



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



# Metodologie e strumentazioni per l'analisi granulometrica dei sedimenti

Maria Celia Magno,

Luisa Bergamin, Giancarlo Pierfranceschi, Francesco Venti,

Elena Romano



## ***La granulometria***

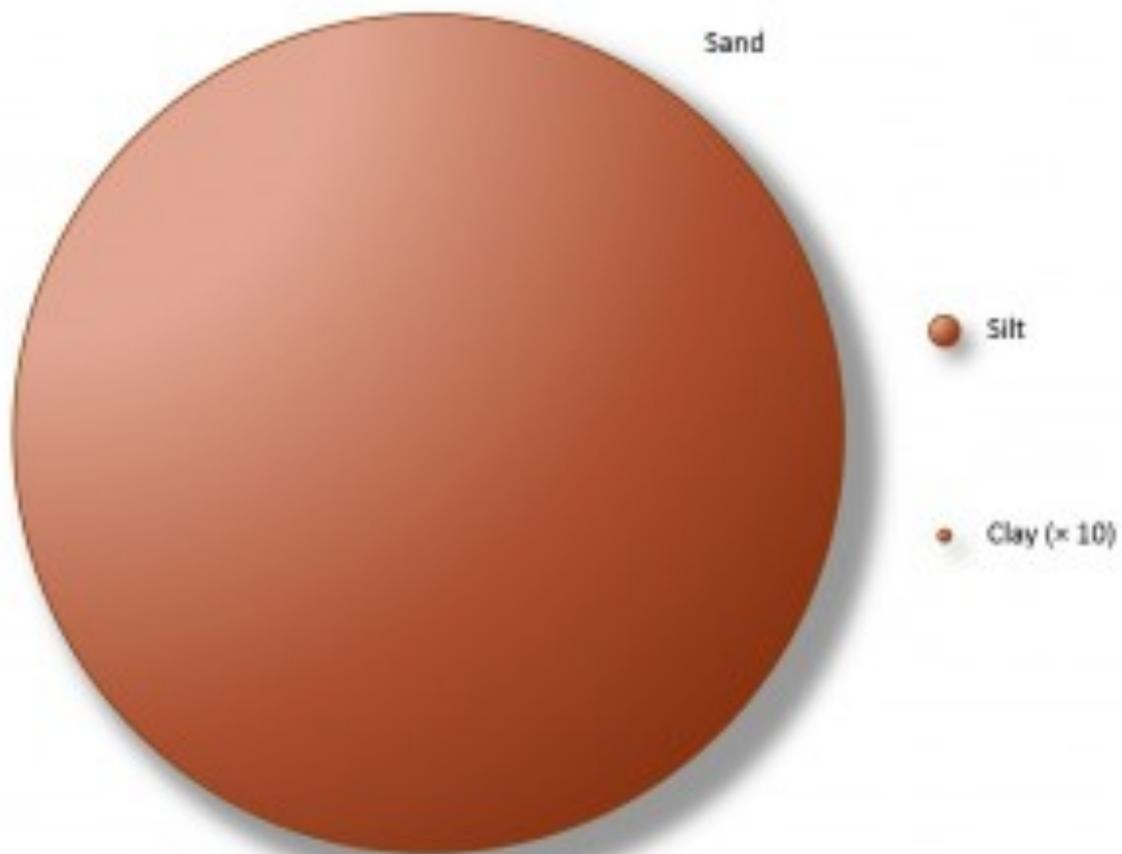
Studiare la granulometria del sedimento significa definire le dimensioni delle particelle che lo compongono e classificarle.

Il sistema di classificazione più usato in sedimentologia è quello proposto da Udden nel 1898 e poi modificato da Wentworth nel 1922.

Nel 1932, Krumbein introdusse, per semplificare ulteriormente la lettura e il trattamento dei diagrammi granulometrici, il parametro  $\phi = -\log_2 d(\text{mm})$

Scala $\phi$	Intervallo dimensionale (metrico)	Classi granulometriche (Wentworth)
< -8	> 256 mm	Blocchi
da -6 a -8	64-256 mm	Ciottoli
da -5 a -6	32-64 mm	Ghiaia molto grossa
da -4 a -5	16-32 mm	Ghiaia grossa
da -3 a -4	8-16 mm	Ghiaia media
da -2 a -3	4-8 mm	Ghiaia fine
da -1 a -2	2-4 mm	Ghiaia molto fine
da 0 a -1	1-2 mm	Sabbia molto grossa
da 1 a 0	0,500-1 mm	Sabbia grossa
da 2 a 1	0,250-0,500 mm	Sabbia media
da 3 a 2	0,125-0,250 mm	Sabbia fine
da 4 a 3	0,063-0,125 mm	Sabbia molto fine
da 8 a 4	0,004-0,063 mm	Limo
> 8	< 0,004 mm	Argilla
>10	< 0,001 mm	Colloide

## *Le dimensioni dei granuli*



Le classi dimensionali principali che costituiscono il sedimento sono:

- *Ghiaia*  $> 2\text{mm}$
- *Sabbia*  $2\text{mm} < x < 63 \mu\text{m}$
- *Limo*  $63 \mu\text{m} < x < 4 \mu\text{m}$
- *Argilla*  $< 4 \mu\text{m}$

# *Approccio metodologico dello studio dei sedimenti*

- ANALISI GRANULOMETRICA →
  - Prettrattamento
  - Separazione a 63  $\mu\text{m}$
  - Analisi frazione grossolana
  - Analisi frazione fine
  - Curva granulometrica
- CLASSIFICAZIONE DEI SEDIMENTI →
  - Shepard (1958)
  - Nota (1954)
- DETERMINAZIONE PARAMETRI STATISTICI →
  - Folk e Ward (1957)
- ANALISI AL MICROSCOPIO FRAZIONE  $>63 \mu\text{m}$  →
  - Minerali principali
  - Bioclasti
  - Granuli antropici

## ***L'analisi granulometrica***

### ***Pretrattamento del campione***

- in soluzione di perossido di idrogeno e acqua per eliminare sali e sostanza organica che aggregano i singoli granuli e falsano la granulometria

### ***Separazione a umido del sedimento***

- separazione tra frazione grossolana e fine mediante setaccio con maglia 63  $\mu\text{m}$

### ***Analisi della frazione grossolana (>63 $\mu\text{m}$ )***

- separazione meccanica mediante setacci o analisi strumentale

### ***Analisi della frazione fine (<63 $\mu\text{m}$ )***

- analisi strumentale dopo quartatura e dispersione in soluzione con esametafosfato di sodio

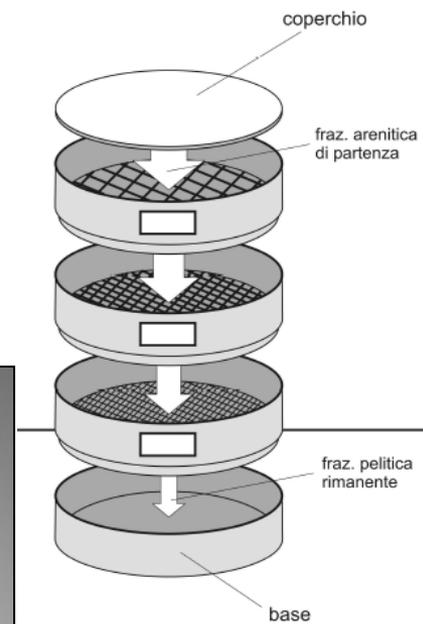
# *L'analisi della frazione grossolana (>63 $\mu\text{m}$ )*

## *Separazione meccanica*

Si utilizza un'apposita batteria di setacci con dimensioni delle maglie che diminuiscono verso il basso (generalmente di  $\frac{1}{2} \phi$ ).

I setacci sono impilati su un setacciatore meccanico che mediante vibrazione e basculamento, favorisce il passaggio dei granuli.

Al termine ciascuna aliquota viene pesata, insieme all'eventuale frazione presente nel contenitore di raccolta.



### Vantaggi

Costo abbastanza contenuto  
(setaccio ~100 €; setacciatore  
~2.000 €)

### Svantaggi

Errore dovuto  
all'operatore

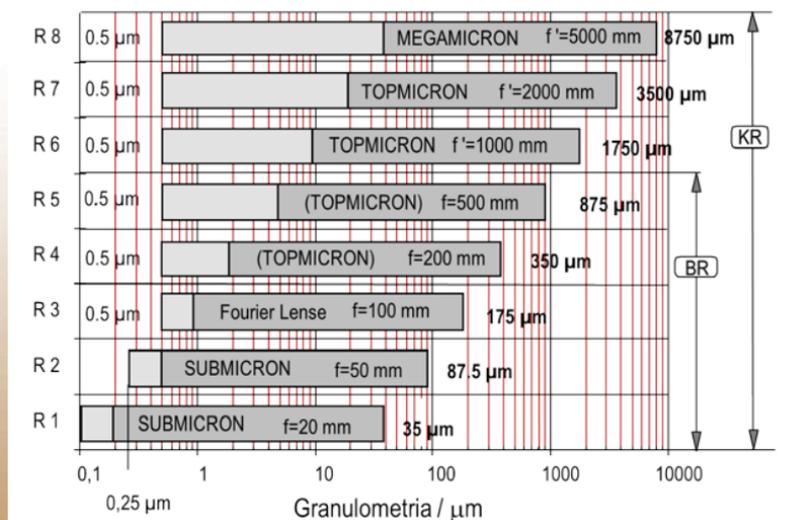
# *L'analisi della frazione grossolana ( $>63 \mu\text{m}$ )*

## *Analisi strumentale*

La frazione  $> 63 \mu\text{m}$  può essere analizzata anche per via strumentale. Gli strumenti sono gli stessi che si utilizzano per l'analisi della sola frazione fine.

Per esempio il granulometro laser ha la possibilità di analizzare un *range* granulometrico molto ampio in funzione delle lenti utilizzate che può analizzare dall'argilla alla ghiaia.

Più ampio sarà il *range* di misura della singola lente, meno accurata l'analisi nelle frazioni più fini.



## ***L'analisi della frazione fine (<63 $\mu\text{m}$ )***

Gli strumenti per la determinazione della frazione fine si classificano in base al principio fisico di funzionamento:

- **SEDIMENTAZIONE:** Cilindro, Densimetro, Sedigrafo a raggi X
- **DIFFRAZIONE LASER:** Granulometro, Mastersizer, Digisizer, Coulter LS
- **TEMPO DI TRANSIZIONE:** Galai
- **ELETTRORESISTENZA:** Coulter Counter
- **ANALISI DI IMMAGINE:** Qicpic

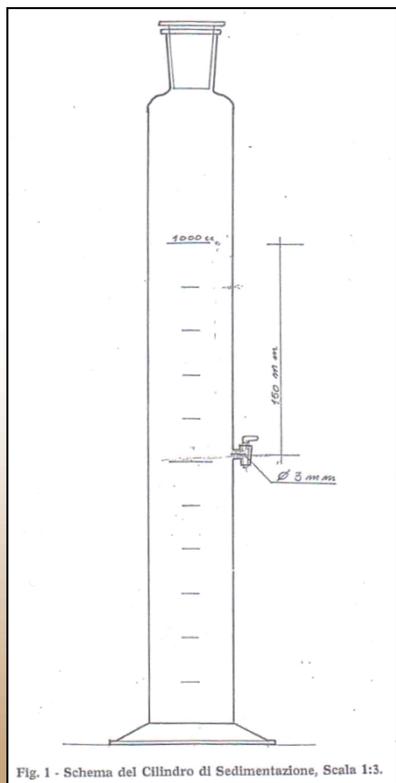
# *Analisi della frazione fine*

## *Sedimentazione – cilindro e densimetro*

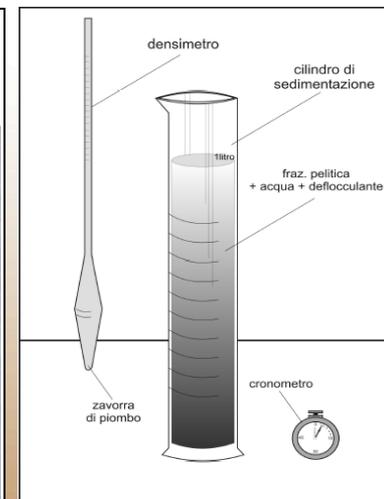
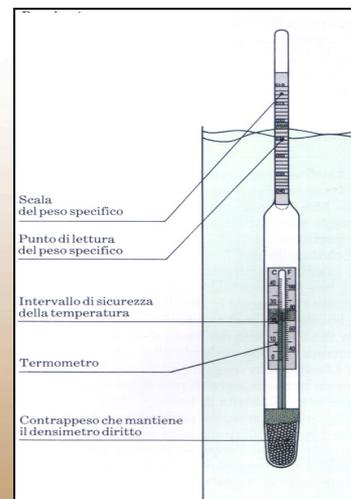
Entrambi si basano sulla Legge di Stokes secondo cui le particelle di uguale dimensione immerse in un liquido, cadono tutte con la stessa velocità che rimane costante nel tempo.

**Cilindro di sedimentazione:** Misurando le diverse densità della sospensione a intervalli di tempo fissi, si ottengono valori da cui si risale alla distribuzione granulometrica del campione.

**Densimetro:** misura delle variazioni di densità di una sospensione.

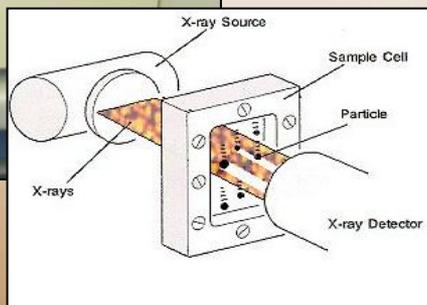


Vantaggi	Svantaggi
Costo contenuto (50-100 €)	Tempi di misura lunghi
	Scarsa precisione
	Scarsa riproducibilità



## ***Analisi della frazione fine***

### ***Sedimentazione – sedigrafo a raggi X***



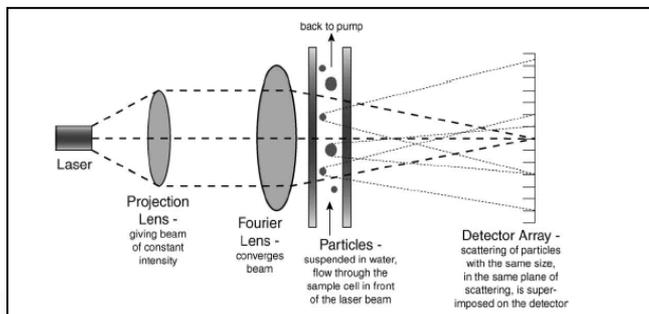
È uno degli strumenti più usati per l'analisi dei sedimenti marini. Si basa anch'esso sulla Legge di Stokes e utilizza un fascio di raggi X, opportunamente collimato in una sottile banda orizzontale, che consente di calcolare la concentrazione delle particelle nel mezzo liquido.

Vantaggi	Svantaggi
<b>Ampio range di misura</b> (0,1 $\mu\text{m}$ - 300 $\mu\text{m}$ )	<b>Tempi di misura lunghi</b>
<b>Buona riproducibilità e affidabilità</b>	<b>Costo moderatamente elevato</b> (~ 60.000 €)
<b>Ottima risoluzione dello spettro di analisi sopra 1 <math>\mu\text{m}</math></b>	

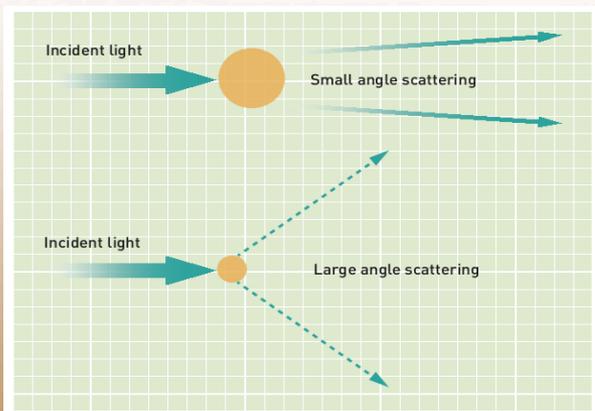
## ***Analisi della frazione fine***

### ***Diffrazione laser - granulometri, Mastersizer, Digisizer, Coulter LS***

Si basano sul principio che particelle di una data grandezza diffrangono la luce con angolo noto che aumenta al diminuire della grandezza delle particelle.

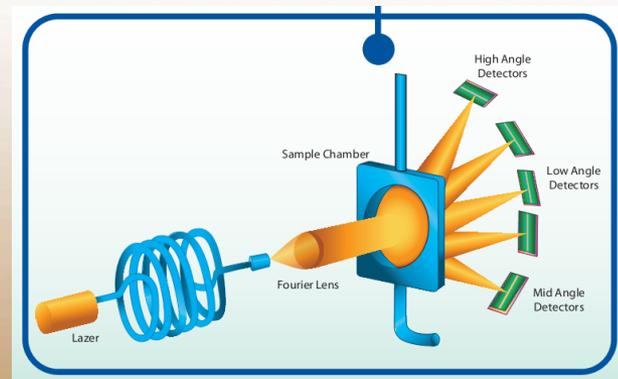


La diffrazione è descritta da due teorie: Fraunhofer e Mie. Per entrambe la grandezza delle particelle è espressa in termini di diametro equivalente, cioè di una particella di forma sferica di uguale volume.



Tutti gli strumenti sono dotati di:

- sorgente laser
- cella di misura
- detector



# ***Analisi della frazione fine***

## ***Diffrazione laser – granulometro laser e Mastersizer***



Vantaggi	Svantaggi
Ampio range di misura (0,1 $\mu\text{m}$ – 8.750 $\mu\text{m}$ )	Necessità di accurata quartatura
Brevi tempi di analisi	Costo molto elevato (fino a ~ 100.000 €)
Buona riproducibilità e affidabilità	Necessità di ottiche diverse per intervalli di misura diversi
Piccole quantità di campione	

Vantaggi	Svantaggi
Ampio range di misura (0,01 $\mu\text{m}$ – 3.500 $\mu\text{m}$ )	Necessità di accurata quartatura
Brevi tempi di analisi	Costo moderatamente elevato (~ 65.000 €)
Buona riproducibilità e affidabilità	
Piccole quantità di campione	
Misura dell'intero range con un'unica ottica	



# ***Analisi della frazione fine***

## ***Diffrazione laser – Digisizer e Coulter LS***



Vantaggi	Svantaggi
Ampio range di misura (0,04 – 2.500 $\mu\text{m}$ )	Necessità di accurata quartatura
Buona riproducibilità e affidabilità	Costo elevato ~ 80.000 €
Piccole quantità di campione	
Brevi tempi di analisi	
Elevato numero di detector	
Accessorio per analisi forma particelle	

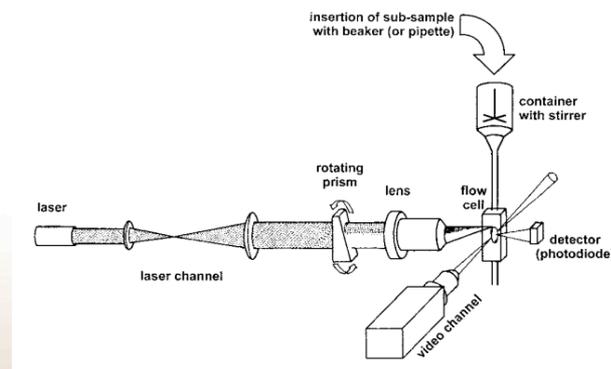
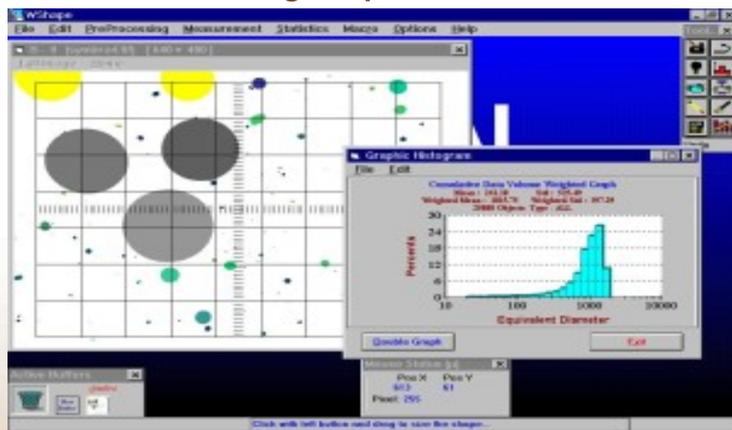
Vantaggi	Svantaggi
Ampio range di misura (0,017 – 2.000 $\mu\text{m}$ )	Necessità di accurata quartatura
Buona riproducibilità e affidabilità	Costo elevato (~ 70.000 €)
Brevi tempi di analisi	
Piccole quantità di campione	
Misura completa con unica ottica	



# ***Analisi della frazione fine***

## ***Tempo di transizione - Galai***

Raggio laser rotante scansiona le particelle in sospensione nella cella di misura e il tempo di oscuramento del raggio laser viene rilevato da un fotodiodo. Dimensione determinata in base alla stima del tempo richiesto per scansionare le singole particelle mediante il fascio laser.



### **Vantaggi**

**Ampio range di misura (1  $\mu\text{m}$  – 5.000  $\mu\text{m}$ )**

**Piccole quantità di campione**

**Canale video per l'analisi della forma delle particelle**

### **Svantaggi**

**Discrepanze nelle misure a causa dei metodi di inserimento**

**Necessità di accurata quartatura**

**Bassa riproducibilità**

## ***Analisi della frazione fine***

### ***Elettroresistenza – Coulter counter***

Si basa sulla variazione di tensione provocata dai granuli, sospesi in un elettrolita, al passaggio attraverso un foro. Il passaggio provoca impulsi di tensione proporzionali ai volumi dei granuli che hanno attraversato il foro; la conta degli impulsi e la misura della loro ampiezza forniscono la granulometria del campione in sospensione.

Vantaggi	Svantaggi
Ampio range di misura (0,4 $\mu\text{m}$ – 500 $\mu\text{m}$ )	Necessità di accurata quartatura
Brevi tempi di analisi	Necessità di cambiare i fori per le misure
Buona riproducibilità e affidabilità	
Piccole quantità di campione	



# *Analisi della frazione fine*

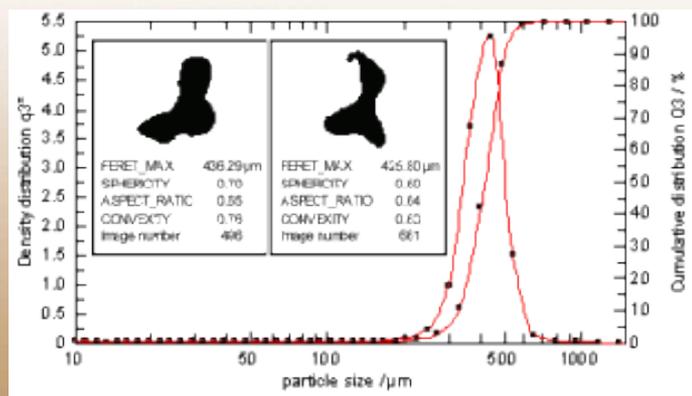
## *Analisi di immagine - QICPIC*

Si basa sul principio dell'analisi d'immagine mediante sorgente di luce pulsata e fornisce, oltre alle dimensioni dei granuli, anche la loro forma.

Sistema modulare costituito da: sorgente monocromatica pulsata; unità di espansione del fascio luminoso; zona di misura; sistema ottico per l'ingrandimento; detector (scansione fotografica fino a 500 frame/sec).



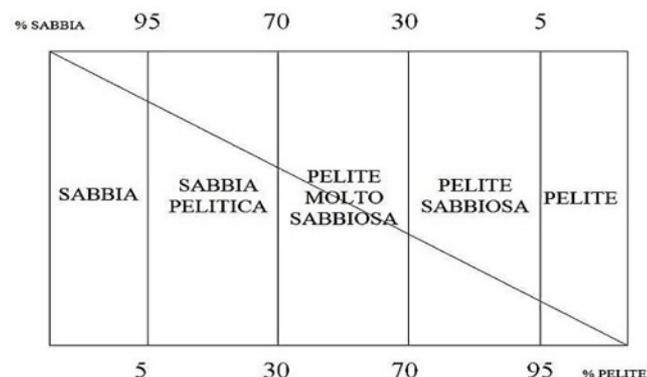
Vantaggi	Svantaggi
Ampio range di misura (1 - 30.000 $\mu\text{m}$ )	Costo molto elevato (~ 110.000 €)
Brevi tempi di analisi	
Buona riproducibilità e affidabilità	



# Classificazione dei sedimenti marini

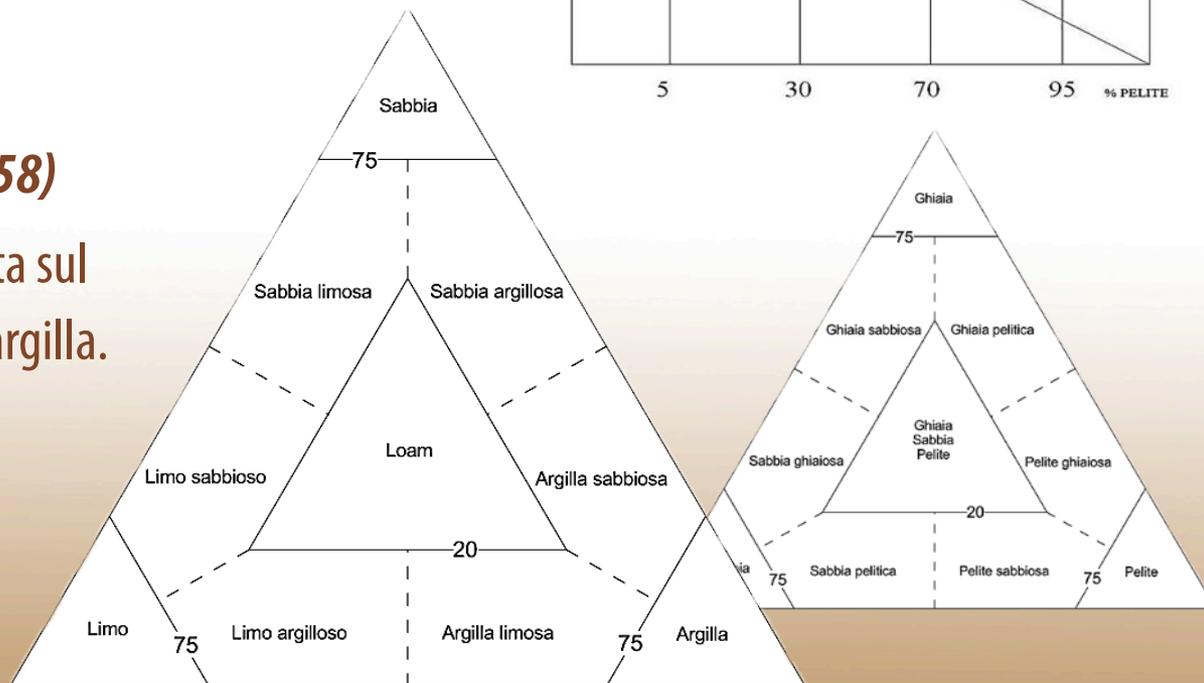
## Classificazione di Nota (1954)

- Classificazione binaria basata sul contenuto di sabbia e pelite



## Classificazione di Shepard (1958)

- Classificazione ternaria basata sul contenuto di sabbia, limo e argilla. Può essere anche modificata nel caso di elevata presenza di ghiaia



# Determinazione parametri statistici

Gli ambienti sedimentari sono caratterizzati da una diversa distribuzione dei parametri statistici

## Moda

La moda è data dalla classe con frequenza relativa maggiore. Rappresenta il picco della distribuzione. Può avere distribuzione unimodale, bimodale o plurimodale.

## Media

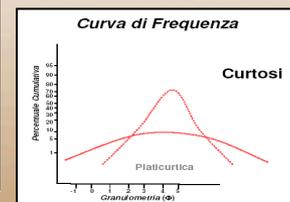
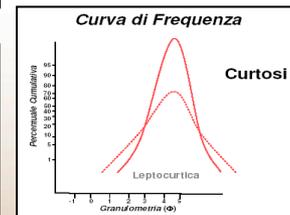
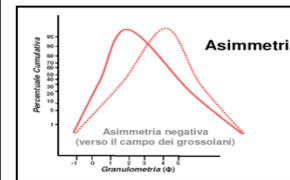
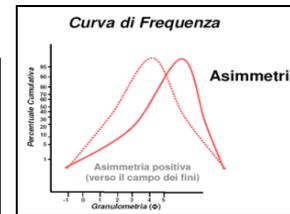
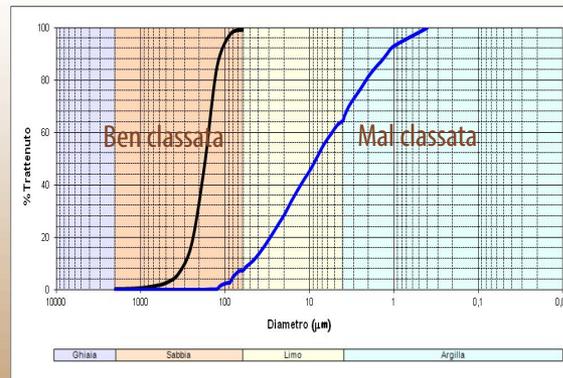
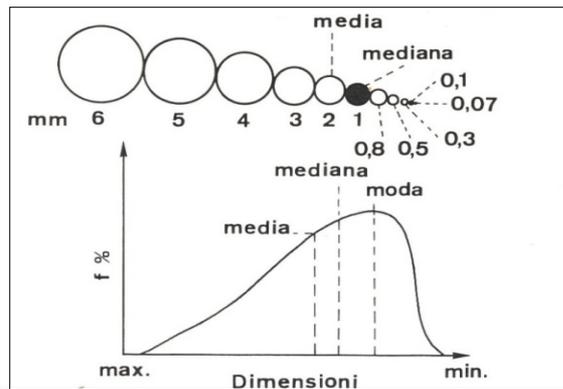
Baricentro della curva di frequenza relativa calcolato come media ponderata.

## Mediana

Centro della distribuzione cumulata, data dal diametro che la divide in due parti arealmente equivalenti, ovvero il diametro percentile relativo al 50%, detto  $D_{50}$ .

## Deviazione standard o *Sorting* o *Classazione*

Misura la cernita (sorting) o l'uniformità nella distribuzione del diametro delle particelle (Classazione).



## Asimmetria o *Skewness*

Misura dell'asimmetria geometrica di una curva granulometrica: ha valore negativo quando la curva è asimmetrica verso il campo delle classi più grossolane; è positiva se è geometricamente spostata verso il campo delle frazioni più fini.

## Appuntimento o *Kurtosis*

Misura l'appuntimento della curva. Se la porzione centrale è meglio cernita rispetto alle estremità, la curva di frequenza risulta "ristretta" e viene detta leptocurtica. Al contrario, se le estremità della curva mostrano una migliore cernita del sedimento rispetto alla porzione centrale, il risultato mostra una curva geometricamente più "svasata" che viene detta platycurtica.

## *Osservazioni al microscopio*

L'esame al microscopio della frazione  $>63 \mu\text{m}$  è indispensabile per avere informazioni sulla composizione del sedimento relativamente a componente organica (bioclasti), inorganica (minerali) o antropica.



**Trieste, Ferriera di Servola (carbone)**



**Montalto (sabbia bioclastica)**



**Adriatico (minerali pesanti)**

## Rappresentazione dei dati

### Curva di frequenza relativa (istogrammi)

Esprime la sua percentuale rispetto al totale del campione. Ha un andamento di solito a campana, ma può presentare più picchi, indicativi della presenza di diverse frazioni granulometriche.

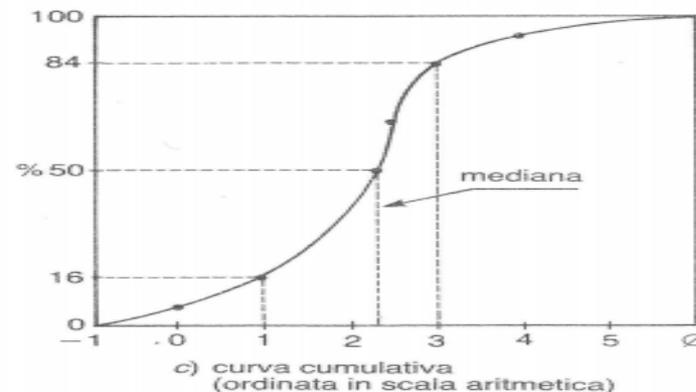
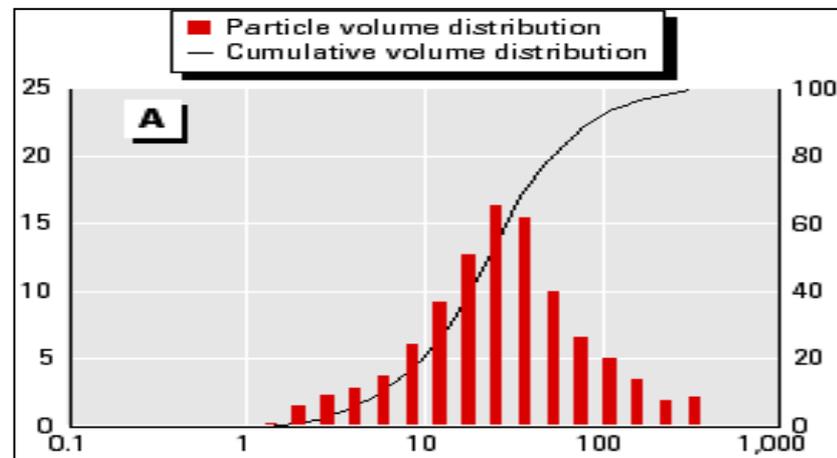
### Curva di frequenza cumulata

Rappresenta la percentuale, riferita al totale del campione, del sedimento più fine relativamente ad ogni classe diametrica. È una curva crescente fino a 100.

### Percentili

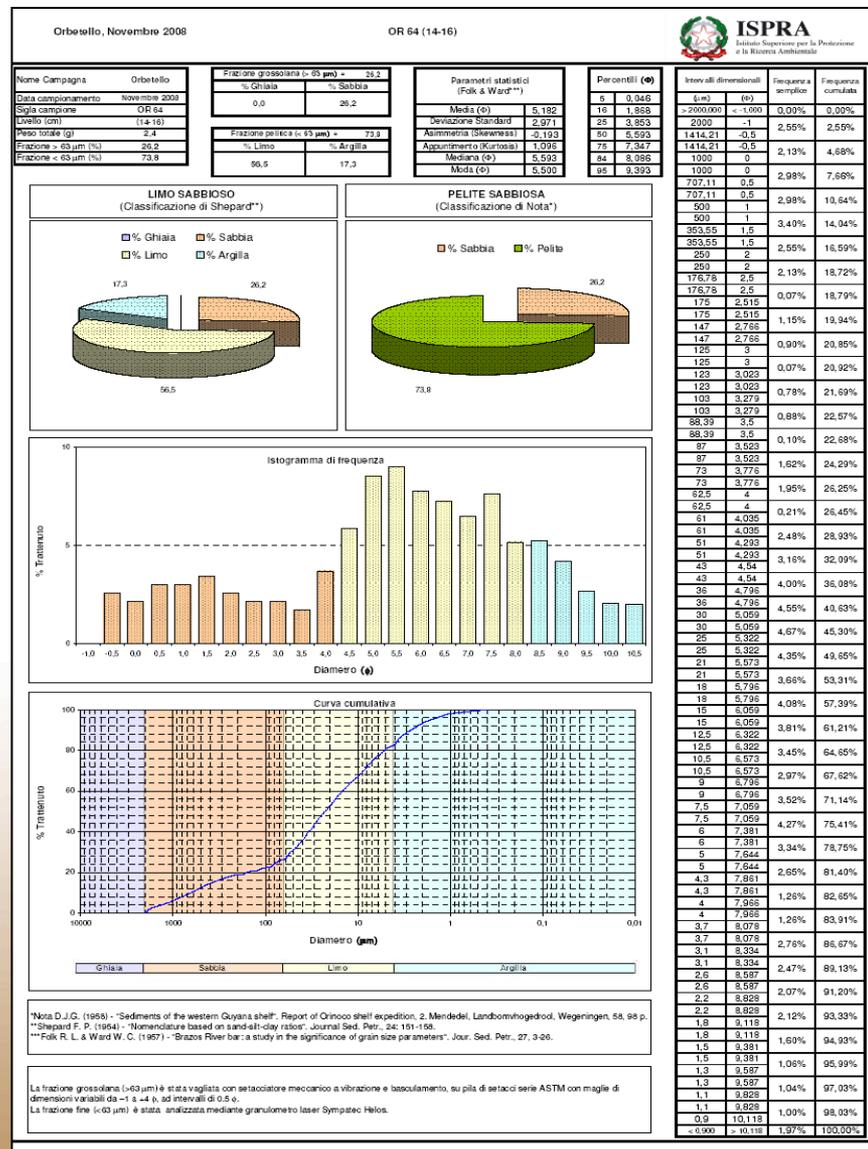
Sulla curva di frequenza cumulata, i diametri associati ad una certa percentuale di passante vengono definiti diametri percentili e si indicano come  $D_{50}$  dove il numero indica la percentuale considerata.

(Es:  $D_{50}$  è il diametro del granulo del quale il 50% è superiore)



### Scheda riassuntiva contenente

- Sigla del campione
- Area di prelievo
- Profondità di campionamento
- Livello di campionamento
- Principali classi granulometriche
- Parametri statistici
- Classificazione del sedimento
- Istogramma e/o curva di frequenza semplice
- Curva cumulata
- Risultanze dell'osservazione al microscopio





***Grazie per l'attenzione!***