

Maggio-Giugno 2014

PAS - A056/C180

Oceanografia 2

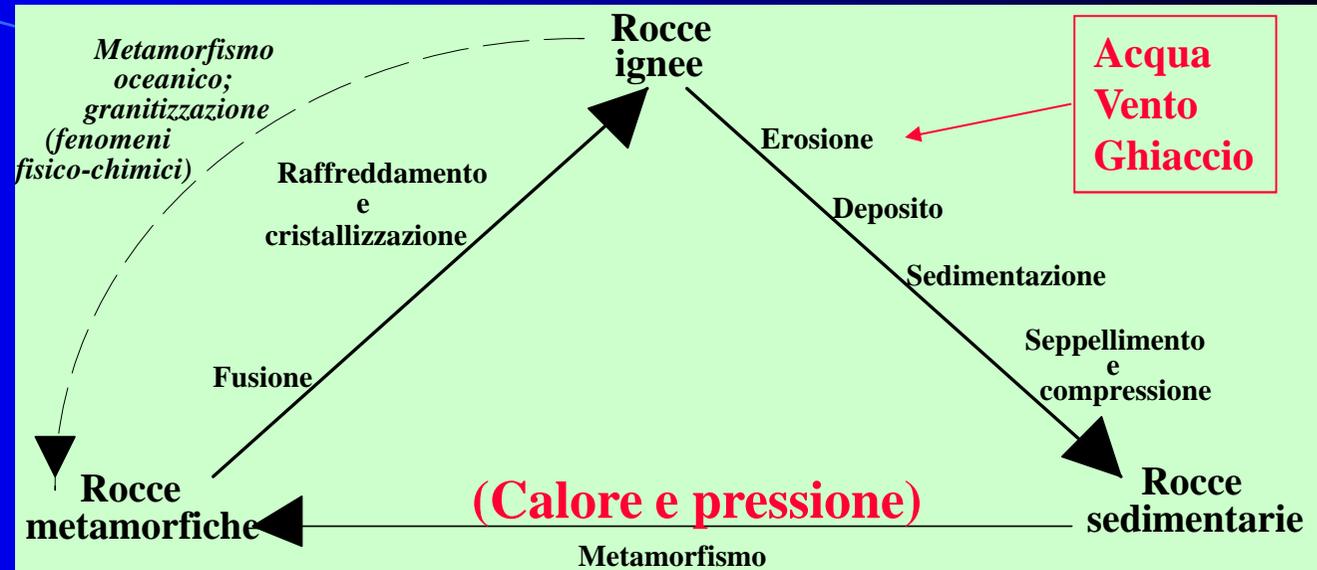
**I sedimenti;
Caratteri fisico-chimici dell'acqua di mare**

NOTA

Materiale didattico ad
uso esclusivo dei
frequentatori.

A cura del C.te Giorgio TROSSARELLI

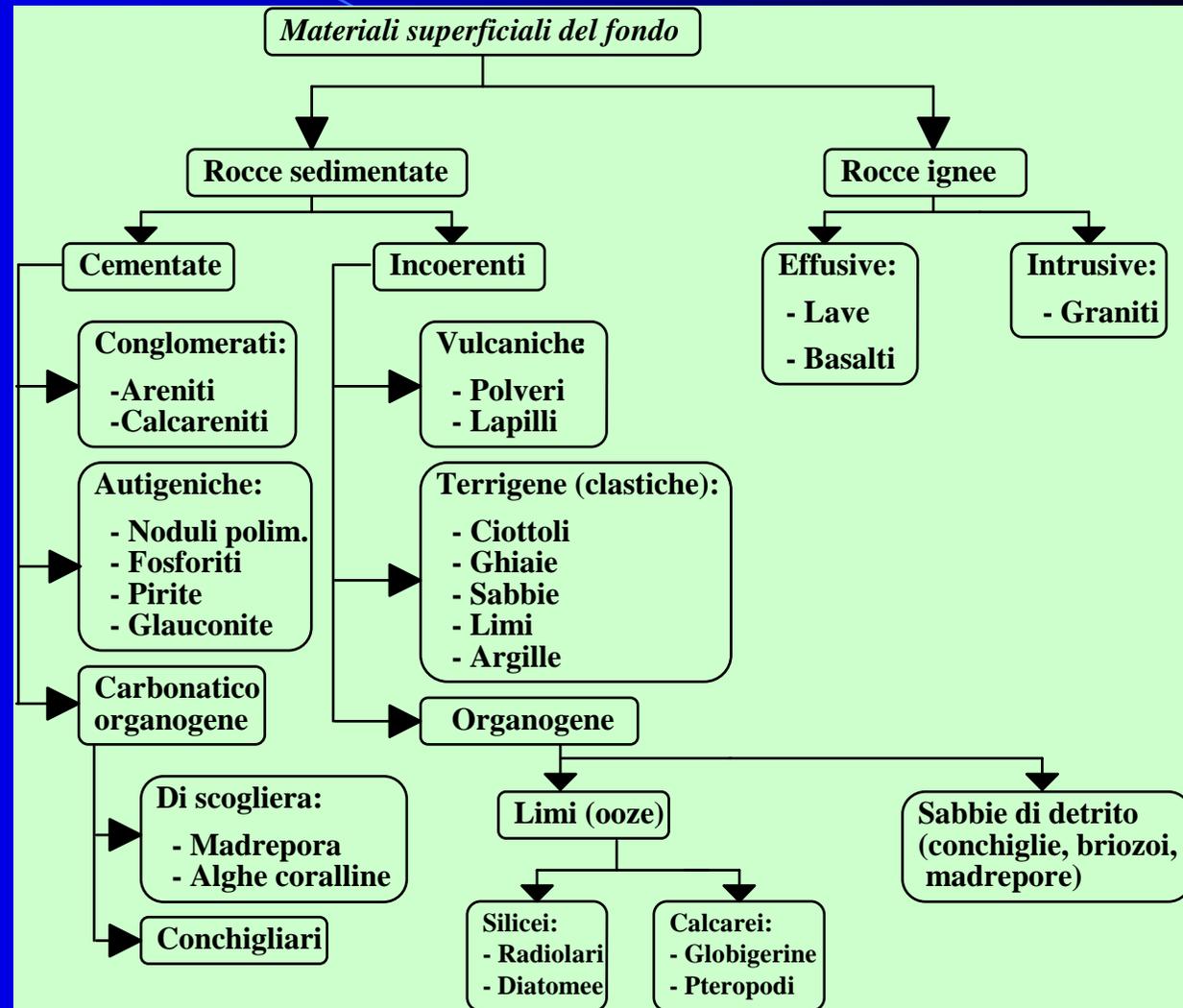
I sedimenti



Le *rocce ignee* sono dovute al consolidamento di masse fuse (magmi) nella litosfera o in superficie. Se il raffreddamento ha avuto luogo rapidamente sulla superficie della terra le rocce si dicono *effusive* e sono vetrose oppure hanno granulometria molto fine; al contrario, se queste rocce si sono formate grazie ad un lento raffreddamento avvenuto nelle profondità della crosta terrestre esse conterranno grossi cristalli e prendono il nome di *intrusive*. Le principali rocce ignee presenti nella crosta terrestre sono i graniti e i basalti.

All'interno della crosta terrestre le rocce possono essere assoggettate a intenso riscaldamento ed a pressioni estremamente elevate per lunghi periodi di tempo; questo può far avvenire dei radicali mutamenti nella loro struttura e farle trasformare in rocce del tutto differenti. Questo processo è noto come *metamorfismo* (dal greco μετα=cambiamento e μορφή=forma). Tali rocce sono dette *metamorfiche*.

I sedimenti



I sedimenti

In media 1cm di sedimenti in 1.000 anni

Sedimentazione terrigena

Comprende tutti i sedimenti di origine terrestre:

- materiali provenienti dall'erosione delle coste dovuta al moto ondoso
- materiali terrestri trasportati dai fiumi e dai ghiacciai
- materiali trasportati dai venti
- materiali vulcanici provenienti da vulcani emersi o sommersi

Sedimentazione chimica

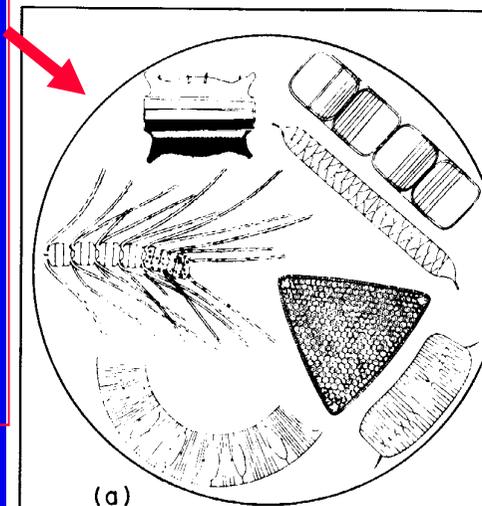
È dovuta alla trasformazione subita da numerosi minerali come risultato di reazioni fisico-chimiche. La maggior parte dei sali presenti nell'acqua dei fiumi, ad esempio, reagisce e trova un nuovo equilibrio al suo arrivo in mare.

Sedimentazione organica

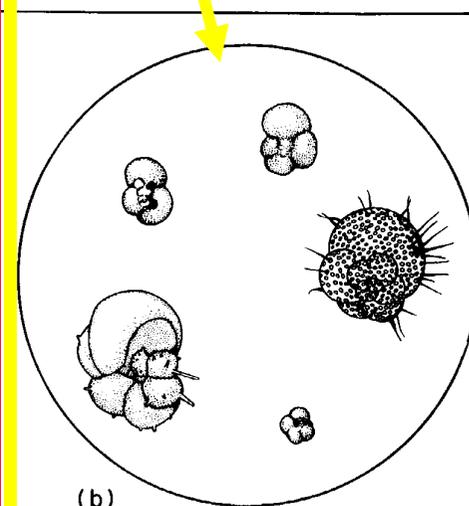
È formata dai residui minerali provenienti da organismi marini di vario genere; rappresenta la parte più importante dei sedimenti marini, costituendo da sola **il 47% di tutti i sedimenti oceanici**. Vi sono diversi tipi di fanghi organici: **fanghi calcarei, fanghi silicei, argille rosse e fanghi di corallo.**

I sedimenti organici

Le **diatomee** sono delle microscopiche alghe unicellulari che hanno un rivestimento di silicio e vivono in acque fredde aventi salinità relativamente bassa (la Fig. (a) ne riporta alcuni esemplari ingranditi da 85 a 335 volte). Formano dei fanghi aventi granulometria molto fine che ricoprono circa il 9% della superficie dei fondi oceanici.

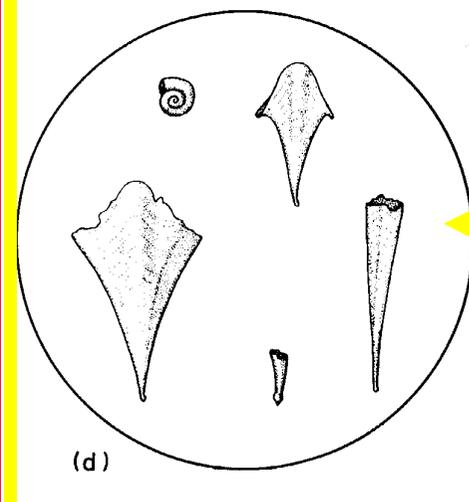
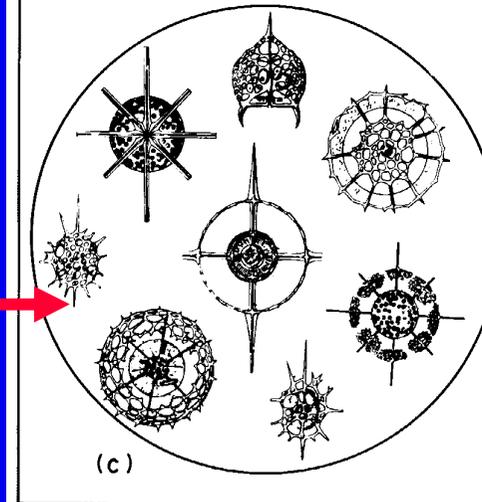


La **globigerina** è un organismo unicellulare con un guscio formato di carbonato di calcio che vive nelle acque delle regioni più calde (in Fig. (b) ne sono riportati alcuni esemplari ingranditi di 20 volte). Il loro accumulo forma la fanghiglia che contiene sino al 90-95% di CaCO_3 (con una media del 65%).



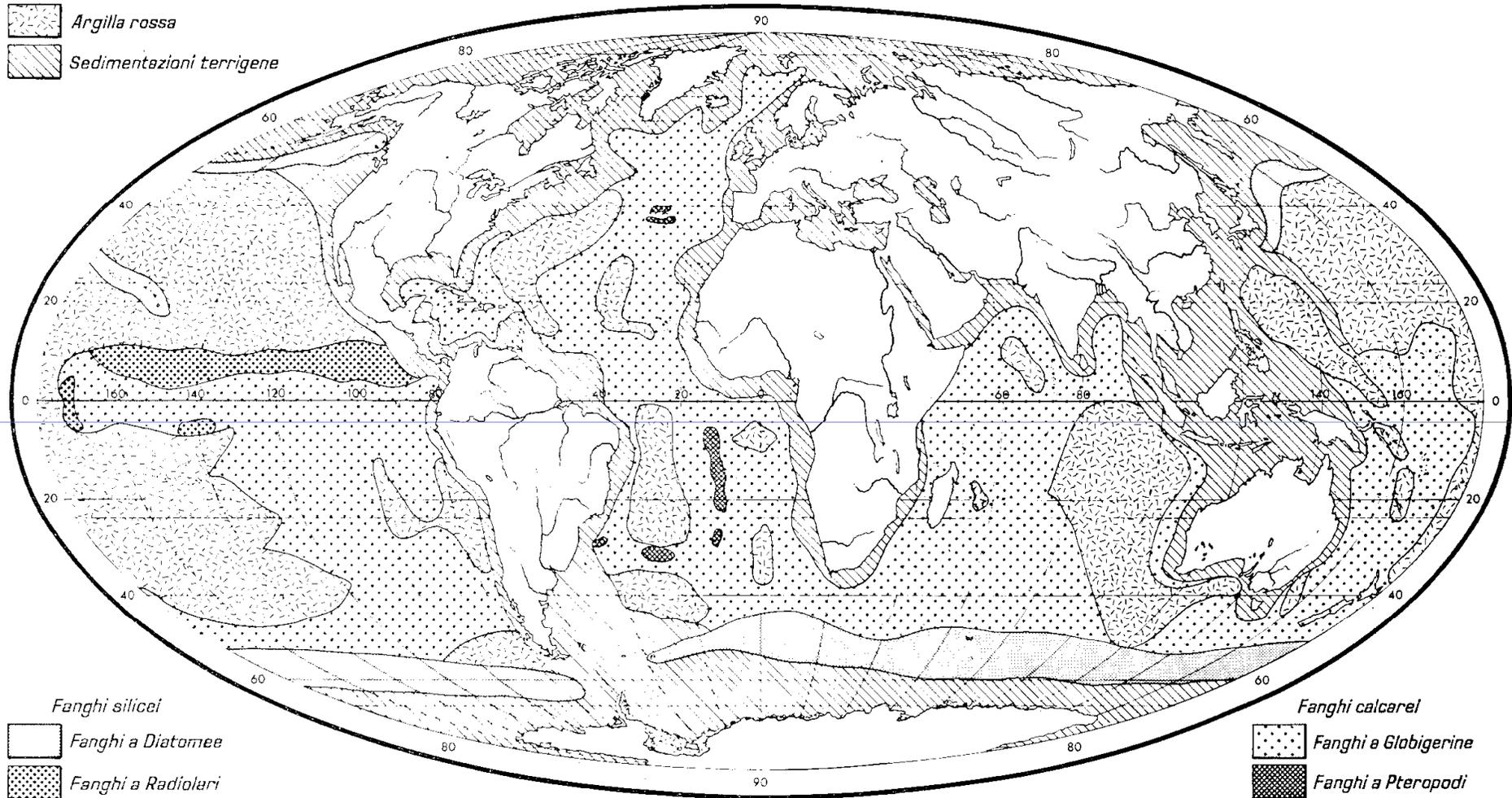
Il loro accumulo forma la fanghiglia che contiene sino al 90-95% di CaCO_3 (con una media del 65%). Questo fango è raramente rinvenuto oltre i 5.000 metri di profondità e ricopre circa il 35% della superficie dei fondi marini.

I **radiolari** sono organismi unicellulari che hanno, nel loro protoplasma, un'ossatura silicea (la Fig. (c) ne riporta alcuni esemplari ingranditi 250 volte). Costituiscono fanghi di granulometria fine aventi sovente un colore rosso e formano depositi che ricoprono circa il 1-2% della superficie dei fondi oceanici.



Gli **pteropodi** sono piccoli molluschi planctonici con guscio calcareo che vivono in acque tropicali e subtropicali (la Fig. (d) ne riporta alcuni esemplari ingranditi 6 volte). Questi fanghi, aventi granulometria maggiore dei precedenti, contengono in media il 74% di CaCO_3 , si trovano a fondali compresi tra i 1.500 e 3.000 metri e ricoprono non più del 1% della superficie dei fondi marini.

I sedimenti



Distribuzione dei sedimenti nei fondali oceanici

I sedimenti

Le proprietà fondamentali dei singoli grani
componenti il sedimento:

- dimensione
- forma e stato superficiale
- *composizione chimica*

I parametri di “massa” di agglomerati di
sedimento:

- tessitura
- tipo
- velocità di sedimentazione
- *porosità*
- *colore*
- *plasticità*
- *consistenza*
- *permeabilità*
- *velocità del suono*
- *conducibilità elettrica*

I sedimenti – La dimensione

La denominazione (classe granulometrica) attualmente utilizzata è quella di Wentworth (1922)

I limiti di classe della scala di Wentworth possono essere espressi come potenze di 2; 4mm è 2^2 , 8 è 2^3 etc. Krumbein (1934) propose inoltre la scala ϕ .
 $\phi = -\log_2 \text{diam (mm)}$

Wentworth	Diametro dei grani				
	Denominazione	2^n	ϕ	Millimetri	Micron
Pietre	$\geq 2^8$	≤ -8	≥ 256	} FRAZIONE RUDITICA	
Ciottoli	$2^6 - 2^8$	tra -6 e -8	64 - 256		
Ghiaie	$2^4 - 2^6$	tra -2 e -6	4 - 64		
Granuli	$2^1 - 2^4$	tra -1 e -2	2 - 4		
Sabbie (sand):				} ARENITICA	
- molto grosse	$2^0 - 2^1$	tra 0 e -1	1 - 2		1.000-2.000
- grosse	$2^{-1} - 2^0$	1 - 0	0,5 - 1		500 - 1.000
- medie	$2^{-2} - 2^{-1}$	2 - 1	0,25 - 0,5		250 - 500
- fini	$2^{-3} - 2^{-2}$	3 - 2	0,125-0,250		125 - 250
- molto fini	$2^{-4} - 2^{-3}$	4 - 3			62,5 - 125
Limo (silt):				} PELITICA	
- grosso	$2^{-5} - 2^{-4}$	5 - 4			31,25 - 62,5
- medio	$2^{-6} - 2^{-5}$	6 - 5			15,6 - 31,25
- fine	$2^{-7} - 2^{-6}$	7 - 6			7,8 - 15,6
- finissimo	$2^{-8} - 2^{-7}$	8 - 7		3,9 - 7,8	
Argilla (clay):				} PELITICA	
- grossa	$2^{-9} - 2^{-8}$	9 - 8			1,95 - 3,9
- media	$2^{-10} - 2^{-9}$	10 - 9			0,98 - 1,95
- fine	$2^{-11} - 2^{-10}$	11 - 10			0,49 - 0,98
- finissima	$2^{-12} - 2^{-11}$	12 - 11		0,24 - 0,49	
Colloidi	//	//			$\leq 0,24$

I sedimenti – La dimensione

I grani costituenti il sedimento vengono classificati a seconda del proprio diametro o del fattore Φ (fattore $\Phi = -\log_2[\text{diametro in millimetri}]$); questo fattore esprime la dimensione mediante le potenze positive e negative del 2 del diametro dei sedimenti in millimetri.

Nello studio dei sedimenti è sovente opportuno utilizzare il fattore Φ , anziché una scala lineare, in quanto molti parametri di massa dei sedimenti (ad esempio velocità di sedimentazione e permeabilità) variano con la potenza del diametro del sedimento anziché linearmente.

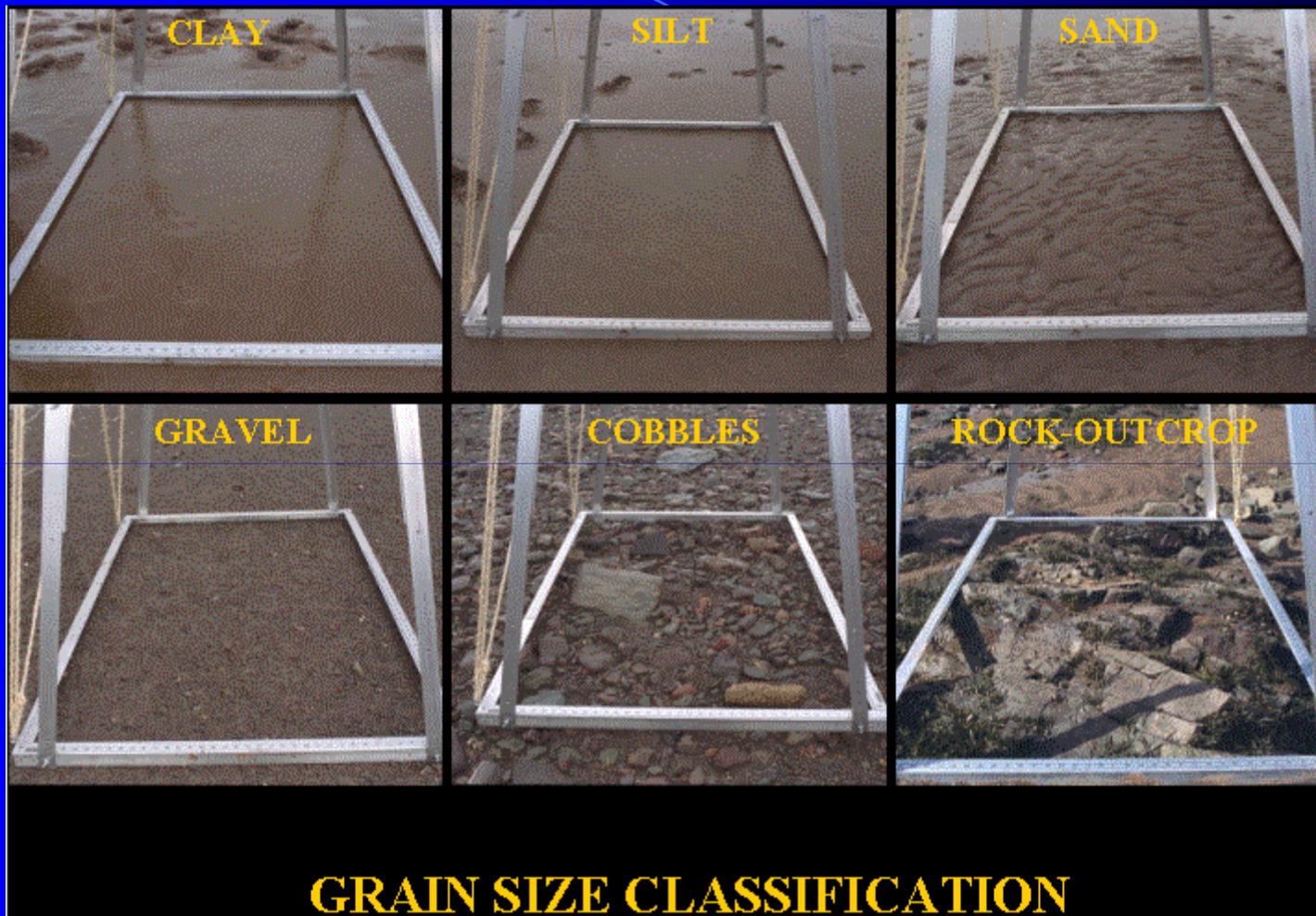
Ad esempio la sabbia fine ha dimensioni comprese tra 250 e 125 micron ed è contenuta tra $\Phi = 2$ e $\Phi = 3$.

Il comparatore di granulometria utilizza sabbia naturale setacciata che è stata inglobata in resina e poi lucidata. Esistono anche altri comparatori da utilizzare in campo per effettuare analisi granulometriche speditive.



<http://www.brookes.ac.uk/geology/BS20/grainsize.html>

Le divisioni piccole nel righello sono millimetri.



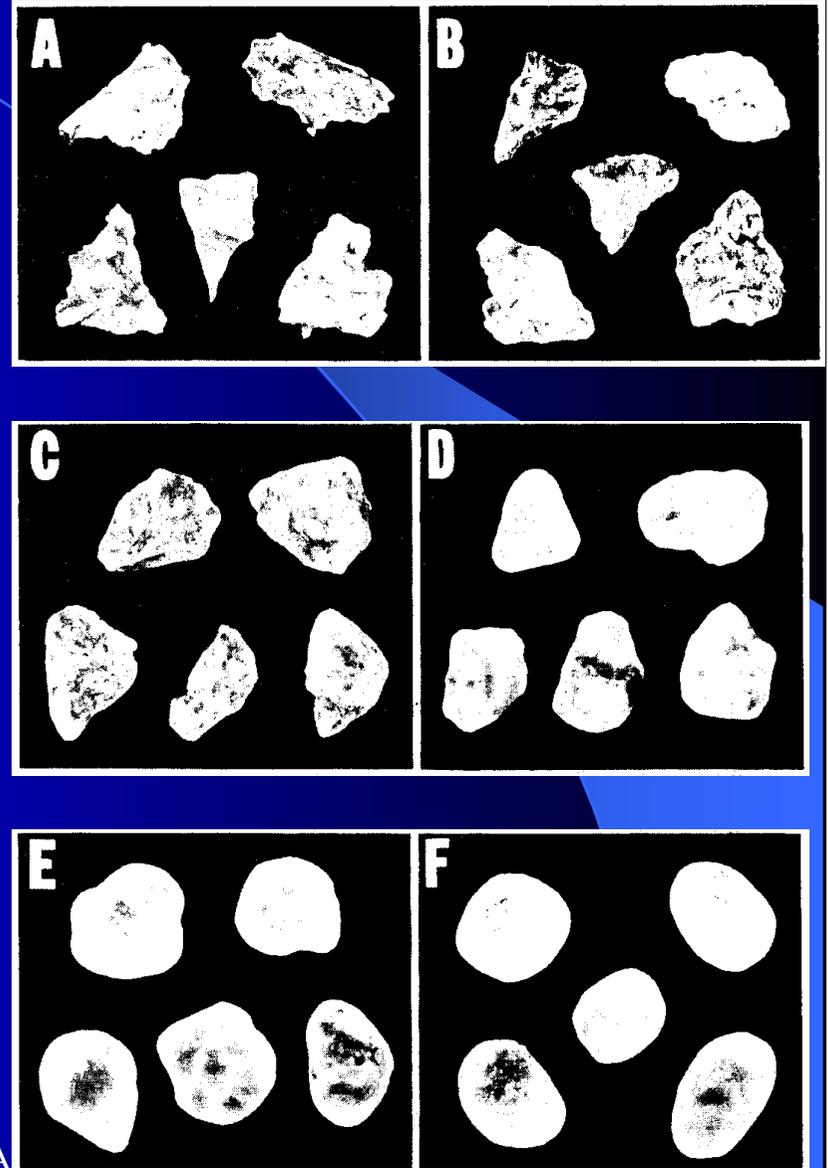
I sedimenti – La forma e lo stato superficiale

Può essere più o meno arrotondata o a spigoli vivi in dipendenza della composizione chimica del sedimento e dell'azione meccanica cui è stato sottoposto.

I grani di forma sferica tendono ad essere smossi più facilmente, i grani con spigoli vivi sono più difficili da rimuovere, e quelli piatti lo sono ancora di più. Una volta smossi però i grani sferici tendono ad essere trasportati in misura inferiore ai grani piatti.

Questa proprietà dei sedimenti viene valutata in base alla *spigolosità* (rapporto tra raggio di curvatura dello spigolo di un solido e raggio di curvatura della più grande sfera che vi si può inscrivere) ed alla *sfericità* dei grani.

In Figura viene fornito un esempio di classificazione della forma del sedimento in base alla spigolosità (da Shepard, Submarine Geology).



I sedimenti – La composizione chimica

È variabile con il tipo di roccia che ha originato gli elementi, con la specie vivente nel caso di sedimenti organici, con il tipo di trasformazione chimica nel caso di interazione tra acqua marina e particelle solide.

I sedimenti – La tessitura

È assai improbabile che i singoli grani di un campione di sedimento abbiano tutti quanti la stessa dimensione.

La **tessitura del sedimento** è quel parametro che indica la distribuzione statistica dei diametri dei grani di un campione di sedimento opportunamente trattato.

Il risultato della separazione viene rappresentato su appositi istogrammi che riportano in ascissa il diametro e in ordinata la percentuale di peso corrispondente in relazione al peso totale del campione.

Viene determinata mediante pesate del campione di sedimento e successive pesate delle frazioni di sedimento che passano attraverso setacci di opportune dimensioni.

Trattamento dei Campioni

L'analisi granulometrica, che consente di misurare le quantità di ogni grano presenti in un campione di sedimento, viene realizzata presso un *Laboratorio di sedimentologia*

Al fine di eliminare la frazione organica contenuta in ogni campione, il materiale viene disperso in acqua distillata allo scopo di ottenere un primo *lavaggio* completo e successivamente sottoposto all'azione di un agitatore meccanico. Questa fase viene effettuata attraverso una centrifugazione alla velocità di 44 giri/minuto, per circa quindici minuti, al fine di eliminare tutta l'acqua in esso contenuta.

Il trattamento viene ripetuto fino a quando la *prova dei cloruri* presenta un risultato negativo. Ciò si ottiene prelevando una piccola quantità d'acqua proveniente dalla centrifugazione del campione addizionata ad alcune gocce di *nitrato di argento*; se il composto non mostra la formazione di un precipitato biancastro di *cloruro di argento* il campione può essere considerato totalmente *desalinizzato*. La fase di eliminazione completa dei cloruri è determinante al fine di evitare, durante l'applicazione delle rispettive analisi granulometriche, la formazione di aggregati nella frazione sabbiosa e la formazione di flocculi nella frazione fine.

Successivamente, ogni campione così trattato viene asciugato in stufa alla temperatura di circa 120° C.

Allo scopo di separare la *frazione ARENITICA* (> 62,5 μ) da quella *PELITICA* (< 62,5 μ), ogni singolo campione viene sottoposto ad un secondo lavaggio attraverso un apposito setaccio dotato di una maglia da 62,5 μ ($\phi=4$, ossia 1/16 mm).

A questo punto per ogni campione (opportunamente asciugato nuovamente in stufa a 120° C) possono essere ottenute tre porzioni, da destinare ad altrettante differenti metodologie di analisi granulometrica:

- a) la frazione ruditica (> di 4 mm) viene analizzata mediante il metodo del *CALIBRO*;
- a) la frazione arenitica (tra 4 mm e 1/16 mm) viene analizzata mediante *SETACCIAMENTO*;
- a) la frazione pelitica (<1/16 mm) viene analizzata attraverso misure indirette.

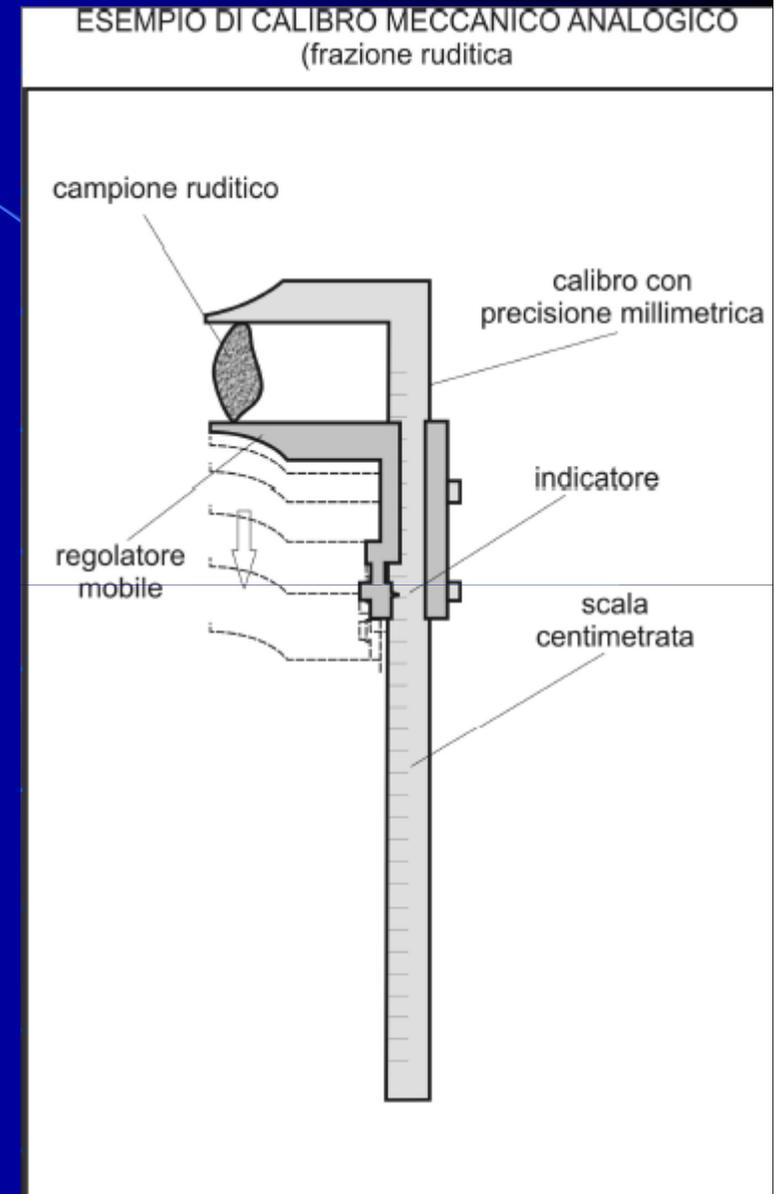
Analisi della frazione ruditica

Essa viene effettuata attraverso l'applicazione di una metodologia diretta definita *Metodo del Calibro*.

Si utilizza un normale calibro con scala millimetrata e si definisce la misura (in mm) del diametro medio di ogni singolo componente della frazione ruditica, opportunamente rappresentata da un sufficiente numero di campioni ciottolosi.

Per ogni singolo ciottolo viene dunque definito il peso (in grammi) ed il diametro medio, cosicché ogni ciottolo possa essere collocato all'interno delle classi granulometriche previste per la frazione ruditica.

Successivamente si procede alla stima della percentuale di ogni classe granulometrica sulla base del peso totale iniziale del campione ruditico.



Analisi della frazione arenitica

Essa viene effettuata attraverso l'applicazione di una metodologia diretta definita *Setacciamento*.

Si utilizza un'apposita batteria di setacci, disposti in pila, in cui l'apertura della maglia diminuisce progressivamente verso il basso nella misura di $\frac{1}{2}f$.

La batteria di setacci impiegata appartiene alla serie ASTM, ed ogni setaccio è dotato di un'altezza pari a 50 mm.

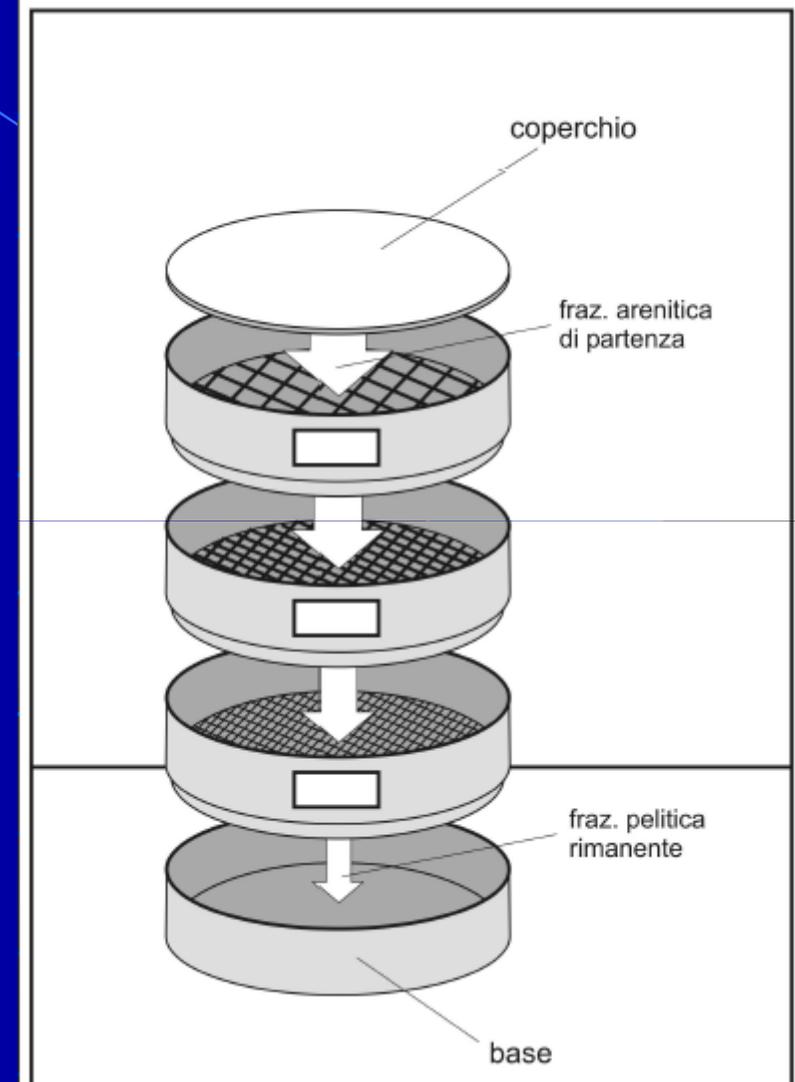
La frazione arenitica relativa ad ogni campione viene fissata intorno ai **200 gr** e successivamente posta all'interno del setaccio più "alto" (dotato cioè delle maglie più larghe); l'intera batteria viene così sottoposta all'azione di un **aggitatore meccanico** per un periodo di circa **30 minuti**, al fine di ottenere la completa vagliatura del materiale.

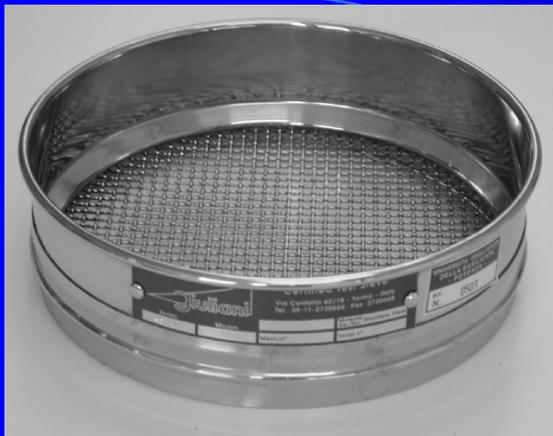
Successivamente si procede alla stima del peso di ogni singola frazione trattenuta all'interno di ogni setaccio, valutandone la percentuale rispetto al peso totale iniziale per ogni singola classe granulometrica di appartenenza.

La frazione eventualmente passata al di sotto dell'ultimo setaccio (con maglie di larghezza pari a $62,5 \mu$) viene successivamente aggiunta alla frazione pelitica relativa al medesimo campione.

I valori di ogni singola pesata così ottenuti vengono riferiti alle classi granulometriche.

ESEMPIO DI BATTERIA DI SETACCI
PER IL METODO DEL SETACCIAMENTO (frazione arenitica)



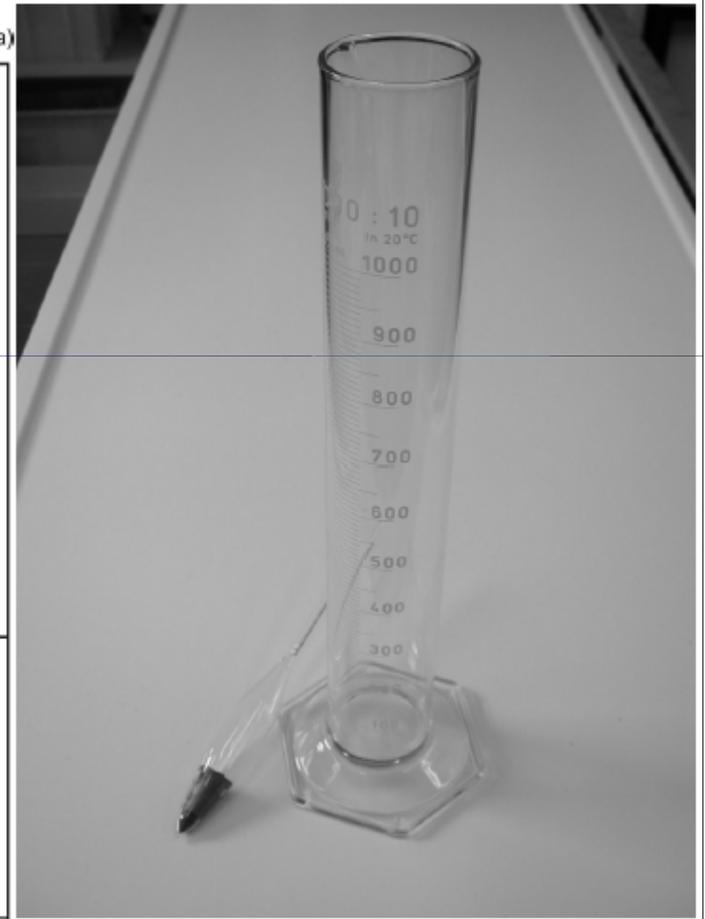
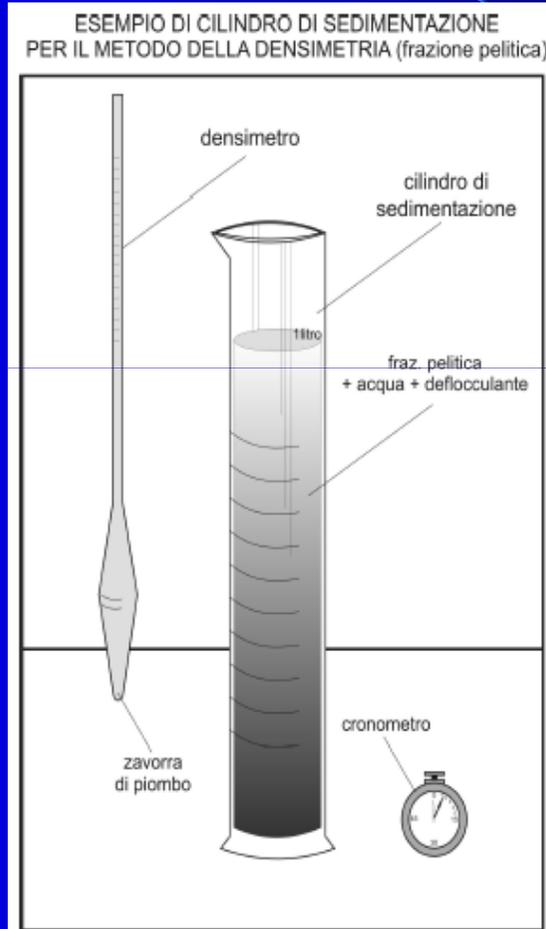




Analisi della frazione pelitica

Essa viene effettuata attraverso l'impiego di metodologie indirette che sfruttano il comportamento idrodinamico delle particelle in sospensione in un fluido, al fine di dedurre le caratteristiche granulometriche della frazione analizzata.

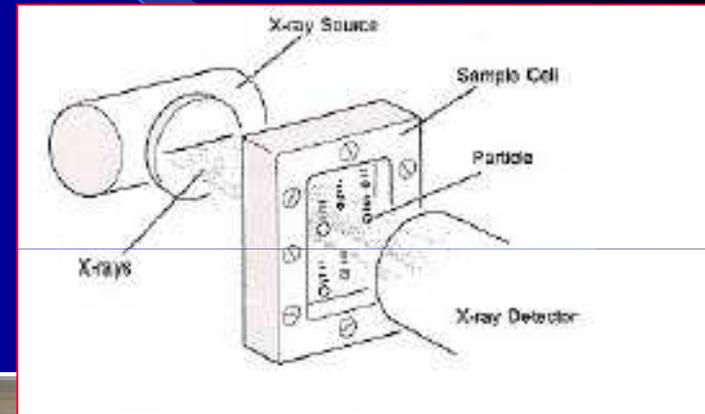
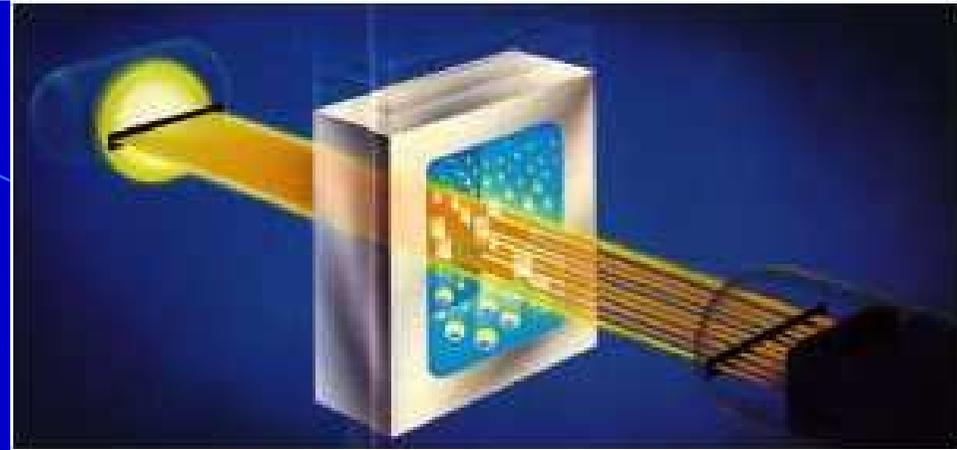
Il metodo della *Densimetria* è basato sul principio espresso dalla Legge di Stoke: *Una sfera immersa in un fluido viscoso, fermo ed indefinito, e abbandonata a se stessa senza velocità iniziale, per effetto della gravità cade con moto inizialmente accelerato. Se il diametro della sfera è abbastanza piccolo così che nella sua caduta essa non provochi la formazione di scie vorticose (regime lamellare), la sfera raggiunge una velocità di regime alla quale si equilibrano la resistenza del mezzo e la forza motrice, proseguendo la sua caduta con moto uniforme.*



Il metodo della “**sedigrafia ai raggi X**” consiste nel determinare la distribuzione granulometrica delle particelle disperse in un liquido misurando l’attenuazione di un raggio X dovuto alle particelle, in funzione del tempo, nella sospensione in sedimentazione.

Come densità media delle particelle viene presa in considerazione la densità del quarzo.

La trasmittanza della sospensione, che cresce con il tempo per la sedimentazione delle particelle, viene trasformata elettronicamente in valori di concentrazione e restituita graficamente sotto forma di distribuzione cumulativa della massa che successivamente è transitata davanti al raggio esplorante.

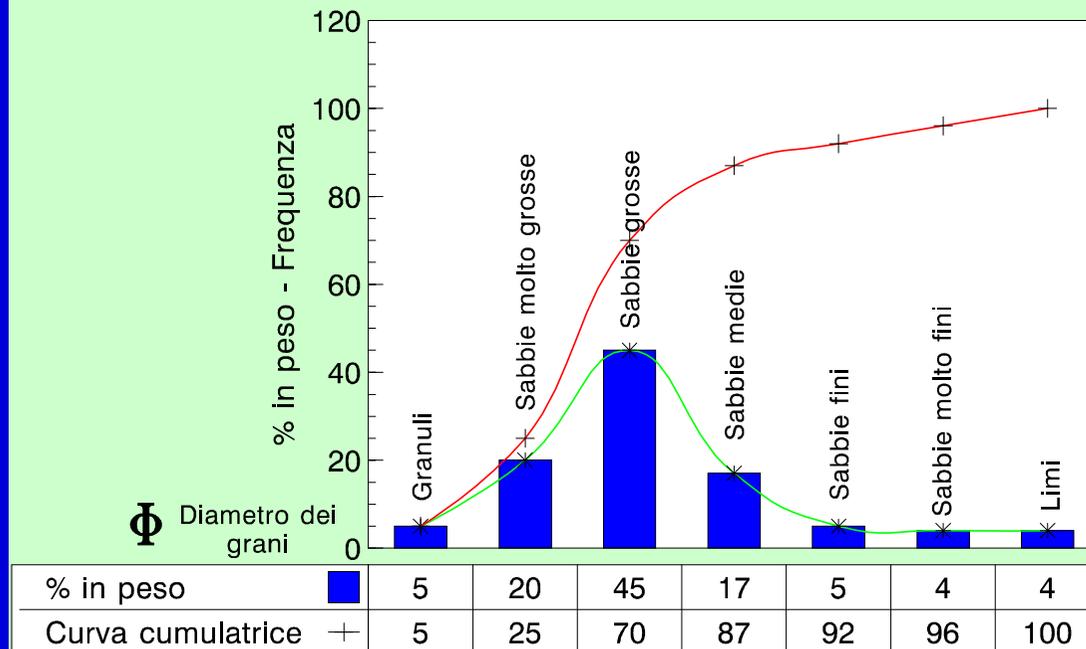


I sedimenti – La tessitura

Nella figura è riportato un esempio; il campione analizzato contiene, in percentuale del peso totale, il 5% di granuli (Φ tra -1 e -2), il 20% di sabbia molto grossa (Φ tra 0 e -1), il 45% di sabbia grossa (Φ tra 1 e 0), il 17% di sabbia media (Φ tra 2 e 1), il 5% di sabbia fine (Φ tra 3 e 2), il 4% di sabbia molto fine (Φ tra 4 e 3) e il 4% di limo grosso (Φ tra 5 e 4).

L'istogramma consente di ricavare *graficamente o analiticamente*, con le procedure note dalla statistica, i parametri di interesse che sono: diametro medio, diametro mediano, moda, dispersione, skewness e Kurtosi.

Tessitura di un campione di sedimento

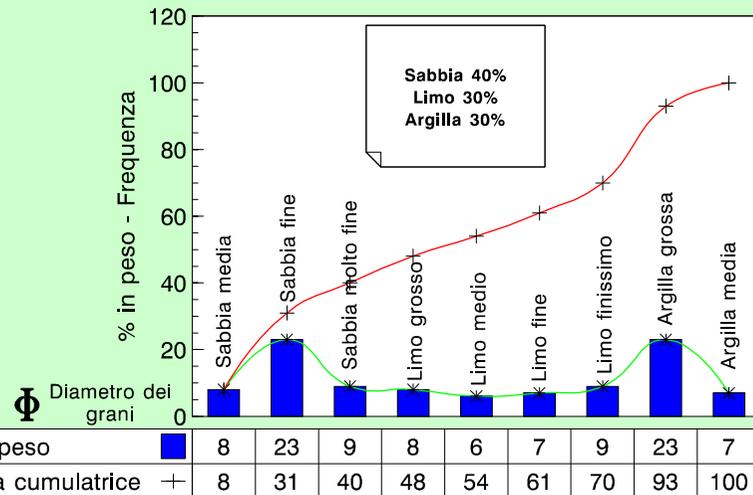


La moda ci dice qual è la classe più frequente o frazione dominante.

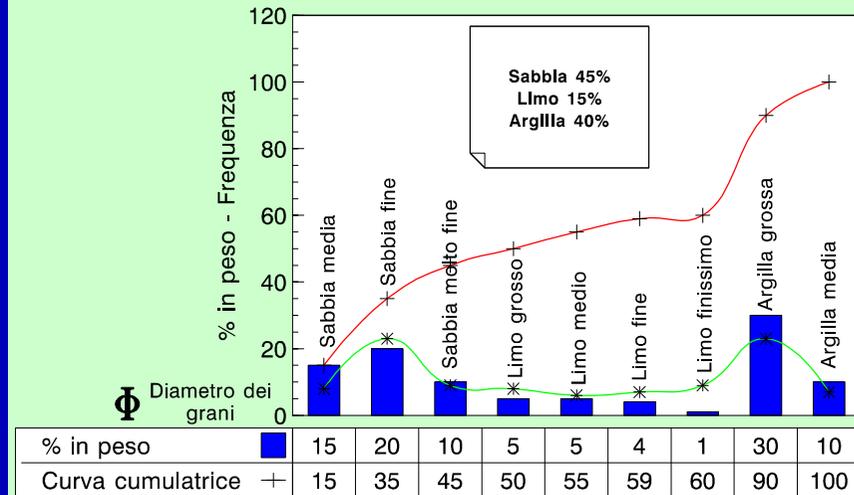
I sedimenti – La tessitura

Quando la dispersione è inferiore a 0,6 il sedimento presenta una buona classazione. Altri due esempi di sedimenti: il primo è bimodale, mentre il secondo, composto principalmente di sabbia e argilla costituisce un fondo buon tenitore.

Sedimento bimodale



Fondo buon tenitore



I sedimenti – Tipi di sedimento

Per definire il tipo di sedimento la prima operazione da compiere è quella di suddividere il campione in frazioni e determinare:

- * **S** = frazione della sabbia con i grani aventi un diametro compreso tra 4 mm e 62,5 micron
- * **L** = frazione del limo compreso tra 3,9 e 62,5 micron
- * **A** = frazione dell'argilla con granulometria inferiore a 3,9 micron

Riportandone le percentuali in peso su un **diagramma triangolare** (diagrammi di Shepard) si definisce una corrispondenza biunivoca fra i punti del triangolo e il tipo di sedimento, che può assumere i seguenti tre caratteri:

Sabbioso: spiagge esterne e piattaforme continentali generalmente non oltre alcune decine di metri di profondità.

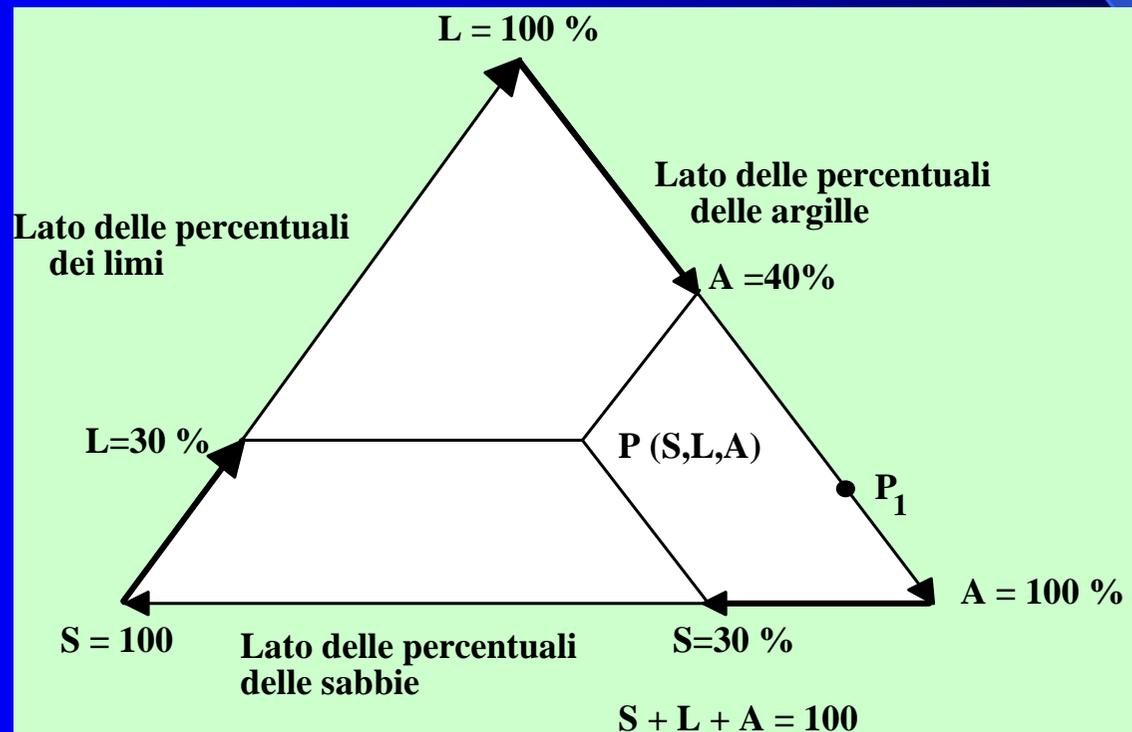
Limoso: acque ridossate di insenature profonde e aree fluviali

Argilloso: alti fondali o zone deltizie della piattaforma continentale

I sedimenti – Diagrammi triangolari

È da notare che nei diagrammi triangolari i lati sono orientati:

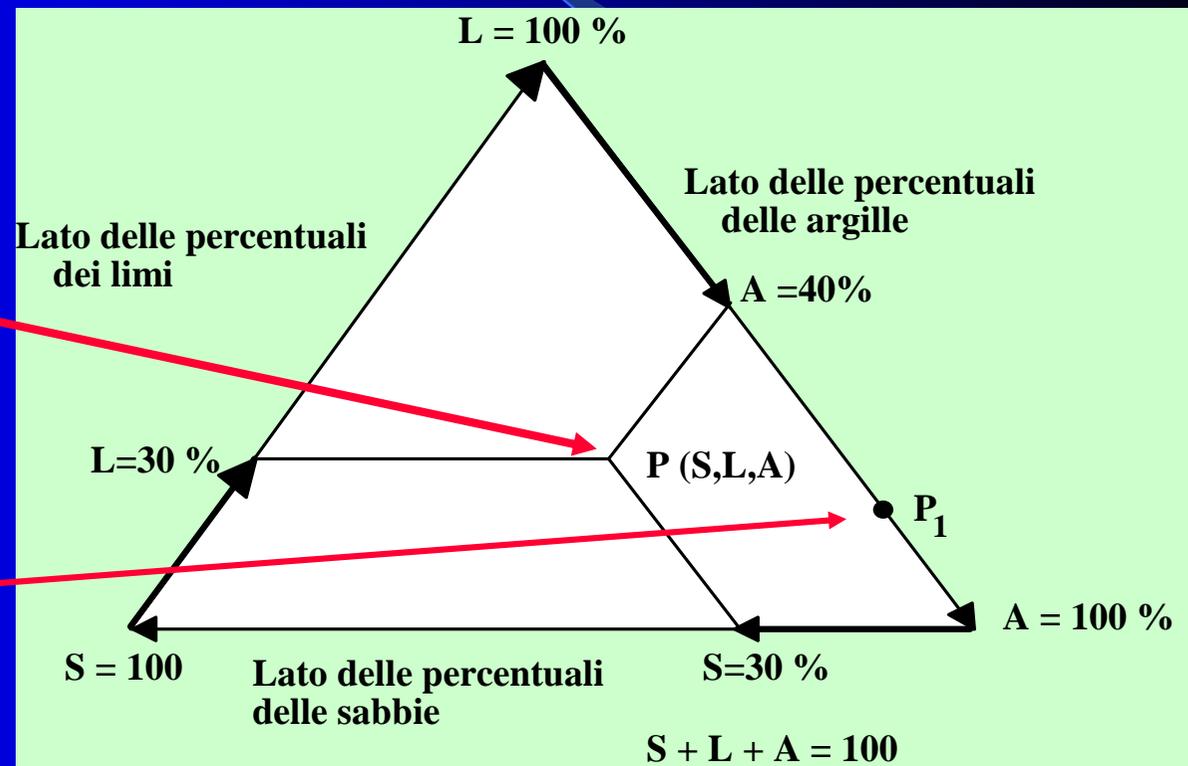
il lato inferiore corrisponde al lato delle percentuali delle sabbie (sabbia 0 % a destra e sabbia 100 % a sinistra del lato); il lato di sinistra del triangolo corrisponde al lato dei limi (limo 0 % in basso e limo 100 % in alto); il lato di destra del triangolo è il lato delle argille (argilla 0 % in alto e argilla 100 % in basso). Adottando queste convenzioni è possibile entrare nel diagramma triangolare con le percentuali **S**, **L** ed **A**.



I sedimenti – Tipi di sedimento

Il punto rappresentativo del sedimento **P** è dato dalla intersezione delle parallele ai lati orientati, tracciate dai tre punti **S%**, **L%**, **A%** (nell'esempio ciò corrisponde a: $S=30\%$, $L=30\%$, $A=40\%$).

Quando il punto rappresentativo è sul perimetro il sedimento è formato da due soli componenti (nella Figura per il punto P_1 si ha $A=80\%$ e $L=20\%$)



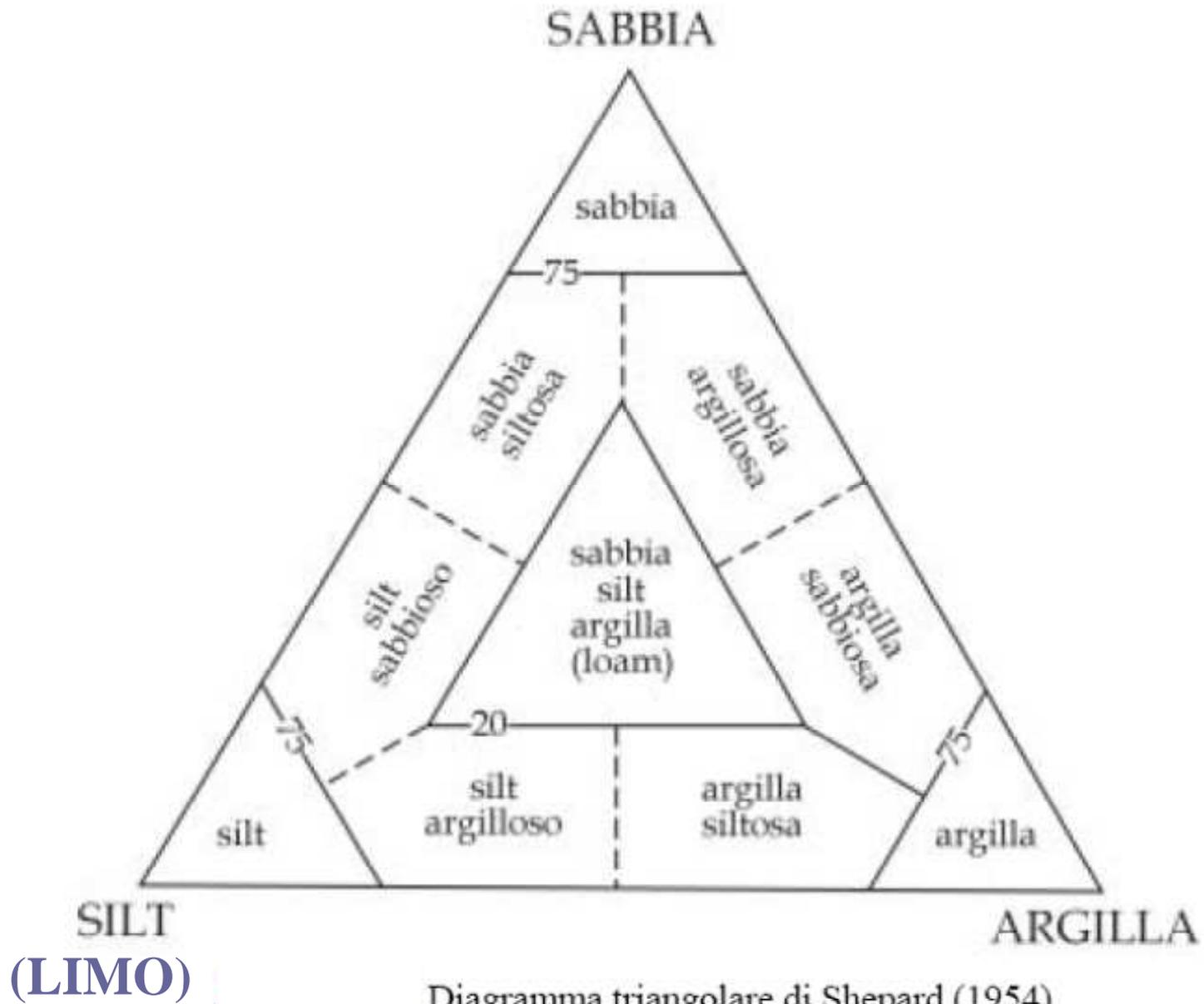
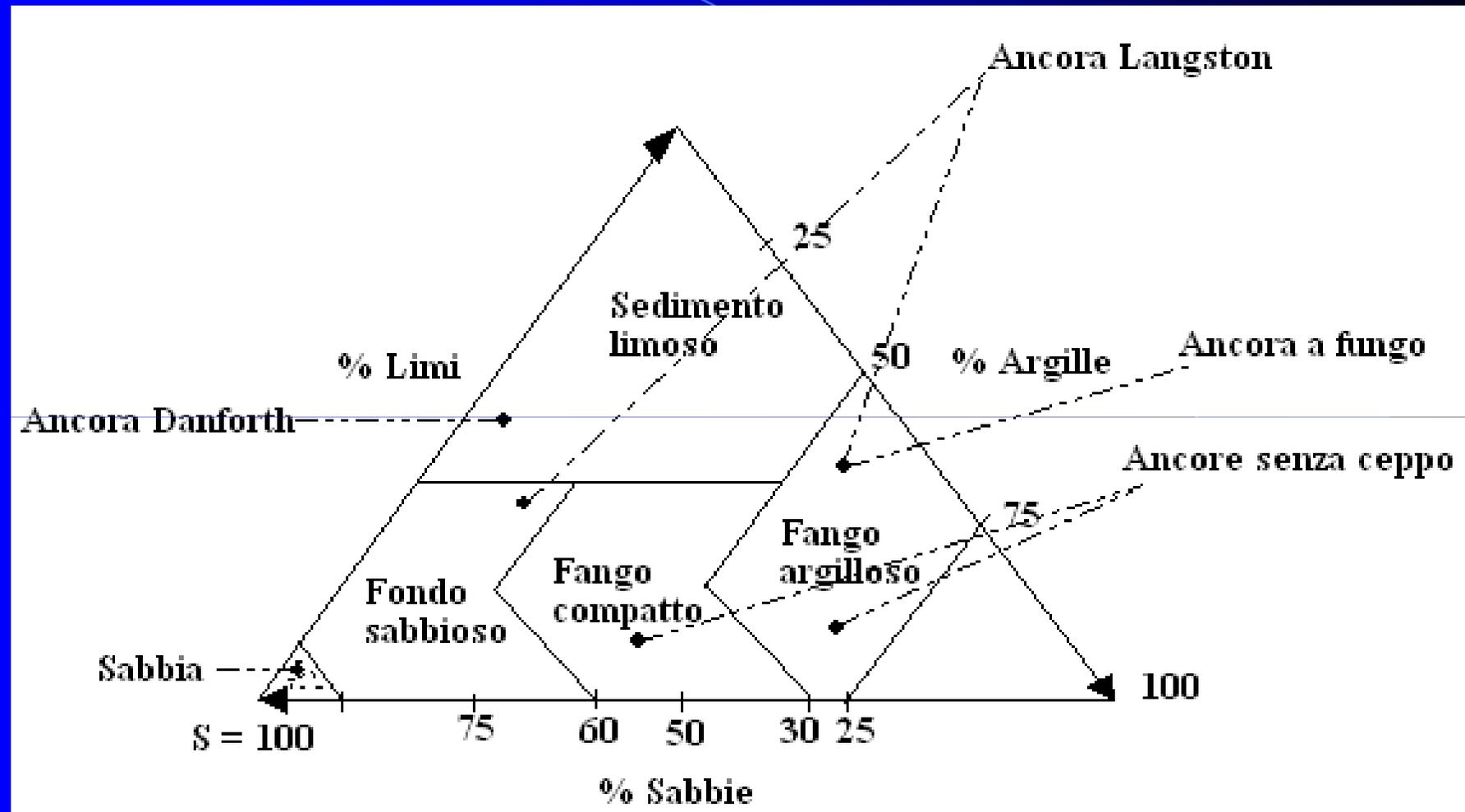


Diagramma triangolare di Shepard (1954)



I sedimenti – Velocità di sedimentazione

La presenza di una particella sul fondo in una determinata posizione geografica è la risultante di almeno due componenti: la sua **velocità di sedimentazione** e l'**azione di trasporto laterale** per eventi dinamici. La velocità di sedimentazione di una particella dipende dalla sua densità, dalle dimensioni e dalla forma, nonché dalla densità e viscosità dell'acqua

Diametro in micron	Velocità	Diametro in micron	Velocità
62,5 (Sabbia m. fine)	301 m/giorno	1,95 (Argille grosse)	30 cm/giorno
31,2 (Limo grosso)	75,2 m/giorno	0,98 (Argille medie)	7,4 cm/giorno
15,6 (Limo medio)	18,8 m/giorno	0,49 (Argille fini)	1,8 cm/giorno
7,8 (Limo fine)	4,7 m/giorno	0,24 (Argille finissime)	4 mm/giorno
3,9 (Limo finissimo)	1,2 m/giorno		

Nota: la tabella è stata ricavata per particelle di vario diametro di sfere di quarzo aventi densità 2,65 in acqua distillata a 20°C con viscosità dinamica di 0,0101

I sedimenti – Velocità di sedimentazione

Per grani avente diametro inferiore a 0,1 mm e ammettendo la validità della legge di Stokes, la velocità di sedimentazione è data dalla formula:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\eta} \cdot g \cdot r^2$$

dove:

ρ_1 e ρ_2 densità del grano e dell'acqua

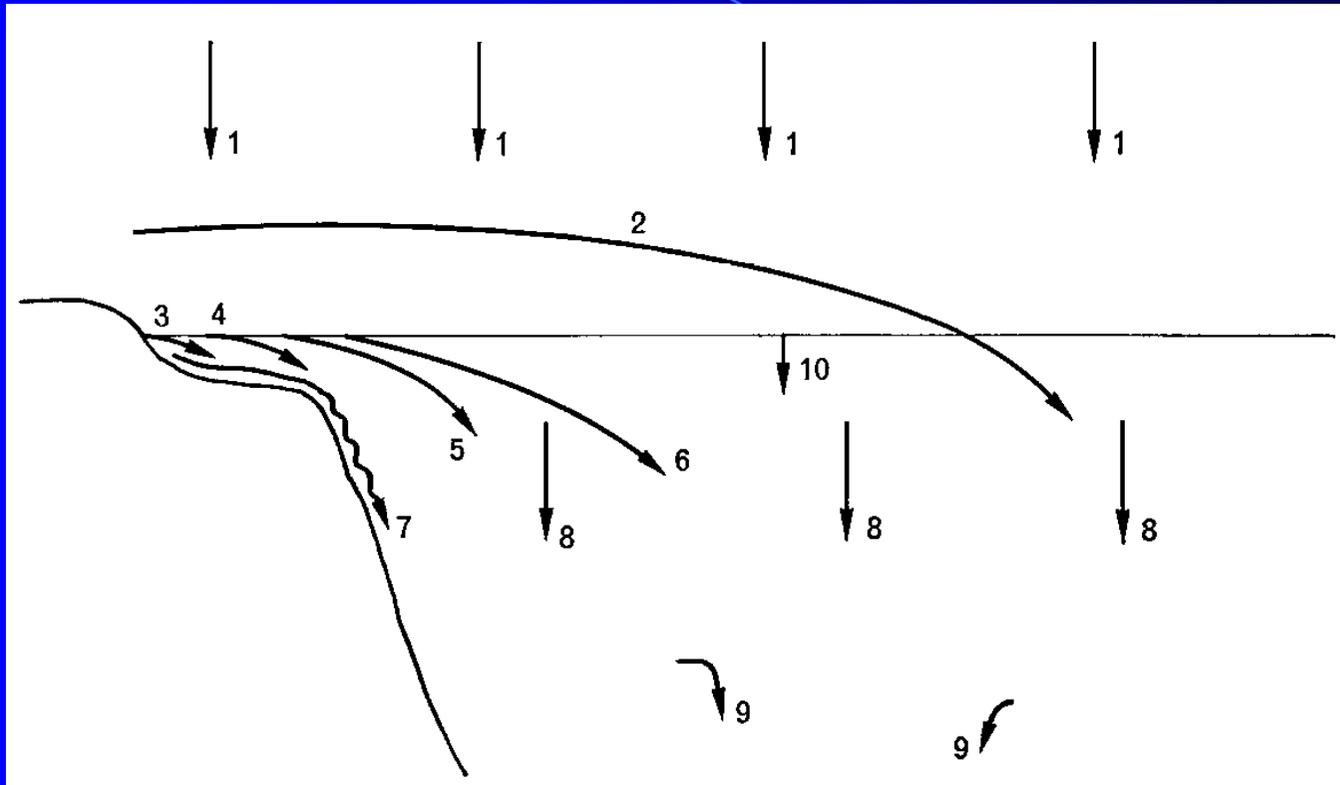
η è la viscosità dell'acqua di mare

g è l'accelerazione di gravità

r è il raggio del grano

Importanza operativa: si può effettuare una stima di quanto tempo ci vuole affinché il sedimento si depositi in un'acqua resa torbida dal moto ondoso ed avere dunque favorevoli condizioni di visibilità subacquea.

I sedimenti – Trasporto e distribuzione



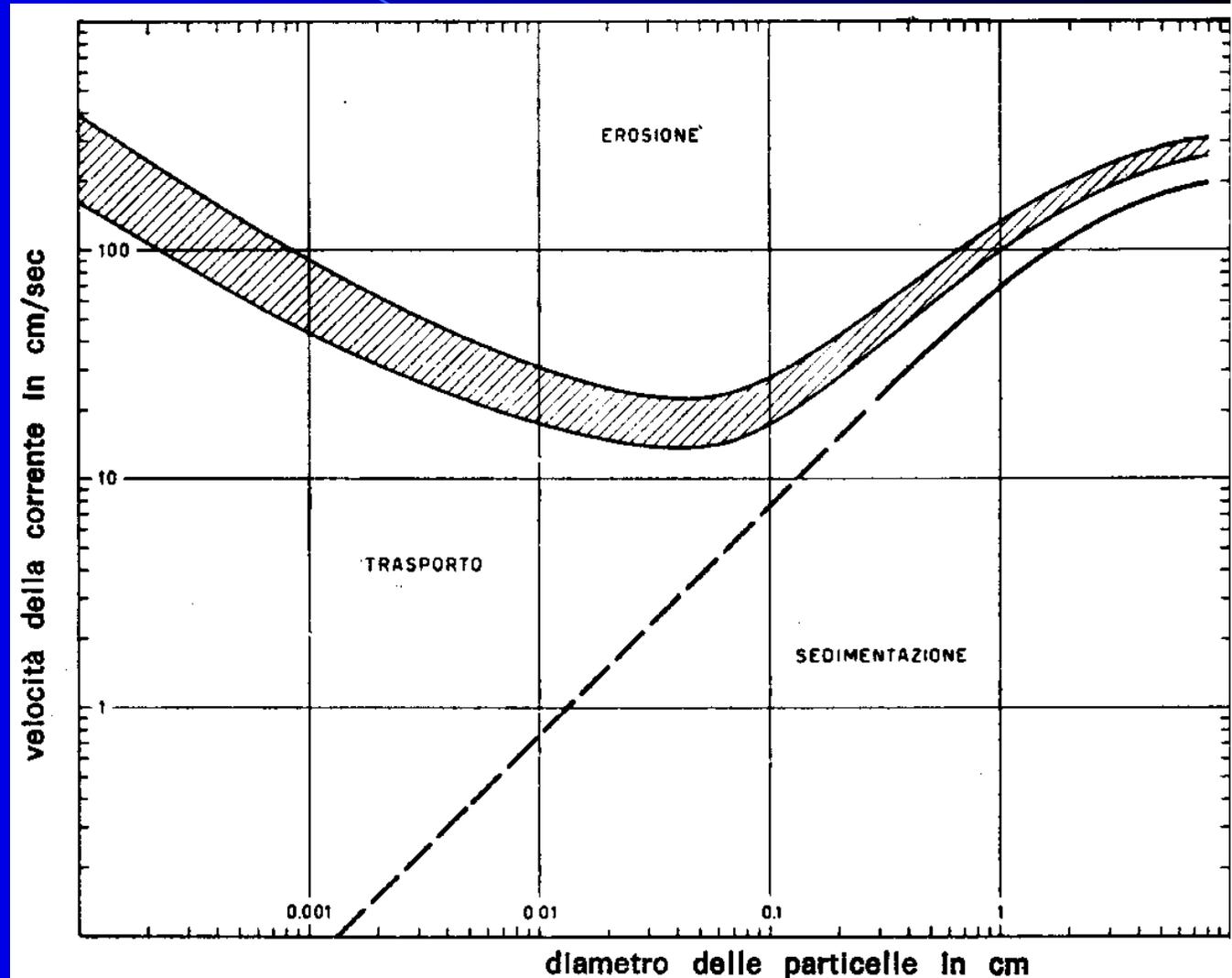
1, polveri meteoritiche e vulcaniche; 2, polveri eoliche; 3, sedimenti terrigeni grossolani; 4, sedimenti terrigeni medi; 5, sedimenti terrigeni fini; 6, sedimenti terrigeni finissimi; 7, risedimentazione per correnti torbide; 8, sedimenti pelagici organogeni; 9, sedimenti da origine chimica; 10, sedimenti portati da icebergs.

I sedimenti – Trasporto

Il trasporto in acqua dipende dalla risultante tra la velocità di sedimentazione e la velocità delle particelle d'acqua dovuta a correnti marine, moto ondoso, maree e onde interne (fenomeni che saranno descritti in seguito).

La figura illustra il diverso comportamento di grani aventi differenti dimensioni sottoposti all'azione di acqua scorrente con diverse velocità.

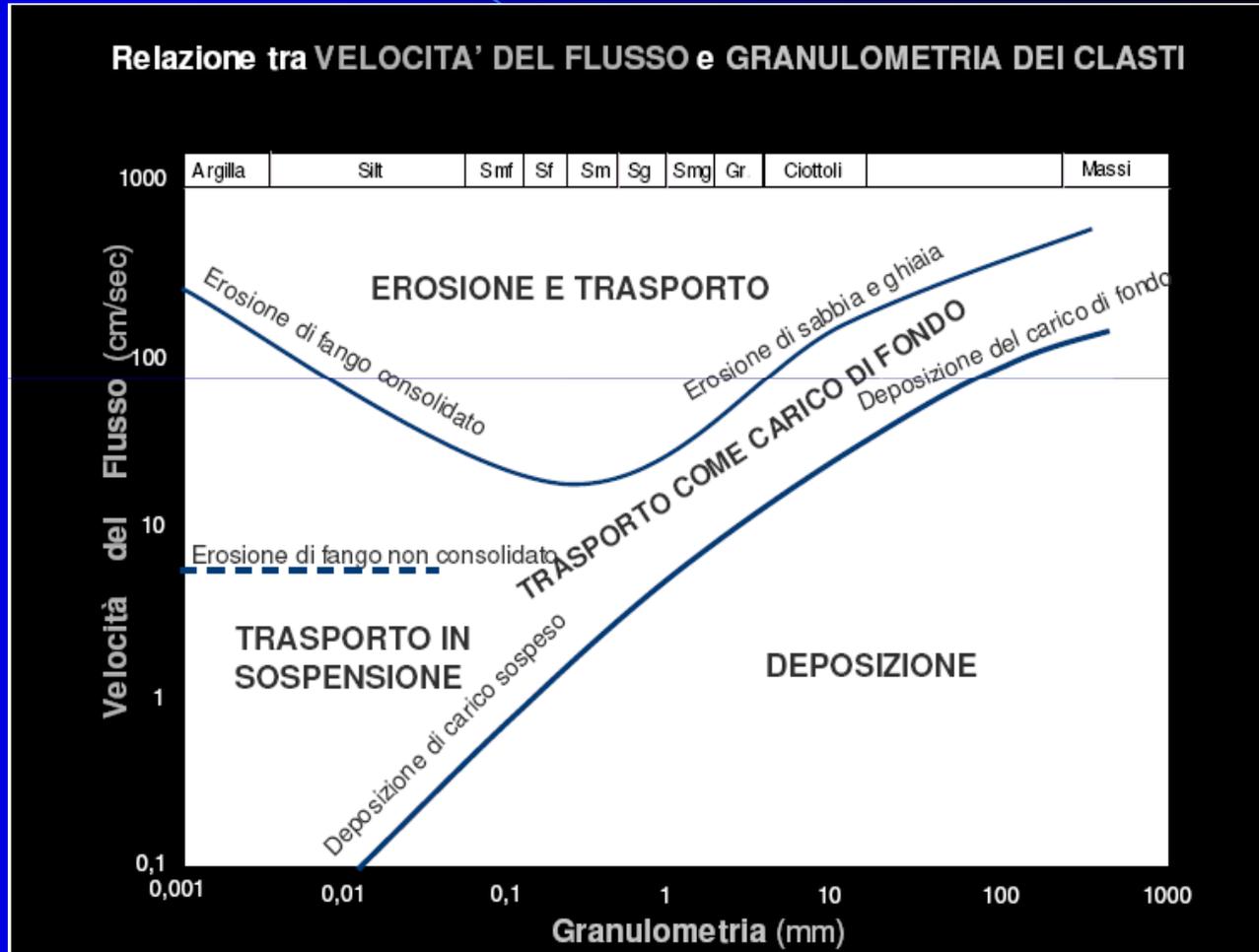
La parte tratteggiata della curva indica una fascia di transizione che è funzione della coesione del fondo marino



I sedimenti – Trasporto

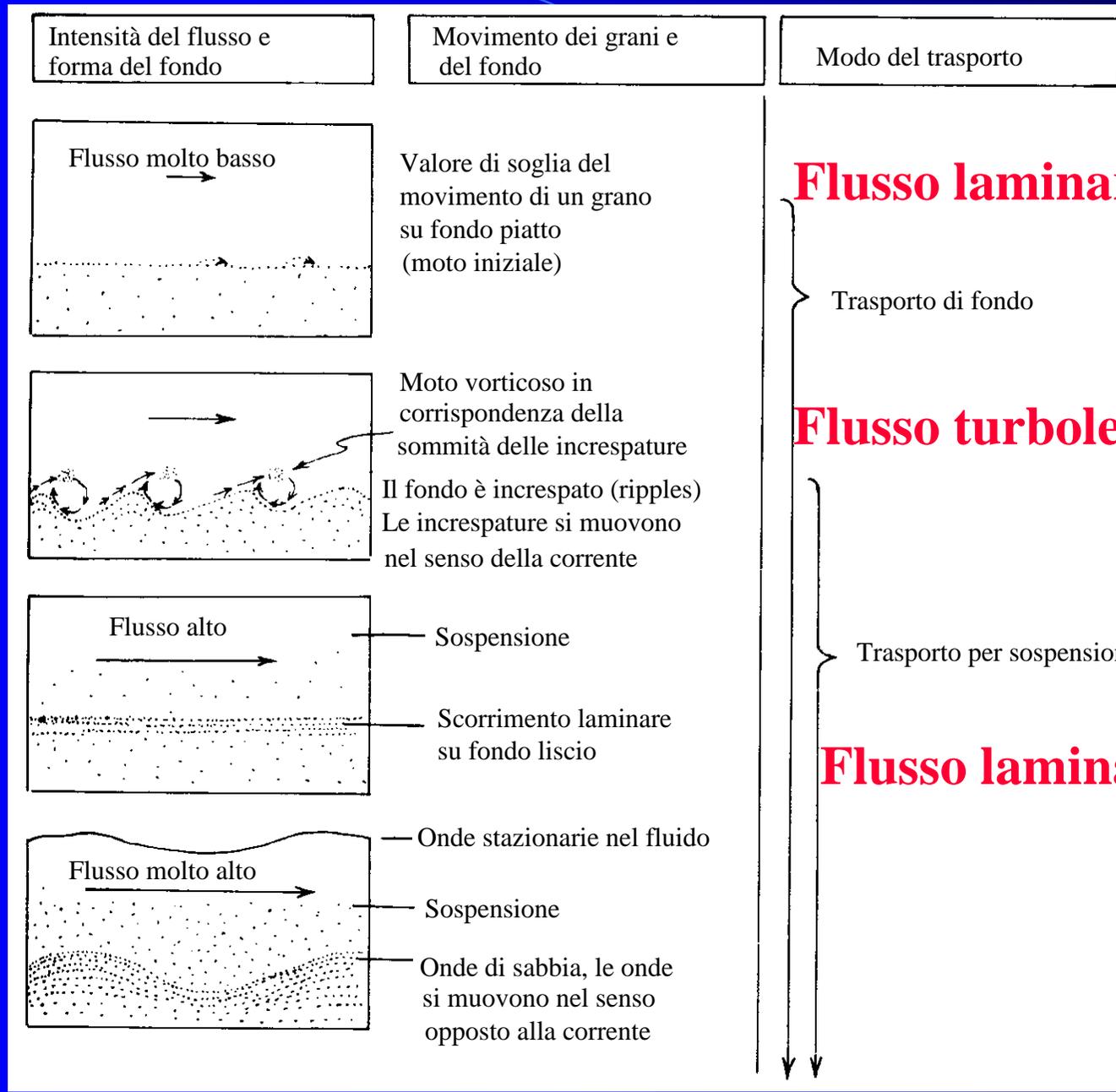
La sedimentazione (deposizione) è tanto più spinta quanto maggiori sono le dimensioni e quanto minore è la velocità del fluido.

Il lato destro del grafico denota che all'aumentare del diametro delle particelle e nel contempo col diminuire della velocità della corrente si tende ad avere il deposito. Se la velocità della corrente aumenta, a parità di dimensioni della particella, si avrà il trasporto o addirittura l'erosione



I sedimenti – Trasporto

Condizioni di flusso osservabili in un canale mentre la velocità dell'acqua viene gradualmente aumentata



Flusso laminare dell'acqua

Flusso turbolento dell'acqua

Flusso laminare del fluido

I sedimenti – Trasporto

Ci sono similitudini e differenze tra i fenomeni che si verificano su un fondo granulare sotto l'azione di un flusso unidirezionale e quelli causati da un moto oscillatorio dovuto all'azione delle onde.

In ambedue i casi c'è una soglia al di sotto della quale non vi è movimento di grani; sotto l'azione delle onde il valore di soglia è influenzato da altri fattori per la presenza di accelerazioni e decelerazioni. In ambedue i casi, dopo una turbolenza locale sviluppatasi dietro la sommità delle increspature, c'è una fase in cui il vortice turbolento produce una ripulitura nell'increspatura muovendo i grani in direzione opposta al flusso sopra la cresta.

La convergenza del flusso sulla sommità dell'increspatura fa in modo che un "pennacchio" di sedimenti salga in vortice sopra di essa. Nel caso oscillatorio, il pennacchio di sedimento si forma improvvisamente alla fine del movimento in avanti o indietro.

Questo perché la decelerazione del flusso incrementa la formazione della turbolenza, mentre l'accelerazione la inibisce. Inoltre il flusso oscillatorio tende ad inibire la trasmissione della turbolenza dal basso verso l'alto, poiché l'oscillazione non lascia tempo sufficiente alla turbolenza per propagarsi.

L'intensa forza di taglio causa la sparizione delle increspature e rende il fondo liscio sia con flusso unidirezionale sia con quello oscillatorio; questo purché il diametro orbitale dell'oscillazione sia grande se comparato alla lunghezza d'onda dell'increspatura.

Esempi di “ripples”



Sand Ripples Underwater

Image copyright ©2005 Black Pete

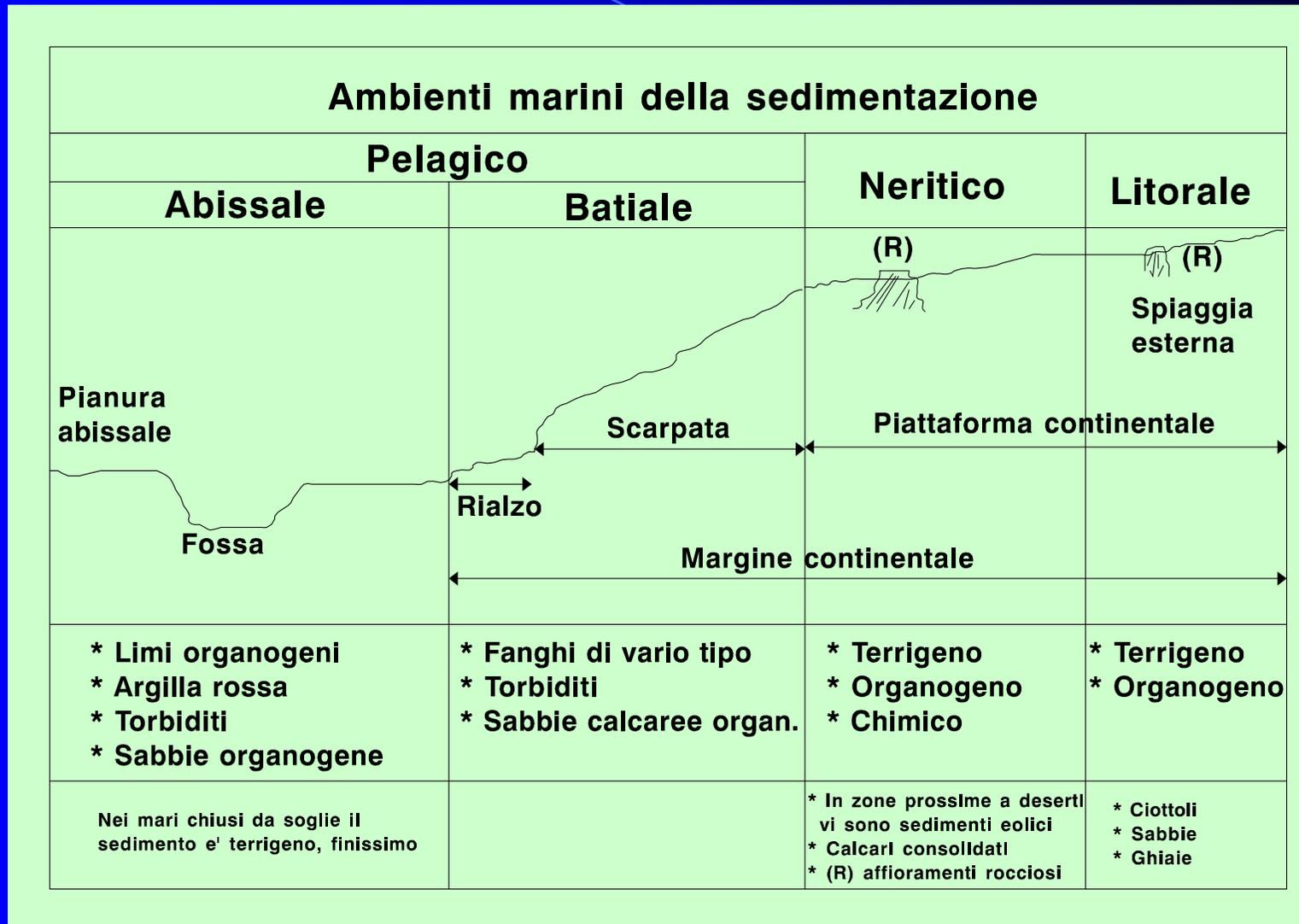


Sand Ripples

Image copyright ©2005 Black Pete

www.virtualbay.co.nz/blackpete/index.htm

I sedimenti – Distribuzione



I sedimenti – Distribuzione

→ Negli ambienti *litorale* e *neritico* prevalgono i sedimenti terrigeni, costituiti dai detriti delle terre emerse portati al mare dai fiumi, dalle acque di dilavamento costiero e dal vento di terra. In certe zone dove l'apporto fluviale è minimo è possibile una netta prevalenza di detriti conchigliosi (sabbie di detrito organogeno). Tutti i materiali presenti sono **costantemente** soggetti al moto ondoso e vengono continuamente ridotti ad elementi di dimensione più piccola.

La fascia intercotidale e la piattaforma continentale interna hanno sedimenti terrigeni con diametro dei singoli grani decrescente con l'aumentare della distanza dalla battigia.

→ Oltre la batometrica dei 25 metri si ha un graduale passaggio ad una prevalenza di sedimenti fangosi costituiti da miscele di limo e argilla.

Delta del Nilo



Azione erosiva su coste rocciose



I sedimenti – Gli ambienti delle deposizioni: la spiaggia

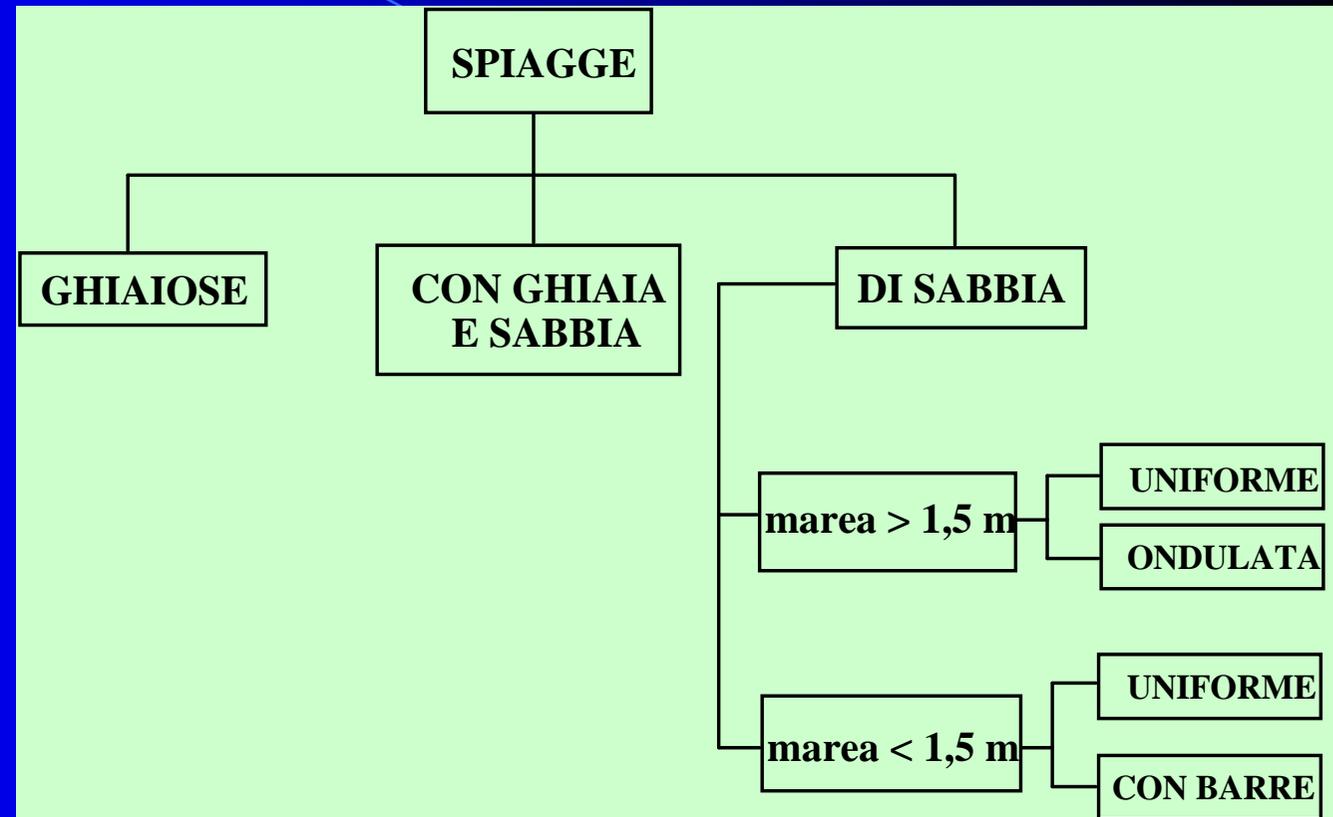
L'accumulo di materiale detritici formato per azione del flutto montante della risacca è chiamato spiaggia. Per *spiaggia* si intende quella parte del litorale costituita di ghiaie, ciottoli e sabbia. Sono esclusi i litorali composti di fango che sono invece tipici dei delta di alcuni fiumi e le coste rocciose. Le spiagge sono instabili e, con il tempo, tendono a subire fenomeni ciclici di erosione e avanzamento oppure sono in fase di continua erosione o di continuo avanzamento.

La spiaggia si estende verso l'interno sino a dove si verifica un cambiamento dei materiali detritici o nella forma fisiografica, come ad esempio una zona di vegetazione permanente, una scogliera o una zona di dune.

La morfologia delle spiagge dipende dal tipo di sedimento, dall'escursione della marea, dall'esposizione alle mareggiate e dalla intensità e frequenza di queste ultime.

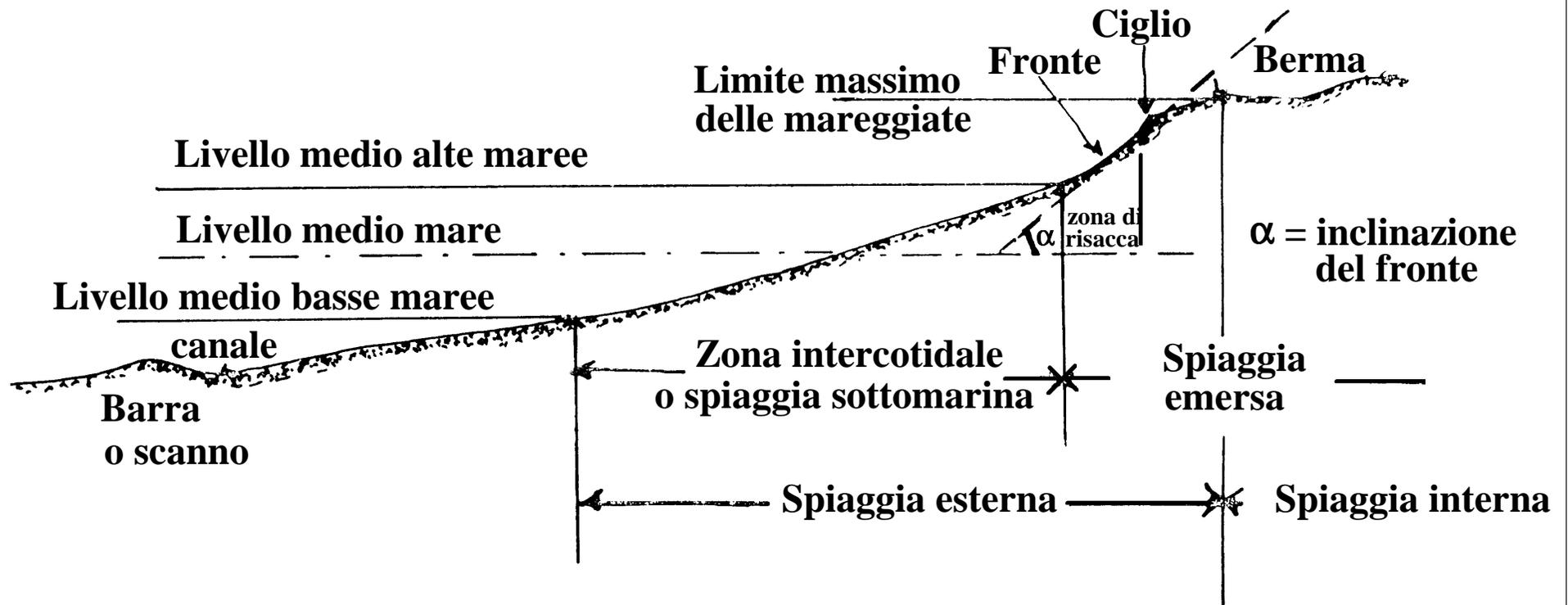
I sedimenti – Gli ambienti delle deposizioni: la spiaggia

I materiali detritici con granitura compresa nel campo delle sabbie da 0,06 a 2 mm. possono essere clastici cioè provenienti da rocce frantumate oppure organogeni (sabbie madreporiche) o una miscela dei due tipi.



I materiali con elementi aventi il diametro compreso fra i 4 e i 64 mm formano le spiagge di ghiaia. I due tipi di materiale, sabbia e ghiaia, hanno un comportamento molto diverso quando sono sottoposti all'energia cinetica dei frangenti, al dilavamento della risacca ed al flusso di acqua prodotto dalle correnti litoranee generate da onde con creste non parallele alla linea di costa.

I sedimenti – Gli ambienti delle deposizioni: la spiaggia



I sedimenti – Gli ambienti delle deposizioni: la spiaggia

Barra o scanno: un rilievo sabbioso, che si sopraeleva dal fondo, generalmente parallelo alla linea della spiaggia, e che in alcuni casi può emergere con le basse maree. Si forma per l'azione dei frangenti che tendono a riportare verso il largo i grani di sabbia.

Canale litoraneo: una o più depressioni parallele alla barra, comprese tra questa e la linea di costa.

Zona intercotidale: la parte della spiaggia compresa tra il limite delle alte e basse maree; viene anche chiamata "spiaggia sottomarina".

Fronte: la parte della spiaggia compresa tra il livello del mare a bassa marea ed il ciglio; è la zona fino alla quale arriva la risacca; il limite massimo delle mareggiate si spinge anche oltre il ciglio.

Ciglio: è il limite a mare della berma, dove si ha la massima pendenza del fronte e quindi la massima instabilità della struttura sabbiosa.

Berma: è la porzione di spiaggia, pressoché pianeggiante, situata oltre il ciglio. Oltre la berma la spiaggia si inclina leggermente sino a raggiungere il limite della spiaggia interna.

Spiaggia interna: area compresa tra il limite delle massime mareggiate e la zona dove si verifica il cambiamento dei materiali detritici o della forma fisiografica.

I sedimenti – Spiagge di ghiaia

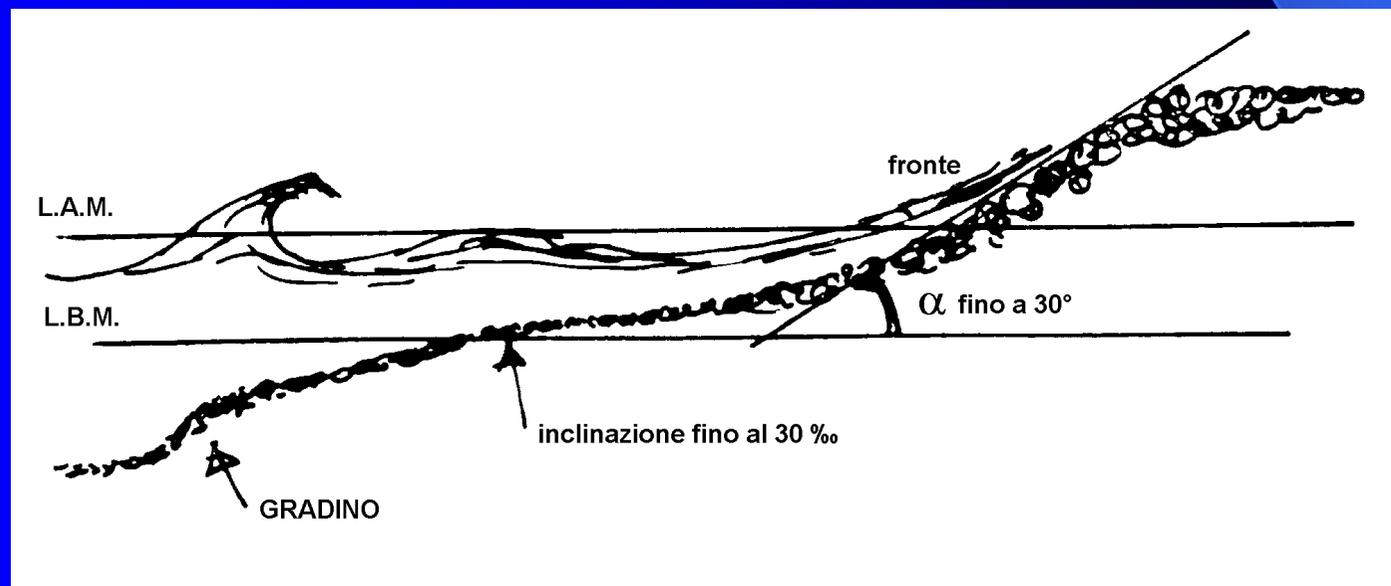
Le spiagge ghiaiose non sono molto frequenti (es. Costa Azzurra, Mar Ligure); sono formate da materiali arrotondati per levigazione meccanica e sono caratterizzate da:

Ripidità del fronte fino a 30°

Spiaggia sottomarina relativamente profonda a causa della pendenza che può anche superare il 30‰;

Presenza di una discontinuità a gradino in corrispondenza della linea dei frangenti che è molto sotto costa;

Diametro dei ciottoli e della ghiaia crescente verso terra compreso fra 4 e 64 mm.



I sedimenti – Spiagge di ghiaia

A causa della forte pendenza e del peso dei singoli elementi non si ha formazione di scanni pertanto questo tipo di spiaggia permette la presa di costa a mezzi da sbarco di notevole pescaggio a condizione che il mare non franga.

La percorribilità del lido è generalmente difficile anche per i mezzi cingolati. La linea dei frangenti è molto vicina alla zona di risacca (a causa della grande permeabilità delle ghiaie): è caratterizzata da minime correnti di risacca e dalla massima turbolenza delle particelle d'acqua.

In certi casi l'onda di mare lungo forma grandi frangenti a cascata direttamente sul fondo ghiaioso creando condizioni difficili per la presa di terra

I sedimenti – Spiagge di sabbia

Per la classificazione delle spiagge formate da sabbia viene presa in considerazione l'escursione della marea che, a parità di tipo di materiali, definisce la larghezza della spiaggia esterna ed anche la geometria del profilo verticale.

L'inclinazione media del fronte della spiaggia dipende dal diametro dei grani che compaiono con maggior frequenza, ed è tanto maggiore quanto maggiore è il loro diametro medio.

<i>Tipi di sedimenti di spiaggia</i>	<i>Dimensione</i>	<i>Pendenza media</i>
Sabbia molto fine	1/16 - 1/8 mm	1°
Sabbia fine	1/8 - 1/4 mm	3°
Sabbia media	1/4 - 1/2 mm	5°
Sabbia grossa	1/2 - 1 mm	7°
Sabbia molto grossa	1 - 2 mm	9°
Granuli	2 - 4 mm	11°
Ghiaia	4 - 64 mm	17°
Ciottoli	64 - 256 mm	24°

I sedimenti – Spiagge di sabbia

La compattezza delle spiagge formate da sabbia grossa e molto grossa ($0,5 \div 2$ mm) è carente per cui la superficie è soffice e rende difficile il transito ai mezzi cingolati, impossibile l'uso dei mezzi con ruote; faticosa la marcia. A causa della scarsa compattezza di questo tipo di spiaggia il moto ondoso determina la formazione di "scanni" paralleli alla battigia alternati con canali litoranei aventi profondità spesso non guadabili a piedi.

Le spiagge formate con sabbie fini e finissime hanno invece il carattere della compattezza per cui il carico specifico può essere dell'ordine di 2 - 3 Kg/cm² permettendo la viabilità ai veicoli con cingoli e con ruote. Nel caso di ampie zone intercotidali di sabbia finissima, trascorso un certo tempo dal riflusso della marea, lo stato della superficie può permettere l'atterraggio di elicotteri e di aerei leggeri.

I sedimenti – Processi evolutivi delle spiagge di sabbia

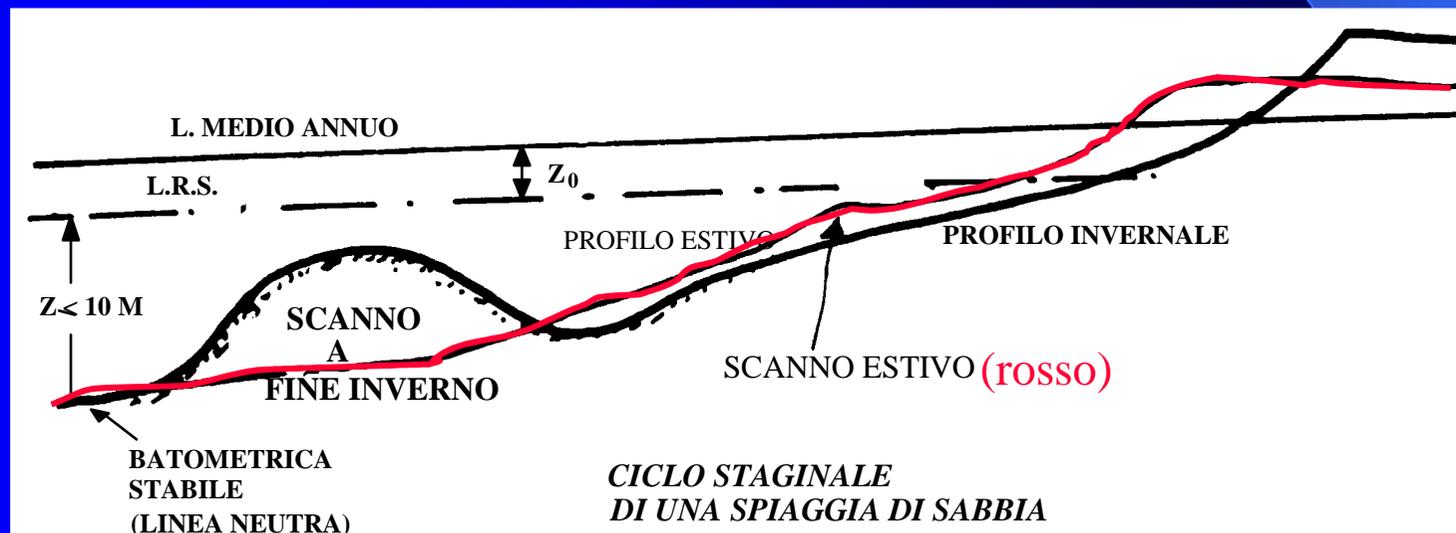
Le azioni meccaniche che agiscono con carattere permanente o periodico su di una spiaggia possono essere esercitate congiuntamente o separatamente quale effetto delle seguenti cause esterne: moto ondoso, correnti della zona dei frangenti, corrente litoranea.

Quasi tutte le spiagge sono soggette a processi evolutivi che determinano variazioni del profilo verticale e della loro topografia della parte prossima alla battigia. Quando le variazioni morfologiche sono considerevoli assumono importanza dal punto di vista idrografico e da quello operativo. La morfologia di spiaggia non stazionaria può essere: ciclica, in fase erosiva, in fase costruttiva cioè di allargamento verso mare.

I sedimenti – Processi evolutivi delle spiagge di sabbia

Nel caso **ciclico** le spiagge vengono parzialmente demolite durante le mareggiate della stagione invernale e ricostruite in quella estiva (se lo stato del mare non è determinato da regimi monsonici).

Il profilo verticale varierà come indicato dalla figura e potrà essere noto mediante rilievi idrografici speditivi, con aerofotogrammetria o con scandagliamento LIDAR nel caso di acque calme e limpide.



I sedimenti – Processi evolutivi delle spiagge di sabbia

Oltre al ciclo stagionale vi possono essere cicli di periodo più breve determinate da condizioni di mare tempestoso.

Nella maggioranza dei casi è provato che sensibili variazioni della profondità dovuta alla modifica del profilo verticale sono riscontrabili fino alle isobate dei 10 m in relazione ai fattori esterni ed alla natura della granulometria dei materiali di spiaggia.

Le spiagge possono essere inoltre in fase erosiva per effetto prevalente di cause demolitrici e di asporto oppure possono essere in continuo accrescimento quando prevalgono per lungo tempo i fattori del trasposto fluviale e della sedimentazione in aree ridossate non investite dal moto ondoso.

I sedimenti – Processi evolutivi delle spiagge di sabbia

La pressione erosiva di un'onda è enorme: arriva a 27 tonnellate per m²

PRIMA



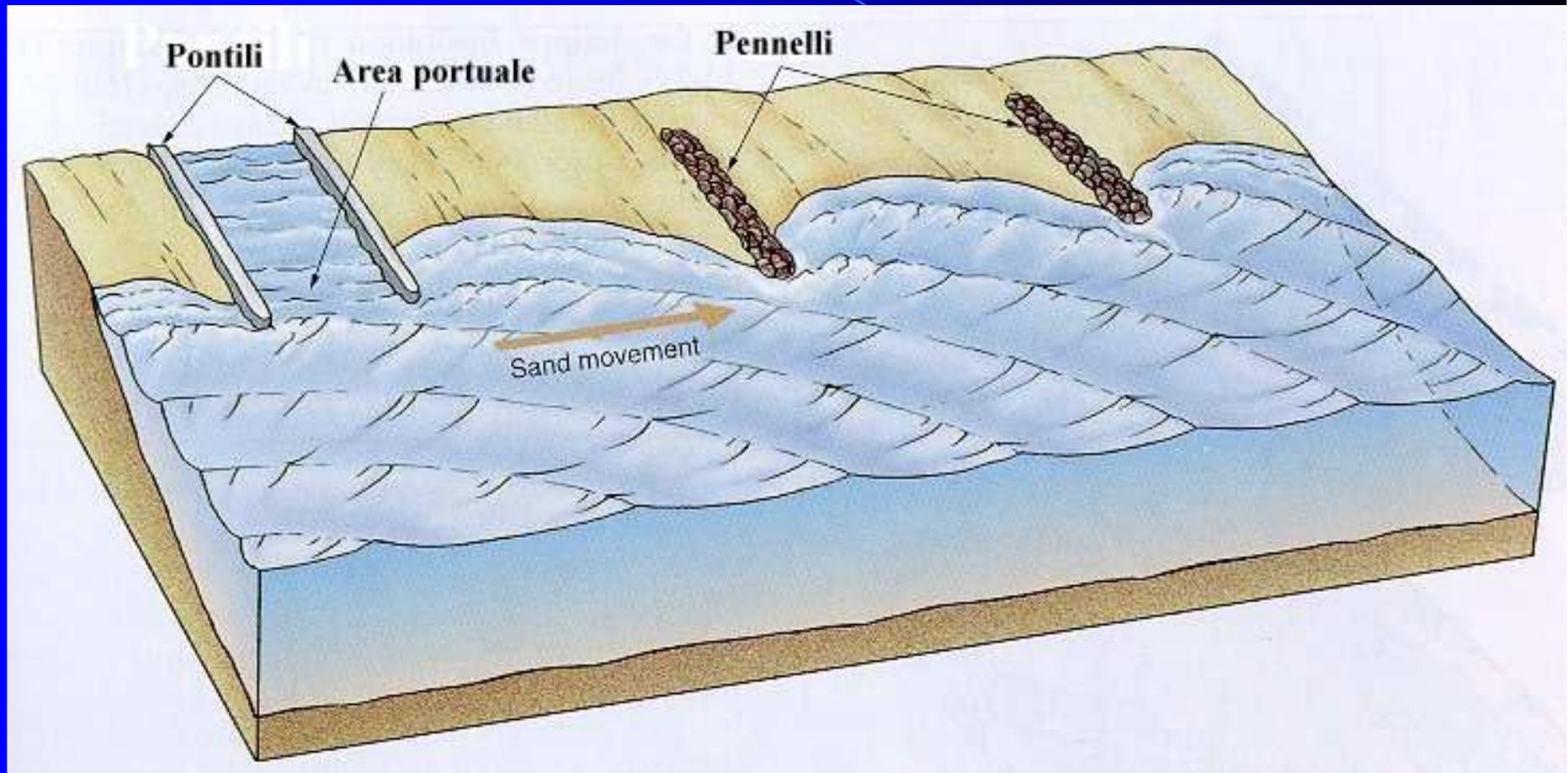
E la spiaggia non c'è più

Due immagini, riprese a distanza di quattro mesi una dall'altra, dell'isola tedesca di Sylt. La spiaggia è stata spazzata via da due tempeste e ha lasciato il posto a una scogliera alta 8 m. Secondo i geologi, in 7 mila anni l'isola si è spostata verso est di ben 13 km.

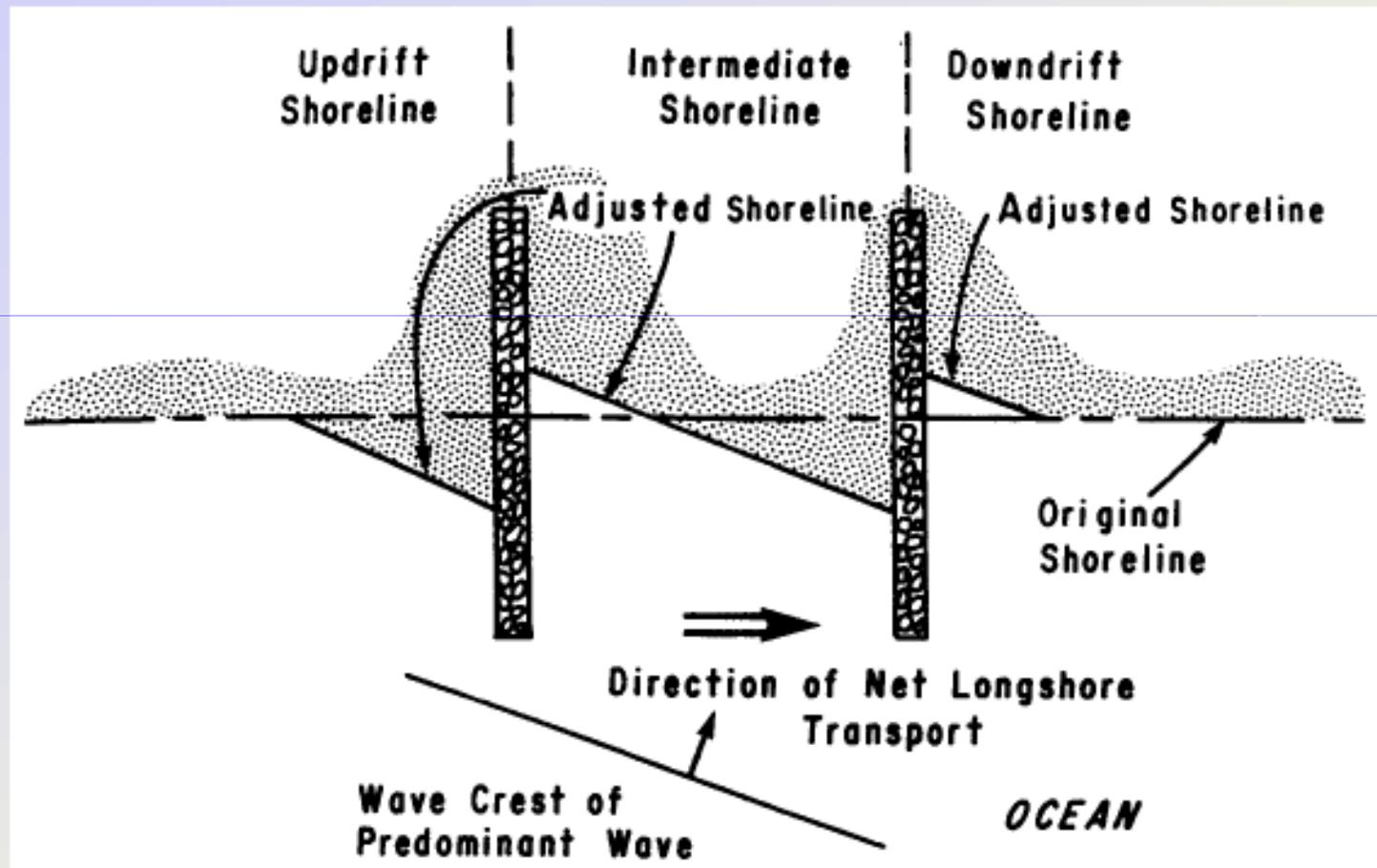
DOPO



I sedimenti – Processi evolutivi delle spiagge di sabbia



Linea di riva modificata da opere ortogonali



I sedimenti – Il campionamento

Le indagini sul fondo marino, sulla sua composizione e sullo spessore dei vari strati di sedimento vengono effettuate con diverse tecniche e vari strumenti. Schematicamente si possono individuare tre tipi principali di tecnica: il **campionamento**, **l'indagine stratigrafica** e **l'indagine ottica**.

Il prelievo di campioni dal fondo marino costituisce un'operazione più o meno complessa in relazione alla profondità a cui si opera e al tipo di studio che si dovrà eseguire sul materiale raccolto.

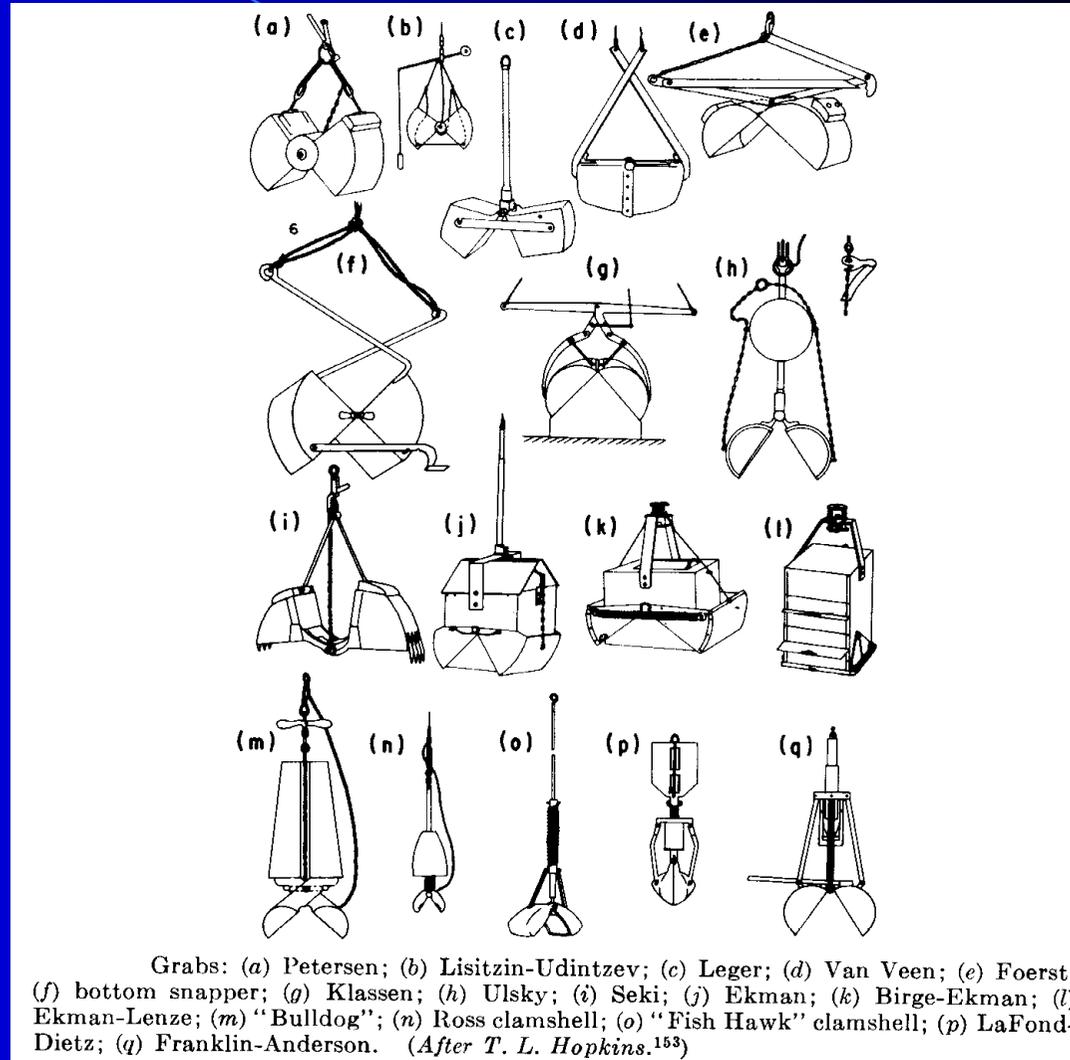
Il metodo più semplice per prelevare un campione di sedimento superficiale è quello di filare sul fondo del mare un peso cosparso di sego; recuperandolo si potranno esaminare i campioni di sedimento "impastati" nel sego.

Sono state messe a punto varie apparecchiature che permettono il prelievo superficiale anche con nave in moto (entro la piattaforma continentale) oppure prelievi di strati spessi fino a 30 metri con nave alla deriva. La presenza di sabbia, ghiaia o di roccia richiede particolari attenzioni.

I prelievi superficiali vengono eseguiti con *benne* e *draghe oceanografiche*; quelli stratigrafici mediante *carotatori* a caduta libera o a depressione. In questo ultimo caso è necessario che non vengano perturbate le stratificazioni dei sedimenti.

I sedimenti – La Benna

Viene impiegata per il prelievo delle parti più superficiali del fondo marino ed è particolarmente adatta al campionamento di sedimenti non compatti e privi di elementi grossolani. Esistono varie realizzazioni di benne (Figg. 3.15(a) e 3.15(b)); in generale sono costituite da due cavità incernierate lungo l'asse centrale. Le due cavità, mentre vengono filate in profondità, sono tenute aperte da un dente di arresto che, una volta raggiunto il fondo si libera dal meccanismo che le teneva aperte facendole così affondare nel suolo marino. All'atto del recupero le due cavità tendono a ruotare attorno all'asse centrale e, così facendo, *mordono* il fondo. Nelle condizioni migliori (fondo fangoso) le due cavità si congiungono e vengono a formare un recipiente chiuso.



I sedimenti – La benna

Una volta avvenuta la chiusura della benna si procede al recupero; a tale scopo le benne sono protette nella loro parte superiore per evitare il dilavamento del materiale durante la risalita.

Alcune benne vengono utilizzate insieme ad apparecchi fotografici per determinare in sito, e quindi intatte, le relazioni spaziali tra gli organismi presenti e il materiale geologico successivamente raccolto. Inoltre, fotografando un'area maggiore di quella campionata con la benna ci si rende conto se il campione raccolto è rappresentativo dell'area in esame.

Analizziamo ora alcuni aspetti pratici della *calata* di una benna.

Innanzitutto l'operazione deve essere fatta con mare calmo e con poco vento; la nave deve essere ferma. Poiché in genere è sempre presente, anche se in misura lieve un moto di deriva o di scarroccio, è necessario tenere sopravvento il lato della nave su cui si trova il verricello che cala la benna. Così facendo il cavo del verricello viene a essere scostato dalla nave e non rischia di finire sotto la chiglia dove potrebbe incocciarsi sulle appendici della carena o addirittura su eliche e timone.

I sedimenti – La benna

La velocità di discesa della benna deve essere regolata in maniera opportuna. Se la velocità di discesa della benna in acqua (che è funzione della superficie della benna, del suo coefficiente di drag [\[1\]](#) e della risultante tra peso della benna e spinta idrostatica) è inferiore alla velocità con cui il verricello fila il cavo, allora quest'ultimo scende in profondità più velocemente di quanto non scenda la benna. Se il cavo sopravanza la benna, tocca il fondo per primo e può causare il mancato funzionamento del meccanismo di chiusura oltre a fastidiosi aggrovigliamenti del cavo all'atto del suo recupero.

In sostanza la velocità di discesa deve essere tale che il peso della benna mantenga sempre in tensione il cavo. Se la benna viene calata alla velocità corretta l'operatore si accorgerà del suo impatto sul fondo notando un piccolo sussulto sul cavo.

Tale accorgimento è valido sia per la benna sia per tutti quegli apparati da filare in profondità che non sono dotati di elevato peso in acqua.

I verricelli delle benne sono in genere provvisti di contametri per dare un'indicazione approssimativa della quantità di cavo filato, hanno velocità di discesa/risalita variabile e potenza adeguata al peso del cavo avvolto che è di acciaio, può essere lungo anche migliaia e migliaia di metri e deve avere diametro opportuno.

[\[1\]](#) Il coefficiente di drag rappresenta la capacità di un oggetto di penetrare idrodinamicamente nell'acqua.

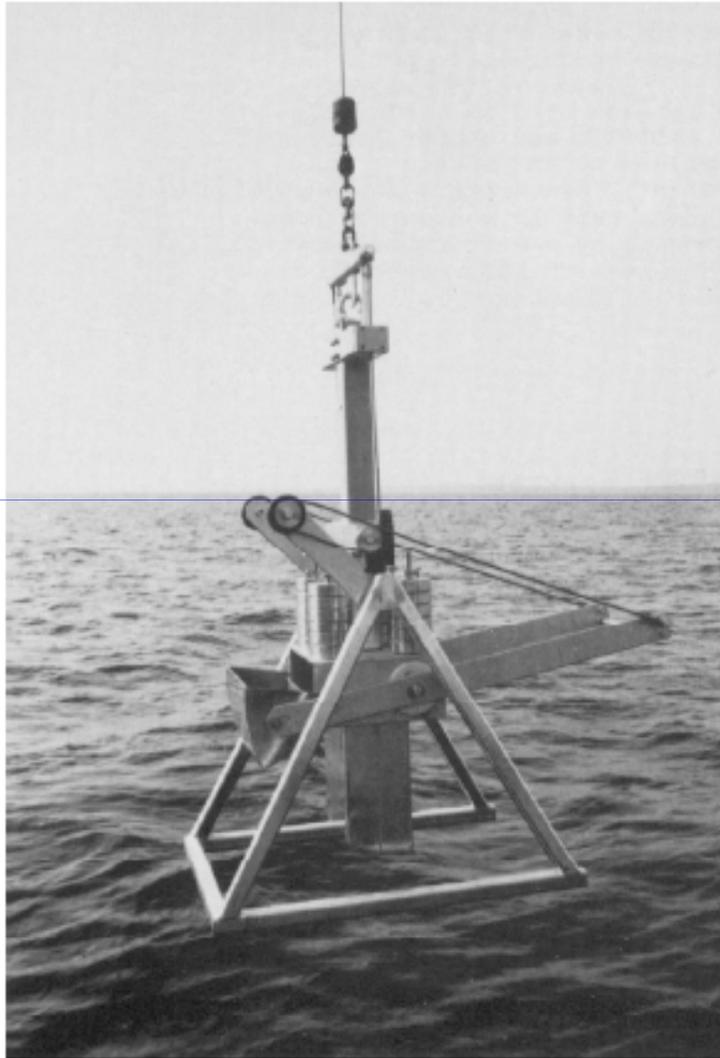
Campione prelevato con una benna



BOX CORER CLASSICO

Il Box Corer è impiegato per la raccolta di campioni di sedimento indisturbati, di un certo volume e spessore.

Il peso e le dimensioni rilevanti richiedono la disponibilità di un mezzo nautico, dotato di adeguato sistema di sospensione e sollevamento



Materiale: acciaio

Area di campionamento: 600 oppure 1000 cm²

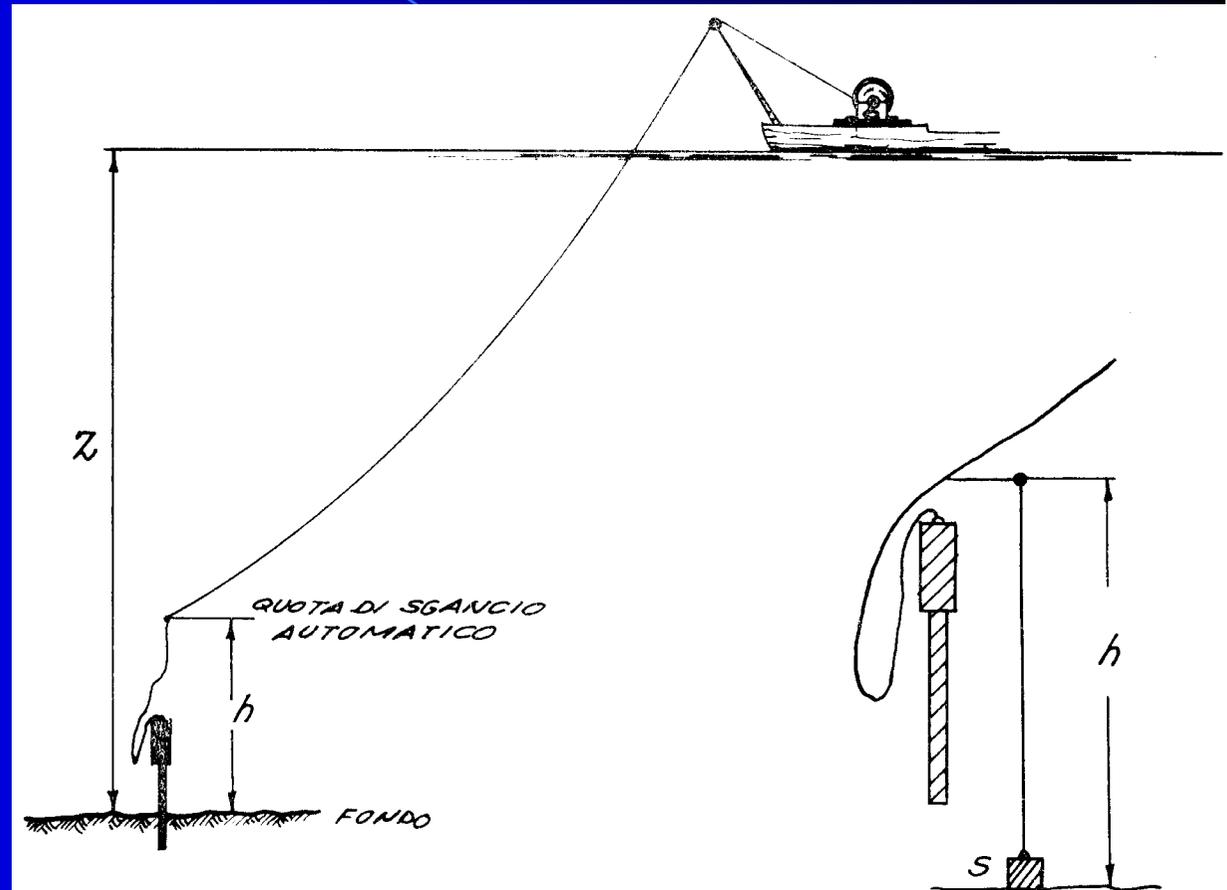
Volume di raccolta: 24 oppure 40 litri

Peso totale: 340 kg

Dimensioni standard: base 110x80 cm
altezza 200 cm

I sedimenti – Il carotatore

Lo sgancio automatico avviene mediante il comando meccanico attivato da un peso S all'atto in cui tocca il fondo. In fondali inferiori a 500 metri l'istante di sgancio è ben individuabile mediante la diminuzione di tensione rilevabile sul dinamometro; in fondali maggiori è necessario l'impiego di un avvisatore acustico che segnali lo sgancio. Ciò è necessario perché, non appena il carotatore è penetrato, si deve iniziare la manovra di recupero per evitare avarie dovute a trazione obliqua a seguito dell'inevitabile spostamento della nave.



Caratteri fisico-chimici dell'acqua di mare

L'esistenza dell'acqua allo stato liquido rappresenta una delle caratteristiche più particolari ed importanti del nostro pianeta. Nei suoi tre stati (solido, liquido, gassoso) l'acqua si divide in:

Acqua oceanica	1.370 milioni di Km³	94,2%
Acqua dolce	85	5,8%
TOTALE	1.455	100%
Acqua dolce:		
•ghiacciai, compresa la calotta polare e l'Antartide,	24	1,65%
•fiumi,	0,0012	0,0001%
•laghi,	0,75	0,005%
•falde del sottosuolo	60,065	4,11%
•vapore acqueo atmosfera	0,014	0,001%
Totale	85	5,8%

Il volume dell'acqua dolce è molto piccolo rispetto al volume delle acque oceaniche che pertanto costituiscono la vera risorsa idrica del globo.

Il bilancio del flusso dell'acqua

Vediamo ora le varie parti del ciclo dell'acqua sulla Terra (bilancio dinamico); questo bilancio mostra come l'acqua si muove tra l'atmosfera e l'idrosfera:

processo	quantità (m ³ all'anno)
Precipitazioni sull'oceano	$3,24 \cdot 10^{14}$
Evaporazione dall'oceano	$-3,60 \cdot 10^{14}$
Precipitazioni sulla terra	$0,98 \cdot 10^{14}$
Evaporazione dalla terra	$-0,62 \cdot 10^{14}$
Guadagno netto sulla terra = apporto dei fiumi	$0,36 \cdot 10^{14}$

Il bilancio del flusso mostra che la maggior parte dello scambio d'acqua tra i compartimenti è tra l'oceano e l'atmosfera, visto che quest'ultima è un elemento estremamente dinamico del sistema nonostante il suo basso contenuto istantaneo d'acqua. Il movimento dell'acqua tra l'oceano e l'atmosfera nell'arco di poche decadi è equivalente alla quantità d'acqua totale immagazzinata nelle calotte glaciali.

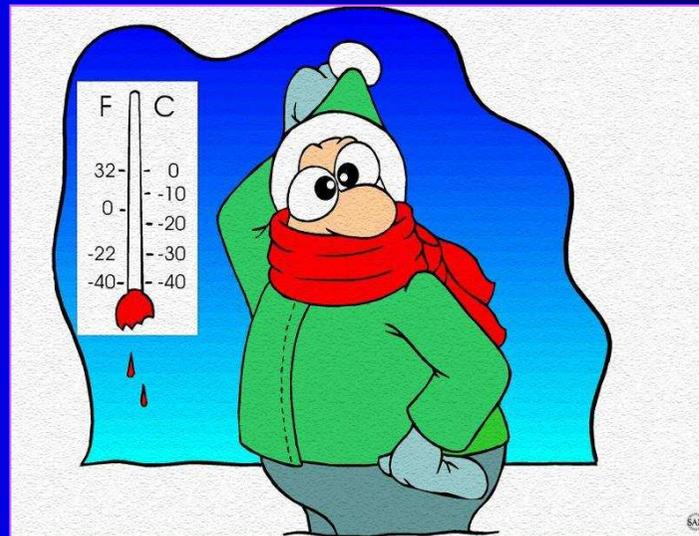
Proprietà	Paragone con altre sostanze	Effetti più importanti
Capacità termica	È la più alta tra tutti i solidi ed i liquidi ad eccezione dell'ammoniaca.	Il trasferimento di calore mediante il movimento delle particelle è molto elevato. Tende a mantenere uniforme le temperature dei corpi. Preserva dal raggiungimento di elevate escursioni di temperatura.
Calore latente di fusione	È il più alto ad eccezione dell'ammoniaca (83 cal).	Effetto termostatico sul punto di congelamento mediante assorbimento o rilascio di calore latente.
Calore latente di evaporazione	È il più alto di tutte le sostanze (537 cal).	È estremamente importante nel processo di riscaldamento e nel trasferimento di calore all'atmosfera.
Dilatazione termica	La temperatura di massima densità decresce con l'aumentare della salinità.	L'acqua pura e l'acqua di mare poco salata hanno la temperatura di massima densità sopra il punto di congelamento: questa proprietà riveste un ruolo molto importante nel controllo della temperatura e della circolazione verticale dei laghi.

. . . molte di queste proprietà la rendono
UNICA
per la vita sul nostro pianeta

L'alta capacità termica
contribuisce alla
regolazione termica
degli organismi viventi



L'elevato calore latente di evaporazione
impedisce
la disidratazione e il raffreddamento





L'alta costante dielettrica la rende il **solvente** generale di tutti i componenti più o meno solubili dell'organismo: ciò rende possibile

l'assunzione dei materiali nutritivi

l'eliminazione dei prodotti di rifiuto

Per ricordare l'importanza dell'acqua nella vita di tutti i giorni basta dire che, fisiologicamente, l'uomo necessita di circa 2,5 litri d'acqua al giorno.

Per migliorare le proprie condizioni di vita l'uomo ha però incrementato di circa 100 volte il consumo d'acqua per uso domestico e di circa 1.000 volte quello per uso industriale (nella progettazione dei dissalatori delle unità M.M. si mette a calcolo un consumo d'acqua di 250 litri al giorno per ogni membro dell'equipaggio).

Nell'uso industriale invece, per produrre 1.000 litri di latte bisogna impiegarne 5.000 di acqua; per produrre 1.000 Kg di burro se ne impiegano 10.000.

La produzione di una tonnellata di zucchero richiede 100 m³ di acqua mentre per una tonnellata di carta necessitano 250 m³ di acqua.

La produzione di una tonnellata di acciaio, nickel e alluminio richiedono rispettivamente il consumo di 150 m³, 800 m³, 1500 m³ di acqua.

Caratteri chimici e fisici dell'acqua di mare

Analogamente a quanto si verifica per l'atmosfera, dove si mantiene sostanzialmente costante il rapporto tra N_2 e O_2 , anche negli oceani, benché la quantità totale di sostanze disciolte vari più o meno da luogo a luogo ed in uno stesso luogo con il trascorrere del tempo, *i rapporti tra costituenti disciolti rimangono praticamente costanti*. Ciò sta ad indicare che l'idrosfera rimane ben mescolata, anche se è molto più viscosa dell'aria.

Ai fini pratici, e rimanendo ampiamente nei limiti richiesti dalla maggior parte delle misure oceanografiche si può ritenere valido il principio espresso già nel 1831 da MARCET: *"tutti i campioni di acqua marina contengono gli stessi ingredienti in ogni parte del mondo, ed essi, inoltre, mantengono le stesse proporzioni, in maniera che può solo variare la quantità totale del contenuto dei sali"*.

Caratteri chimici e fisici - La composizione dell'acqua di mare

Rapporto tra i principali costituenti dell'acqua marina in alcuni bacini

	Na+Cl ^a	Mg ⁺⁺ /Cl ^a	K ⁺ /Cl ^a	Ca ⁺⁺ /Cl ^a	SO ₄ ⁻⁻ /Cl ^a
Atlantico	0,5544	0,0667	0,0195	0,0212	0,1393
Pacifico	0,5553	0,0663	0,0209	0,0215	0,1396
Baltico	0,5536	0,0669	/	0,0216	0,1414
Mediterraneo	0,5528	0,0679	0,0201	/	0,1396

La caratteristica chimica più importante dell'acqua di mare è pertanto la *stabilità* della sua composizione nonostante la notevole complessità. Questo fatto riveste grande importanza pratica in quanto consente di conoscere la salinità totale di un campione d'acqua una volta che sia stata determinata la concentrazione di un solo sale.

Caratteri chimici e fisici - La composizione dell'acqua di mare

Ogni anno gli apporti fluviali di sostanze saline negli oceani ammontano a circa 4 miliardi di tonnellate. Quasi tutto il NaCl (cloruro di sodio) delle acque fluviali è sale marino riciclato che ricade sui continenti provenendo da nuclei salini derivati dalla superficie del mare nella dinamica di interazione aria-mare. I rimanenti sali disciolti nelle acque fluviali provengono dall'azione di dilavamento delle rocce terrestri prodotte dagli agenti atmosferici e dalle precipitazioni.

Benché questa quantità annuale di sostanze saline sia un infinitesimo della quantità totale di sali degli oceani sembrerebbe ragionevole ritenere che l'acqua marina tenda a divenire sempre più salata man mano che la terra invecchia. D'altra parte tutti i dati esistenti indicano che la salinità dei mari è mutata ben poco. Le misure dirette della salinità risalenti a qualche centinaio di anni fa dicono che praticamente non si può notare alcuna variazione; naturalmente questo è un tempo eccessivamente breve rispetto all'età della terra e anche degli oceani. Le notizie ricavate dai fossili sembrano però suggerire che la salinità dei mari deve essersi alterata ben poco nell'ultimo mezzo miliardo di anni.

Defant (1931) ha calcolato che i sali contenuti nelle acque oceaniche ammontano ad almeno $4,8 \times 10^{16}$ tonnellate che corrispondono ad un volume secco di sali pari a $21,8 \times 10^6 \text{ Km}^3$. Questa quantità, uniformemente distesa su tutta la superficie degli oceani, formerebbe uno spessore di circa 42 metri e, se fosse distesa al di sopra delle terre emerse avrebbe uno spessore di 140 metri.

Caratteri chimici e fisici – La composizione dell'acqua di mare

La tabella fornisce una rappresentazione comparativa dei principali costituenti dell'acqua marina sotto forma di sali. I dati sono stati rilevati per acqua avente una *salinità* pari a 35‰ e una temperatura di 20°C.

Nell'acqua di mare sono inoltre presenti: **nutrienti, gas disciolti, sostanza organica, microcomponenti.**

Elementi della serie principale nell'acqua di mare

Sale	Quantità (Kg/m ³)	Componente	Quantità (g/Kg)
NaCl	28,014	Cloro Cl ⁻	19,344
MgCl ₂	3,812	Solfati SO ₄ ⁻⁻	2,701
MgSO ₄	1,752	Bromo Br ⁻	0,066
CaSO ₄	1,283	Acido borico	0,027
K ₂ SO ₂	0,816	Sodio Na ⁺	10,751
CaCO ₃	0,122	Magnesio Mg ⁺⁺	1,293
KBr	0,101	Calcio Ca ⁺⁺	0,415
SrSO ₄	0,028	Potassio K ⁺	0,390
H ₂ BO ₃	0,028	Stronzio Sr ⁺⁺	0,013
		TOTALE	35,000

Le caratteristiche chimiche dell'acqua dei fiumi appaiono essere completamente differenti da quelle dell'acqua di mare, e una parte dei composti che vi si trovano in soluzione precipitano all'arrivo in mare.

Sulla Terra esistono però delle masse *isolate* d'acqua salata che ricevono acqua in afflusso ma che, a causa del loro isolamento, sfuggono agli effetti regolatori cui sono soggette le grandi masse d'acqua oceaniche.

Il Mar Caspio, il lago Aral, il Mar Morto ed alcuni laghi isolati dell'Asia Minore e del Nord America (Utah) ricadono in questa categoria.

L'acqua di questi cosiddetti "mari" non è però acqua salata come quella degli oceani; pertanto possiamo definire questi bacini come delle vaste estensioni di acqua salata:

- Il Mar Caspio contiene da due a tre volte più carbonato di calcio degli oceani, ma la sua salinità totale è del 13‰.
- Il lago Aral ha una salinità del 10‰ rappresentata principalmente da solfati.
- Il Mar Morto ha una salinità del 240‰ in cui il 60% è rappresentato da cloruro di magnesio e solo il 20% da cloruro di sodio, concentrazioni che, tra l'altro, sono così vicine alla condizione di saturazione che la cristallizzazione si verifica continuamente.
- Nei laghi salati dell'Asia Minore e dello Utah il carbonato è presente in quantità maggiore di due o tre volte il cloruro.

Quindi non vi è somiglianza nè qualitativa nè quantitativa tra le acque di questi "mari" e quelle degli oceani o di bacini particolari con acque relativamente isolate quali il Mediterraneo.

Il Mar Caspio, che in precedenza apparteneva al dominio oceanico, è stato considerabilmente desalinizzato da quando si è trovato isolato ed ha perso le sue caratteristiche anche se continua a ricevere apporti di acque dolci da grandi fiumi (Ural, Volga, etc.) che drenano una parte non trascurabile della crosta terrestre.

La salinità dell'acqua di mare sembra quindi non derivare dall'accumulo e graduale concentrazione di elementi della crosta terrestre, drenati dai fiumi, nel corso delle ere geologiche.

L'analisi di alcune specie di fossili marini che hanno popolato i mari nel corso delle ere (nautili, brachiopodi, etc.) indica che non sono stati sottoposti a significative variazioni delle caratteristiche fisiche e chimiche dell'ambiente marino.

Caratteri chimici e fisici – La salinità

La salinità, nell'accezione comune, rappresenta il quantitativo di sali contenuto in un campione d'acqua. In realtà, nell'oceanografia, la definizione di salinità è stata per molto tempo uno dei problemi più ardui.

Nel 1902 venne data la seguente definizione *teorica*: "**La salinità è il peso totale in grammi di sostanza solida disciolta in 1.000 grammi di acqua di mare**".

La definizione fu integrata da *S. P. Soerensen* con l'aggiunta "**...., quando gli alogeni vengano determinati come cloro, i carbonati come ossidi, e la sostanza organica venga bruciata**". Questa definizione consente, da un punto di vista chimico, di "fotografare" in maniera più precisa la misurazione della salinità.

Poiché la composizione relativa, come si è detto, è sostanzialmente costante si può calcolare la salinità totale, *in pratica*, attraverso la concentrazione di uno di questi ioni, ad esempio lo ione cloro, misurando la *clorinità*. La formula che fornisce la relazione tra clorinità e salinità secondo Knudsen è:

$$S = 1,805 Cl + 0.030$$

dove *S* è la salinità in g/Kg e *Cl* la clorinità (anch'essa in g/Kg e intesa come il complesso degli alogeni determinati come cloro). Naturalmente questa nuova definizione di salinità, a carattere pratico, veniva a perdere il suo originale significato.

Caratteri chimici e fisici – La salinità

In seguito (anni '60) venne usata la seguente definizione pratica:

$$S = 1,80655 \text{ Cl}$$

Oggi sono notevolmente utilizzate le misure basate sulla conducibilità elettrica. La definizione *pratica* di salinità, misurata utilizzando la conducibilità elettrica è data dal seguente algoritmo (UNESCO 1981):

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S$$

con:

$$\Delta S = \frac{(t-15)}{1+k(t-15)} (b_0 + b_1 R_t^{1/2} + b_2 R_t + b_3 R_t^{3/2} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{5/2})$$

La formula fornisce direttamente il valore in parti per mille (cioè fornisce 35 e non 0,035).

R_t rappresenta il rapporto tra la conducibilità elettrica dell'acqua di mare alla temperatura t e quella dell'acqua di mare avente una salinità pratica pari a 35 alla temperatura t (entrambe alla pressione standard di una atmosfera). I salinometri da laboratorio forniscono direttamente il valore R_t , mentre per le misure effettuate *in situ* bisogna tenere conto della pressione e della temperatura effettive.

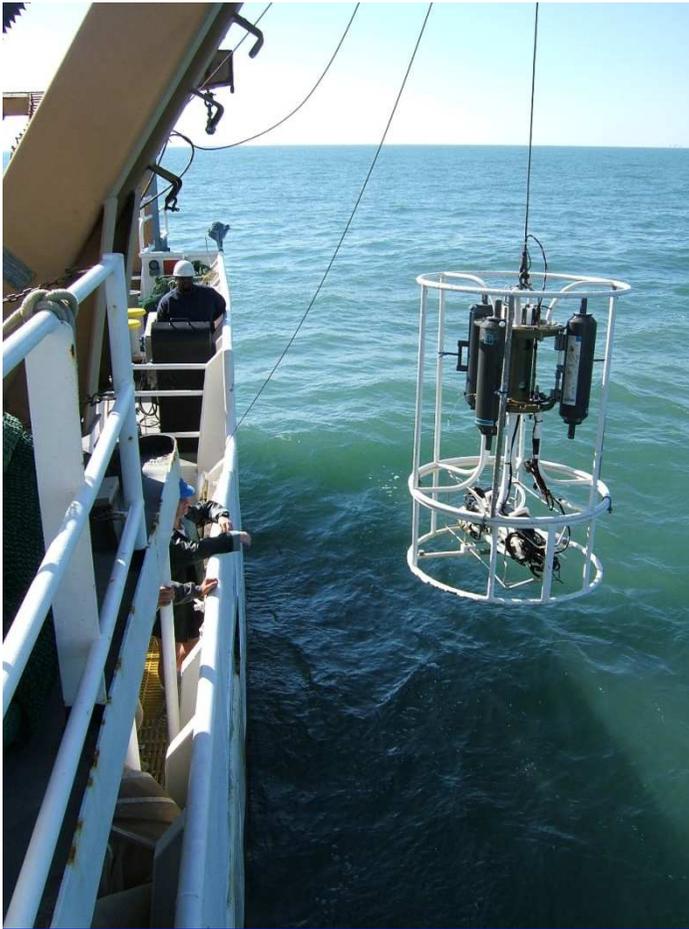
Caratteri chimici e fisici – La salinità

Le equazioni sono valide per temperature tra -2 e 35°C, pressione tra 0 e 1.000 bars, e salinità pratica compresa tra 2 e 42.

Tutte le misurazioni effettuate (da navi e boe oceanografiche, etc.) *in situ* sfruttano la definizione di salinità pratica basata sulla conducibilità elettrica, consentendo di avere misure di salinità in continuo nel tempo e nello spazio.

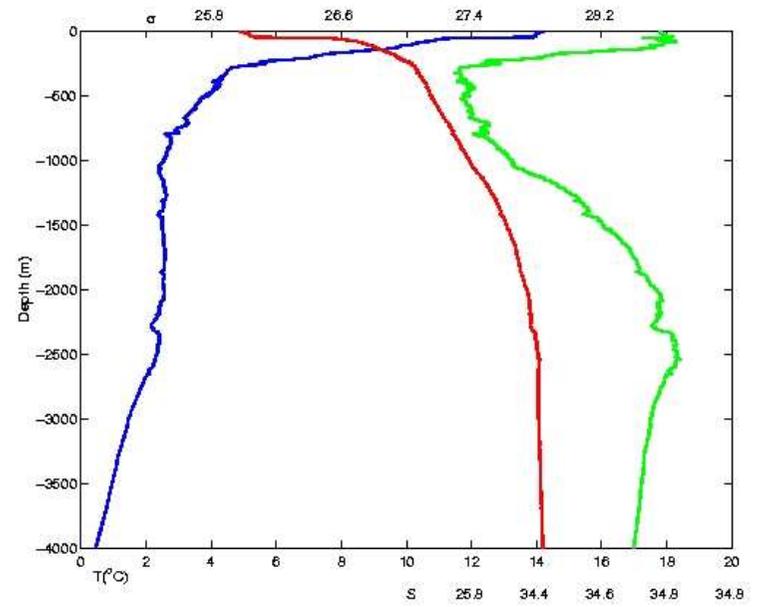
La possibilità di risalire alla salinità utilizzando la conducibilità elettrica (nonché la temperatura e la pressione) ha infatti consentito di procedere alle misure continue di salinità *in situ*, senza essere obbligati all'oneroso prelievo di campioni che un tempo veniva effettuato per consentire tali misurazioni.

Con ciò si ha anche il vantaggio, rispetto alle determinazioni chimiche di salinità precedentemente usate, di poter meglio definire la struttura fine delle anomalie spaziali di salinità nonché, grazie alla odierna precisione nella misura di variabili elettriche, di poter cogliere anche le più brevi e deboli variazioni temporali di salinità. Gli apparati utilizzati devono essere tarati e calibrati periodicamente.

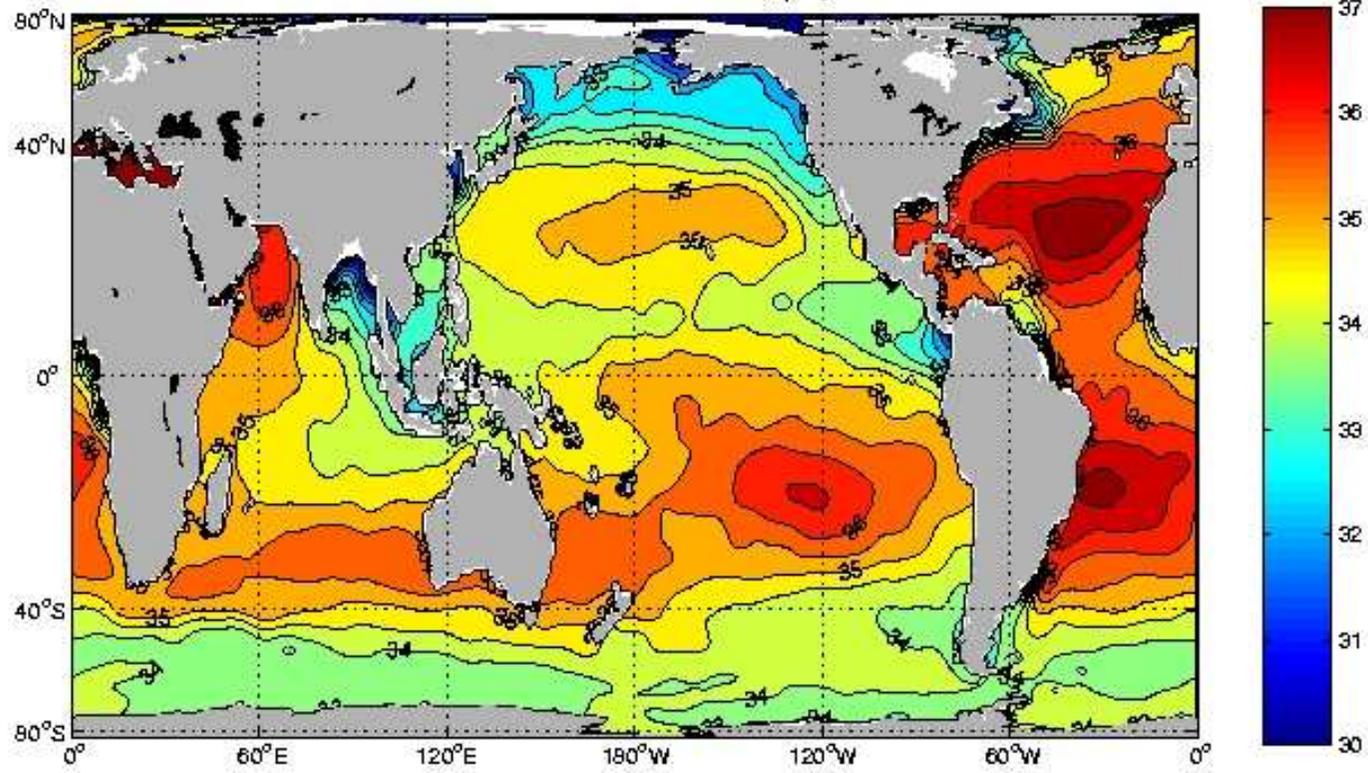


2014

Oceanografia per PA



Annual mean sea surface salinity (psu)



Caratteri chimici e fisici – La densità

Fisicamente la densità è il rapporto:

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

tra l'elemento infinitesimo di massa dm ed il suo volume dV ; viene espressa in g/cm^3 ; la densità, negli oceani, oscilla tra valori di 1,00000 e 1,03000 g/cm^3 in superficie, mentre nelle alte profondità (a 5.000-6.000 metri e oltre) si hanno valori di 1,05000 e 1,06000 g/cm^3 .

La densità dipende dalle condizioni di salinità, temperatura e pressione in cui si trova l'acqua di mare. Per esempio con $S = 35\text{‰}$, $T = 20^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ atm}$ la densità è $\rho = 1,02478$; la densità va conosciuta con precisioni fino alla quinta cifra decimale.

Caratteri chimici e fisici – La densità

Poiché nel valore della densità l'unità e la prima cifra decimale non mutano, in oceanografia si usa definire la densità nella forma $\sigma = (\rho - 1) \times 1.000$; alla densità $\rho = 1,02478$ corrisponde pertanto $\sigma = 24,78$.

Le curve di uguale densità in una rappresentazione cartografica o in un diagramma si chiamano *isopicne*.

Non esiste una relazione esatta che lega il valore della densità ai valori di S, T e p.

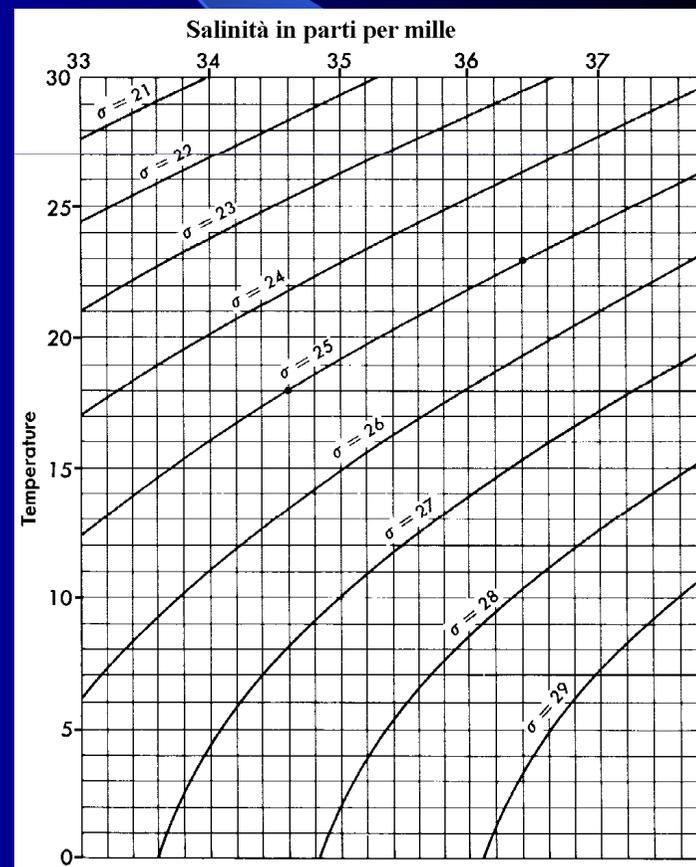
Attualmente le navi e le boe oceanografiche dispongono di strumenti con sensori elettronici che misurano temperatura, conducibilità e pressione.

Caratteri chimici e fisici – La densità

Si nota dal grafico che l'acqua assume densità $\sigma = 25,00$ sia per $S = 36,40\text{‰}$ e $T = 23^\circ\text{C}$, che per $S = 34,6\text{‰}$ e $T = 18^\circ\text{C}$, oppure per una qualsiasi altra coppia di valori di T ed S che giacciono sulla isopigna $\sigma = 25,00$.

È pertanto necessario indicare esplicitamente le condizioni alle quali ci si riferisce tramite scritte del tipo $\sigma_{S,T,p}$; inoltre per mettere a paragone la densità di più corpi d'acqua può essere necessario riferire i valori ad una medesima condizione di salinità o di temperatura o di pressione.

Una densità espressa nella forma $\sigma_{S,T,p}$ sta ad indicare un valore in situ, σ_T si usa per indicare che un determinato valore di densità dipende solo dalla temperatura e che sono state fissate salinità e pressione. Le scritte $\sigma_{35,0,p}$ oppure $\sigma_{35,T,0}$ stanno a dire che si tratta di valori che si riferiscono ad una salinità di 35‰ , temperatura 0°C , pressione variabile e, nel secondo caso ad una salinità di 35‰ , temperatura variabile, pressione standard (per convenzione in oceanografia la pressione standard al livello del mare ha valore zero).



Passando da acqua salata ad acqua dolce (o comunque da acqua salata ad acqua meno salata), il nuovo **ed aumentato** pescaggio di un'unità, dovuto alla diminuzione di densità dell'acqua, può essere ottenuto applicando la seguente formula:

$$\text{Pescaggio in acqua dolce} = \frac{\rho_s}{\rho_d} \times D_s$$

dove:

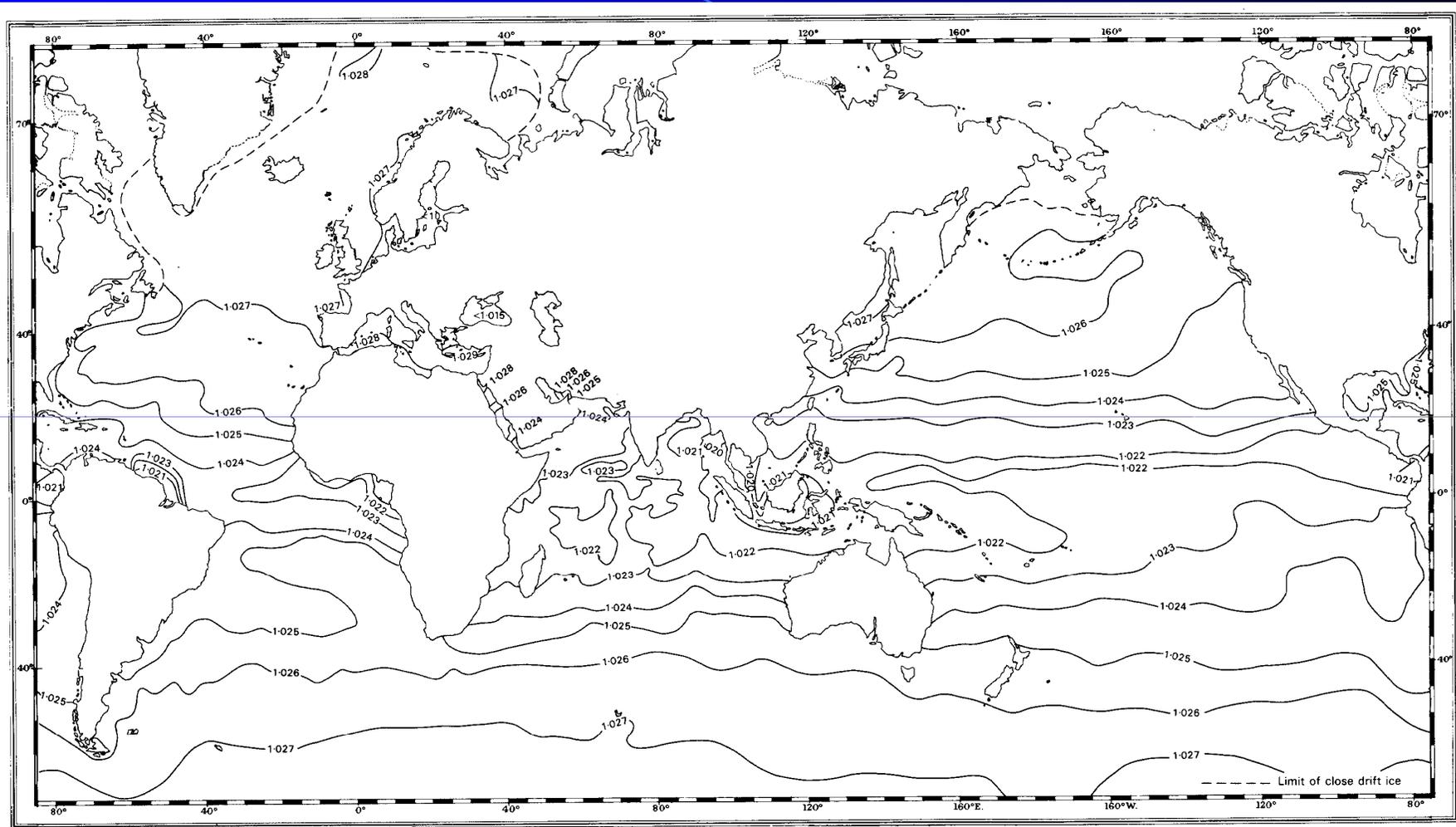
ρ_s = densità dell'acqua salata

ρ_d = densità dell'acqua dolce

D_s = pescaggio in acqua salata

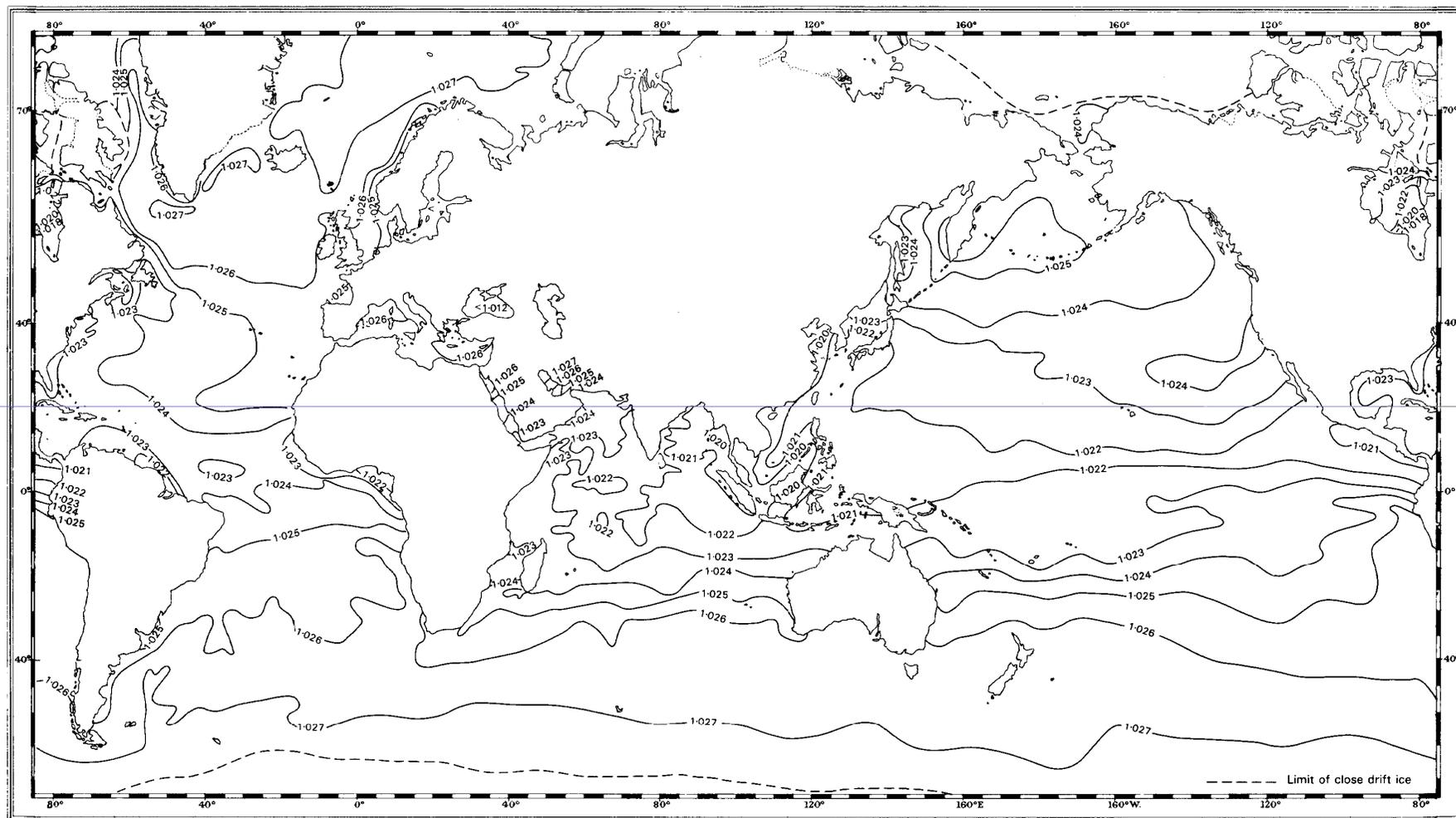
In pratica dunque il pescaggio aumenta del 2-3%.

Caratteri chimici e fisici – La densità



World Sea Surface Density (g/cm^3): January to March (4.42.1)

Caratteri chimici e fisici – La densità



World Sea Surface Density (g/cm^3): July to September (4.42.2)

Caratteri chimici e fisici – La pressione idrostatica

La pressione rappresenta il rapporto tra la forza e la superficie su cui tale forza si esercita. Nell'acqua la pressione interna in un punto è data dal peso della colonna d'acqua sovrastante che ha per sezione l'unità di superficie.

La pressione all'interno del mare dipende dalla profondità e dalla densità.

Fisicamente la pressione agisce restringendo il volume ed aumentando la densità; inoltre influenza la misura della temperatura e della salinità. Ad esempio un litro di acqua con $S = 35\%$ e $T = 0^\circ\text{C}$ ha in superficie $\sigma_T = 28,13$ ma ad una profondità di 4.000 metri un $\sigma_T = 48,49$ ed il suo peso aumenta di 20 grammi

Dal punto di vista delle operazioni navali essa influenza le profondità operative dell'uomo munito di autorespiratori e scafandri, è responsabile della strizione degli scafi dei sommergibili e deve esserne tenuto conto nella progettazione degli scarichi dei sommergibili e di tutta l'impiantistica per l'estrazione ed il trasporto degli idrocarburi in profondità.

Come unità di misura si assume il *bar* (10^6 dine/cm²), che equivale al peso di una colonna d'acqua pura a 4°C , alta 10 metri e di un cm² di sezione, oppure al peso di analoga colonna di mercurio a 0°C , alta 760 mm, assumendo per la gravità il valore medio di 980 cm/sec².

Caratteri chimici e fisici – La pressione idrostatica

La pressione idrostatica alla quota z è data da:

$$p = p_a - \int_0^z g \rho \, dz$$

Considerando una superficie unitaria alla quota z e supponendo che la colonna d'acqua sovrastante abbia una densità costante (nella pratica è così poichè la variazione della densità nella colonna d'acqua è, a meno di casi eccezionali, minore del 2%) si ha:

$$p = \rho \cdot g \cdot z$$

sostituendo i seguenti valori:

$$\rho = 1,024 \text{ g / cm}^3$$

$$g = 980 \text{ cm / sec}^2$$

$$z = 1.000 \text{ cm (10 metri)}$$

si ha: $p = 1,00352 \cdot 10^6 \text{ dine / cm}^2$

Dall'esempio si nota come la pressione aumenti di 1 bar ogni 10 metri di profondità.

Inoltre, poiché $1 \text{ atmosfera} = 1,013 \text{ bar}$,

in pratica si assume anche che, ogni 10 metri di profondità, la pressione aumenti di una **atmosfera**.

Temperatura di congelamento

Il congelamento dell'acqua è accompagnato da un incremento di circa il 10% nel volume.
A causa di ciò:

- **il ghiaccio galleggia sull'acqua**
- **il congelamento spacca le divisioni tra le cellule di tipo animale, di tipo vegetale e nelle rocce porose**
- **il ghiaccio, definibile come un sistema cristallino con lacune, è "plastico"; pertanto i ghiacciai "scivolano" a valle verso il mare.**

$$T_g = - 0,003 - 0,0527 \cdot S - 0,00004 \cdot S^2$$

Con l'aumentare della salinità la temperatura di congelamento dell'acqua di mare si abbassa.

Per definizione dello zero della scala centigrada, questo valore corrisponde al punto di congelamento dell'acqua al livello del mare.

La formula potrebbe sembrare non coerente perché ammette per salinità zero una temperatura di congelamento lievemente inferiore allo zero. La discrepanza dipende dalla definizione di salinità.

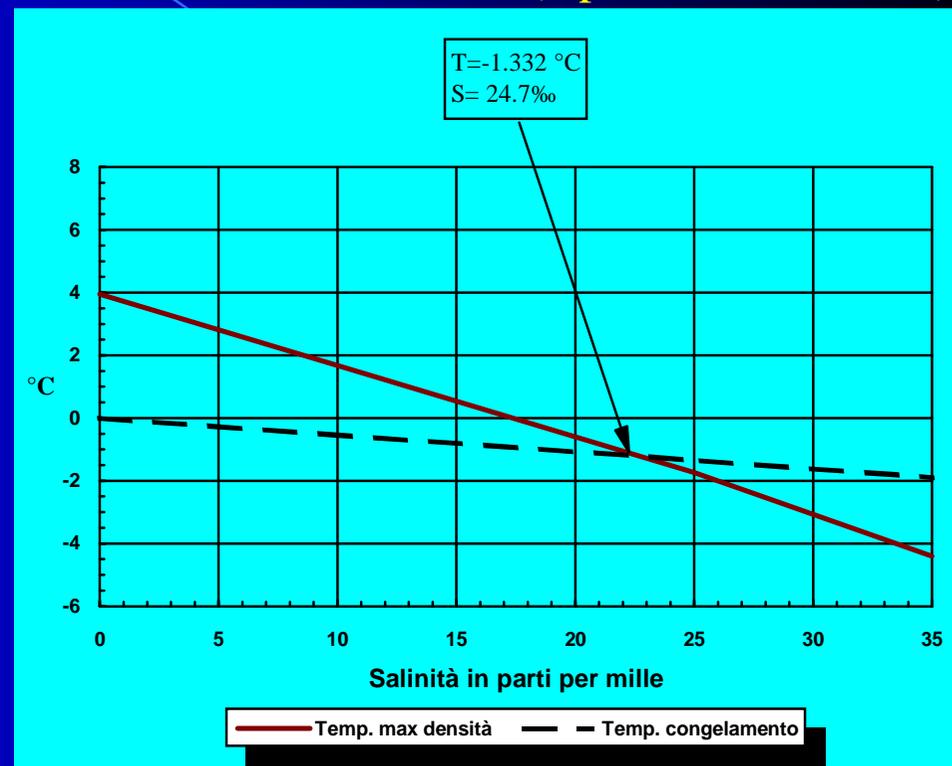
Temperatura di massima densità

La densità dell'acqua di mare aumenta con l'aumentare della salinità e con l'aumentare della pressione; l'acqua ha una temperatura di massima densità, T_m , definita (a pressione standard) dalla relazione:

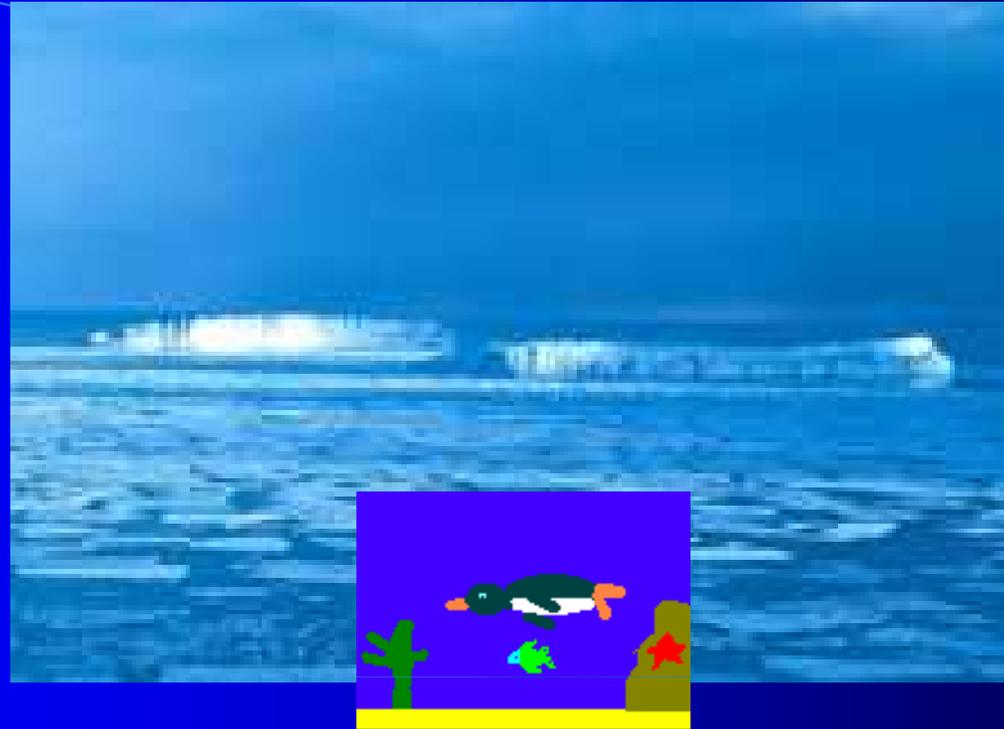
$$T_m = 3,95 - 0,2 \cdot S - 0,0011 \cdot S^2$$

(temperatura in °C e salinità S in ‰)

se $T > T_m$ ρ diminuisce all'aumentare di T
se $T < T_m$ ρ diminuisce al diminuire di T

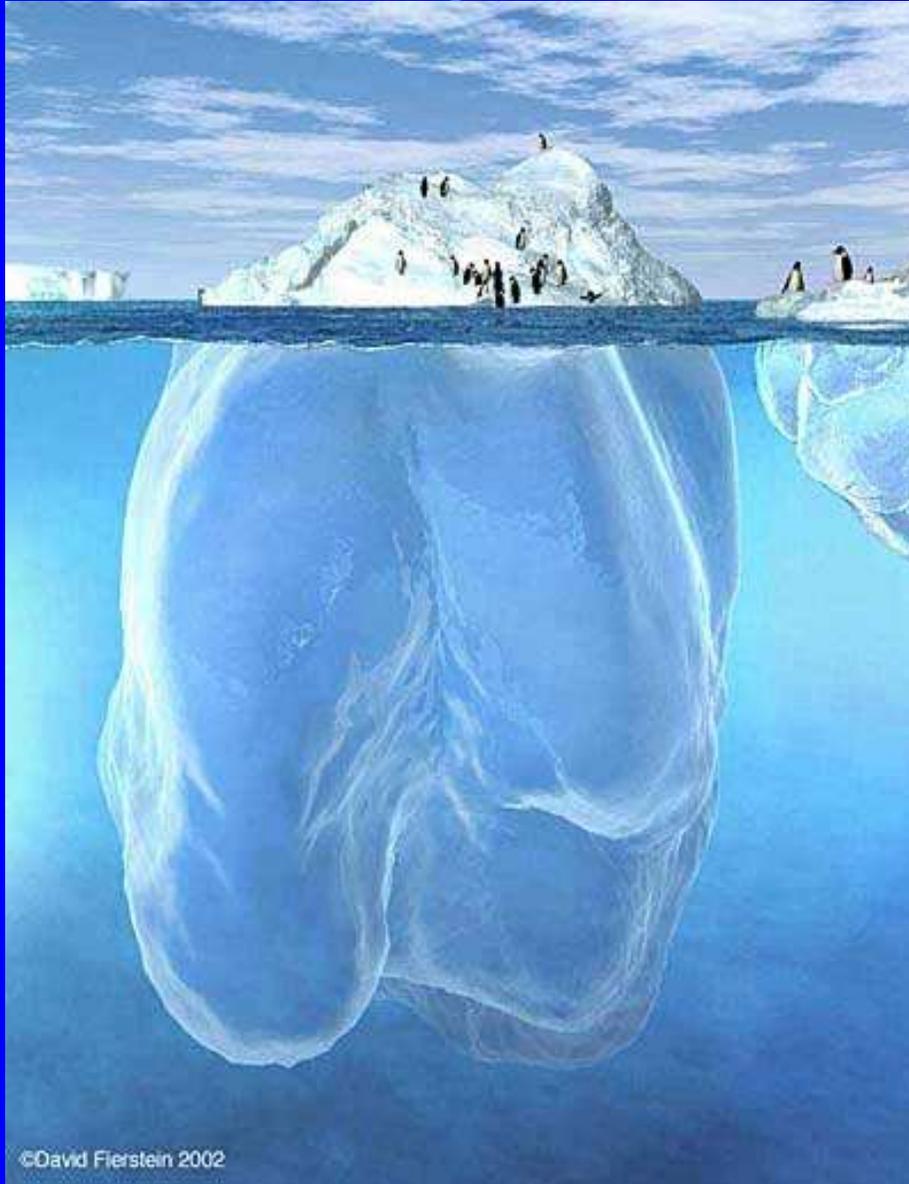


Negli oceani la densità aumenta man mano che aumenta la profondità: **la condizione di stabilità delle masse d'acqua impone infatti che le acque più pesanti stiano al di sotto di quelle più leggere**; se ciò non avviene si hanno dei movimenti che tendono a riportare le masse d'acqua nelle condizioni di stabilità.



- il congelamento di fiumi, laghi e oceani comincia dalla superficie
- l'acqua sotto allo strato di ghiaccio è isolata dal congelamento e in essa . . . la vita continua!

Gli iceberg



Poiché la densità del ghiaccio di acqua pura è di circa 0,920 e l'acqua di mare ha densità di circa 1,025, il primo galleggia e circa il 90% del volume di un iceberg rimane sotto la superficie marina. È difficile immaginare le dimensioni della parte subacquea osservando la parte emersa, anche perché il ghiaccio di cui è composto l'iceberg non è necessariamente "puro" (può contenere cavità vuote, detriti, etc.).