

# IL CAMPIONE DI SEDIMENTO

## STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO

Il prelievo del campione in campagna segue alcune semplici regole:

- 1) il campione NON va prelevato a caso (geometria dell'affioramento, litologia, strutture sedimentarie)
- 2) la quantità di campione da prelevare deve essere proporzionale alle dimensioni del granulo più grossolano
- 3) il campione da esaminare deve rappresentare una UNITA' di SEDIMENTAZIONE e deve essere costituito dal materiale deposto durante un medesimo episodio di sedimentazione

La campionatura va pianificata prima del prelievo vero e proprio!! (molto spesso non c'è occasione di ritornare nella stessa area di campionatura)

Inoltre, buona norma decidere prima di campionare le tipologie di analisi che poi si faranno in laboratorio.

Attenzione: i campioni forniscono una informazione puntuale e potrebbero essere influenzati da situazioni locali e quindi non essere rappresentativi.

## STRUMENTI PER IL PRELIEVO DEI CAMPIONI

Molteplici sono i sistemi/strumenti per il prelievo dei campioni. Martello/mazzetta e scalpelli sono gli strumenti più semplici per recuperare sedimenti litici che affiorano sulla terraferma, i sondaggi invece prelevano sedimenti coerenti del substrato in ambiente continentale.

Più articolata e complessa la panoramica degli strumenti impiegati per un campionamento in ambiente acquoso. Si parte dalle banali palette e sessola per arrivare a strumenti complessi come benne, box-corer, carotieri, sistemi per le trivellazioni, tutti strumenti che necessitano di una logistica decisamente più impegnativa. **I PRINCIPALI METODI/STRUMENTI DI CAMPIONATURA SONO RIPORTATI NELLE DISPENSE DEL CORSO DI GEOLOGIA 1**

PS: prelievo "a terra": ricordarsi sempre una cartina topografica ed una bussola!!

In generale avere sempre con se un quadernino sul quale prendere appunti relativamente alla attività in campagna, un pennarello indelebile per 'siglare' il campione, e sacchetti/contenitori nei quali mettere i campioni.

## TECNICHE SUL TERRENO

Sul quaderno di campagna vanno riportate le varie osservazioni che si possono fare sull'affioramento (o comunque durante il campionamento del materiale, sia esso coerente che incoerente)

- Litologia
- Tessitura (forma, arrotondamento, selezionamento, fabric, colore)

- Strutture sedimentarie
- Geometria e spessore degli strati
- Fossili se presenti
- Se presenza di strutture che indicano paleocorrente
- Log grafici e disegni sul quaderno di campagna
- Prime interpretazioni ambientali

La combinazione delle varie caratteristiche di una roccia sedimentaria definiscono una facies.

## I LOG GRAFICI

Un modo molto utile per raccogliere i dati è quello di costruire una “SEZIONE”, un LOG GRAFICO nel quale riportare, schematizzate, le osservazioni che si fanno in campagna

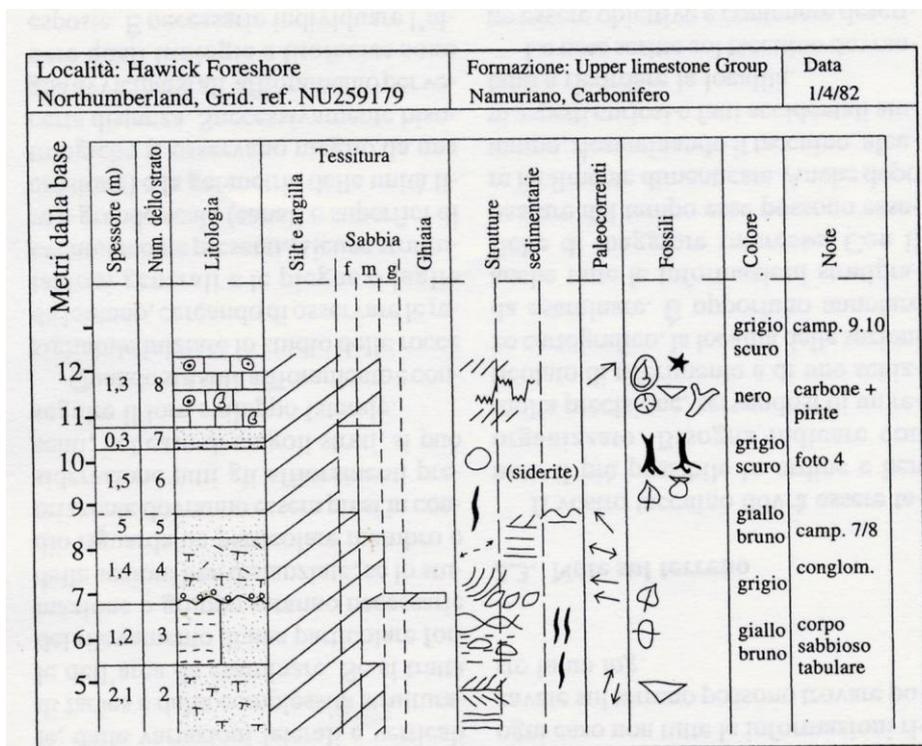


Fig. 2.1. Un esempio di log; i simboli sono riportati in Fig. 2.2.

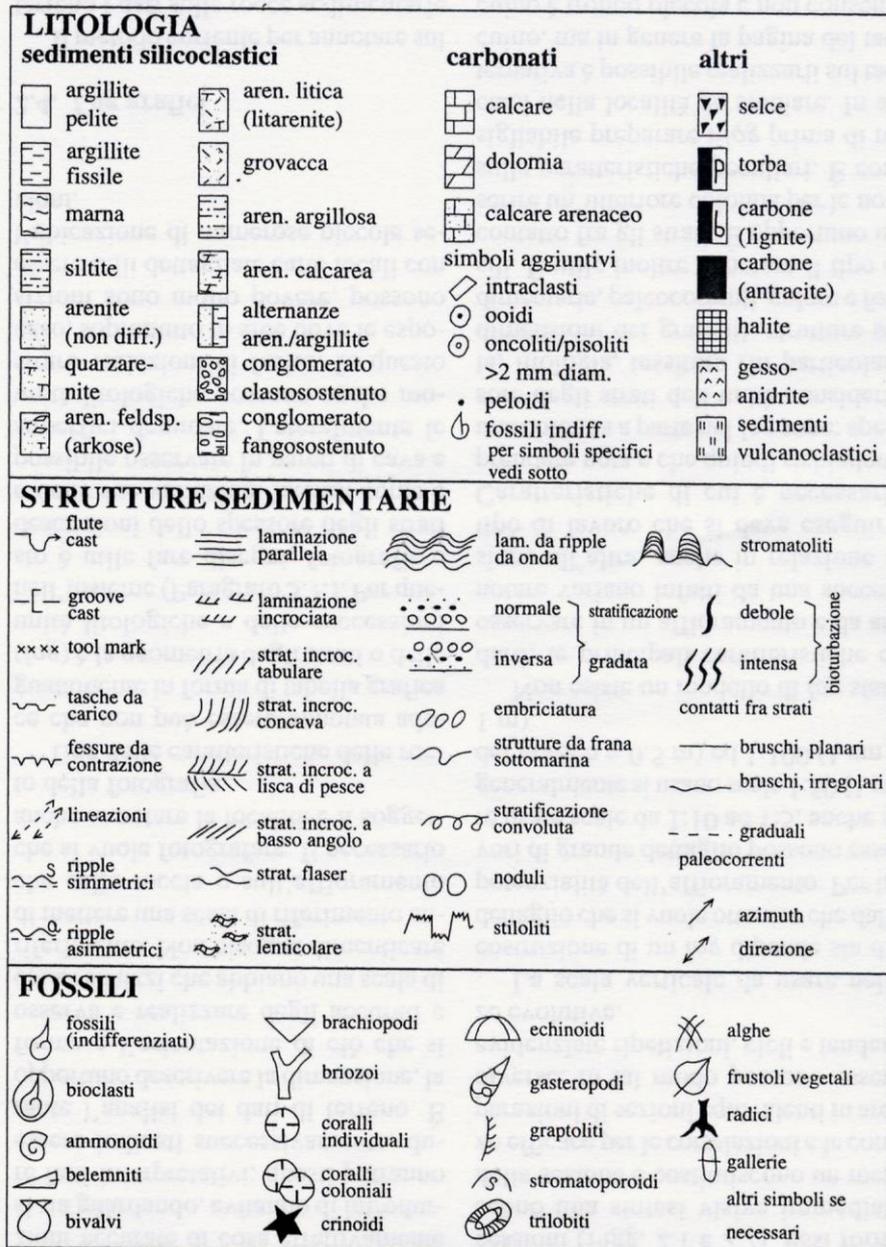


Fig. 2.2. Simboli utilizzabili in un log grafico per la litologia, le strutture sedimentarie e i fossili.

## ANALISI DI LABORATORIO

Molteplici sono le analisi che si possono fare sui campioni di sedimento, siano essi sciolti che coesi. **A titolo di esempio**, in generale, per caratterizzare il sedimento campionato, si possono fare analisi granulometriche-tessiturali, mineralogiche (minerali pesanti; minerali delle argille; associazione mineralogica sul bulk), geotecniche (densità dell'aggregato, contenuto in acqua), micropaleontologiche, geochimiche (sostanza organica e/o carbonio organico, calcimetrie, elementi comuni ed in tracce, analisi isotopiche).....

I campioni di roccia vengono tagliati, lucidati, fatti reagire con acido se carbonati, fatte sezioni sottili, polverizzati per analisi mineralogiche e chimiche.

Su carote e box-cores si possono anche fare analisi radiografiche (per riconoscere strutture sedimentarie difficilmente visibili ad occhio nudo), misure in continuo e puntuale di suscettività magnetica, densità, velocità onde P, misure di paleomagnetismo (se sedimenti sufficientemente antichi) e paleo-intensità magnetica oltre ovviamente alle analisi sopra dette.....

## **TESSITURA DEI SEDIMENTI E DELLE ROCCE SEDIMENTARIE**

La tessitura di un sedimento è data da:

- taglia e distribuzione dei granuli (granulometria)
- forma ed arrotondamento dei grani
- morfologia dei grani
- relazioni fra clasti e matrice
- disposizione spaziale dei clasti (*fabric*)

clasto= frazione detritica derivante da frammentazione di rocce preesistenti. ATT.ne. Il termine clastico può essere adottato da sedimenti di origine biogenica quando si tratta di detrito organogeno (bioclasti. Ad es: tritume conchigliare). Si consiglia di utilizzare il termine di sedimento terrigeno o silicoclastico, da contrapporre al sedimento non litogenico

**LITOLOGIA:** è la caratterizzazione generale di un sedimento o di una roccia sedimentaria: es sabbia grossa, silt, argilla, arenaria, siltite ecc ecc.

**POROSITÀ E PERMEABILITÀ:** sono proprietà secondarie che derivano dalle caratteristiche tessiturali.

L'insieme delle proprietà tessiturali può essere utilizzato per determinare:

- La storia del sedimento
- I processi che hanno agito durante il trasporto e la deposizione
- Il comportamento dinamico del sedimento

## **GRANULOMETRIA**

Un aspetto importante per caratterizzare i sedimenti, sia sciolti che litificati, è quello di determinare le dimensioni delle particelle (granuli) che li costituiscono, la frequenza delle dimensioni e la distribuzione di frequenza.

## **ANALISI GRANULOMETRICHE**

Le analisi granulometriche possono essere determinate in modo speditivo, in campagna, attraverso delle tavole/strumenti di comparazione. Successivamente la corretta determinazione va fatta in laboratorio. Tuttavia per le rocce ruditiche (breccie e conglomerati) diametro e orientamento degli elementi si può misurare con una certa accuratezza direttamente sul terreno, ottenendo buone informazioni anche sulle caratteristiche della superficie dei ciottoli ed il tipo di *fabric*.

*Fabric*= si riferisce alla disposizione spaziale dei granuli nel sedimento e quindi al loro orientamento ed impacchettamento (*packing*).

Lo scopo della misura delle dimensioni dei grani nei sedimenti è di contribuire alla conoscenza dei processi che portano alla formazione dei sedimenti stessi.

Molte procedure di analisi dimensionali rappresentano il tentativo di studiare il comportamento delle particelle sotto condizioni volti a simulare processi naturali.

### LA DIMENSIONE DI UN GRANULO

La granulometria è determinata misurando il volume delle particelle. Questo si può fare attraverso diversi metodi: determinazione basata sul peso (Volume = massa/densità della particella); determinazione diretta per immersione dei clasti determinando la dislocazione – volume – del fluido entro il quale il granulo viene immerso. Questi metodi hanno notevoli limiti: errori per la corretta determinazione della densità nel primo caso, difficoltà nel misurare la corretta dislocazione, poco pratica per particelle di piccole dimensioni, non va bene per i materiali porosi, nel secondo.

La determinazione del volume basata sulle dimensioni delle particelle è quella più utilizzata. Tuttavia definire la dimensione di un granulo, contrariamente a quanto si immagina, non è assolutamente semplice. Nel caso di un granulo sferico si può parlare di diametro, ma in natura i granuli difficilmente sono sferici.

La forma del granulo può essere approssimata ad un ellissoide a 3 assi (triassiale): asse **a** (lungo) asse **b** (intermedio) asse **c** (corto). Essi sono a 90° l'uno rispetto all'altro. La sezione massima è data dal piano definito dalle direzioni **a** e **b** e corrisponde alla posizione di riposo del granulo (posizione di equilibrio)

Il **diametro triassiale**  $d_t$  è dato da

$$d_t = a + b + c / 3$$

La determinazione dei tre assi può essere fatta solo su particelle di grosse dimensioni (ciottoli) mediante calibri

Per diametri più piccoli si ricorre alle sezioni sottili se i sedimenti sono coerenti.

Noti i 3 assi è possibile esprimere il volume della particella attraverso una singola dimensione nota come **diametro nominale** ( $d_n$ ) dove  $d_n$  è il diametro di una sfera che ha lo stesso volume della particella

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = \text{volume della sfera} \quad V_1 = \frac{\pi}{6} d_n^3 \\ V_2 = \text{volume della particella} \quad V_2 = \frac{\pi}{6} d_L d_I d_s \end{array} \right\} \begin{array}{l} V_1 = V_2 \\ d_n = \sqrt[3]{d_L d_I d_s} \end{array}$$

Due sono le tipologie degli strumenti che misurano le dimensioni dei granuli:

- Per tipo di dimensione misurata
- Per principio di funzionamento

La dimensione di un granulo si può ricavare misurando:

- **Volume**: clasti di ghiaia, Coulter Counter/Multisizer
- **Diametro** (ma quale ???): Image analysis, calibro, setacci
- **Area proiettata dalla sezione a b**: image analysis
- **Area proiettata casuale**: diffrazione Laser
- **Velocità di sedimentazione in acqua**: bilancia di sedimentazione, densimetro, sedigrafo..  
...da cui poi si ricava di nuovo il diametro

I metodi sono diversi:

- Conteggio: a mano su un m<sup>2</sup> di ghiaia, o in sezione sottile per le sabbie
- Image analysis: molti parametri su immagini: normali, microscopio, SEM,
- Setacciatura: peso di classi di particelle, diametro b
- Sedimentazione in sospensioni acquose
- Diffrazione di raggi laser

I metodi che si basano sulla sedimentazione in sospensioni acquose sono diversi a seconda che le sospensioni siano omogenee (densimetro, Pipetta di Andreasen, strumenti che si basano sull'attenuazione della luce e/o sui raggi X) o in colonna di acqua limpida (bilancia di sedimentazione).

Nella tabella sottostante vengono riassunti i metodi con i loro vantaggi e svantaggi.

<b>GHIAIA</b>		
<b>METODO</b>	<b>VANTAGGI</b>	<b>SVANTAGGI</b>
<b>Setacci e/o crivelli</b>	Applicabile a grosse quantità di materiale	Bisogna portare in laboratorio grosse quantità di materiale !
<i>Calibro</i>	Applicabile anche in campagna; facilmente anche la forma dei ciottoli	Lento e statisticamente inadeguato
Image anlysis	si applica da fotografie fatte in situ	il problema è la separazione dei contorni
<b>SABBIA</b>		
<b>METODO</b>	<b>VANTAGGI</b>	<b>SVANTAGGI</b>
Setacci	Metodo più diffuso, economico, veloce, molti dati di confronto; consente l'osservazione diretta delle classi	Classi granulometriche fisse; diametro fisico, non idraulico
<i>Microscopio</i>	Consente l'osservazione diretta delle classi: stime composizionali, morfometria	Diametro Non confrontabile con i setacci, dati NON statistici, LENTO !
<i>Counter</i>	Necessita di pochi milligrammi: sedimento sospeso, singole lamine	Diametro NON confrontabili con altri metodi, dati NON statistici
<b>Bilancia Sedimentazione</b>	Diametro idraulico, curve continue, veloce	Strumento costoso, campione non recuperabile
Laser	Molto veloce, non occorre separare il fango, poco materiale	manca di definizione, mode, poco materiale
<b>FANGO</b>		
<b>METODO</b>	<b>VANTAGGI</b>	<b>SVANTAGGI</b>
<i>Microsetacci</i>	Dati confrontabile con le sabbie	a umido, procedimento complesso
Pipetta	Diametro idraulico, metodo di riferimento fino a 20 anni fa	Poche classi, molto tempo, risultati dipendenti dall'operatore
<b>Sedigrafo</b>	Diametro idraulico, curva continua	
Sedimentometro	Diametro idraulico, curva continua	Influenzato dalla torbidità e dai colloidii
<i>Densimetro</i>	Economico; metodo da cantiere	Poche classi, misura imprecisa
Laser	Molto veloce, non occorre separare la sabbia	manca di definizione, mode

Per fare le analisi granulometriche dei sedimenti sciolti, questi vanno preparati attraverso una serie di procedure che variano a seconda dello strumento che si usa.

Di seguito viene riportata la procedura/protocollo utilizzati in laboratorio per alcune tipologie di analisi (la procedura è la stessa riportata nella dispensa di Geologia 1, **con integrazioni**).

## **PROCEDURA PER L'ANALISI DEI SEDIMENTI**

E' buona norma, prima di iniziare il trattamento dei campioni, sapere con precisione tutte le analisi che si dovranno svolgere sul campione per valutare la quantità ottimale di materiale che va separata dall'originale.

## QUARTATURA E SPLITTATURA

Quartatura e splittatura sono le operazioni che servono a selezionare la quantità di campione necessaria per le analisi a partire dalla quantità originaria che, di norma, è molto maggiore.

Eseguendo una serie di quartature a secco o ad umido, che consistono in un dimezzamento ripetuto dei campione ben rimescolato ed omogeneo, si arriverà al peso voluto (di solito 15-20 g secco, 30--40 g umido bastano per un sedimento più sabbioso, ne basterà di meno per un sedimento più fangoso; le quantità sono invece decisamente più elevate - anche chili - in caso di sedimento ghiaioso) necessario per un'analisi corretta. Nel caso di campioni di carota di cui si dispone, di solito, in quantità limitata, si arriva al 8-10 g asciutti (15-20 allo stato umido).

Tre metodi:

- 1 divisione a torta....
- 2 splittatore per sabbia....
- 3 separatore a umido...

Per valutare se serve o si riesce ad eseguire una buona quartatura bisogna verificare, di volta in volta, il peso di tutte le frazioni in cui si è diviso il campione.

Inoltre:

1- se il campione contiene molta ghiaia: si separa il sedimento al setaccio di 2mm (la frazione ghiaiosa sarà analizzata a parte) e si procede all'eventuale quartatura del passante a 2mm (sabbia + fango). E' molto importante, per un corretto calcolo delle percentuali di ghiaia, sabbia e fango, pesare la ghiaia e TUTTO il passante a 2 mm prima di procedere alle quartature.

2- se ci sono molte conchiglie, frustoli vegetali o alghe e frammenti organogeni: bisogna separare quanto più possibile questo materiale dal resto del campione.

3- se c'è molta acqua: si lascia decantare il sedimento e si sifona l'acqua in eccesso.

Nel primo di questi casi, ed anche se il sedimento bagnato è molto compatto e non si riesce a disgregare, si dovrà per forza asciugare tutto il campione (all'aria o in forno a bassa temperatura - 50°C), e procedere alla quartatura per avere un giusto rapporto in peso di ghiaia, sabbia e fango.

## PREPARAZIONE DEL CAMPIONE

Il campione secco viene frantumato in mortaio, badando a non rompere i granuli. Molto spesso si usano mortai e pestelli in porcellano e/o agata. Questi mortai sono indispensabili per disgregare completamente i campioni destinati ad analisi chimiche, per la disgregatura pre-analisi granulometrica è molto meglio utilizzare un pestello di gomma dura. Successivamente il campione disgregato viene introdotto in un bicchiere da 600 cc e, coperto il sedimento con poca acqua distillata, si aggiunge acqua ossigenata a 10 volumi (circa 10 cc per almeno quattro volte) ponendo il tutto su bagnomaria e agitando ogni tanto.

Il trattamento con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> serve a disgregare il campione e soprattutto ad ossidare la sostanza organica. Questa ossidazione non riesce a distruggere frustoli vegetali, frammenti di foglie, che devono essere tolti manualmente, ma a togliere il più possibile il cemento organico presente e durerà fino a quando l'acqua sovrastante il campione non sarà completamente limpida (circa 24 ore).

A questo punto è necessario suddividere le principali frazioni granulometriche (ghiaia, sabbia e fango) e la separazione fra esse avverrà "ad umido". In particolare il campione di sedimento viene fatto passare, con l'ausilio di normale acqua di rubinetto, attraverso 2 setacci sistemati uno sopra l'altro, a loro volta appoggiati su una caraffa capiente (in genere 5 l). Il primo setaccio ha lume 2 mm e trattiene il sedimento ghiaioso, mentre il secondo ha lume 62,5 µm (o 50 µm, a seconda della scala granulometrica che si intende adottare), trattiene la sabbia e lascia passare il fango. Mentre il materiale ghiaioso e quello sabbioso vengono raccolti (separatamente) in due coppette, il fango viene lasciato sedimentare nella caraffa. La pulitura del campione con molta acqua ci dà la

sicurezza della desalificazione e rimozione dell'eventuale acqua ossigenata in eccesso. Solamente l'ultimo risciacquo va effettuato con acque distillata (o demineralizzata).

A seconda della diversa percentuale delle tre componenti granulometriche (ghiaia-sabbia-fango) si possono scegliere diversi i metodologie analitiche per definire l'esatta distribuzione granulometria di un campione di sedimento. Esistono strumenti che definiscono il rapporto fra le varie frazioni operando sul "totale" del campione da analizzare (granulometro al laser), oppure altri che necessitano di una separazione fra le varie frazioni da analizzare quindi separatamente (pipette, sedigrafo, bilancia di sedimentazione, setacci, calibri.....).

### **ANALISI DELLA GHIAIA MEDIANTE CALIBRI**

Il calibro viene utilizzato per misurare le 3 dimensioni (tre assi ortogonali tra loro) di un ciottolo. In genere viene utilizzato per determinare la dimensione massima dei ciottoli in affioramento o in un alveo fluviale. E' sconsigliato nei casi in cui le dimensioni delle altre componenti granulometriche vengono espresse in peso. In questo ultimo caso si usano crivelli o setacci.

### **ANALISI DELLA GHIAIA E DELLA SABBIA MEDIANTE CRIVELLI E SETACCI**

Crivelli e setacci si utilizzano anche per le analisi dimensionali della sabbia.

La differenza fra setacci e crivelli consiste nel fatto che i primi sono costituiti da una rete e quindi hanno dei fori a luce quadra, mentre i crivelli sono più "precisi" dei setacci nel discriminare ciottoli e/o granuli in base al **diametro intermedio b**.

Per esempio, un ciottolo con sezione b-c di 16.7-9.3 mm si ferma sul crivello con luce di 16 mm, mentre passa oltre il corrispondente setaccio infilandosi attraverso la diagonale della maglia quadrata, di lunghezza 22.6 mm. Quindi, **mentre il crivello separa i granuli solamente in base al diametro intermedio, il setaccio discrimina il ciottolo anche in base al fattore forma: se la sezione b-c è perfettamente sferica non vi è più alcuna differenza.**

In pratica però i setacci sono molto più usati in quanto più facilmente reperibili sul mercato.

Per quanto riguarda l'analisi della sabbia con setacci, la frazione sabbiosa, asciutta, viene pesata e versata nella batteria di setacci. Una batteria di setacci è costituita da setacci ciascuno dei quali ha maglie quadrate di lume diverso. Il n. di setacci e le dimensioni dei lumi variano a seconda della classificazione che viene adottata.

La sabbia viene pesata.

La batteria viene posta su un sistema che agita i setacci per un tempo predeterminato (circa mezz'ora). Alla fine, il sedimento presente in ogni setaccio viene raccolto e pesato in diverse coppette pre-pesate e da qui ricavata la percentuale in peso di ogni classe granulometrica presente.

**Alla fine il materiale raccolto in ogni setaccio viene pesato. Se la densità del sedimento viene considerata costante, il valore ponderale è proporzionale al volume ( massa= V\* densità )**

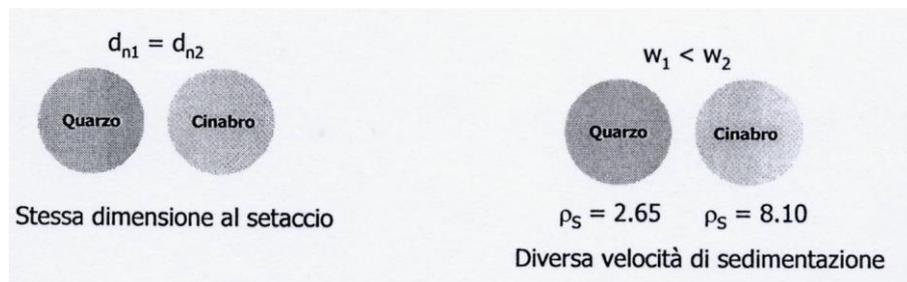
La tecnica di analisi della frazione ghiaiosa tramite setacci è analoga a quella per la frazione sabbiosa.

**Calibri, setacci, crivelli** (e analisi mediante microscopio, che verrà descritta dopo) sono **metodi "diretti"**, cioè danno misure dirette delle dimensioni dei granuli e **conservano il materiale che viene analizzato**. Di seguito sono descritte altre metodiche che si basano sulla misura di determinate caratteristiche dei granuli (velocità di sedimentazione, capacità di assorbibile o diffrangere raggi luminosi, differenza di conducibilità rispetto ad una soluzione elettrolitica) dalle

quali è poi possibile ricavare la distribuzione di frequenza dei granuli o delle particelle (misure indirette).

Prima di descrivere gli strumenti che seguono va introdotto il concetto di velocità di sedimentazione.

La velocità di sedimentazione  $w$  è la velocità terminale di caduta di una particella entro una colonna di acqua ferma. Siccome la gran parte delle particelle viene trasportata e si deposita in ambiente acqueo, le proprietà idrauliche sono più corrette per interpretare i meccanismi deposizionali marini, ovviando così alla limitazione della separazione meccanica attraverso i setacci.



La velocità terminale di caduta delle particelle dipende dalle proprietà del fluido e delle particelle stesse (dimensioni, densità, forma)

La misura delle velocità di sedimentazione annulla tutte le differenze dei granuli in termini di dimensioni, densità e forma, considerando simili le particelle che sedimentano allo stesso tempo. In pratica ogni particella è intesa nella sua caratteristica idraulica, cioè del mezzo entro il quale normalmente decanta.

La misura della velocità di sedimentazione viene effettuata mediante il **tubo di sedimentazione**, un cilindro posto in verticale e di lunghezza sufficiente a minimizzare l'effetto di accelerazione iniziale di caduta.

**w si calcola mediante il rapporto  $L/\Delta t$ , cioè lo spazio percorso (L) nell'intervallo di tempo.**

## ANALISI DELLA SABBIA MEDIANTE BILANCIA DI SEDIMENTAZIONE

La bilancia di sedimentazione viene utilizzata per analizzare la frazione sabbiosa. Questo strumento è un sistema di analisi "idraulico" che si basa sulla legge di caduta dei granuli in acqua (legge di Stokes, vedi sotto). E' composta da un lungo tubo di plexiglass riempito di acqua distillata alla cui estremità inferiore è posto il piatto di una bilancia di precisione che cumula il peso immerso del materiale in funzione del tempo che ogni particella ci mette per arrivare sulla bilancia. La sabbia da analizzare viene immessa nel tubo dall'alto e i granuli cominciano a scendere con una velocità proporzionale alle loro dimensioni, al peso specifico, alla forma oltre che alla viscosità e al peso specifico dell'acqua.

Sul piatto della bilancia cadono prima i granuli più veloci, poi quelli più lenti. Il sistema è collegato ad un computer che registra i tempi di caduta dei granuli e restituisce in grafico e in valori di peso.

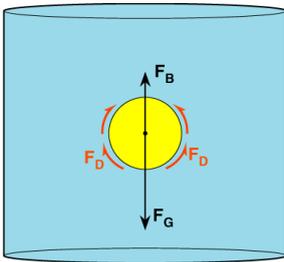
Quando tutto il materiale è sedimentato, la variabile tempo è convertita in velocità considerando lo spazio percorso.

La velocità di sedimentazione viene convertita in dimensione conoscendo le relazioni tra dimensioni, densità, forma e velocità di caduta.

Un'ampia serie di formule che regolano la velocità di sedimentazione di un grave in un mezzo fluido è stata sviluppata sia teoricamente che sperimentalmente, ma la più usata è quella proposta nella legge di Stokes, una relazione semplice che permette di calcolare la velocità di sedimentazione di una sfera di densità nota entro un fluido fermo. Tale relazione si basa su un semplice bilancio di forze che agiscono su una particella quando precipita entro un fluido.

### Legge di Stokes e Legge dell'impatto

Le forze che agiscono su un granulo in acqua sono:



$F_G$ , la forza di gravità che permette alla particella di sedimentare. Dipende dalla massa (volume e densità)

$F_B$ , la forza di galleggiamento, che si oppone a quella di gravità e che agisce verso l'alto (principi di Archimede, volume)

$F_D$ , la forza di trascinamento o "forza viscosa", che rappresenta la resistenza del fluido al passaggio delle particelle entro il fluido stesso; anche questa agisce verso l'alto.

$F_G$  dipende dal volume e dalla densità delle particelle

$F_G$  e  $F_B$  sono comunemente combinate a formare l'espressione del "Peso immerso  $F_G^1$  della particella: forza di gravità – forza di galleggiamento ( $F_G - F_B$ )

$$F_G^1 = F_G - F_B$$

**$F_G^1$  = forza di gravità netta che agisce su una particella che sedimenta in un fluido**

La Legge di Stokes si basa sul bilancio delle forze  $F_D$  e  $F_G^1$

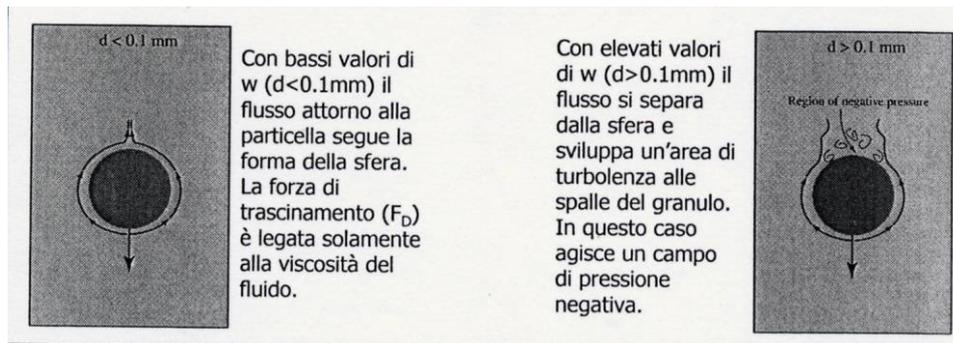
$$F_D = F_G^1$$

Secondo la **legge di Stokes** (1891), una particella sferica di raggio  $r$  e densità  $d$  che cade all'interno di un fluido di densità  $d_1$  e viscosità  $\eta$  ha una velocità di sedimentazione  $V$  data dalla seguente espressione:

$$V = r^2 (d - d_1) g / (9 \eta)$$

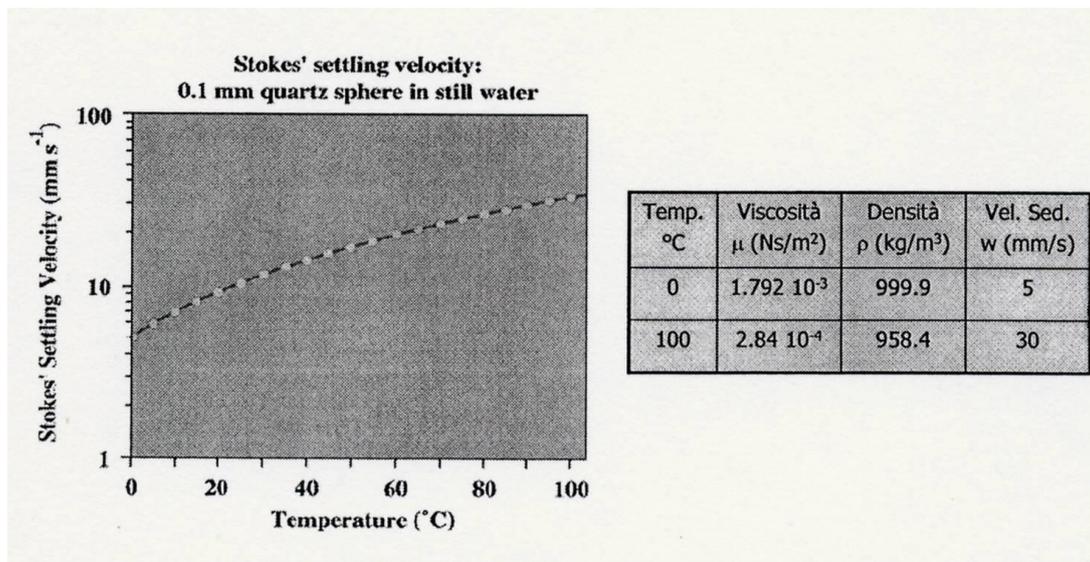
Limiti:

- Si applica bene solo a sfere perfette (la forza di trascinamento è derivata sperimentalmente solo per sfere. Forme diverse mostrano differenti distribuzioni della stessa forza)
- Si applica solamente ad acqua ferma (in acqua turbolenta il tasso di sedimentazione si altera: le turbolenze dirette verso l'alto fanno decrescere  $w$ , mentre quelle rivolte verso il basso lo fanno aumentare)
- Il campo di applicazione è limitato a particelle con diametro inferiore a 0.1 mm (sabbie finissime e silt)



La pressione negativa ritarda il passaggio della particella aggiungendo una nuova forza resistente che però la legge di Stokes trascura, tendendo quindi a sovrastimare la velocità di sedimentazione per i granuli di dimensione  $> 0.1 \text{ mm}$

- La velocità di sedimentazione dipende dalla temperatura poiché densità e viscosità dell'acqua variano in funzione di essa



Per diametri  $>$  a  $0.1 \text{ mm}$  si applicano espressioni di calcolo più complesse finalizzate all'esatta determinazione della forza di trascinamento ed al calcolo delle sottopressioni legate alla prevalenza di forze inerziali..

A partire dalla legge di sedimentazione, qualsiasi sia la formula applicata, è possibile derivare la dimensione dei granuli.

Questa dimensione è ipotetica, cioè equivalente a sfere di densità nota.

### Diametro sferico equivalente

Le leggi comunque sono corrette solo per particelle di forma sferica, ma tali particelle in pratica sono piuttosto rare.

Visto che le forme irregolari non potrebbero in nessun caso essere descritte da un unico diametro, è pratica accettata definire le dimensioni di particelle non sferiche tramite il "diametro sferico

equivalente" o "diametro di Stokes" in pratica il diametro di una particella sferica del medesimo materiale che possiederebbe la stessa velocità di sedimentazione. L'approccio teorico calcola la velocità di singoli granuli.

Tornando alla bilancia di sedimentazione, la **sedimentazione di massa** ha questi problemi:

- La sedimentazione viene ostacolata dal flusso del fluido che 'risale' attorno alla singola particella
- Si possono creare dei moti convettivi, dei vortici per cui il fluido non è più perfettamente in quiete
- Convezione termica se c'è differenza di temperatura tra la parte alta e la parte bassa del tubo di sedimentazione
- Sedimentazione di massa: la particelle più grosse scendono e trascinano giù quelle più piccole
- Inoltre, la particelle possono urtare tra di loro e urtare le pareti (concentrazione e diametro del tubo)

Per evitare questi errori:

- Quantità di campione: scarso per evitare sedimentazione di massa, ma se è troppo scarso può essere non rappresentativo
- Laboratori termostatici
- Per evitare l'effetto parete: tubi larghi

## **ANALISI DELLA FRAZIONE FANGOSA MEDIANTE SEDIGRAFO**

Il campione fangoso separato ad umido dalle frazioni più grossolane (sabbia e ghiaia) viene lasciato decantare e, alla sua completa decantazione (almeno un giorno), si sifona l'acqua in eccesso con la pompa aspirante (a questo punto si può mettere il fango nel cilindro per la pipetta, nel caso si decida di optare per l'analisi alla pipetta) e, se si vuole operare in tempi brevi sul Sedigrafo, si prelevano circa 7.5 - 10g di campione omogeneo umido per l'analisi, ed il resto lo si conserva in un contenitore per poi essere recuperato su filtro assieme al campione analizzato.

Se non si ha intenzione di eseguire l'analisi o meglio, di farla in tempi futuri, si filtra il tutto su Buchner (il filtro deve essere pre-pesato), si asciuga in forno a 50-55°C, si pesa il fango asciutto che poi si conserva in un sacchetto fino al suo utilizzo. Il rapporto tra i pesi asciutti della sabbia, del fango e dell'eventuale ghiaia ci darà la percentuale delle tre frazioni.

Se si ha difficoltà a prelevare il campione umido dalla caraffa per l'analisi al Sedigrafo, perché scarso o poco compatto, si deve passare alla centrifuga. La centrifuga consente di separare una sospensione uniforme: sulla base delle dimensioni delle centrifuga, della velocità di rotazione e del tempo di centrifugazione, il materiale al di sopra di un certo diametro verrà separato dal resto delle sospensione e si andrà ad accumulare sul fondo delle provetta dove verrà recuperato dopo sifonatura.

Per l'analisi granulometrica, a questo punto si disperde il fango omogeneo (peso secco circa 1.2g) in un bicchierino da 50cc con 35-40cc di una soluzione di esametafosfato di sodio 0.5g/l (antiflocculante Calgon) e si cominciano le operazioni per l'analisi al Sedigrafo.

- **MICROMERITICS SediGraph 5000 ET Particle Size Analyzer**

Il Sedigrafo determina la concentrazione delle particelle nella cella in cui è disperso il campione a profondità di sedimentazione via via decrescenti, in funzione del tempo, sulla base della differenza tra l'intensità iniziale (tempo=0) e istantanea (tempo = t) del raggio-X trasmesso.

Il dato rilevato è elaborato dallo strumento in accordo con la legge di Stokes e proposto in forma di curva cumulativa tracciata su un grafico semilogaritmico che riporta in ascissa i diametri sferici equivalenti e in ordinata percentuali cumulative in massa in termini di diametri sferici equivalenti.

Il liquido con il materiale in sospensione è fatto fluire all'interno di una cella di sedimentazione (con dimensioni interne di 34,9 x 12,7 x 5,33 mm) posta tra una sorgente di raggi-X e un rivelatore. Durante l'analisi, la cella (all'interno della quale il materiale è libero di sedimentare) è attraversata da un fascio di raggi-X che avranno un assorbimento minore man mano che il campione sedimenta, e l'output sarà appunto il grafico suddetto.

- **GRANULOMETRO LASER - MASTERSIZER 2000 (Malvern)**

Questo strumento offre una serie di vantaggi quali la possibilità di operare con un unico strumento su di uno spettro granulometrico molto ampio (0,02-2000 $\mu$ ), estrema rapidità di analisi, piccola quantità di campione richiesta (circa 2 ml di campione), ottima ripetibilità di analisi.

Il campione da analizzare viene esposto ad un fascio di luce laser secondo una direzione di incidenza assegnata, che viene diffratta dal campione secondo angoli che dipendono dalla dimensione caratteristica della particelle. Il metodo non misura il diametro idraulico delle particelle, ma unicamente la dimensione "geometrica" dei granuli.

Particelle grandi: piccoli angoli di diffrazione, elevata intensità;

Particelle piccole: elevati angoli di diffrazione, bassa intensità

L'elaborazione delle informazioni generate dallo scattering delle particelle viene elaborato con un pacchetto software.

In pratica, il bicchiere con il campione da analizzare viene messo direttamente su un agitatore magnetico. In questo modo la sabbia ed il fango presenti vengono messi in risospensione in modo da prelevare con una pipettata un'aliquota omogenea (1-3ml circa in base alla concentrazione del campione) da inserire nella vasca di ricircolo del granulometro laser. Raggiunta la concentrazione di oscuramento ottimale nella cella di lettura, si fa partire l'analisi che dura circa 20 secondi. Si può calcolare che tra lavaggio, test e analisi, si spendono più o meno tre minuti a campione.

Problemi:

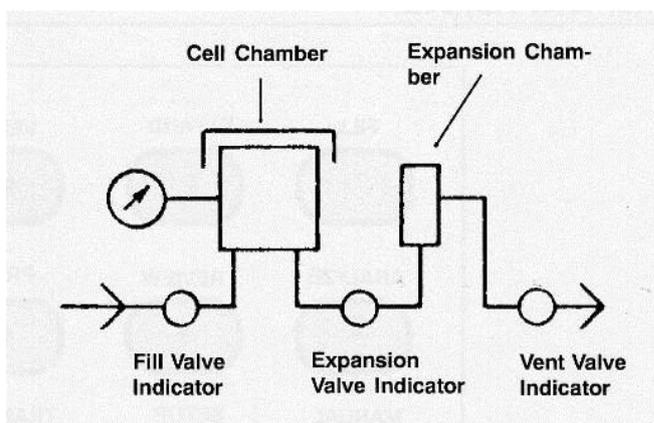
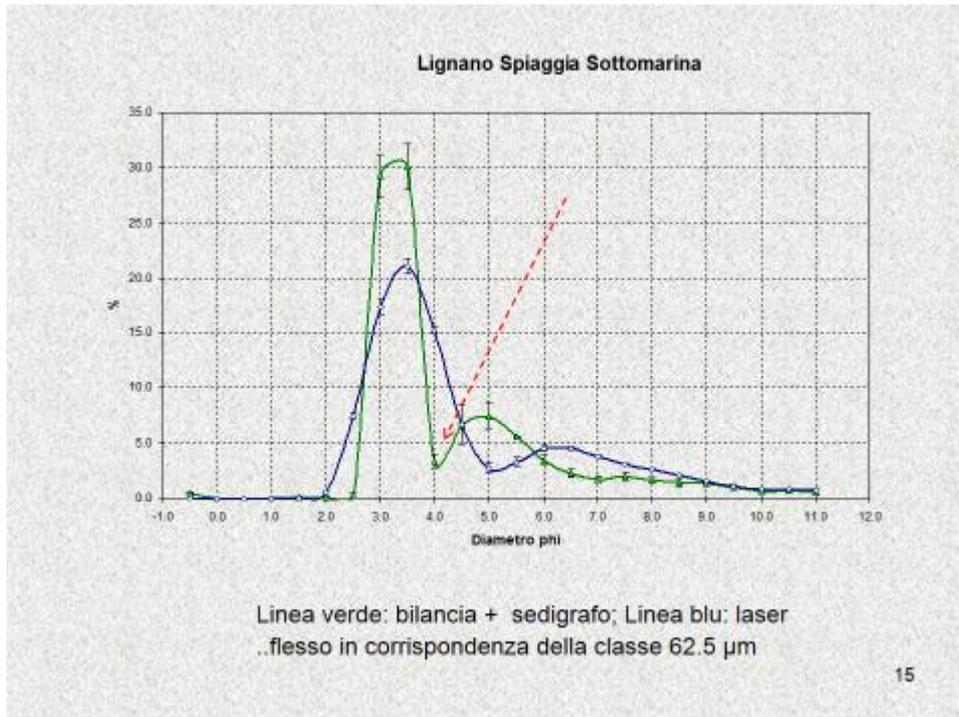
- Livello di background (bianco): non tanto dovuto alle particelle estranee nel liquido, ma soprattutto a bolle d'aria e interferenze elettriche
- Livello di assorbimento (concentrazione): concentrazioni troppo elevate possono provocare errori, interferenze tra le rifrazioni: Valori suggeriti dal 10 al 20%
- Velocità della pompa; una velocità elevata garantisce un campionamento anche di particelle grossolane, ma c'è il rischio di creare bolle.
- Ultrasuoni: aumentano la dispersione, ma possono frantumare i granuli (tempo suggerito: 1 minuto)
- Scelta degli indici di rifrazione: dipendono dalla mineralogia del campione, MA. Qz: 1.54; Feldspati: 1.5-1.6; Calcite: 1.49-1.66; Dolomite: 1.5-1.7; caolinite: 1.55. quindi molto simili

### Vantaggi:

- Veloce, velocissimo, sia nelle analisi sia nella prima elaborazione dei dati
- Non occorre tagliare ai 62.5  $\mu\text{m}$ , vantaggio in termini di tempo, ma anche eliminazione di un errore concettuale. Infatti quasi sempre l'unione di due curve (ad esempio bilancia + sedigrafo) "crea" una classe a bassa frequenza che nel caso di analisi con il laser non c'è

### Svantaggi:

- Sottostima le argille...non riesce a stimare la massa del materiale più fine del suo range di analisi
- Tendenza a sovrastimare le misure. Rende più grossolane le sabbie
- Poca separazione modale. Aumenta la classazione



### DETERMINAZIONE DELLA DENSITÀ CON PICNOMETRO A GAS

Il picnometro a gas è uno strumento che determina la densità a partire da un volume noto

Lo strumento è dotato di due camere a volume noto. Si riempie la prima fino a raggiungere una pressione nota e predefinita. Si fa espandere il gas nella seconda camera. La pressione scende. Se nella prima camera metto del campione la pressione scenderà di meno... Questa differenza di pressione consente di definire il volume del campione

## **ANALISI DIMENSIONALE DI SEDIMENTI COERENTI MICROSCOPIO OTTICO**

L'analisi dimensionale al microscopio è limitata ai sedimenti cementati, in quanto misurare e contare centinaia di granuli al microscopio (nel caso di sedimenti sciolti) sarebbe un lavoro estremamente lungo e noioso, per ottenere poi un risultato (numero di granuli) che, come per il calibro, non si "lega" con gli altri metodi di analisi.

Nel caso però di sedimenti cementati non ci sono alternative e le misure vanno eseguite dopo aver preparato una sezione sottile: i granuli presenti nel campione di roccia vengono tagliati secondo sezioni casuali, solitamente inferiori alla sezione b-c. Per questo motivo in sezione sottile viene misurato, per ogni granulo, il diametro più grande. I risultati ottenuti sono comunque approssimati per difetto, cioè il sedimento appare più fine.