che nelle immagini sono rappresentati modelli matematici e quindi non reali che si sono dimostrati coerenti con l'esperienza dei pescatori professionisti. Con venti provenienti da nord est e sud est le correnti seguono la costa muovendosi verso ovest sino al promontorio dove il flusso si separa con conseguente generazione di un vortice sottovento in corrispondenza del Golfo Paradiso di fronte a Camogli (prima e seconda immagine). Per contro con venti da sud-sud ovest le correnti costiere si intensificano come conseguenza dell'accumulo

4) Modelli relativi all'andamento delle correnti di superficie rispettivamente con venti da NE, SE (attenzione in questo caso i valori sono raddoppiati per evidenziare i fenomeni) e SSW.

di acqua vicino alla costa e si genera così un vortice più al largo (terza immagine). I modelli di circolazione attivata dal vento mostrano comunque la prevalenza di correnti da ovest verso est.

Al di sotto del livello del mare le correnti diminuiscono la loro intensità in maniera approssimativamente lineare.

A parte in alcune zone i moti delle correnti sono in accordo con intensità e direzione del vento e generalmente con venti da sud sud ovest si hanno le più forti correnti superficiali. Il grafico a fianco mostra proprio le variazioni di velocità della corrente con la profondità.

Le maree intorno al Promontorio di Portofino

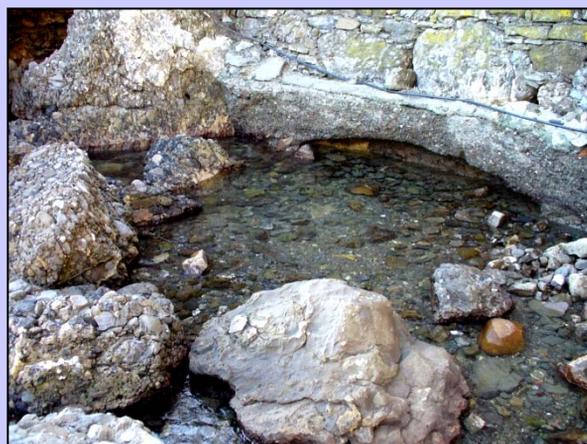
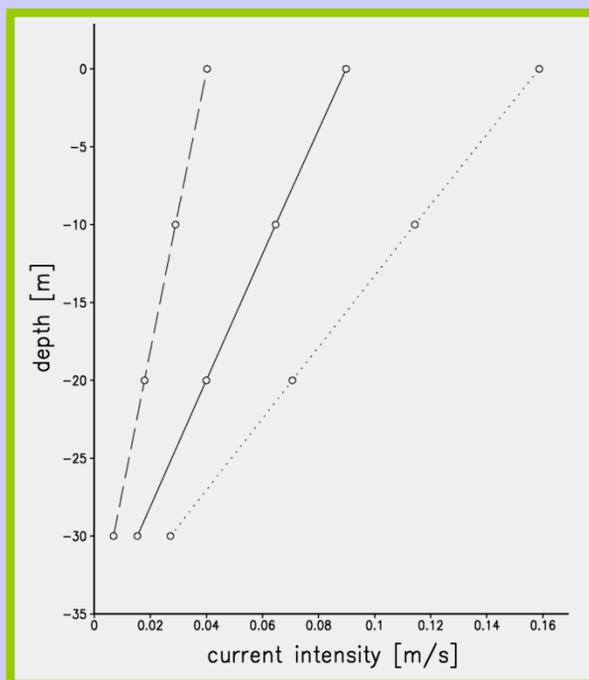
Non vi è molto da dire sulle maree che interessano il Promontorio di Portofino in quanto queste si attestano su oscillazioni che non superano mediamente i 30/35 centimetri tra il livello minimo e quello massimo, con picchi anche di quasi 50 centimetri e che comunque, vista la conformazione delle coste, per la gran parte ripide o quasi perpendicolari, risultano poco visibili. In realtà durante le basse maree risulta ben evidente sulla costa la frangia intermareale ossia la zona tra i due livelli di marea, massimo e minimo, colonizzata da numerose alghe e organismi marini.

In alcuni luoghi si può osservare però addirittura l'andamento della marea giornaliera come nella zona "C" di levante dove piccoli lembi di costa ghiaiosa possono risultare immersi o apparire all'asciutto nell'arco della stessa giornata.

Il moto ondoso lungo il Promontorio di Portofino

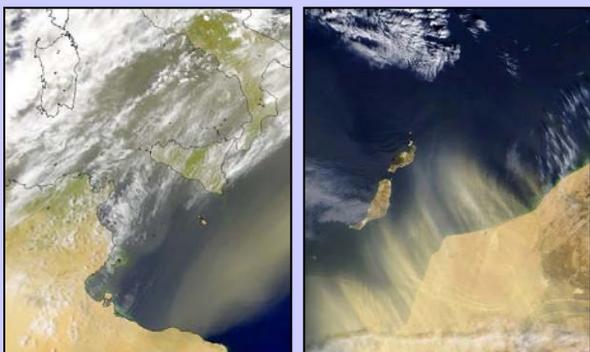
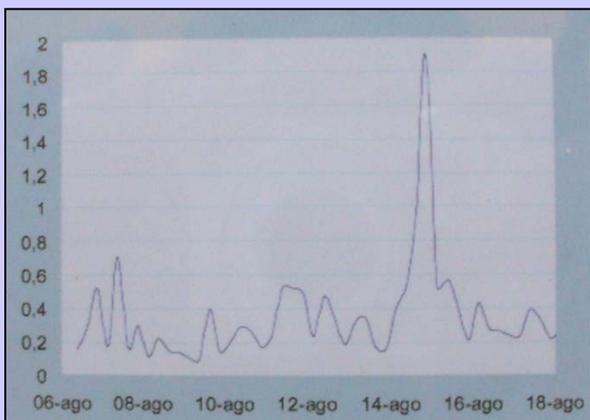
L'aumento della turbolenza delle acque marine è fortemente influenzato dai venti piuttosto caldi che si originano nel continente africano e che, attraversando il Mediterraneo, giungono sulle coste liguri, accompagnati da nubi formatesi per evaporazione delle acque del mare, proprio per il riscaldamento causato dalle masse d'aria calda che si spostano sulla superficie marina.

Forti mareggiate possono essere scatenate prevalentemente dal libeccio, un vento che proviene da sud ovest, e dallo scirocco che proviene da sud est. In quest'ultimo caso spesso gran parte dei nuclei di condensazione delle



5) In alto: le tre linee nel grafico indicano la velocità della corrente mano a mano che si scende in profondità per venti da nord est (linea continua); sud est (linea tratteggiata) e sud sud ovest (linea punteggiata).

6 e 7) In basso: due immagini dello stesso tratto di costa. Durante l'arco del giorno le oscillazioni della marea sommergono o lasciano all'asciutto i ciottoli. Questo è uno dei pochi luoghi dell'area marina protetta dove il fenomeno legato al movimento degli astri è molto evidente.



8) In alto: grafico che mostra l'altezza dell'onda rilevata nel mese di agosto 2003 nella zona "A" dell'area marina protetta da una sonda in grado di rilevare automaticamente alcuni dati fisici.

9 e 9bis) Al centro e in basso: Camogli esposto alle forti mareggiate causate dal libeccio e Portofino che risente del moto ondoso sospinto dal grecale.

10, 10bis) Carte che mostrano il movimento dei venti di scirocco verso l'Italia, a sinistra, e dal Marocco verso le isole Canarie, a destra. Si noti che i venti trasportano particelle di sabbia che cadranno durante le precipitazioni sui litorali.

goccioline d'acqua all'interno delle nubi sono costituiti da piccolissimi granelli di sabbia del deserto, trasportata dal vento. Questo fenomeno fa sì che durante le forti piogge le minuscole particelle si depositino a formare coltri rossastre e sottili nei borghi costieri.

I venti che spirano in direzione opposta e quindi più freddi danno invece origine a situazioni di mare calmo o poco mosso e generalmente sono accompagnati da tempo sereno e piuttosto secco.

Tra questi essenzialmente ricordiamo la tramontana, vento proveniente da nord, e il Maestrale, proveniente da nord ovest (Francia). Il grecale, proveniente da nord est (Europa dell'est) è un vento freddo che soprattutto nella zona "C" di levante dell'area marina protetta origina discrete mareggiate, mentre il suo influsso sul mare si fa sentire molto meno nelle altre zone. Per la sua particolare conformazione il Promontorio di Portofino non è esposto in maniera identica alla forza del mare. Le coste rocciose del fronte meridionale, cioè quelle dell'intera zona "B" dell'area marina protetta, subiscono senza dubbio un grande impatto con il mare ma la notevole profondità delle pareti rocciose ed il minor attrito delle onde con il fondale diminuisce certamente l'effetto spettacolare della mareggiata che permane dove i fondali sono meno ripidi. Resta comunque il fatto che durante le forti mareggiate lungo il fronte meridionale l'ampiezza d'onda è impressionante con valori di parecchi metri.

I due lati del promontorio risentono invece diversamente del moto ondoso prodotto dal vento, a seconda della direzione in cui questo spirava. Così, quando si assiste a mareggiate dovute al libeccio (libecciate), ad essere soggetto alla forza del mare è il lato di ponente, mentre quando si agita il mare a causa dello scirocco (sciroccata) viene colpito il lato di levante. È ovvio che alternativamente i lati del promontorio non soggetti alla forza delle onde sono bagnati da mare relativamente poco mosso.

Particolarmente protetto dalla forza delle onde risulta essere Portofino che, come si osserva dalle carte geografiche, è situato in una profonda insenatura della roccia. Tuttavia le mareggiate prodotte dal vento di libeccio che colpiscono i borghi costieri generano una risacca che riesce ad entrare nel piccolo porto. Allo stesso modo vi penetra anche il moto ondoso prodotto dal grecale.

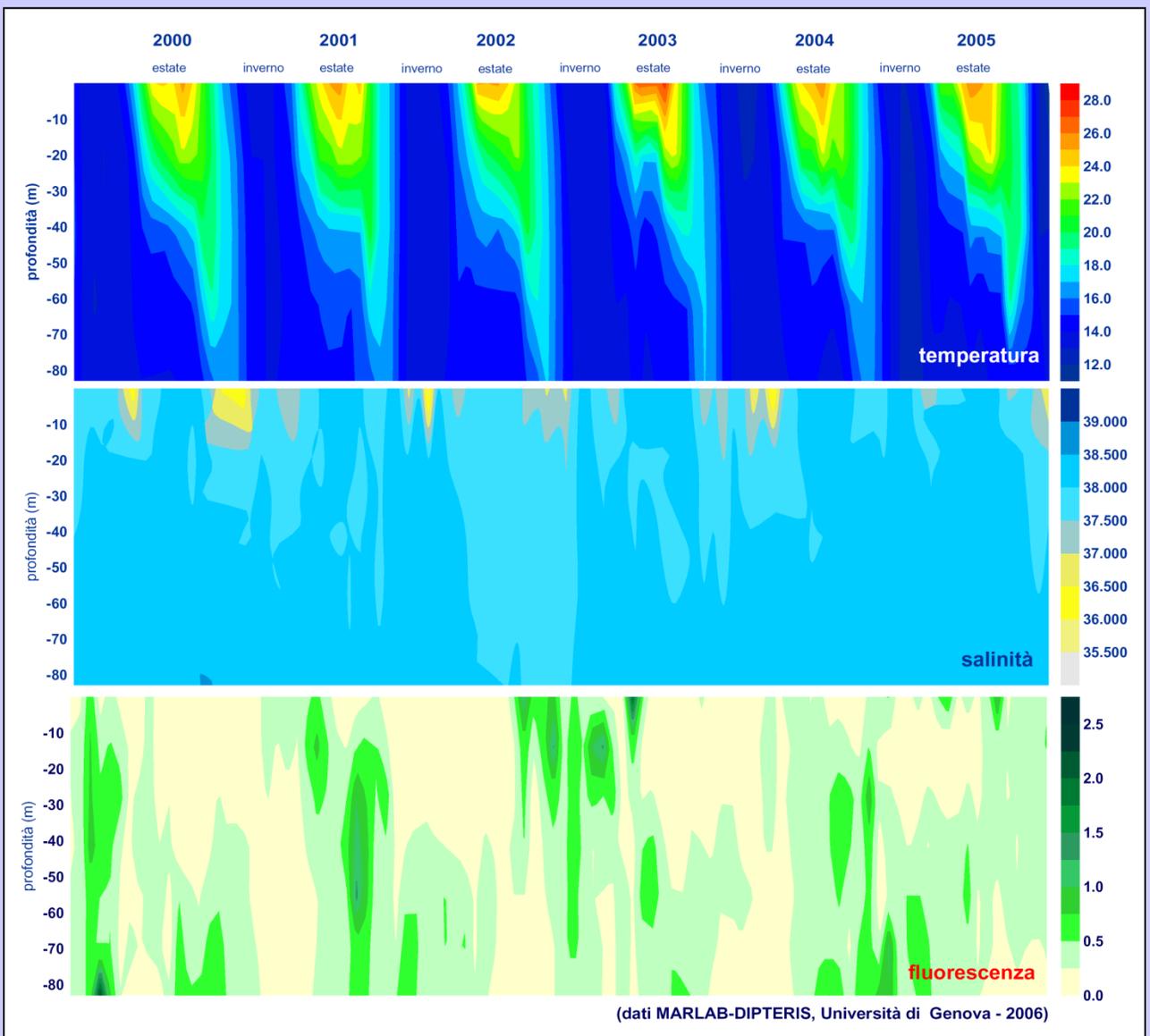
I parametri fisici, chimici e biologici nelle acque dell'Area Marina Protetta di "Portofino"

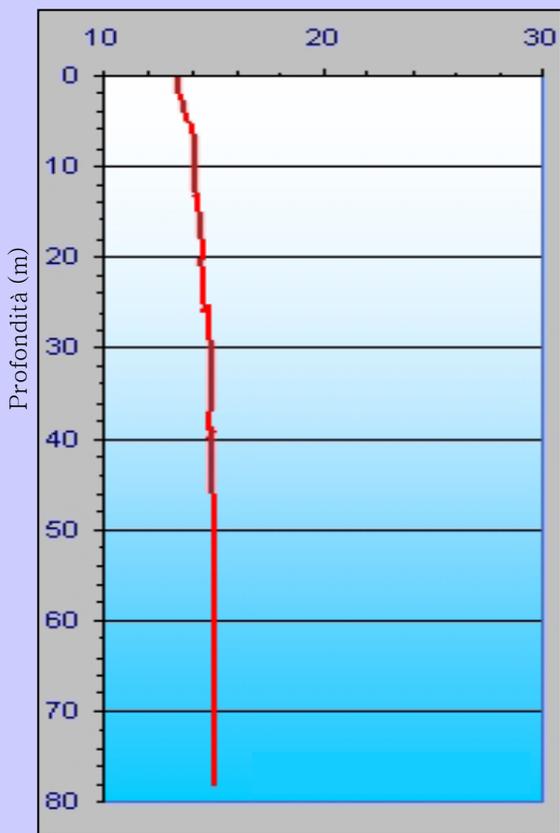
La vita nel mare è strettamente condizionata dalle variazioni dei parametri fisici, chimici e biologici delle acque. Avere a disposizione dati relativi ad essi consente di effettuare importanti considerazioni sullo stato dell'ambiente e sulle principali criticità dei sistemi biologici. Nell'area marina protetta la raccolta dei dati è effettuata dal Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova, attraverso rilevamenti periodici anche con l'ausilio di strumenti elettronici ad altissima precisione. È infatti grazie ad una sonda multiparametrica posizionata nella stazione di campionamento, visibile nella figura accanto, che è possibile raccogliere dati quindicinali sulla



11) In alto: il sito di campionamento al largo di Punta del Faro di Portofino. Una sonda presso di esso rileva i dati relativi a salinità, temperatura e fluorescenza.

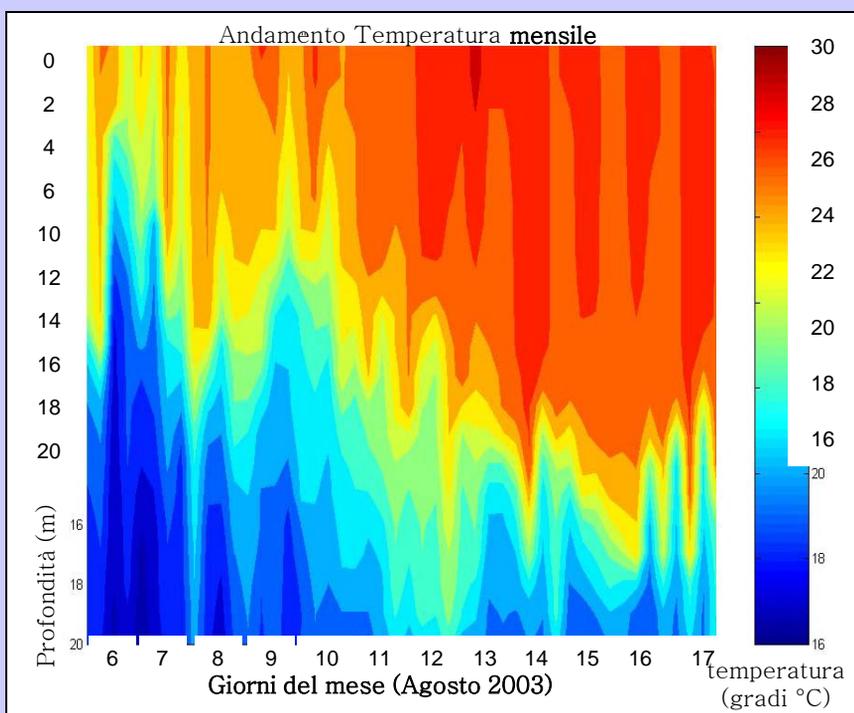
12) In basso i grafici per il periodo 2000-2005 derivanti dall'elaborazione dei dati rilevati nella stazione di campionamento.





9 Gennaio 2003

13) Il grafico in alto mostra l'andamento della temperatura nei mesi invernali. Si osserva che dalla superficie sino in profondità la variazione è minima. 14) Il grafico in basso mostra l'andamento della temperatura nel mese di agosto 2003, che vedremo essere anomalo rispetto ad altri anni. In questo secondo caso si nota come le acque abbiano una rilevante variazione di temperatura definita dalla presenza del termocline a basse profondità (12 – 20 metri). Se si riportassero i dati medi di agosto nel grafico in alto si avrebbe una curva con un segmento quasi orizzontale (vedi immagine 18) a rappresentare una profondità alla quale esiste un brusco salto di temperatura.



salinità, la temperatura e la fluorescenza (da cui si rileva in laboratorio il dato della *clorofilla a* nell'acqua di mare). Vengono effettuate anche raccolte quindicinali di campioni di acqua di mare per la misurazione degli altri parametri rilevabili. L'analisi, effettuata in laboratorio, fornisce dati su: nutrienti inorganici, *clorofilla a*, proteine e carboidrati, carbonio organico e azoto, materia organica disciolta, fitoplancton e zooplancton.

In prima battuta può sembrare che rilevare informazioni di questo genere abbia il solo scopo di realizzare serie storiche di dati. Questo è certamente vero ma anche valutazioni immediate dei dati possono, sulla base dell'esperienza maturata, consentire un controllo costante sullo stato di salute del mare e sulle emergenze che possono verificarsi occasionalmente. Tra l'altro le valutazioni vengono effettuate anche rapportando i rilevamenti alle condizioni meteorologiche che sono spesso causa delle eventuali anomalie.

Le analisi sono importanti perché vengono effettuate su campioni raccolti non solo in superficie ma anche in profondità (colonna d'acqua) e riguardano i nutrienti disciolti in mare, essenziali per la vita dei piccoli organismi che costituiscono i primi livelli della catena alimentare, ed altri parametri, come la *clorofilla a*, l'analisi della quale consente di valutare l'abbondanza di fitoplancton in mare. Vedremo più avanti come si può riuscire ad avere informazioni sui cicli di sviluppo di diatomee e dinoflagellati (fitoplancton) grazie all'analisi dei dati rilevati.

I grafici ci “parlano” delle masse d'acqua

Abbiamo visto che il prelievo e l'elaborazione dei dati consente agli studiosi di realizzare grafici stagionali relativi all'andamento dei diversi parametri. Proviamo ora, ad esempio, a prendere in esame uno dei parametri studiati cioè la temperatura e a capire quali informazioni possiamo ricavare dalla conoscenza del suo andamento.

Il grafico in alto a destra

rappresenta l'andamento della temperatura invernale dell'acqua, spostandosi dalla superficie fino a -80 metri circa, rilevata a Punta del Faro, nel sito di campionamento lungo la costa del il Promontorio di Portofino. Come si può osservare la temperatura lungo la colonna d'acqua rimane intorno ai 13/14 gradi centigradi, pertanto il termoclino è praticamente assente. La colonna d'acqua, quindi, non è stratificata (cioè non ci sono masse d'acqua che, avendo temperature diverse, si "sovrappongono" creando una sorta di barriera tra una e l'altra) e questo permette il mescolamento delle acque stesse. In questo caso si parla di omeotermia della colonna d'acqua. Questa situazione si osserva generalmente in mari temperati, come il Mediterraneo, durante i mesi invernali. In questo periodo è proprio il rimescolamento delle acque che permette la risalita in superficie dei nutrienti necessari perché gli organismi autotrofi possano, quando le condizioni di illuminazione sono favorevoli, fissare il carbonio e "innescare" la catena alimentare.

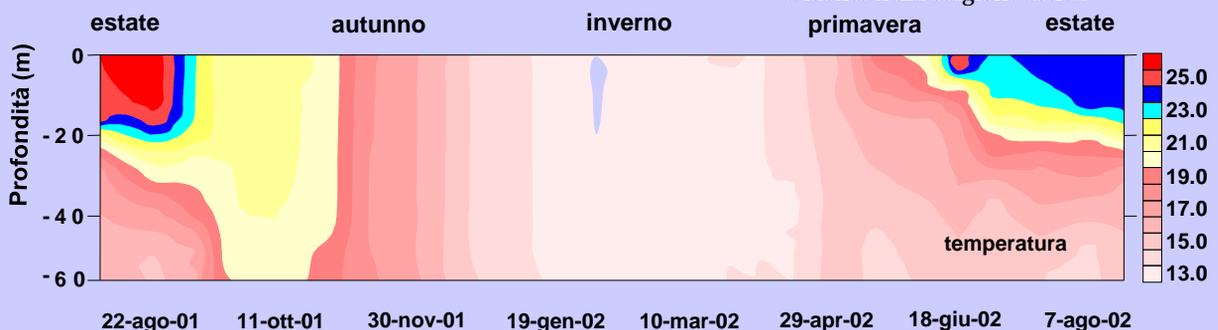
Dal secondo grafico della pagina precedente, ottenuto monitorando la temperatura delle acque nello stesso sito, ma durante il mese di agosto, si nota una situazione completamente diversa: l'acqua superficiale raggiunge temperature quasi doppie rispetto all'inverno (fino a 30 °C), mentre spostandosi in profondità la temperatura diminuisce gradualmente fino a 15/16 °C. In questo caso il termoclino è presente (termoclino stagionale) e le masse d'acqua interessate tenderanno a non mescolarsi facilmente. Questa situazione determina un progressivo impoverimento degli strati superficiali man mano che i nutrienti vengono consumati dai produttori primari. Gli organismi che vivono nella colonna d'acqua muoiono e le loro spoglie si depositano progressivamente negli strati inferiori; si determinerà quindi un conseguente accumulo di tali sostanze in profondità dove la luce non è più sufficiente allo sviluppo del fitoplancton. Perché le condizioni in superficie tornino ad essere favorevoli occorrerà attendere le prime mareggiate invernali che, favorendo nuovamente il mescolamento turbolento di masse d'acqua a temperature diverse, riporteranno progressivamente ad una situazione di omeotermia.

Il grafico in fondo alla pagina riassume l'andamento della temperatura della colonna d'acqua nei primi 60 metri di profondità a Punta del Faro, dall'estate del 2001 a quella del 2002.



15) In alto la *Posidonia oceanica* e in basso 16) una donzella pavonina. I cicli biologici anche in mare sono influenzati fortemente dalla temperatura. Così le alghe e le piante possono risentire di anomalie termiche e anche gli animali possono avere problemi biologici come ad esempio difficoltà di riproduzione. Potrebbe essere il caso di alcuni pesci che, in caso di riscaldamento delle acque, per cercare la temperatura ideale per riprodursi dovrebbero scendere in profondità.

17) Il grafico sottostante aiuta a comprendere come vari la temperatura delle acque marine nell'arco dell'anno. Ovviamente ogni anno le condizioni possono mutare in relazione a stagioni più o meno miti o fredde. Si noti il termoclino evidente nella stagione estiva.



Le anomalie termiche

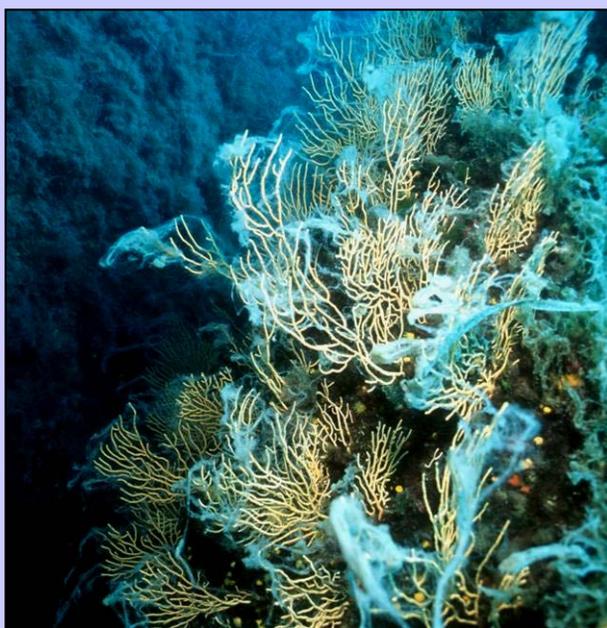
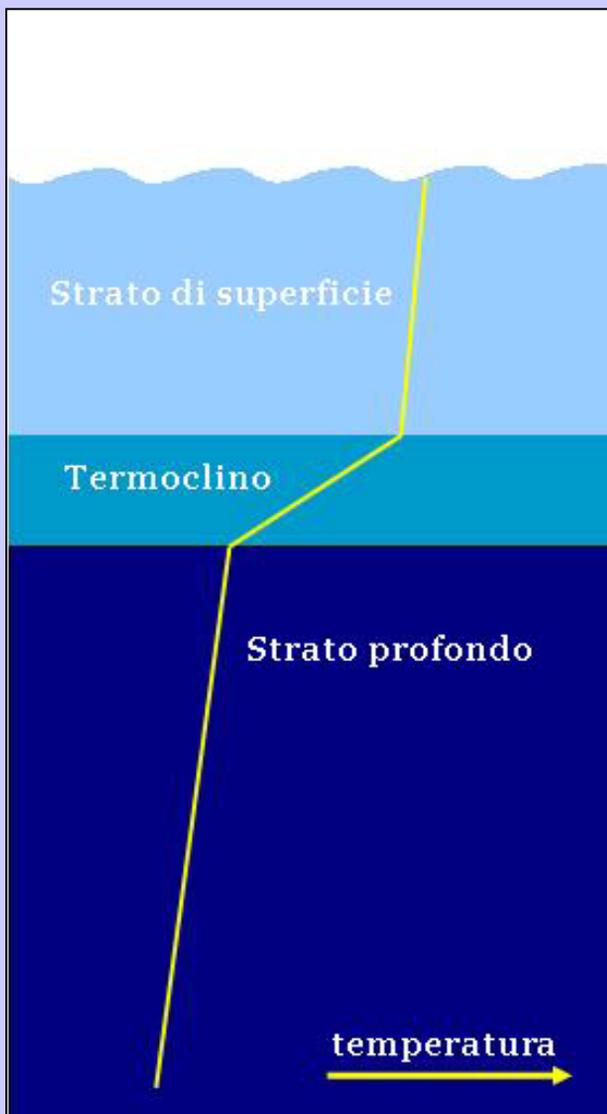
Durante il periodo estivo dell'anno 2003 si è registrato un aumento della temperatura dell'acqua di mare rispetto ai valori registrati nel decennio precedente. Questo innalzamento anomalo ha avuto effetti sull'ecosistema marino, in particolare sugli organismi che fanno parte dei primi livelli trofici.

Il fenomeno, che ha coinvolto tutta l'Europa, è stato causato da una combinazione di eventi atmosferici quali: assenza di venti, cielo sereno, aria con temperature molto calde e scarse precipitazioni. Questo ha fatto sì che si avesse un forte trasferimento di calore dalle masse d'aria atmosferiche alla superficie delle acque marine con l'instaurarsi di uno strato di acque superficiali molto più calde rispetto allo stesso periodo di anni precedenti (vedi grafico relativo ai dati della stazione di campionamento).

Già a giugno di quell'anno la stratificazione tra acque di superficie e profonde era netta e gli scambi tra le masse d'acqua estremamente ridotti.

Sono state inoltre effettuate indagini comparative da ricercatori del Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova tra l'anno in cui si è verificata l'anomalia ed i due anni precedenti (2001 e 2002). Rispetto ai periodi estivi 2001 e 2002 i dati dell'estate 2003 denunciano ad esempio una distribuzione di azoto differente all'interno della frazione organica rispetto a quello contenuto nella frazione inorganica. Nel 2003 anche il rapporto Azoto-Fosforo ha valori più alti rispetto alle estati precedenti, probabilmente a causa dell'accumulo di nitrati nello strato superficiale, in quanto il valore dei fosfati è rimasto costante in tutti e tre i periodi estivi degli anni presi in esame.

Questo evento ha prodotto alterazioni non solo del sistema pelagico, coinvolgendo il plancton, ma anche dell'ambiente bentonico, sia attraverso il forte riscaldamento che ha colpito, danneggiandoli gravemente o provocandone morie, gli organismi sessili (fissati in un punto del substrato) come le gorgonie, sia attraverso il formarsi di mucillagini. Il grande proliferare di mucillagini, formate da alghe, è stato, a dire il vero, favorito anche dall'assenza di moto ondoso nel periodo preso in esame.



18) In alto: schema generale dell'andamento della temperatura in mare quando è presente il termoclino.

19) In basso; mucillagine sulle gorgonie dopo un lungo periodo caldo e di assenza di mareggiate;

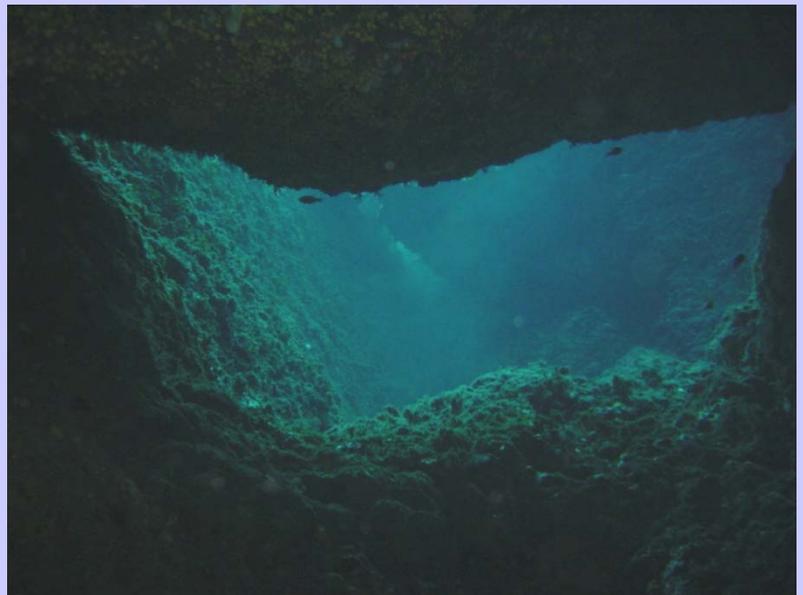
I cicli biologici, in rapporto a fattori ambientali, del primo livello della catena trofica: il fitoplancton

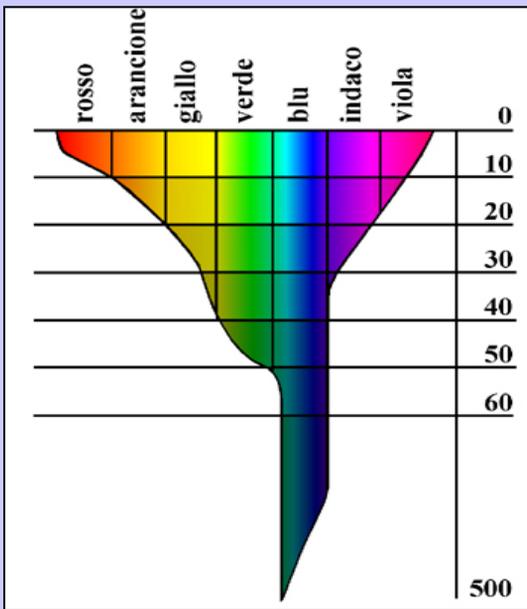
Grazie ai dati rilevati con l'ausilio della sonda multiparametrica, posizionata nella stazione di campionamento all'interno dell'area marina protetta, e alle loro successive elaborazioni di laboratorio, i ricercatori sono riusciti ad analizzare la dinamica dei primi livelli trofici della catena alimentare, anche in rapporto con le condizioni meteorologiche. Scopo della ricerca è stato quello di individuare le forze che influenzano i processi biologici, ricostruendo nello stesso tempo i cicli stagionali del fitoplancton. Abbiamo già visto che in inverno la temperatura delle acque di superficie è quasi uniforme con quella delle acque sottostanti, sino ad una certa profondità, mentre nel periodo estivo le acque di superficie più calde si stratificano su quelle più fredde che si trovano in profondità. Per queste particolarità, in estate i nutrienti diminuiscono negli strati di superficie e vi vengono reimmessi durante il rimescolamento invernale delle acque. Forti precipitazioni possono incrementare la disponibilità di nutrienti negli strati di superficie. La distribuzione della biomassa di fitoplancton a sua volta segue la stratificazione delle acque e la presenza di nutrienti. Gli organismi che la compongono, essenzialmente diatomee e dinoflegellati, sono soggetti a tre fasi di crescita, definite un po' impropriamente fioriture: una a tardo inverno, una a tarda primavera e una terzultima in autunno. La prima fioritura avviene generalmente in febbraio-marzo, prima che compaia la stratificazione termica delle acque, ed è comprovata dalle analisi che evidenziano alti valori di *clorofilla a*. L'aumento di biomassa si riscontra comunque negli strati superficiali ed è in gran parte causato dal moltiplicarsi di diatomee. Questa fioritura è dovuta probabilmente alla minore diffusione verticale delle acque in condizioni di bel tempo e mare calmo. La fioritura di tarda primavera è dovuta a presenza di nutrienti, associata con precipitazioni stagionali, ed è limitata alla superficie delle acque. Questa fioritura può essere piuttosto variabile, ad esempio nel maggio 2004 è stata osservata una grande fioritura con valori di *clorofilla a* paragonabili



20) In alto: la sonda posizionata al largo di Punta del Faro ed utilizzata per raccogliere i dati di temperatura, salinità e fluorescenza relativi alla colonna d'acqua.

21) In basso: una grotta nel fondale dell'area marina protetta dove le condizioni luminose sono diverse dall'ambiente esterno alla stessa profondità.





22) In alto: la luce è composta da radiazioni di colore diverso che riescono a penetrare in modo differente man mano che si scende in profondità. il disegno mostra in maniera indicativa la capacità di penetrare in profondità delle diverse radiazioni luminose.

23) Al centro: una fotografia realizzata con un flash a bassa intensità a circa 25/30 metri di profondità. Si notino in primo piano e illuminati dal lampo i pesci, un ramo di gorgonia e le ventose del polpo assumere colori accesi che normalmente, come si osserva nelle altre zone della fotografia, in condizioni di luce naturale vedremmo verdastri a queste profondità.

In basso: uno schema indicativo delle zone in cui si sviluppa la vita marina in rapporto alla presenza o meno di luce.

a quelli massimi invernali, mentre durante il 2002 la fioritura primaverile non è stata percepita per niente. In questo caso la fioritura di diatomee è ancora prevalente rispetto a quella dei dinoflagellati. Fanno eccezione periodi nei quali la temperatura dello strato di superficie del mare è particolarmente alta per via della stratificazione termica: in questo caso i dinoflagellati possono divenire percentualmente dominanti, come è avvenuto a fine primavera 2003 (anno eccezionalmente caldo). Durante l'estate poi i dinoflagellati, presenti insieme alle diatomee nel fitoplancton, mostrano generalmente il loro picco di biomassa.

In autunno si osserva l'ultima fase annuale di crescita del plancton. La fioritura è causata normalmente da un aumento della disponibilità dei nutrienti provenienti da apporti terrestri. Fattori meteorologici e l'inizio della circolazione e del mescolamento delle acque permette la crescita del fitoplancton in un grande intervallo di profondità a differenza di quanto normalmente avviene in tarda primavera, ma generalmente si rilevano bassi valori di *clorofilla a*.

Luce e trasparenza

La morfologia accidentata dei fondali dell'Area Marina Protetta di "Portofino" crea numerosi microambienti dove la luce, pur a basse profondità, arriva a fatica. Così alcune alghe e il corallo che rifuggono la luce e che normalmente si sviluppano a notevoli profondità, possono trovarsi in anfratti e in rientranze nella roccia già a -12/-15 metri. Il passaggio dei raggi luminosi in profondità è anche influenzato dalla trasparenza e nell'area marina protetta, in special modo nella zona "B" la natura rocciosa delle coste e dei fondali fa sì che si abbia, anche in condizioni di mare leggermente mosso e purché il moto ondoso non si sia protratto a lungo, una buona trasparenza dell'acqua. Condizioni di luminosità e trasparenza ancora migliori si hanno nei mesi estivi in coincidenza con situazioni di mare calmo, scarsità di correnti sia sul fondo che in superficie, scarso apporto di materiali terrigeni e forte illuminazione solare, così come nel periodo invernale quando si instaurano alte pressioni barometriche e soffiano venti provenienti dai settori settentrionali.

Zona EUFOTICA (Max 200m)

Zona in cui avviene la fotosintesi perché sufficientemente illuminata dai raggi solari

➔ presenza di alghe/piante marine

Zona AFOTICA

Zona in cui la fotosintesi non può più avvenire

➔ presenza della sola componente animale

Lavoriamo insieme

La direzione del vento

Per individuare la direzione del vento è sufficiente utilizzare una piccola bandiera o anche un "tubo" in tela leggera come quello dell'immagine. Con una bussola potremo poi facilmente individuare la direzione precisa.

La velocità del vento; costruiamo un anemometro

La velocità del vento e la sua direzione ci possono fornire informazioni sullo stato del mare. Per avere un'idea sulla velocità possiamo provare a costruire un anemometro la cui scala andrà tarata approssimativamente in base ad osservazioni ed alla scala di beaufort; quest'ultima reperibile su internet.

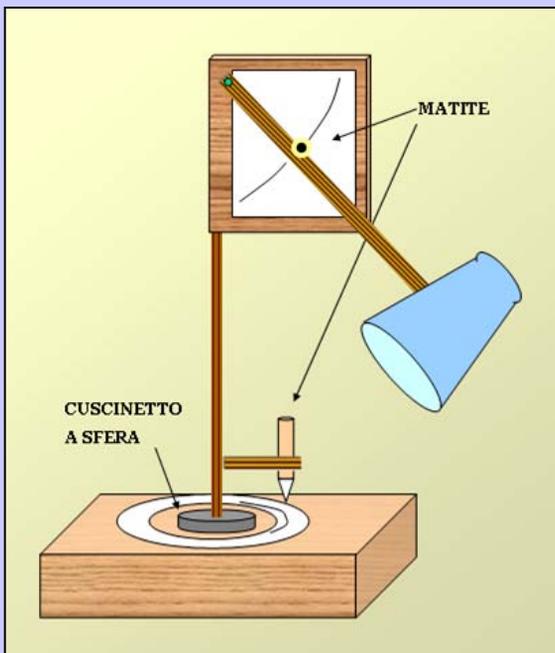
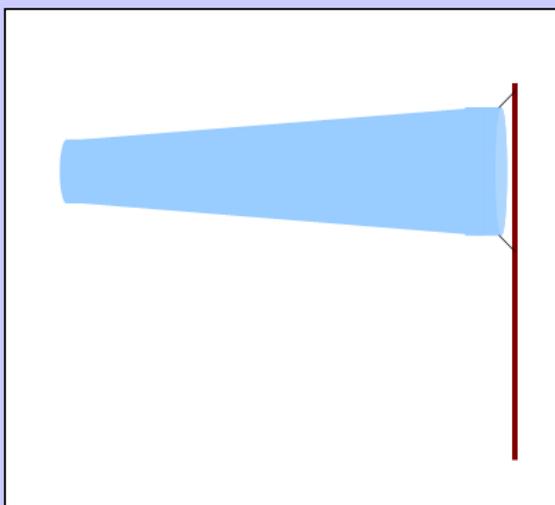
Occorrono un blocco di legno da 35 x 35 x 20; una bacchetta di legno di 25/30 cm, un cuscinetto a sfera in cui si possa inserire la bacchetta di legno, un rettangolo di compensato sottile da 10 cm x 10 cm; due bacchette di legno rettangolari da 1,5 cm x 2 cm, una lunga 15 cm e l'altra 8 cm; due spezzoni di matita; colla robusta, scotch biadesivo, un chiodo, carta e un bicchiere di plastica.

Fissate con la colla il cuscinetto a sfera al blocco di legno e montate all'estremità della bacchetta più lunga il compensato, fissando con un chiodino come in figura la bacchetta di legno, che deve rimanere libera di ruotare, alla cui estremità incollerete il bicchiere. La bacchetta più corta dovrà essere fissata in basso come in figura. I due spezzoni di matita serviranno per registrare le oscillazioni e dovranno essere fissate anch'esse come in figura. Ritagliate poi fogli di carta da attaccare con scotch biadesivo in modo che le matite vi scorrano per effettuare le registrazioni. Posizionate con l'aiuto della bussola l'apparecchio piuttosto in alto e distante da muri o altri ostacoli e se è troppo sensibile basterà appesantire il bicchiere.

È possibile realizzare un anemometro in grado di misurare la velocità del vento utilizzando un computer per bicicletta. Su internet sono visibili numerosi esempi.

La torbidità in mare: il disco di secchi

La misura della torbidità dell'acqua è molto semplice da rilevare perché si può usare un semplice disco bianco di 30 cm, ad esempio il coperchio di un contenitore di vernice murale, collegato al centro con una corda graduata in metri e appesantito affinché in profondità rimanga orizzontale. Quando il disco,



In alto: disegno di bandiera per individuare la direzione del vento.

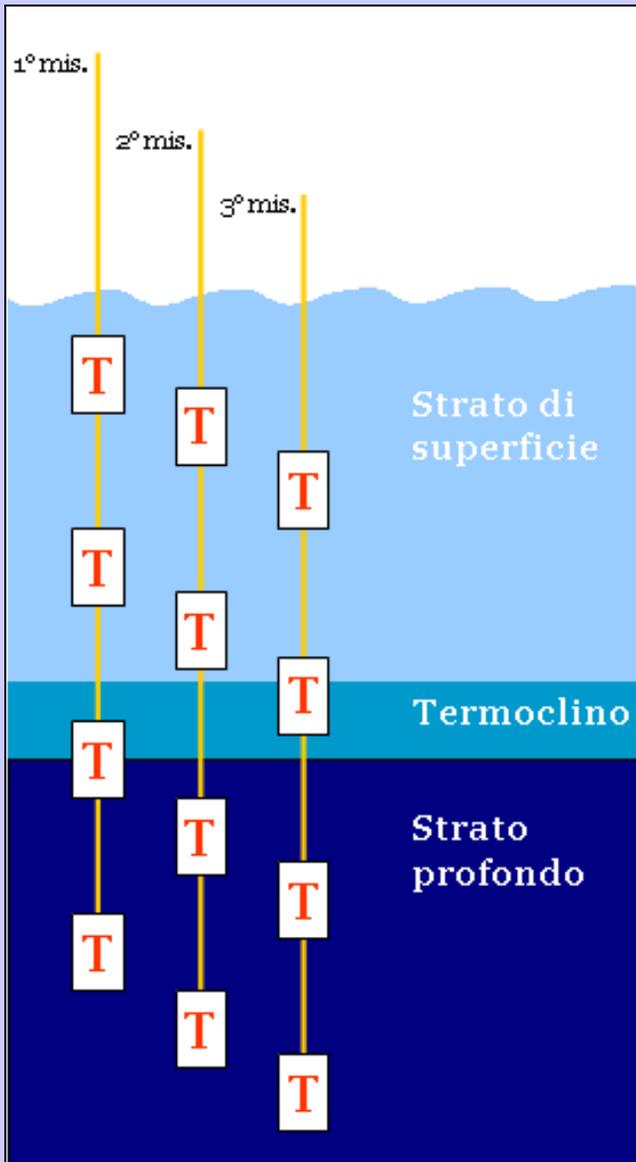
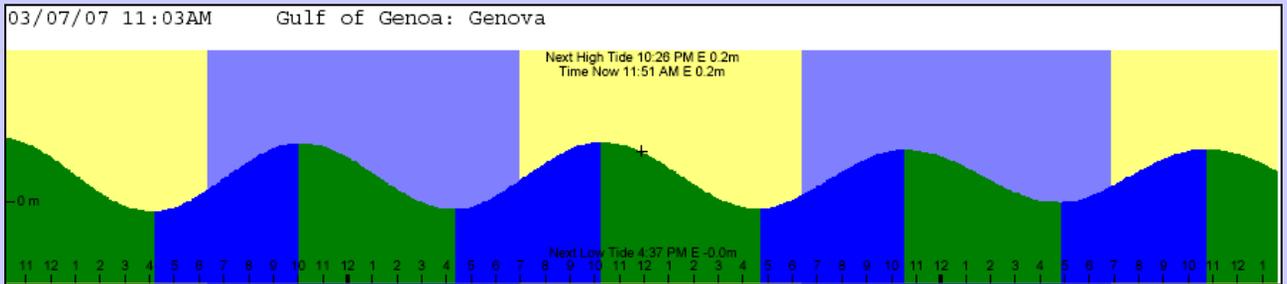
Al centro: la rosa dei venti.

In basso: lo schema di un anemometro artigianale.

immerso in acqua, non si vede più si effettua la misurazione della corda. Misure prolungate nel tempo, cercando di mantenere simili situazioni di osservazione, ci consentono di ottenere grafici della torbidità che possiamo correlare con le condizioni atmosferiche e le stagioni.

Le maree

Il calcolo delle maree è piuttosto complesso. Oggi, grazie ad internet, per effettuarlo è possibile utilizzare semplici ed efficaci programmi, scaricabili gratuitamente dalla rete.



In alto: una strisciata relativa all'ampiezza della marea elaborata grazie al programma wx tide 43

In basso: un esempio di indagine per identificare il termocline

Nell'immagine sopra è riportata una schermata dell'ampiezza della marea nel golfo di Genova tra il sei e l'otto marzo 2007. la differenza tra alta e bassa marea nel periodo preso in esame è molto elevata. Grazie al programma wx tide 43, reperibile sul sito www.wxtide32.it, che prevede diverse elaborazioni, si possono effettuare comparazioni con dati relativi ad altri luoghi del mondo o osservazioni naturalistiche rapportate al livello della marea.

L'individuazione del termocline

Nel nostro mare in estate si instaura il termocline stagionale. Se si dispone di una barca si può, in maniera indicativa, individuare la profondità di questo strato di passaggio tra la massa d'acqua calda di superficie e quella più fredda in profondità. Per farlo ci si può avvalere di termometri che registrino le massime e le minime temperature, legati ad altezze diverse lungo una corda graduata di circa 20 metri. Avendo il dato certo della profondità dei termometri, si effettuano più misure utilizzando più o meno corda e quindi tenendo i termometri a profondità diversa.

Temperatura e salinità

per osservare gli andamenti delle variazioni di salinità e temperatura nel Mediterraneo e ricavare carte aggiornate si segnala il sito Web del "Gruppo Nazionale di Oceanografia operativa" afferente all'Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia di Bologna (www.bo.ingv.it).

QUESTIONARIO N° 1

Prima sezione

- 1 Le correnti marine si formano solo in superficie? A sì B no
- 2 Qual è la causa che origina le correnti di deriva? A l'intensità del vento
 B la differenza di salinità tra masse d'acqua contigue
 C la differenza di temperatura tra masse d'acqua contigue
- 3 Le correnti di marea sono più intense al largo o quando arrivano vicino alla riva? A vicino alla riva B al largo
- 4 In generale in che direzione scorrono le acque di superficie presso lo Stretto di Gibilterra? A verso il Mar Mediterraneo
 B verso l'Oceano Atlantico
- 5 Le maree sono più ampie in mare aperto o presso la costa? A in mare aperto B presso la costa
- 6 Qual è il corpo celeste maggiormente coinvolto nel fenomeno delle maree? A Venere B il sole C la luna
- 7 Il vento genera le onde principalmente attraverso due azioni: quali? A l'attrito e il rotolamento
 B l'attrito e la compressione
 C lo schiacciamento e la compressione
- 8 Cosa può succedere ad un pesce se si trova improvvisamente a contatto con acque leggermente più fredde? A si alza il suo metabolismo
 B niente
 C si abbassa il suo metabolismo
- 9 Due masse d'acqua alla stessa temperatura di cui una è più salata dell'altra hanno la stessa densità? A sì
 B no, quella più salata è più densa
 C no, quella meno salata è più densa
- 10 Cosa sono gli oligoelementi? A sono sostanze disciolte nell'acqua in percentuali molto piccole o addirittura in tracce
 B sono sostanze molto diffuse nel Mar Mediterraneo
 C sono elementi che si trovano nelle acque vicine al fondo marino

Seconda sezione

- 1 Le correnti di superficie generate dai venti aumentano o diminuiscono la loro velocità in profondità? A aumentano la velocità
 B rimangono costanti
 C diminuiscono la velocità
- 2 Quant'è l'ampiezza di marea lungo il Promontorio di Portofino? A circa 30 cm B circa 80 cm C circa 7 cm
- 3 Il vento di libeccio è un vento che proviene? A da nord ovest B da nord est C da sud ovest
- 4 Grazie alla particolare conformazione del Promontorio di Portofino la zona "C" dell'area marina protetta, tra Punta Chiappa e l'abitato di Camogli, è protetta dal moto ondoso provocato dal/dallo... A libeccio B scirocco
- 5 Nei mesi invernali la temperatura della superficie del mare è molto diversa da quella misurata a 60-80 metri di profondità? A sì, ci sono almeno 15 gradi centigradi di differenza
 B no, e la temperatura è leggermente più calda in profondità
 C sì, e la temperatura in profondità è molto più fredda
- 6 In estate tra le acque molto calde di superficie a quelle più fredde in profondità.... A esiste una massa d'acqua verticale spessa almeno 30 metri dove vi è il mescolamento delle acque
 B non vi è nulla
 C si instaura un termoclino stagionale ossia una zona di contatto tra le due masse d'acqua in cui si registra una brusca variazione della temperatura
- 7 Si sono verificate anomalie termiche negli ultimi anni all'interno dell'Area Marina Protetta di "Portofino"? A no B sì, nel 2001 C sì, nel 2003
- 8 Dopo l'estate quali agenti provocano il mescolamento delle acque calde di superficie con quelle fredde più profonde? A i temporali B le piene dei fiumi C le mareggiate
- 9 Quale parametro biologico ci consente di avere indicazioni sulle "fioriture" del fitoplancton? A le proteine B i residui organici C la clorofilla a
- 10 Cos'è la zona eufotica? A la zona in cui avviene la fotosintesi perché sufficientemente illuminata dai raggi solari
 B la zona subito sotto a quella di marea
 C la zona dei fondali profondi

Fonti bibliografiche

- Albertelli G., Dagnino I., Della Croce N., Petrillo M. 1993. Ittioplanton e correnti nella zona Pilota (Chiavari, 1987-1989). Atti dell'Accademia Ligure di Scienze e Lettere. Serie V,L -1993
- Doglioli M, Griffa A., Magaldi M. G. 2004. Numerical study of a coastal current on a steep slope in presence of a cape: the case of the Promontorio di Portofino. *Journal of Geophysical Research – Oceans*, VOL. 109, C12033.
- Doglioli A., Magaldi M., Vezzulli L., Tucci S. 2004. A numerical model study about waste dispersion from a sea farm in the Ligurian Sea (Western Mediterranean). *Aquaculture*, Vol. 231/1-4 pp. 215-235, Elsevier.
- Gasparini G. P., Manzella G.M.R., Stocchino C. 1985. La circolazione delle correnti nel Mar Ligure in rapporto alla variabilità della temperatura, salinità e densità. Istituto idrografico della marina, Genova
- Melegari G., 1973. Portofino sub, guida alla conoscenza dei fondali del Promontorio di Portofino. ERGA, Genova
- Morri C., Bianchi C. N., Damiani V., Peirano A., Romeo G., Tunesi L. 1986. L'ambiente marino tra Punta della Chiappa e Sestri Levante (Mar Ligure): profilo ecotipologico e proposta di carta bionomica. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova*. 52 suppl., 213-231
- Mosetti F., 1977. Il nostro universo, le acque. UTET , Torino
- Povero P., Castellano M., Ruggieri N., Cattaneo-Vietti R. Sea water temperature anomalies in Ligurian Sea (Portofino, summer 2003): response of a coastal marine ecosystem. Contributo durante il quarto convegno nazionale sulle scienze del mare, Terrasini (PA) 16-22 ottobre 2004
- Ruggieri N., Castellano M., Misic C., Gasparini G., Cattaneo-Vietti R., Povero P. Seasonal and interannual dynamics of a coastal ecosystem (Portofino, Ligurian Sea) in relation to meteorological constraints. Contributo durante l'assemblea generale del "European Geosciences union", Vienna. 2-7 aprile 2006
- Cerrano C., Ponti M., Silvestri S., 1999. Guida alla Biologia Marina del Mediterraneo. Federazione Italiana Attività Subacquee (ristampa anno 2005 .Ananke edizioni Torino)
- Foto e disegni G. Massa: pagina iniziale, (1° sezione: 1,2,3,7, 15 (dis modif), 18,19,20,21,22,28, 31, 36, 37), (2° sezione: 1,2,6,7,9,9bis,18), disegni "lavoriamo insieme"
- Foto F. Gallotti: (2° sezione: 3)
- Foto R. Casale: (1° sezione: 4, 5, 33, 34)
- Foto L. Capurro: (1° sezione: 6, 12), (2° sezione: 16)
- Foto P. Tessera: (2° sezione: 19)
- Foto F. Ferracini: (2° sezione: 21, 23)
- Foto L. Tunesi: (1° sezione: 23), (2° sezione: 15)
- Foto S. Canese: (1° sezione: 29)
- Tabella tratta dalla rivista: *Water Condition & purification*, Gennaio 2005: (1° sezione 30)
- Tabella realizzato con dati scientifici ricavati da diverse fonti: (1° sezione: 32)
- Immagine di pubblico dominio da Wikipedia: (1° sezione: 9-lavcro del United States Federal Government, 16-autore snowdog, 17-fonte NASA, 35- autore Guido Grassow (copyleft)), (2° sezione: 10, 10bis-fonte NASA)
- Immagini e graficie gentilmente concessi dal Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova: (1° sezione 10, 11, 24), (2° sezione 8, 11, 12, 13, 14, 17, 20)
- Materiale di pubblico dominio tratto dal sito www.nrlssc.navy.mil, dei laboratori di ricerca navale degli Stati Uniti: (1° sezione: 8, 25, 26, 27)
- Materiale gentilmente concesso da Doglioli A., Magaldi M., Vezzulli L., Tucci S.: (2° sezione: 4, 5)
- Materiale gentilmente concesso da C. Cerrano, M. Ponti, S. Silvestri. Da "Guida alla Biologia Marina del Mediterraneo": (1° sezione: 13, 14) , (2° sezione: 22)
- Immagine calcolo maree in "lavoriamo insieme" ricavata grazie a software free "wxtide 43", reperibile sul sito www.wxtide32.it.
- Capitolo realizzato da Giorgio Massa con la collaborazione di Daniela Bianchi, Sabina Descalzo, Gabriella Foggi, Giada Franci, e Nicoletta Mori.