

OCEANOGRAFIA

Generalità

L'oceanografia si occupa dello studio dei mari. Va osservato in primo luogo che i mari occupano quasi il 71% della superficie del globo. Come si può vedere nei diagrammi riportati di seguito, che rappresentano rispettivamente la distribuzione delle terre emerse e degli oceani e le elevazioni della superficie terrestre, le terre emerse sono posizionate per lo più nell'emisfero boreale.

In particolare l'oceanografia studia:

- Proprietà chimiche e fisiche (temperatura, densità, salinità...)
- Movimenti del mare (onde e correnti)
- Equilibrio dell'ambiente marino (scambi energetici, assorbimento di O₂, CO₂...)
- Risorse dell'ambiente marino (ambientali, biologiche, minerarie)

Si può individuare facilmente il collegamento tra oceanografia

e meteorologia marittima (che, ricordiamo, si occupa dello studio dei fenomeni atmosferici nell'interfaccia mare/atmosfera) se si pensa che l'atmosfera preleva circa l'80% del vapore acqueo proprio dagli oceani, i quali forniscono una buona parte dei nuclei di condensazione. Inoltre, molti fenomeni meteorologici sono correlati all'ambiente marino: per esempio i movimenti del mare (onde e correnti di deriva) sono diretta conseguenza di processi atmosferici (vento).

L'ambiente marino

Lo studio dell'ambiente marino parte dall'analisi della conformazione dei fondali. La profondità del mare viene definita attraverso le Batimetrie o Isobate (linee di uguale profondità) ed attraverso i Profili (sezioni trasversali che definiscono la configurazione del fondale).

Le campagne idrografiche vengono attuate, essenzialmente, per eseguire il rilievo sistematico dei mari, produrre e diffondere documentazione nautica (carte e pubblicazioni per la navigazione marittima, cartografia dettagliata dei fondali) e per lo studio della dinamica delle acque e delle loro caratteristiche idrologiche. Altre finalità perseguite sono:

- Controlli e verifiche nelle aree già analizzate da rilievi;
- Rilievi finalizzati all'aggiornamento delle pubblicazioni nautiche;
- Rilievi in porti;
- Rilievi batimetrici;
- Rilievi finalizzati alla costruzione della rete geodetica nazionale;
- Rilievi oceanografici finalizzati a ricerche specifiche;
- Rilievi sedimentologici;

La forma del fondo marino è molto irregolare ed esiste una vasta nomenclatura atta a descrivere i vari tipi di conformazione del fondale. Tra questi vale la pena ricordare:

- Piattaforma continentale: caratterizzata da lievi pendenze, arriva fino a circa 200 metri di profondità.
- Zoccolo o scarpa: caratterizzata da forti pendenze, arriva a circa 2500 metri di profondità.
- Depressioni oceaniche primarie:
 - Bacini
 - Avvallamenti
 - Canali
 - Fosse ed abissi
 - Fondi abissali
- Rilievi marini primari:
 - Dorsali
 - Dossi
 - Plateau
- Altri elementi:
 - Scoglio
 - Secca
 - Banco

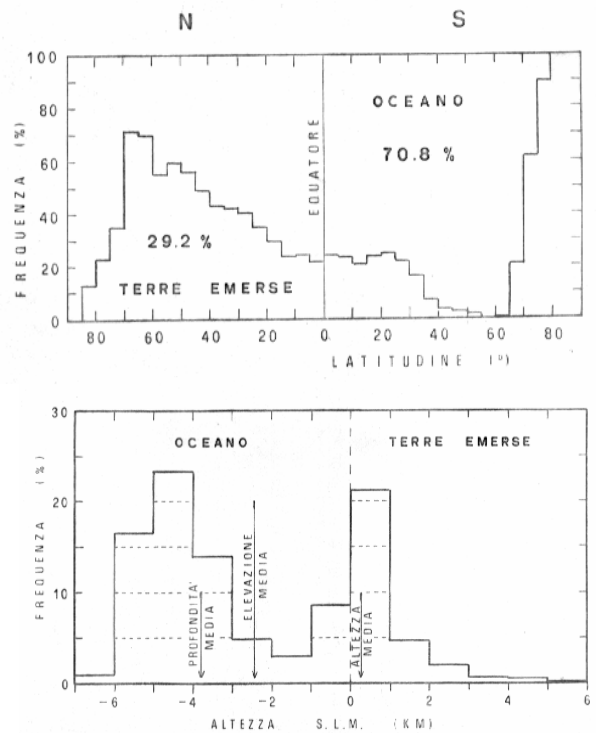


Fig. 1 . Diagramma della distribuzione delle terre emerse e degli oceani e diagramma delle elevazioni della superficie terrestre.

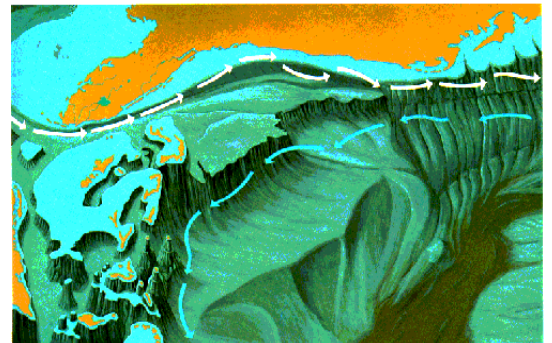


Fig. 2 La piattaforma continentale.

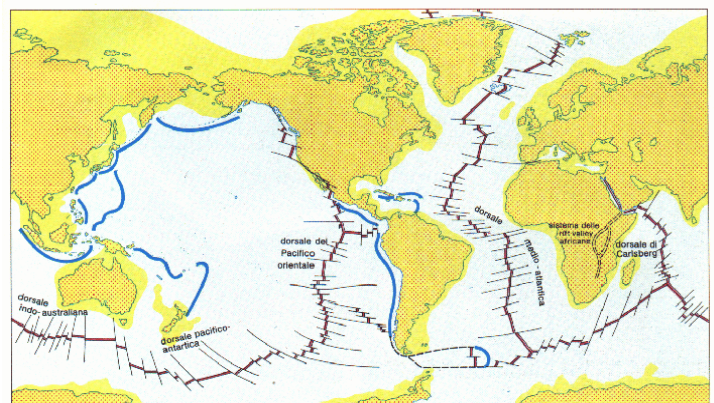


Fig. 3 Le dorsali.

OCEANOGRAFIA

- Bassofondo

Sul fondo marino sono infine depositati sedimenti di varia provenienza, che nel tempo si sovrappongono l'uno all'altro, dando origine, talvolta (su base temporale geologica), a nuovi rilievi (sedimentazione, subsidenza e compattazione, come nel caso del Carso Triestino o della piattaforma carbonatica carsico friulana). Le sostanze che compongono il fondo marino sono essenzialmente costituite da fanghi, rocce erose, sabbie vulcaniche e non, resti di organismi, minerali... Il processo di deposito risulta essere più rapido in prossimità della costa che al largo, con una certa dipendenza dalla profondità delle acque.

Lo studio dei sedimenti viene effettuato mediante il prelievo di carote, ossia sezioni più o meno profonde di fondale marino.

Proprietà fondamentali dell'acqua di mare I: le caratteristiche chimiche

La costituzione chimica dell'acqua di mare è estremamente complessa, poiché dipende da molteplici fattori, tra i quali predominano l'apporto delle acque continentali, gli scambi e l'interazione tra superficie marina e atmosfera, i processi chimico/fisici che avvengono tra gli ioni in soluzione e i minerali costituenti i sedimenti del fondo e in sospensione, i processi biochimici, quali la fotosintesi, il metabolismo dei vari organismi presenti nell'ambiente marino e l'apporto degli scarichi di acqua e materiali dovuti alle attività umane.

L'acqua del mare presenta quindi varie proprietà fisiche e chimiche che la distinguono dall'acqua dolce. Tali proprietà e la sua composizione producono il risultato di una serie di fenomeni che si sono verificati nel corso della storia della Terra. L'acqua "primitiva" doveva essere notevolmente acida, la presenza dell'ossigeno disciolto minima e invece doveva essere alta la presenza d'anidride carbonica disciolta, così come si poteva rilevare un'alta percentuale di anidride carbonica nell'atmosfera. Lo sviluppo delle fonti di vita e dell'attività di fotosintesi hanno fatto sì che diminuisse la concentrazione di CO₂, che aumentasse quella d'ossigeno e che cambiassero gli equilibri d'altre sostanze disciolte. Inoltre, il continuo apporto di sali minerali dal dilavamento e dalla solubilità delle rocce hanno portato all'attuale composizione dell'acqua marina.

Nell'acqua di mare si trovano sali inorganici, prevalentemente sotto forma di ioni, gas e sostanze organiche. Si ritiene che vi siano presenti tutti gli elementi naturali, anche se in percentuali molto diverse. Molto diversa è anche la proporzione tra gli

Elemento	mg/litro	Elemento	mg/litro	Elemento	mg/litro
Cloro	18.980	Indio	0,02	Argento	0,0003
Sodio	10.540	Zinco	0,01	Lantanio	0,0003
Magnesio	1.350	Ferro	0,01	Cripto	0,0003
Zolfo	885	Alluminio	0,01	Neon	0,0001
Calcio	400	Molibdeno	0,01	Cadmio	0,0001
Potassio	380	Selenio	0,004	Tungsteno	0,0001
Bromo	65	Stagno	0,003	Xeno	0,0001
Carbonio	28	Rame	0,003	Germanio	0,00007
Stronzio	8	Arsenico	0,003	Cromo	0,00005
Boro	4,6	Uranio	0,003	Torio	0,00005
Silicio	3	Nichel	0,002	Scandio	0,00004
Fluoro	1,3	Vanadio	0,002	Piombo	0,00003
Argo	0,6	Manganese	0,002	Mercurio	0,00003
Azoto	0,5	Titanio	0,001	Gallio	0,00003
Litio	0,17	Antimonio	0,0005	Bismuto	0,00002
Rubidio	0,12	Cobalto	0,0005	Niobio	0,00001
Fosforo	0,07	Cesio	0,0005	Tallio	0,00001
Iodio	0,06	Cerio	0,0004	Elio	0,000005
Bario	0,03	Ittrio	0,0003	Oro	0,000004

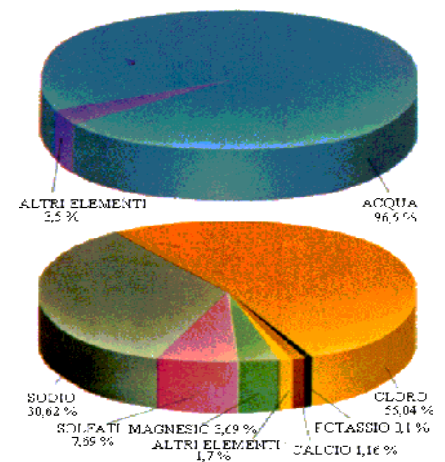


Fig. 4, Tab. 1. Composizione dell'acqua degli oceani.

elementi dell'acqua di mare rispetto a quella delle rocce della litosfera.

I principali costituenti sono il sodio, il cloro, il magnesio, il calcio, il potassio, il bromo, i gruppi atomici SO₄⁻, BO₃⁻ e HCO₃⁻, che determinano la salinità dell'acqua di mare. L'elemento più abbondante tra i cationi è il sodio e quello più abbondante tra gli anioni è il cloro. Perciò il residuo secco che si ottiene dall'evaporazione dell'acqua marina (salinità) è in prevalenza costituito da cloruro di sodio (NaCl); con una salinità di 35g/l (valore medio) si hanno 30g/l di cloruro di sodio, mentre il resto è ripartito tra cloruro di magnesio (MgCl) e altri sali in percentuali notevolmente minori, quali carbonati (CaCO₃), bromuri e borati.

La salinità subisce variazioni soprattutto nell'ambito superficiale a causa dell'evaporazione, degli apporti delle precipitazioni meteoriche e delle acque continentali (fiumi e acque di fusione dei ghiacciai): nei mari polari, la salinità superficiale assume valori di 32-33g/l, nei mari caldi delle fasce tropicali, dove massima è l'evaporazione, si registrano valori di 36-37g/l; nei bacini interni le variazioni sono più ampie a causa della scarsità di comunicazione e di mescolamento con le acque oceaniche: per esempio, nel golfo di Botnia (Mar Baltico) la salinità è anche inferiore a 5-6 g/l, mentre nel Mar Rosso supera i 40g/litro.

In superficie e in prossimità delle coste la salinità presenta variazioni anche stagionali, negli oceani rimane praticamente costante; in profondità è in genere leggermente inferiore ai valori di superficie e non subisce sensibili variazioni.

OCEANOGRAFIA

I rapporti quantitativi tra i principali costituenti rimangono invariati al variare della salinità e quindi è possibile determinare la salinità complessiva in funzione della concentrazione di un solo elemento, in genere il cloro (clorinità), secondo la seguente relazione:

$$S = 0,03 + 1,85Cl$$

La salinità media superficiale degli oceani è normalmente compresa tra il 33‰ e il 37‰; tuttavia in zone più chiuse con scarsi apporti d'acqua dolce, dove l'evaporazione è maggiore, arriva fino a valori di 40g/litro, mentre in zone soggette a scarsa evaporazione e a ingenti apporti di acqua dolce si misura una salinità superficiale bassa o addirittura molto bassa fino quasi a raggiungere i 5g/litro. Il valore più alto si registra infine nel Mar Morto (che è un lago), ove i valori registrati oscillano tra i 300g/l ed i 400g/l.

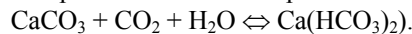
Nei mari italiani, in superficie, la salinità è compresa tra il 37,70‰ e il 38,50‰, con punte minime del 32,70‰ dovuta ad apporti di acqua dolce. Infatti il modo in cui varia la salinità dipende quasi interamente dal bilancio tra evaporazione e precipitazioni e dall'entità del mescolamento tra acque superficiali e profonde; inoltre, come già detto sopra, essa risulta soggetta a più ampie variazioni nella fascia costiera, dove le azioni modificatrici sono più intense e mutevoli.

L'acqua di mare contiene disciolti anche numerosi gas, provenienti principalmente dal contatto tra superficie marina e atmosfera (azoto N_2 , ossigeno O_2 , anidride carbonica CO_2). La composizione dell'aria disciolta è molto diversa da quella normale ed è in rapporto con la diversa solubilità dei gas nell'acqua e a molti altri fattori biochimici.

In generale, le temperature più basse e la bassa salinità aumentano il quantitativo dei gas disciolti; inoltre, la solubilità di un gas è notevolmente influenzata dalla sua pressione parziale, dall'ampiezza e dallo stato di turbolenza e della superficie assorbente. Essendo l'ossigeno più solubile in acqua dell'azoto, l'aria disciolta è più ricca in ossigeno di quella atmosferica: ne contiene infatti circa il 34% (contro il 21% dell'atmosfera, mentre l'azoto è presente con una percentuale pari al 64% contro il 78% dell'atmosfera).

Anche l'anidride carbonica ha un ruolo importante nella vita nel mare, poiché interviene nella fotosintesi; il quantitativo disciolto è tanto più grande quanto più grande è la sua concentrazione nell'atmosfera soprastante (a parità di temperatura e di salinità) è presente in una percentuale pari allo 0,6% (0,03% nell'aria).

Parte dell'anidride carbonica disciolta regola l'equilibrio dei carbonati e bicarbonati: un suo aumento provoca la soluzione dei carbonati che diventano bicarbonati (solubili), una sua diminuzione fa diventare i bicarbonati carbonati (insolubili), mentre l'anidride carbonica ritorna in soluzione per passare poi nell'atmosfera. Il processo avviene secondo la reazione reversibile:



Il grado di acidità dell'acqua di mare varia anch'esso con la zona, la profondità, la stagione... In genere, salvo forti inquinamenti locali, l'acqua marina presenta reazione debolmente alcalina, e p. es. nel Mediterraneo corrisponde in superficie a un pH compreso tra 7,95 e 8,13.

Proprietà fondamentali dell'acqua di mare II: le caratteristiche fisiche

La densità delle acque marine dipende dalla salinità, dalla temperatura e dalla pressione ($p=p_0+\rho gh$) corrispondente alla profondità cui si trova l'acqua e il suo valore segue le variazioni di questi tre parametri.

Considerando unicamente la salinità e la temperatura, la densità varia tra 1,008 e 1,030 t/m³; oscillazioni più ampie si possono avere nei mari interni.

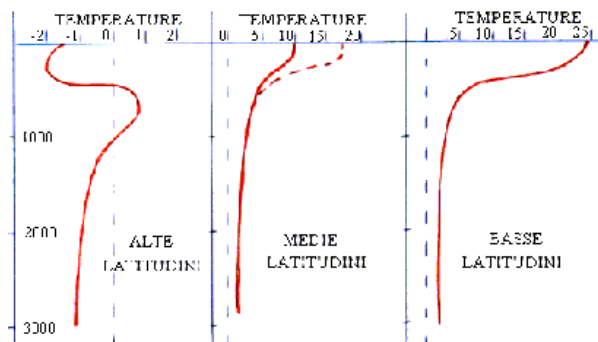


Fig. 6 . Andamento della temperatura in funzione della latitudine e della profondità.

all'atmosfera. Inoltre per la maggior capacità termica dell'acqua rispetto a quella del suolo, la medesima quantità di energia termica, nello stesso intervallo di tempo, produce un aumento della temperatura dell'acqua di superficie pari a circa la metà di

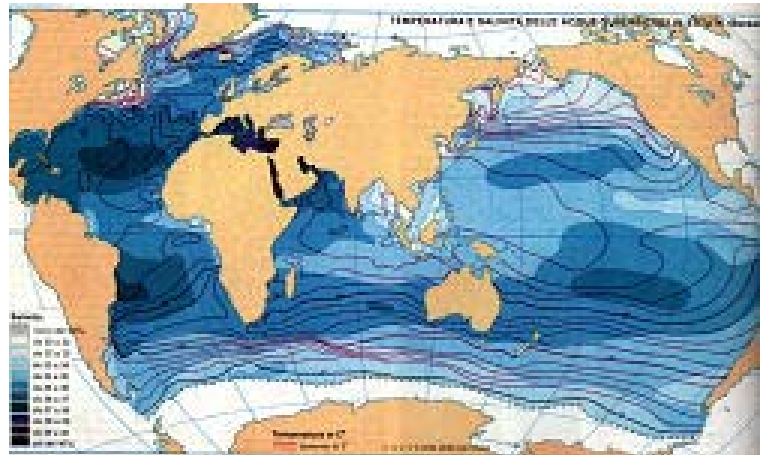


Fig. 5 Distribuzione della salinità negli oceani.

La densità aumenta generalmente con l'aumentare della salinità e decresce con l'aumentare della temperatura. A parità di salinità e di temperatura, aumenta con la profondità per effetto del peso dell'acqua sovrastante.

Riunendo in una rappresentazione planimetrica tutti i punti aventi uguale densità si ottengono delle linee (isopicniche) il cui esame è fondamentale nello studio della statica e della dinamica delle masse marine. A una distribuzione di isopicniche stratificate e parallele alla superficie marina, con valori che crescono dall'alto verso il basso, corrisponde una condizione di stabilità; a una qualunque distribuzione diversa corrisponde uno stato di instabilità, che determina uno scorrimento d'acqua (correnti termoaline).

Per quanto concerne la temperatura, la radiazione solare è la fonte primaria del riscaldamento dell'acqua di mare. Essendo riscaldato dall'alto, l'oceano presenta una maggiore stabilità rispetto

OCEANOGRAFIA

quello delle regioni costiere limitrofe; tale quantità di calore si propaga nella massa d'acqua prevalentemente per convezione e viene ceduta in parte e lentamente all'atmosfera; mentre l'aria al di sopra delle aree continentali subisce forti escursioni termiche, al di sopra degli oceani l'aria ha oscillazioni di temperatura notevolmente inferiori.

Le variazioni termiche diurne dell'acqua oceanica superficiale sono molto lievi dell'ordine di qualche decimo di grado. In condizione di mare calmo, con minimi nelle prime ore del mattino e massimi nelle tarde ore pomeridiane; con mare agitato l'oscillazione diurna praticamente si annulla.

Più ampie sono le escursioni termiche annue, tra 6 e 10°C, con valori molto più elevati presso le zone costiere e inferiori della fascia equatoriale, tra 15°N e 15°S di latitudine.

La temperatura superficiale degli oceani raggiunge i valori più elevati, superiori a 27°C, nell'emisfero boreale in corrispondenza dell'equatore. Leggermente inferiori sono i valori registrati nell'emisfero australe. Tuttavia, le temperature massime non si trovano in oceano aperto, ma in mari marginali, quali il Mar Rosso (34°C), il golfo del Messico (32°C). Dalla fascia equatoriale la temperatura decresce verso i poli proporzionalmente alla latitudine, abbassandosi a circa -1,7°C nei mari sub polari. Con una salinità di 35g/l, l'acqua del mare congela a -1,9°C; il cambiamento di stato riduce l'effetto dell'abbassamento di temperatura e protegge la massa d'acqua da ulteriori raffreddamenti: infatti, mentre si abbassa la temperatura dell'aria, la temperatura dell'acqua diventa costante al punto di congelamento e si ha solo un ispessimento dello strato di ghiaccio.

Riassumendo, si può affermare l'esistenza di un gradiente termico orizzontale dell'ordine di 1°C ogni 4° di latitudine, per quanto influenzato dalla presenza delle correnti marine.

La distribuzione termica in profondità e la sua variabilità nel tempo è in rapporto con le variazioni annue di temperatura e risente poco delle oscillazioni diurne che si estinguono entro uno strato mediamente compreso tra 5 e 20 metri; anche queste però hanno importanza perché concorrono alla produzione di moti turbolenti che favoriscono gli scambi termici.

Generalmente, osservando l'andamento medio della temperatura in funzione della profondità si osserva un primo strato superficiale sensibilmente omeotermo (non considerando le variazioni nel tempo), cui segue uno strato inferiore in cui si registra un brusco sbalzo (stato del salto termico) ed infine un altro strato omeotermo, ma con temperatura molto più bassa di quello superiore.

Alle basse e medie latitudini, la stratificazione termica è normale, cioè presenta temperature profonde più basse di quelle dell'acqua di superficie; alle alte latitudini la stratificazione è inversa, con acque profonde più calde di quelle superficiali, anche se stagionalmente si può stabilire una condizione omeoterma. Negli strati più alti si hanno i massimi contrasti di temperatura, mentre in profondità le variazioni si attenuano. Alle medesime latitudini, tra la superficie e alcune centinaia di metri la temperatura si mantiene relativamente alta: a 1000 metri varia tra 3 e 5°C, a 2000 tra 2 e 3°C, a 3000 metri è intorno ai 2°C e per profondità maggiori scende verso 0°C, per la presenza di correnti profonde sub polari o polari.

L'andamento termico può assumere però forme molto più complesse in relazione alle variazioni di salinità e quindi di densità. Esso può produrre a una certa profondità un ostacolo contro i moti convettivi verticali e la formazione di strati più freddi (o più caldi) incuneati entro masse d'acqua più calde (o più fredde).

La trasparenza definisce la massima profondità alla quale sono visibili oggetti subacquei. Questa grandezza dipende essenzialmente dal numero e dalla natura delle particelle sospese e dall'illuminazione e si misura con il disco del secchi (disco di ~20cm di diametro di colore bianco...).

Il colore dipende dalla diffusione della luce solare dovuta alle particelle sospese ossia dalla presenza di particolari pigmentazioni di origine organica (per esempio il colore verde è dovuto alla presenza di pigmenti gialli).

Il colore dipende anche da:

- Stato del cielo
- Profondità delle acque
- Natura del fondale

La conducibilità elettrica è stretta conseguenza delle proprietà ioniche dell'acqua di mare analizzate in precedenza. Essa è evidentemente funzione della salinità. In particolare, la conducibilità aumenta con la salinità (maggior numero di coppie ioniche) e la temperatura (maggior agitazione termica). Le misure di conducibilità sono essenziali per valutare i parametri delle correnti marine e della velocità della nave (solcometri elettromagnetici).

La tensione superficiale esprime la forza per unità di lunghezza che si manifesta in corrispondenza della superficie di separazione tra due liquidi non miscelabili. Essa fa sì che lo strato superficiale del liquido si comporti come una membrana tesa, che permette a piccoli oggetti di "galleggiare" e muoversi sulla superficie di separazione. Tale forza agisce tangenzialmente alla superficie di separazione tra i due fluidi. La tensione superficiale diminuisce con la temperatura ed aumenta con la salinità. È importante nel processo di formazione del moto ondoso, in quanto concorre allo smorzamento delle onde.

La viscosità definisce l'attrito interno dei liquidi. Quello dell'acqua dolce è inferiore a quello dell'acqua di mare. La viscosità diminuisce con l'aumentare della temperatura ed aumenta con la salinità.

La diffusione esprime la tendenza al rimescolamento di una porzione di acqua con quella adiacente: pertanto contribuisce alla propagazione del calore ed alla diffusione dell'inquinamento. La diffusione aumenta con l'aumentare dello stato di moto delle masse di acqua (moto ondoso, vento, temperatura...).

Infine la propagazione del suono. La velocità di propagazione dipende dalla temperatura e dalla densità dell'acqua. Un valore tipico è pari a 1340 m/s. È da ricordare che, nell'acqua, le onde sonore sono soggette ai processi meccanici di riflessione e rifrazione. Lo studio della propagazione del suono trova notevoli applicazioni in sismica marina (per lo studio dei terremoti) e in navigazione (ecoscandaglio, solcometro).

OCEANOGRAFIA

Cenni sul problema dell'inquinamento marino

Accenniamo brevemente all'inquinamento marino ed a come quest'ultimo possa condizionando gli equilibri biologici esistenti avere ripercussioni sull'ecosistema, sulla catena alimentare e sul ciclo dell'acqua.

L'inquinamento può essere determinato da molti fattori, ad esempio:

- Rifiuti organici
- Rifiuti inorganici
- Sostanze chimiche
- Riscaldamento termico

Tutte queste forme di inquinamento hanno quanto meno l'effetto di alterare l'equilibrio preesistente.

Per esempio, nell'inquinamento da greggio ed idrocarburi, il ruolo inquinante è costituito in gran parte dai cosiddetti oli persistenti, i quali presentano la caratteristica di arrestare il processo di evaporazione dell'acqua dalla superficie del mare. Essi hanno inoltre la caratteristica di espandersi con una certa facilità su superfici di notevole estensione, mantenendo spessori di pochi μm ($1\mu = 10^{-6}$ m).

Tale tipologia di inquinamento porta ad una serie di conseguenze, identificabili nei seguenti punti chiave:

1. Distruzione del Plancton: lo strato oleoso inibisce l'attraversamento della radiazione solare, impedendo il processo di ossigenazione del mare. In questo modo rende impossibile all'organismo l'importante processo di fotosintesi clorofilliana. Se si pensa che il plancton costituisce il primo gradino della catena alimentare della gran parte delle forme di vite acquatiche, si comprende come questo tipo di inquinamento sia particolarmente dannoso.
2. Danni alla flora ed alla fauna marina, come conseguenza della riduzione del plancton e dell'ossigenazione delle acque.
3. Danni al commercio, in quanto i prodotti non sono più commestibili. Ne conseguono ovvie ripercussioni sulla catena alimentare dell'uomo: nella stessa vengono introdotte sostanze nocive con aumento, nel tempo, di neoplasie.

Nel campo marittimo, la normativa MARPOL 73/78 e le successive integrazioni rappresentano l'impegno dell'IMO e dei membri aderenti contro l'inquinamento delle acque.

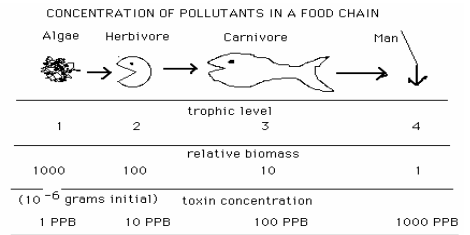


Fig. 7 La catena alimentare.

Riferimenti Bibliografici

- ❑ <http://earth.usc.edu/~slund/oceanography/topic23/topic23.html>
- ❑ <http://luda.it/~musrosi/gruppi/biologia/pp.sm/>
- ❑ <http://www.agenziaalfa.it/mondomarino/>
- ❑ <http://www.gardasole.it>
- ❑ <http://www.geologi.it>
- ❑ <http://www.vialattea.net/esperti/php/risposta.php?num=2517>
- ❑ http://it.wikipedia.org/wiki/Mar_Morto
- ❑ Mosetti "Fondamenti di Oceanologia e Idrologia" Ed UTET
- ❑ Sannino "Meteorologia Nautica" Ed. Itlibri
- ❑ Stravisi Dispense di "Oceanografia" Università degli Studi di Trieste (<http://www.dst.univ.trieste.it/OM/OM.html>).