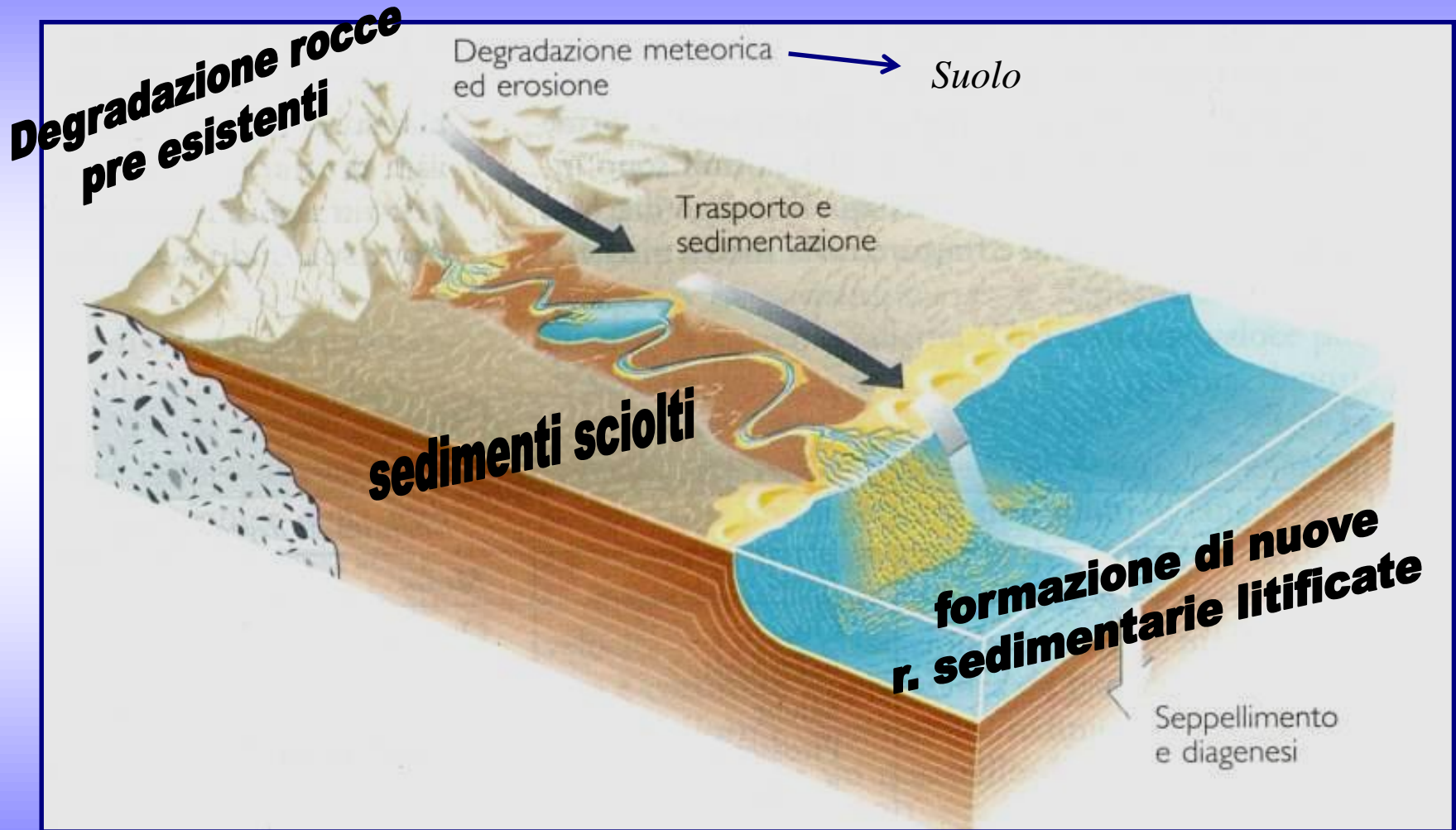


dai prodotti di alterazione alle rocce sedimentarie

Il ciclo delle rocce sedimentarie clastiche

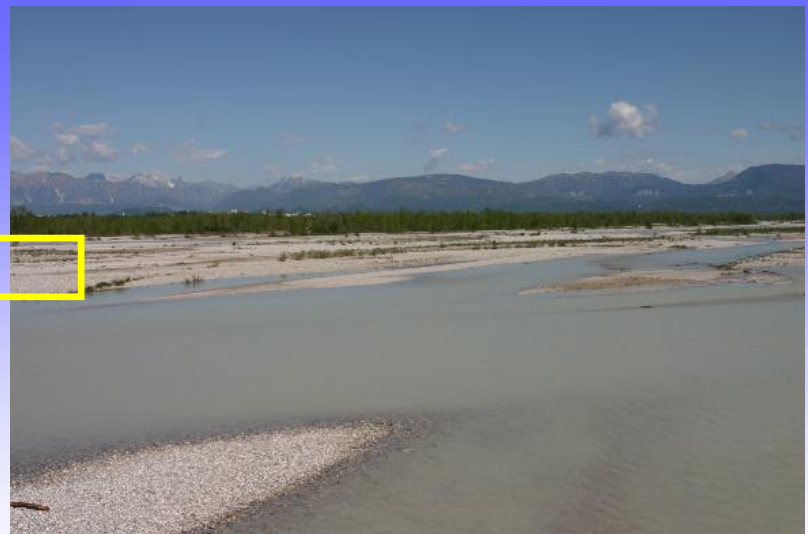
- I prodotti della degradazione meteorica che derivano dai processi di disgregazione fisica / alterazione chimica
- *possono "rimanere sul posto" e trasformarsi in **suoli***
- possono essere trasportati lontano dal sito di formazione mediante processi di **trasporto**, diventare sedimenti (o r. sedimentarie sciolte)
- Successivamente la **sedimentazione** e l'**accumulo** (quasi sempre in ambiente marino) precedono la..
- **diagenesi** ovvero l'insieme di quei processi che trasformano i sedimenti sciolti (NB sono sempre rocce sedimentarie clastiche)....in rocce litificate

Rocce sedimentarie clastiche: Processi sedimentari (..un ciclo dentro il ciclo...)





conglomerato



06 GFGeol trasporto



Arenaria



TRASPORTO

Trasporto di massa

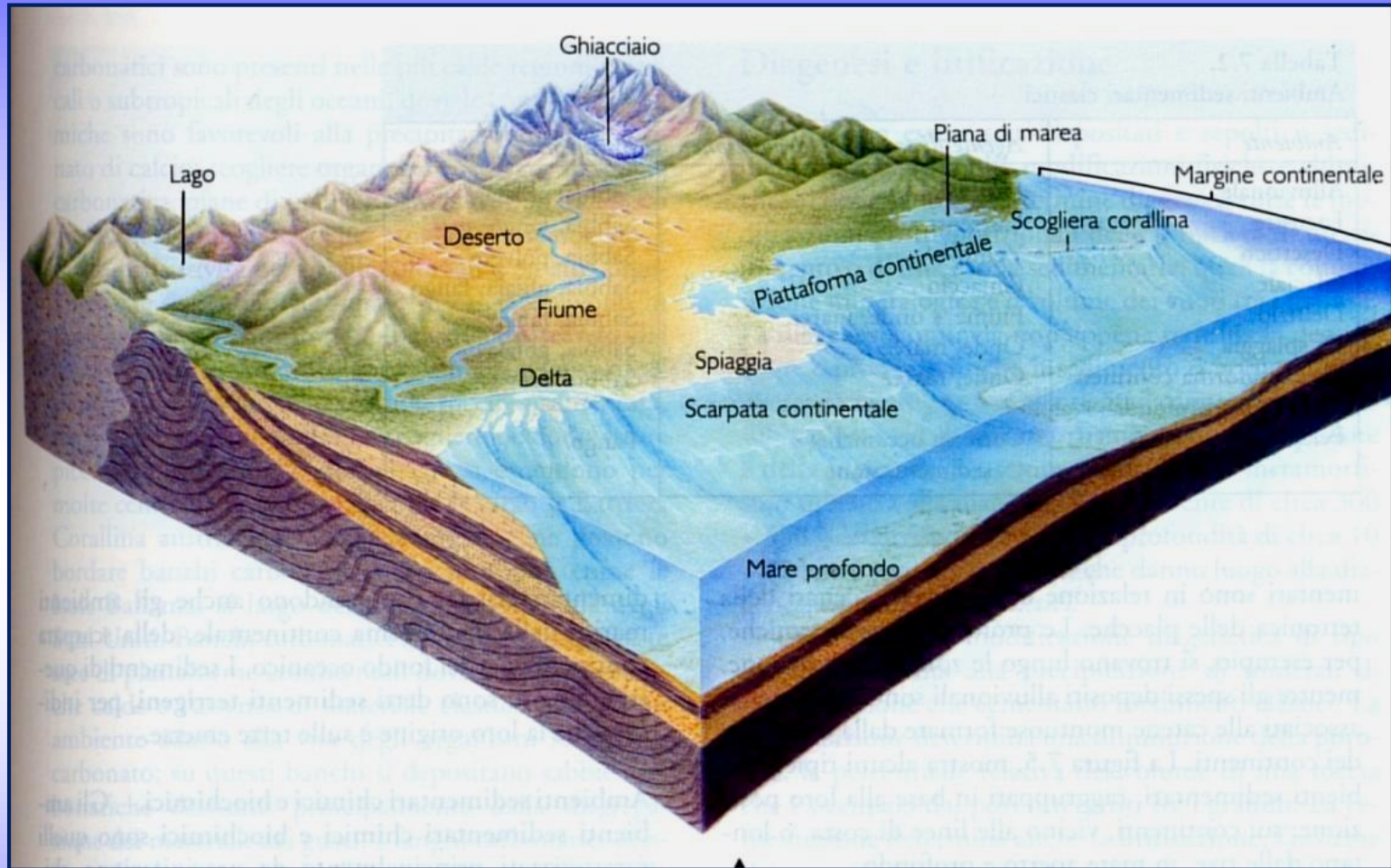
- Trasporto gravitativo (frane, scivolamenti, colate di fango) → *geologia ambientale*

Trasporto di «singoli granuli»

- Trasporto da acque: ruscellamento, torrenti, fiumi
- Trasporto eolico
- Trasporto glaciale

+ FORZA DI GRAVITA'

Ambienti sedimentari



L'acqua è il mezzo di trasporto più importante alle medie latitudini (clima temperati umidi..)



Torrente Mea, alta valle del Torre



Trasporto da fluidi

- più la corrente è veloce e più sono grandi i **granuli** che è in grado di trasportare **COMPETENZA** di una corrente: il diametro più grande che è in grado di trasportare....
- se la corrente ha velocità costante nel tempo trasporta **granuli** delle stesse dimensioni
- se la corrente ha velocità variabile nel tempo, trasporterà **granuli** di dimensioni diverse
- un fluido molto denso e pesante ha forti capacità di trasporto anche a basse velocità (ghiaccio). Un fluido poco denso invece... (vento)..

In SINTESI

Le dimensioni dei granuli sono in relazione all'energia dell'ambiente

*Per misurare le dimensioni dei granuli nei sedimenti sciolti:
analisi granulometriche*

Cosa si intende per energia dell'ambiente ?

Velocità della corrente fluviale

Velocità delle correnti di marea in ambiente lagunare

Velocità delle correnti litoranee

Velocità delle correnti di densità

Altezza medie delle onde su una spiaggia

Altezza massima delle onde di tempesta in zona litorale

Chi fa analisi granulometriche ?

- Geologi (sedimentologia, idrologologia, geologia applicata...)
- Pedologi: capacità dei suoli di trattenere l'umidità
- Ingegneri (geotecnica, strade e trasporti)
- Ambientalisti (inquinamento, polveri sottili)

- Industrie (ceramiche, cementifici, colori e vernici, prodotti farmaceutici, prodotti di bellezza)

NB perché conoscere la dimensione serve anche a:

- Ingegneria: diversa capacità di sopportare carichi
- Ingegneria antisismica: diversa risposta alle scosse tra ghiaie e fanghi
- Idrogeologia: studio delle falde: porosità, capacità dei sedimenti di trattenere acqua e/o capacità di farsi attraversare dall'acqua (permeabilità)
- Studi di inquinamento: i minerali argillosi carichi elettrostaticamente attraggono i cationi dei metalli pesanti (Fe, Cr, V, Zn, Pb). Ma i minerali argillosi sono più frequenti nelle frazioni granulometricamente fini

Classificazione rocce sedimentarie clastiche, basata sulle dimensioni dei granuli

- Se la dimensione/diametro dei clasti > 2 mm: **ghiaie** e **conglomerati** (breccie)
- se 2 mm $>$ diametro $>$ 0.063 mm **sabbia** e **arenarie**
- se diametro $<$ 0.063 mm: **fanghi** e **argilliti**

grana	materiale sciolto	sedimenti litificati		
grossa media fine	GHIAIA SABBIA ARGILLA	CONGLOMERATO ARENARIA ARGILLITE	PSEFITE PSAMMITE PELITE	RUDITE ARENITE LUTITE
		dal greco		dal latino

Frazioni granulometriche

Conglomerati

Brecce (clasti spigolosi)

Puddinghe (clasti arrotondati)



semplificando:

conglomerati: clasti arrotondati; brecce: clasti spigolosi)



Sabbie

- Classificazione sedimentologica Shepard (USA): clasti con diametro compreso tra 2000 μm (2 mm) e 63 μm (0.0625 mm; 1/16 mm)
- Classificazione sedimentologica di Nota (olandese) tra 2000 μm (2 mm) e 50 μm .
- Classificazione suoli: 4000 μm – 75 μm (lo «scheletro» del suolo)

Classificazione delle rocce e dei sedimenti clastici

Dimensioni medie dei granuli in millimetri

	0,004	0,063	2,00	
SEDIMENTO SCIOLTO	Argilla	Silt	Sabbia	Ghiaia Pietrisco
ROCCIA	Argillite	Siltite	Arenaria	Conglomerato Breccia

I fanghi si distinguono in

silt ($62.5 - 4 \mu\text{m}$) e argille ($\text{diam.} < 4 \mu\text{m}$)

NB confusione tra fanghi e peliti (sono lo stesso materiale) e argille come classe di minerali e argilla con termine granulometrico

In altre classificazioni (scuola olandese, USDA) Sabbia fino a $50 \mu\text{m}$,

Pelite: tutto l'inferiore a $50 \mu\text{m}$, argille $< 2 \mu\text{m}$

Geotecnici: sabbie fino a 75 o addirittura $100 \mu\text{m}$

NB: e se le frazioni sono 2 ?

E se nel sedimento ci sono granuli di più frazioni ?

Classificazione binaria olandese o class. di Nota:

se Sabbia > 95 ; pelite < 5 % = **sabbia**;

se 95 % $>$ Sabbia > 70 = **sabbia pelitica**

se $70 >$ Sabbia > 30 : **pelite molto sabbiosa**

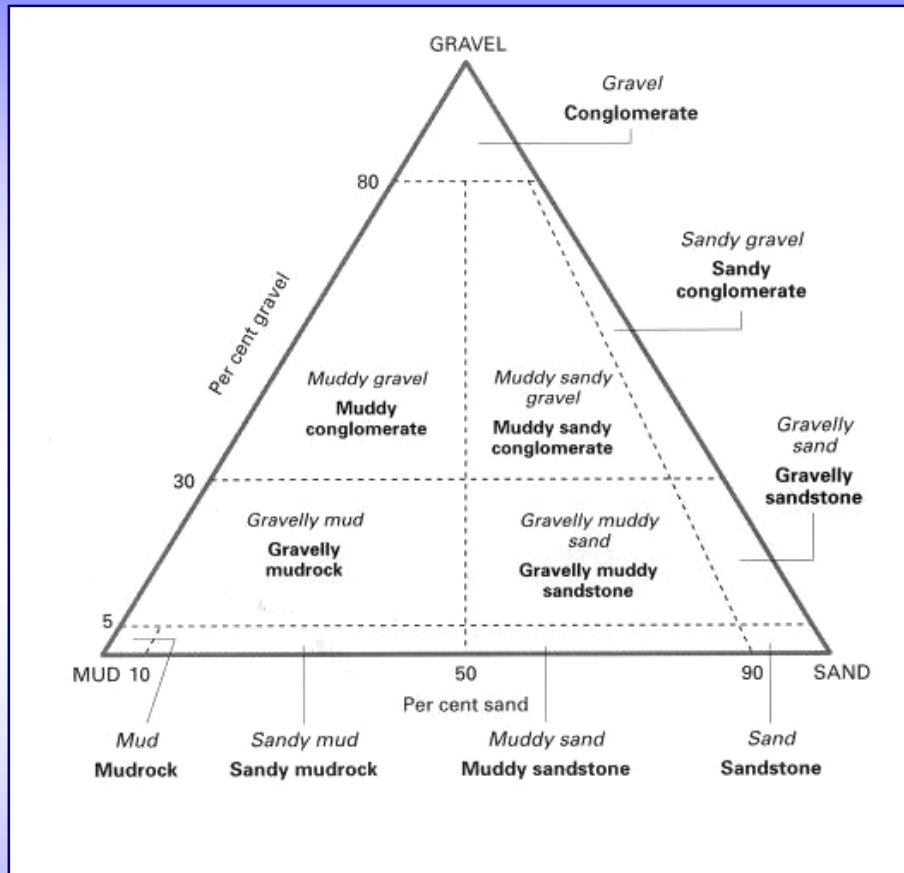
se $30 >$ Sabbia > 5 = **pelite sabbiosa**

se Sabbia < 5 % ; pelite > 95 % = **Pelite**

O più semplicemente: ghiaia sabbiosa, sabbia siltosa, silt argilloso

NB: e se le frazioni sono 3 ?

Diagramma ghiaia-sabbia-fango (Folk, 1954)



Adatto per classificare sedimenti in ambienti

come: pianure alluvionali, ambienti glaciali

2020 2021

06 GFGeol trasporto

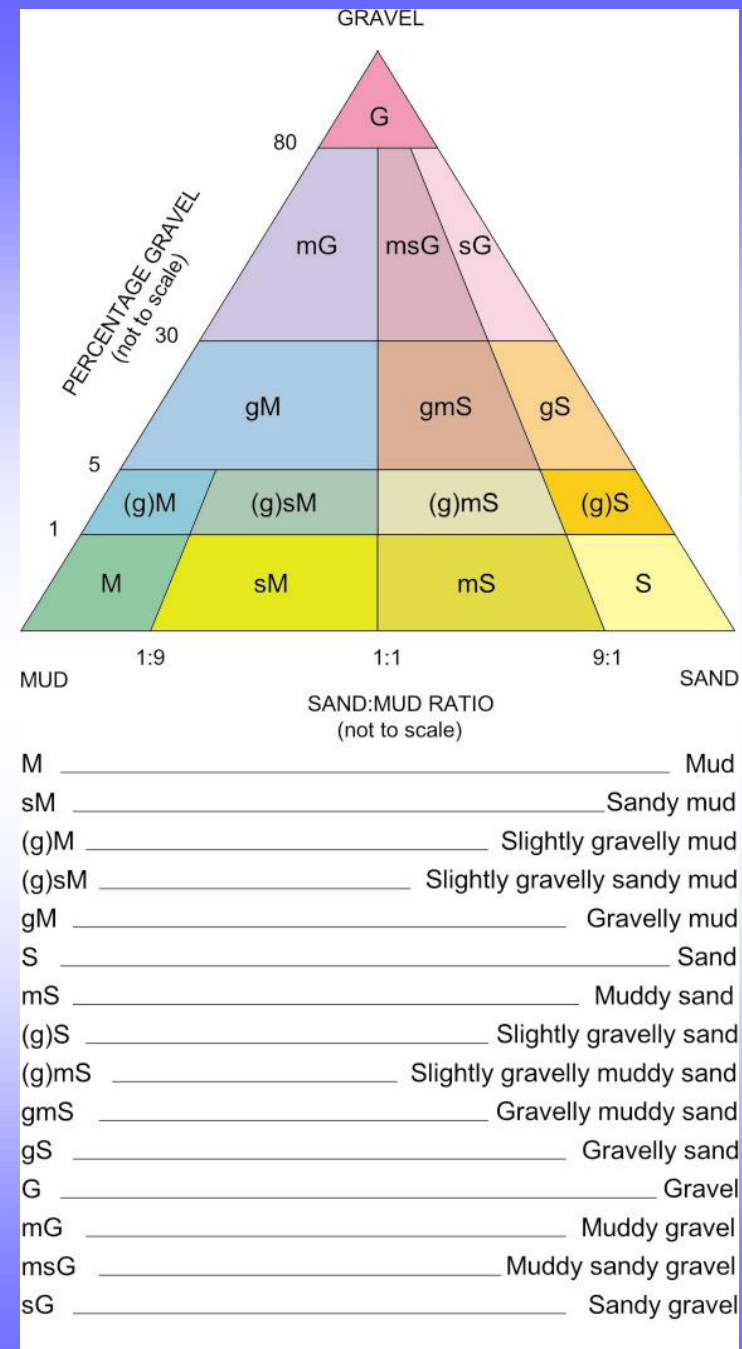
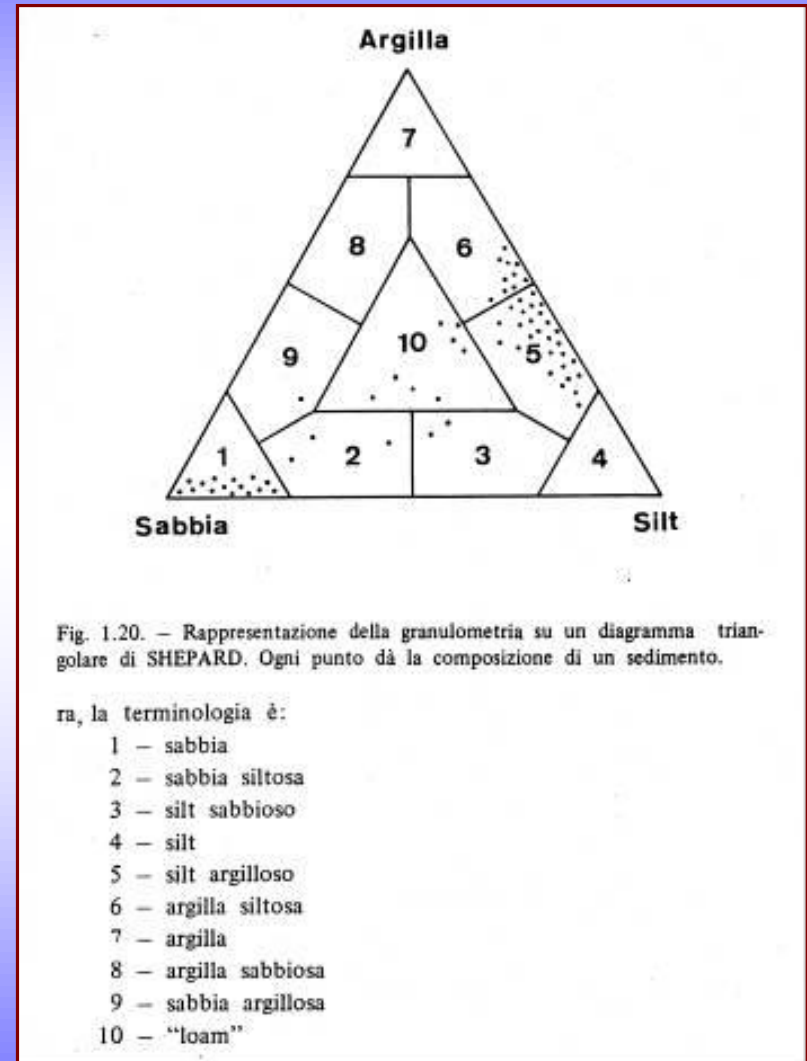


Diagramma triangolare di Shepard sabbia silt fango



Adatto per classificare sedimenti in ambienti a bassa energia come: spiagge, lagune, laghi



Dimensioni: classi granulometriche

mm	phi	Name	
256	-8	Boulders	
128	-7		
64	-6	Cobbles	
32	-5		Gravel Conglomerate
16	-4		
8	-3	Pebbles	
4	-2		
2	-1	Very coarse sand	
1	0	Coarse sand	Sand Sandstone
0.5	1	Medium sand	
0.25	2	Fine sand	
0.125	3	Very fine sand	
0.063	4	Coarse silt	
0.031	5	Medium silt	Mud Mudrock
0.0156	6	Fine silt	
0.0078	7	Very fine silt	
0.0039	8	Clay	

Fig. 2.2 The Udden–Wentworth scale of grain size classification.

Se le frazioni non bastano:
classi granulometriche

La scelta dei limiti di classe:
scala geometrica partendo da
1 mm e moltiplicando per 2,
divido per 2:

..0.250, 0.500, 1, 2, 4, 8..

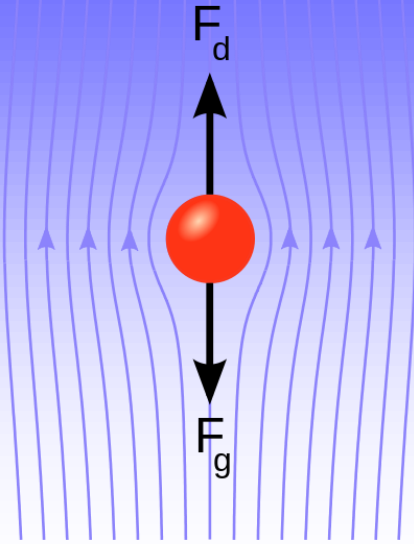
I rapporti tra due numeri
vicini delle serie sono
costanti:

Progressione geometrica

Analisi granulometriche: Setacci



Legge di Stokes e bilancia di sedimentazione



La **velocità** (v) della sfera, una volta raggiunta la condizione di equilibrio, è data dalla seguente formula:

$$v = \frac{2(\rho_s - \rho_f)g r^2}{9\eta}$$

- ρ_s : densità della sfera;
- ρ_f : densità del fluido;
- η : coefficiente di attrito viscoso del fluido;
- g : accelerazione gravitazionale;
- r : raggio della sfera.

Lo strumento registra un segnale elettrico: curva peso – tempo

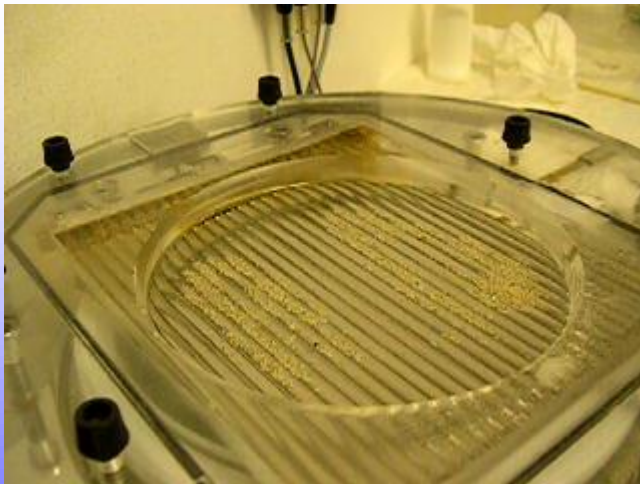
→ applicazione legge di Stokes e/o taratura sperimentale

→ I tempo di arrivo si trasformano in...diametri

2020 2021

06 GFGeol trasporto





Sedigrafo a raggi x: cella di sedimentazione alta 2.5 cm



Modello vecchio
1980 circa



Modello nuovo



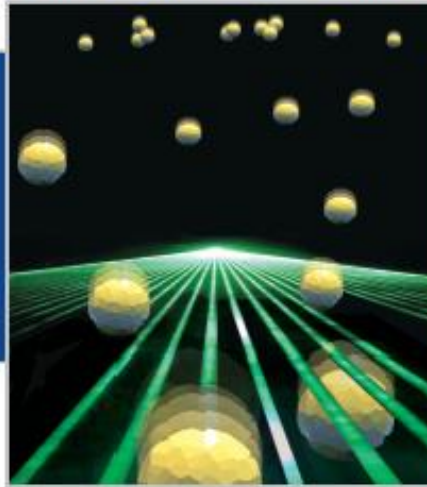
The X-ray Sedimentation technique for determining the relative mass distribution of a sample by particle size is based on two physical principles: sedimentation theory and the absorption of X-radiation. These two theories are embodied in an analytical instrument called the SediGraph.

Sedimentation Theory (Stokes' Law)

A particle settling in a liquid will achieve a terminal velocity when the gravitational force balances the buoyancy and drag forces on the particle and is dependent on the size and the density of the particle, and the density and viscosity of the liquid.

Translation:

If all other variables are held constant, settling velocity is proportional to particle size.



Absorption of X-radiation (Beer-Lambert Law)

A beam of photons (X-rays, in this case) passing through a medium is attenuated in proportion to the path length through the medium, its concentration, and the extinction coefficient of the medium.

Translation:

If all other variables are held constant, X-ray attenuation is proportional to mass concentration.

The elegant simplicity of Stokes and Beer-Lambert laws means that interpretation of raw data is straight-forward; the analyst easily can understand the relationship between the basic measurements and the reported size distribution. All experimental parameters are easily determined and data reduction is uncomplicated and fast.

Figure 1

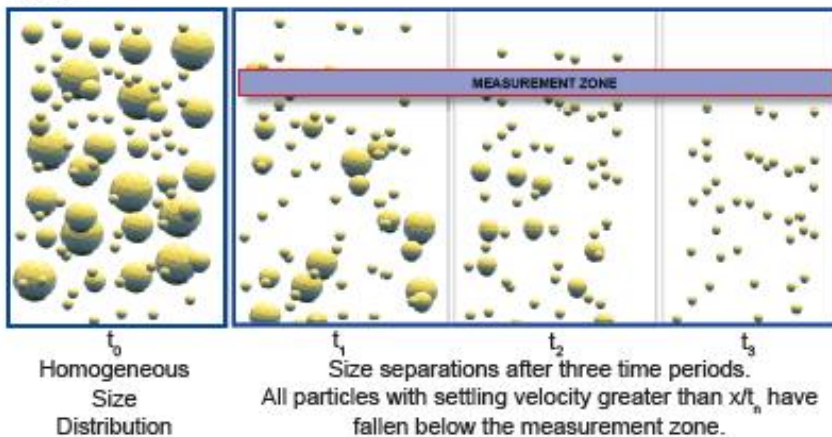
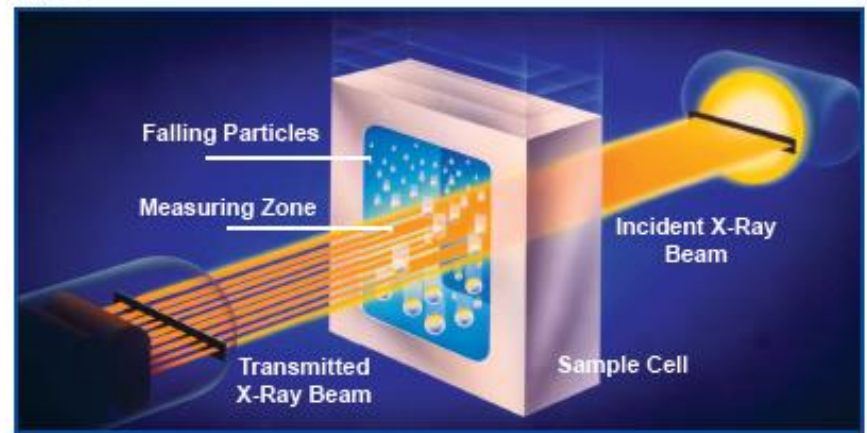
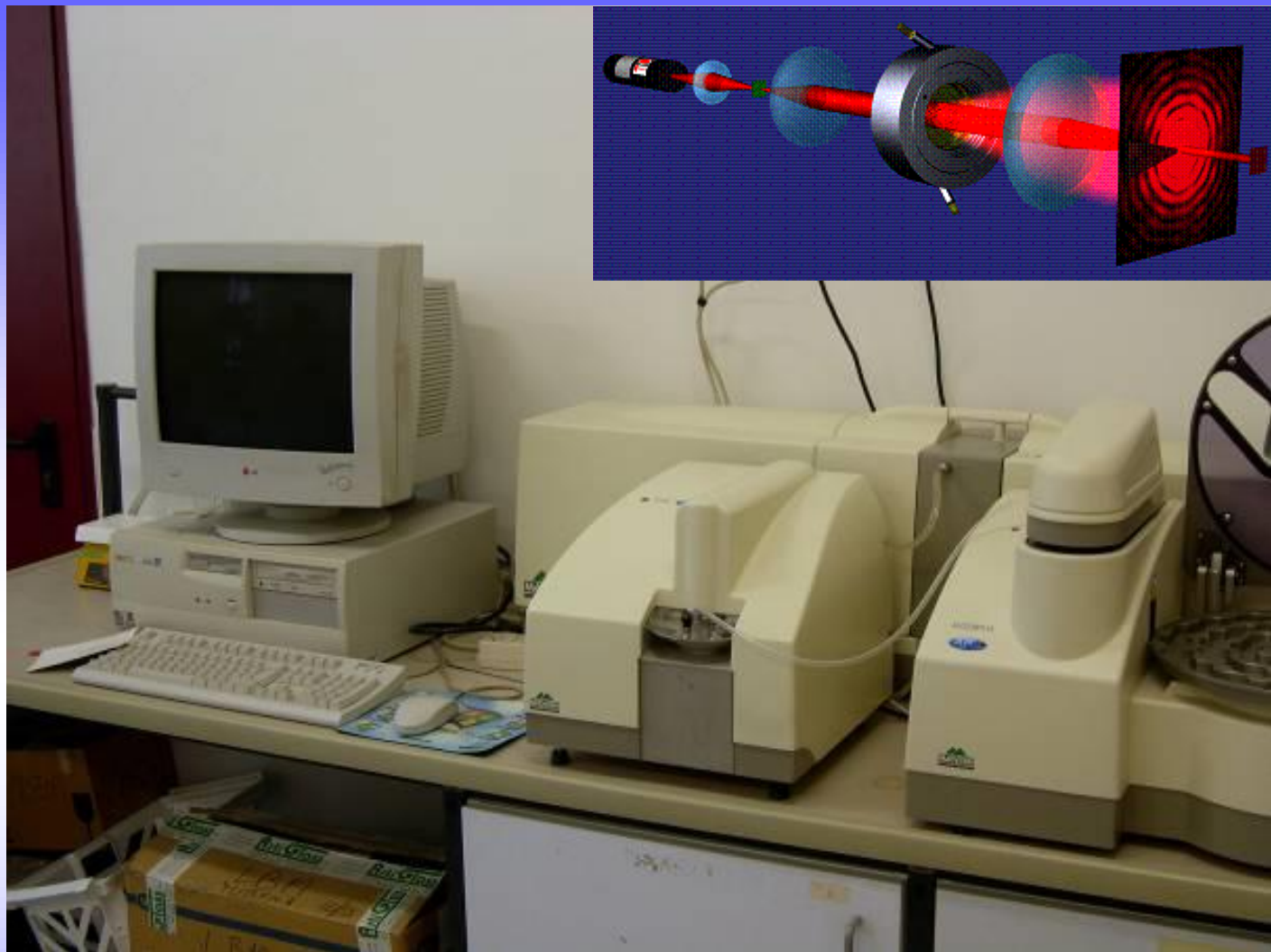


Figure 2

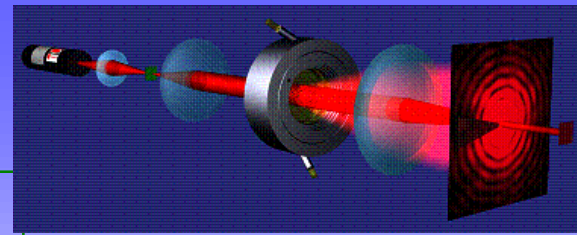


Diffrazione Laser

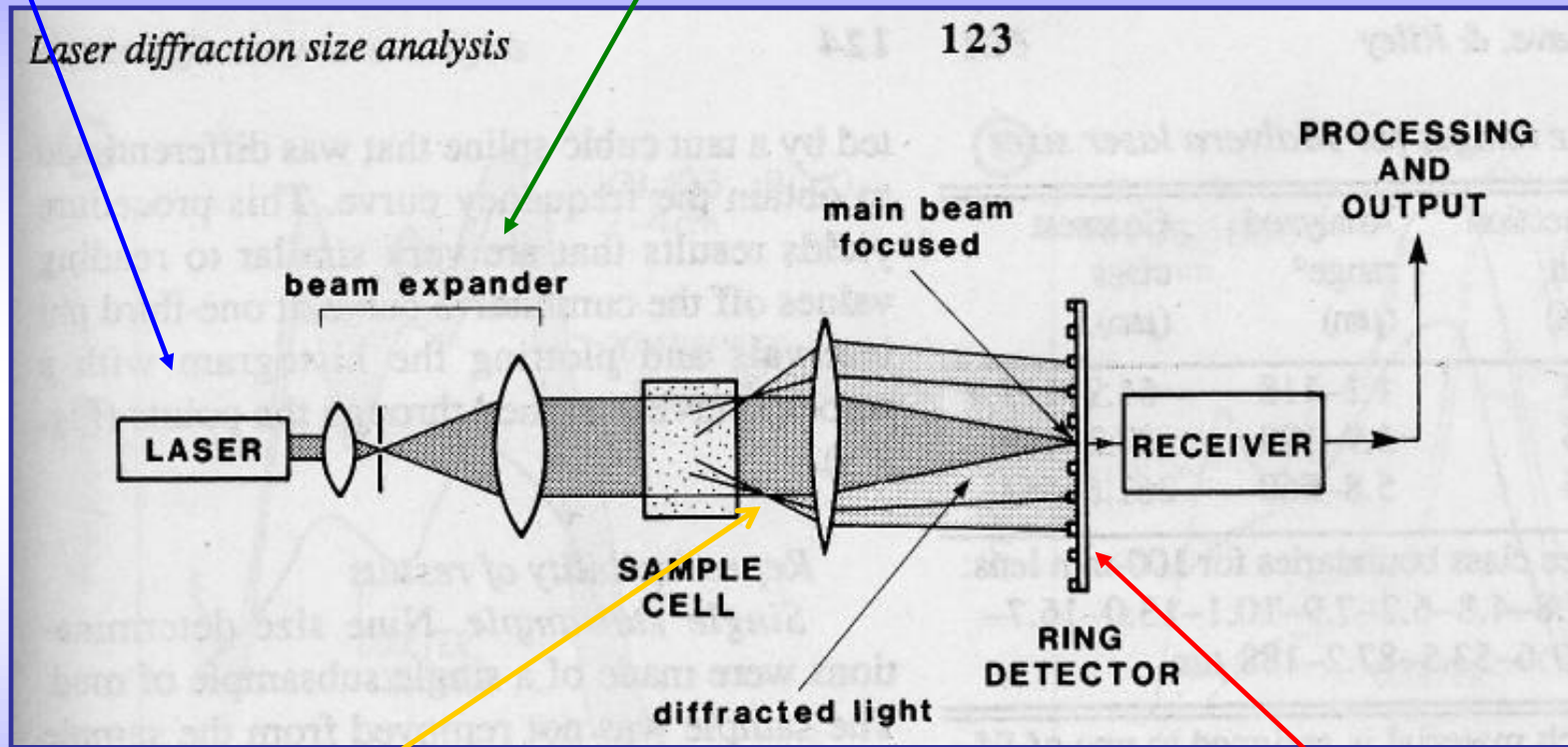


Particelle grandi: piccolo angoli di diffrazione, elevata intensità;
particelle piccole: elevati angoli di diffrazione, bassa intensità

Emettitore Laser
(certi modelli su due frequenze)



Espande i raggi e li rende paralleli



Lente di focalizzazione o anche
più lenti per diversi intervalli granulometrici

Anello con sensori a varie distanze dal
centro, distanze logaritmiche

Analisi granulometriche di sedimenti sciolti

- **Setacci** (ghiaia e sabbia)
 - **metodi basati sulla velocità di sedimentazione.**
- Bilancia di sedimentazione** (sabbie) e **sedigrifi a raggi X** (fanghi). Separazione a umido con setaccio da 62.5 μm

Legge di Stokes: $v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(D_2 - D_1) \cdot g \cdot r^2}{\eta}$ semplificando $v = \text{cost} \cdot (D_2 - D_1) \cdot r^2$ (si applica per sabbie finissime e silt). La velocità di sedimentazione è proporzionale al quadrato del raggio

Legge dell'impatto: $v = \text{cost} \cdot r$ (si applica per sabbie medie e ghiaie)

- **Diffrattometri Laser** (sabbia e fango insieme)

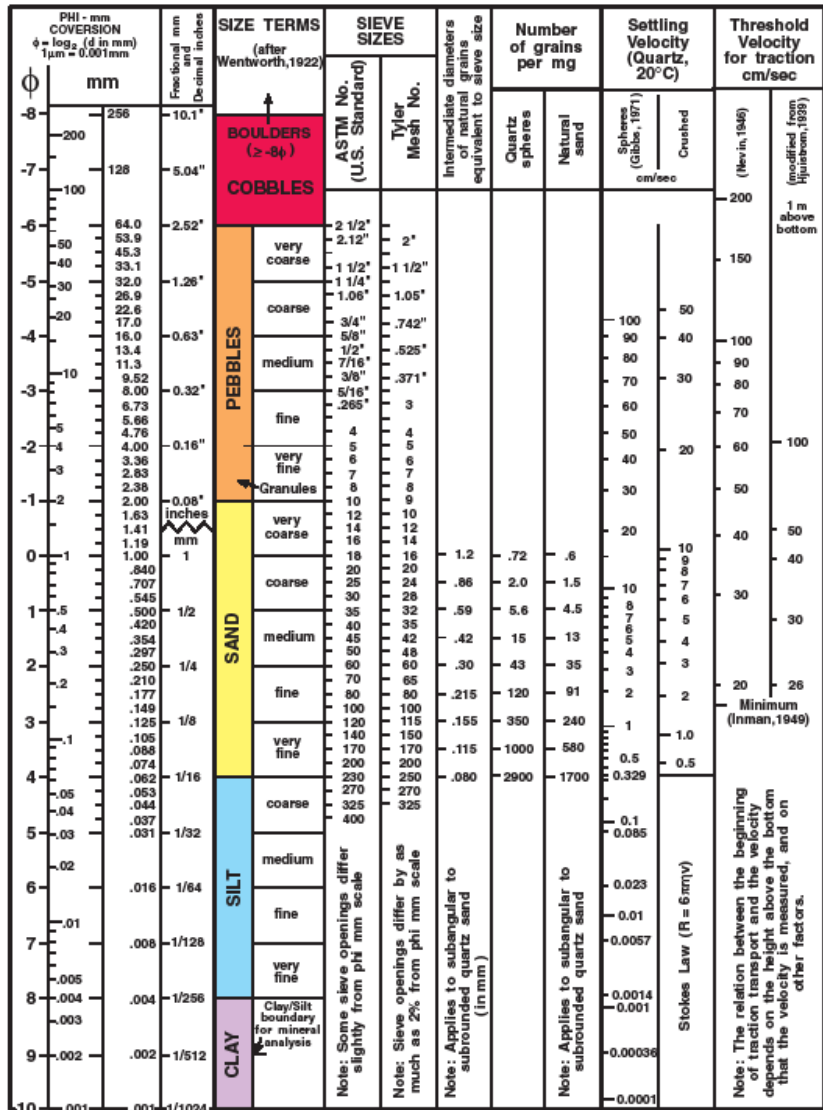
Problemi bilancia

- Sabbie: legge di Stokes o legge dell'Impatto ? Meglio «tarare» la bilancia con sfere di vetro o granuli di dimensione (e p.sp...) noti.
- la legge di Stokes è valida per sfere: granuli di mica (con forma a lamella) avranno velocità minore, appariranno..più piccoli,,,
- possiamo calcolare il peso specifico medio del campione, non dei singoli granuli. I minerali pesanti appariranno più grandi.
- In sintesi: i metodi basati sulla sedimentazione consentono di attribuire ai granuli il diametro di una sfera di quarzo con uguale velocità di sedimentazione

Frazioni e Classi granulometriche

I risultati vengono espressi con una tabella di percentuali in peso riferite ad classi dimensionali, tabella che viene trattata statisticamente

Peso percentuale

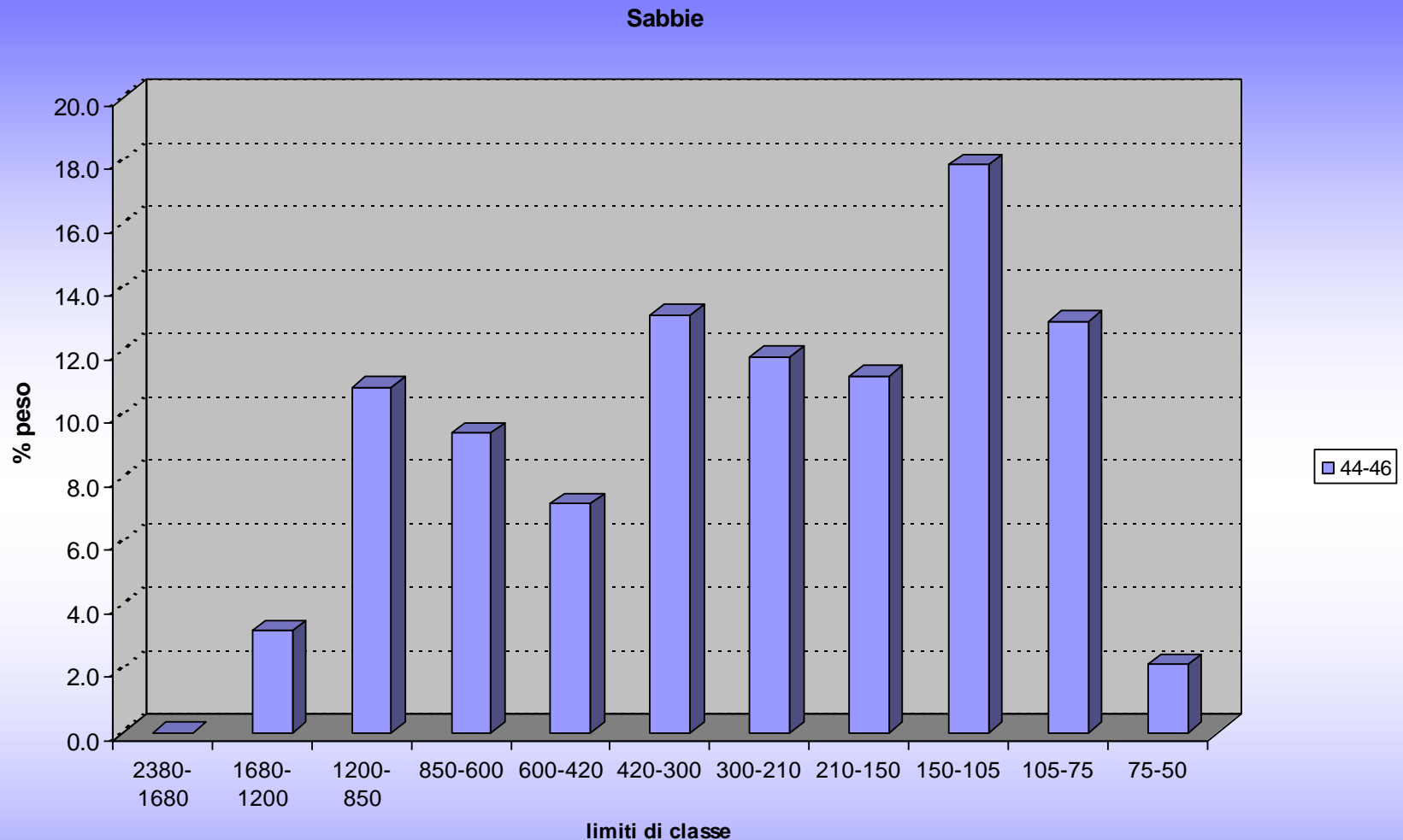


al setaccio	al setaccio	vuota	piena	sedimento	
2380	1680	17.0566	17.0566	0.00	0.00
1680	1200	16.0880	16.4276	0.34	3.20
1200	850	16.2219	17.3737	1.15	10.87
850	600	15.5076	16.5064	1.00	9.42
600	420	14.9150	15.6785	0.76	7.20
420	300	16.6025	17.9965	1.39	13.15
300	210	17.3402	18.5957	1.26	11.84
210	150	16.3117	17.5016	1.19	11.23
150	105	16.4811	18.3773	1.90	17.89
105	75	16.4818	17.8537	1.37	12.94
75	51	16.0590	16.2860	0.23	2.14
	fondo	15.8204	15.8324	0.01	

SIGLA	Curva A				
A	B		D		
Passante al setaccio	Trattenuto al setaccio	Peso	Percentuale	Cumulativa	
	2380			0.0	
2380	1680	0.0	0.0	0.0	
1680	1200	0.3	3.2	3.2	
1200	850	1.2	10.9	14.1 = 3.2+10.9	
850	600	1.0	9.4	23.5	
600	420	0.8	7.2	30.7	
420	300	1.4	13.2	43.9	
300	210	1.3	11.9	55.8	
210	150	1.2	11.2	67.0	
150	105	1.9	17.9	84.9	
105	75	1.4	13.0	97.9	
75	51	0.2	2.1	100.0	

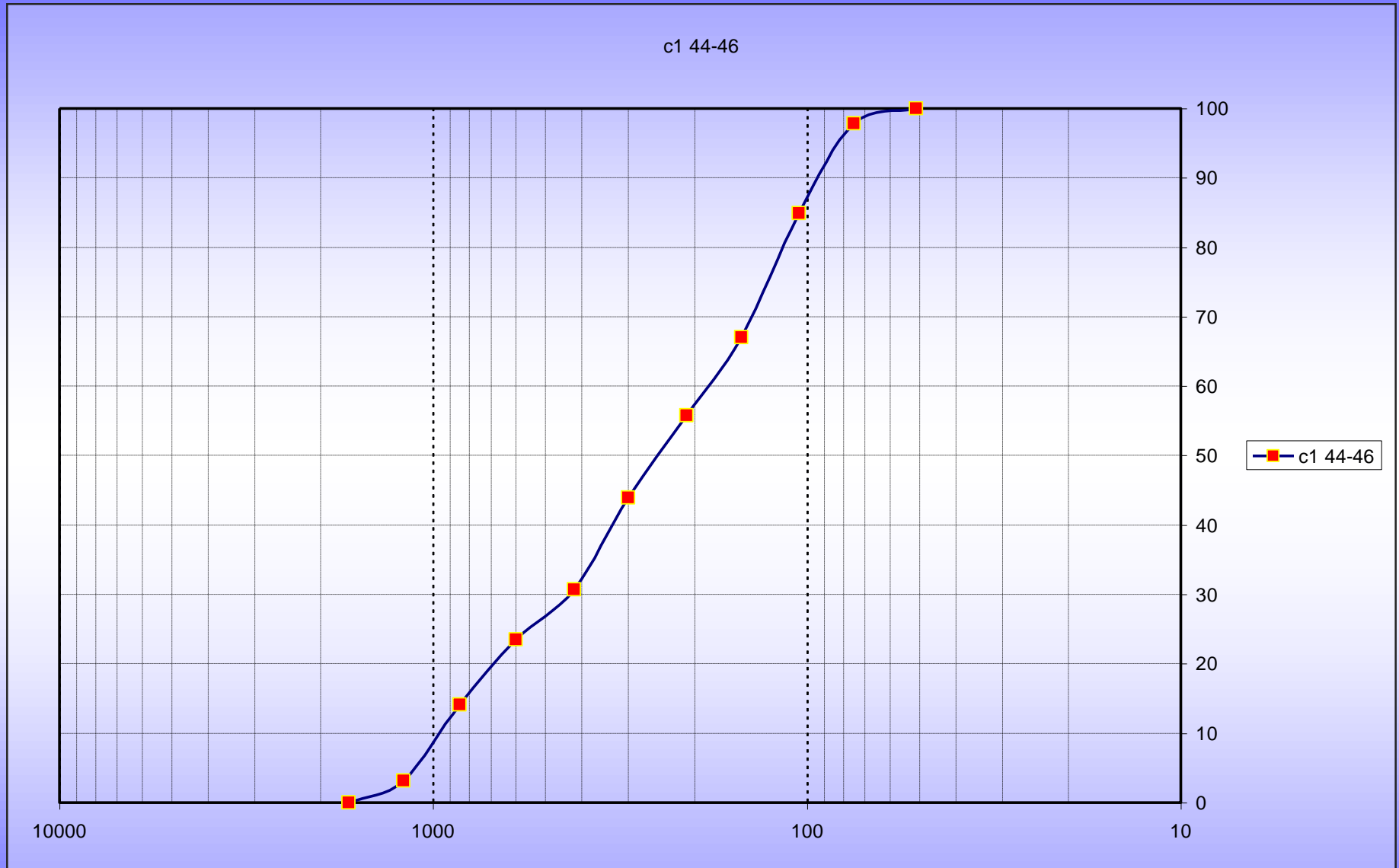
		10.6	100.0		

Modi di esprimere i dati: ISTOGRAMMA



NB tutte le classi devono avere la stessa ampiezza, la classe viene definita dai suoi limiti inferiore e superiore Oppure, convenzionalmente dal limite inferiore;
asse delle ascisse..fittizio, non è necessariamente numerico

Curve di frequenza cumulative.



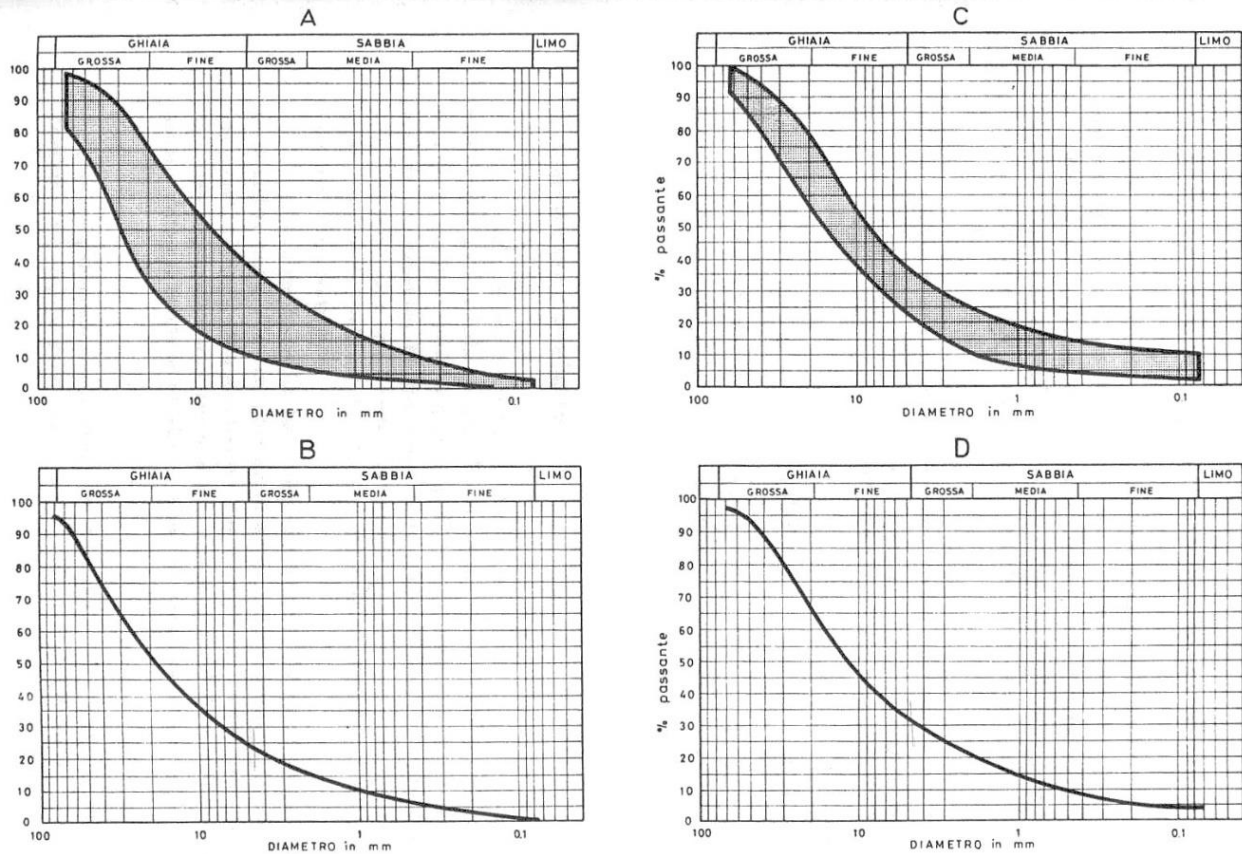


Fig. 4 - Fuso granulometrico e curva cumulativa media dei materiali presenti in alveo (A-B), e di quelli fuori alveo (C-D).

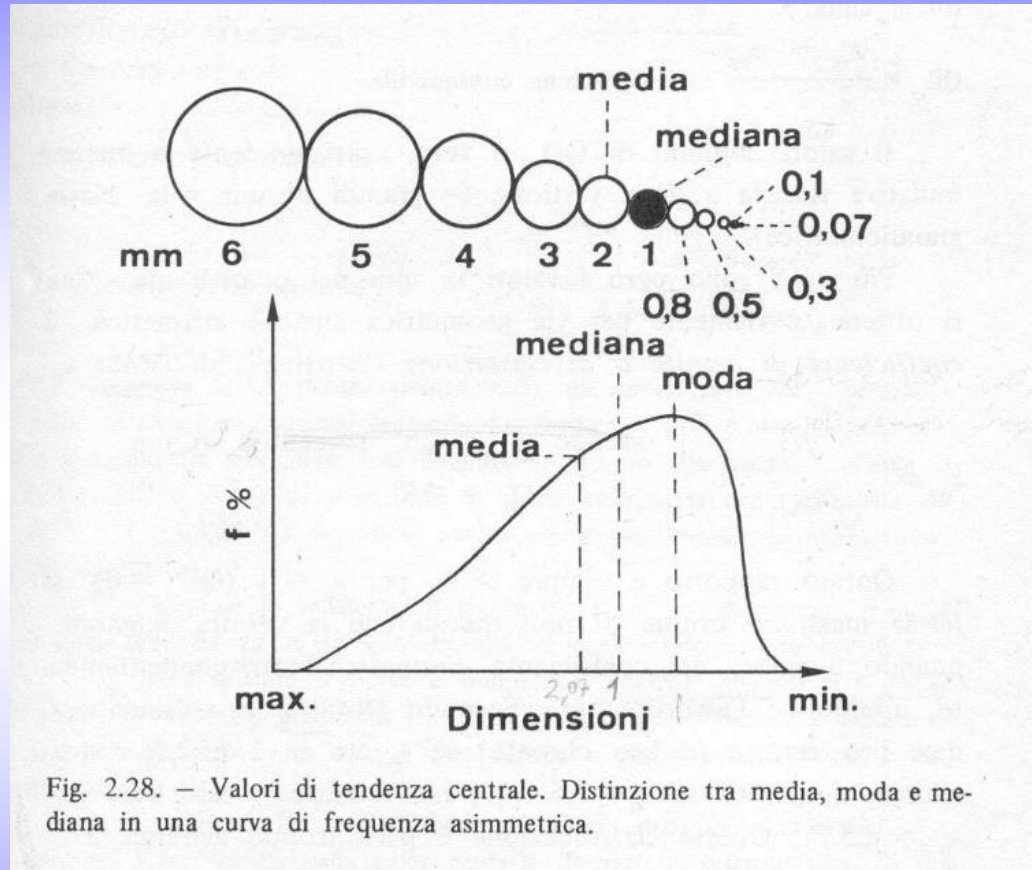
% del passante .. Uso geotecnico e ingegneristico

Rappresentazione grafica: istogrammi, curve di frequenza, curve cumulative

Una distribuzione granulometrica può essere paragonata ad una normale distribuzione di frequenza di dati e studiata con metodi statistici 4 valori che la descrivono..

- Indice di tendenza centrale (media, mediana e moda)
- classazione o sorting (deviazione standard)
- asimmetria
- appuntimento

Indici di tendenza centrale: Media, mediana e moda



In una cumulativa la mediana corrisponde al 50% percentile La media può essere calcolata come $(16\% + 50\% + 84\%)/3$

Classazione: una misura della variabilità dei granuli intorno al valore medio

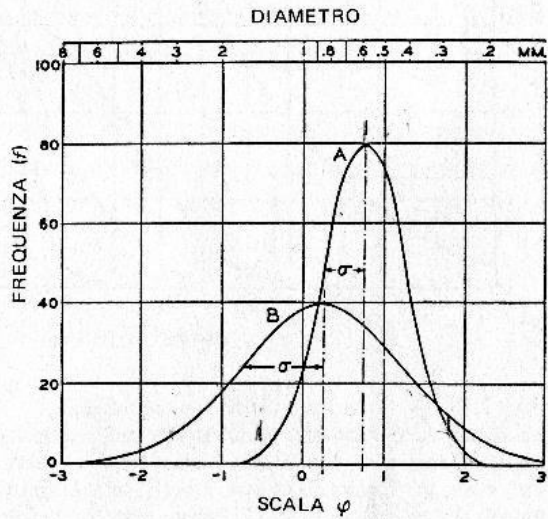


Fig. 2.22. — Due esempi di curve di frequenza granulometriche. Entrambe sono simmetriche, ma A è più appuntita e stretta (σ più piccolo) di B. (da PETTIJOHN, 1957, Fig. 16)

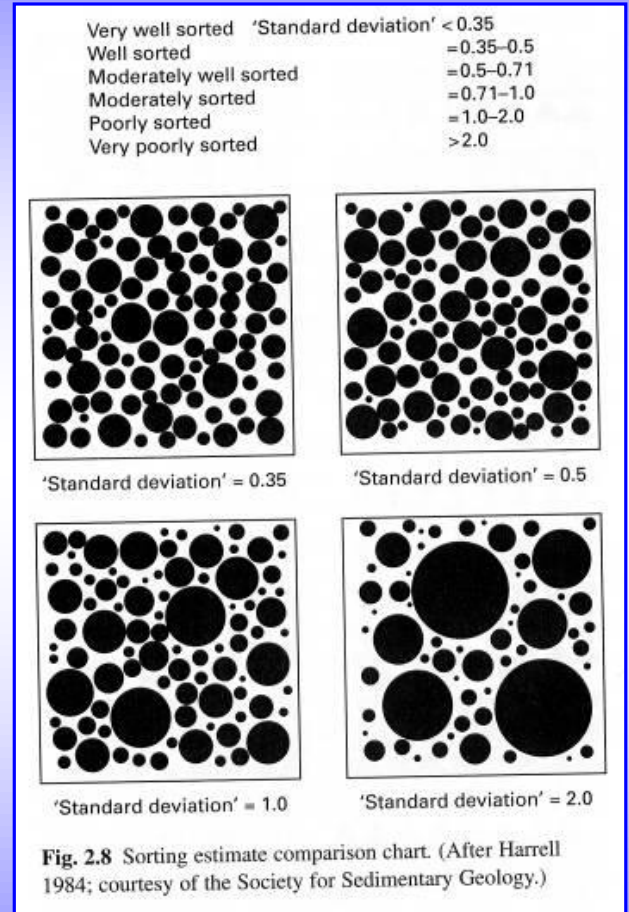
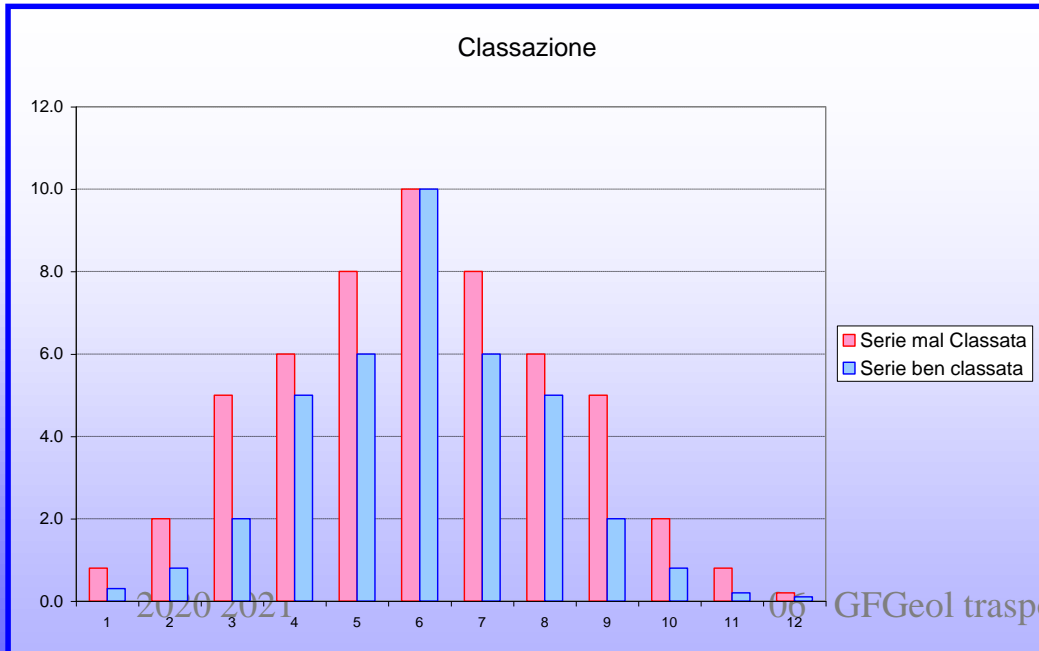
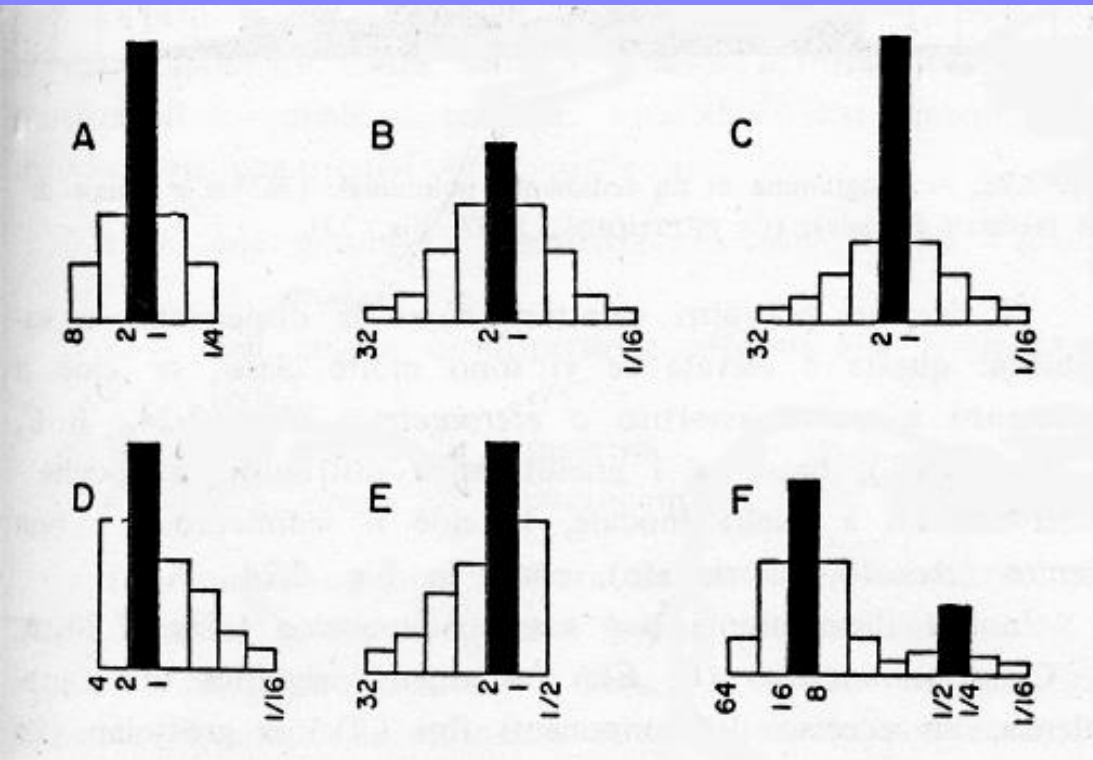


Fig. 2.8 Sorting estimate comparison chart. (After Harrell 1984; courtesy of the Society for Sedimentary Geology.)



Al microscopio ottico o
in sezione sottile:
stime visive

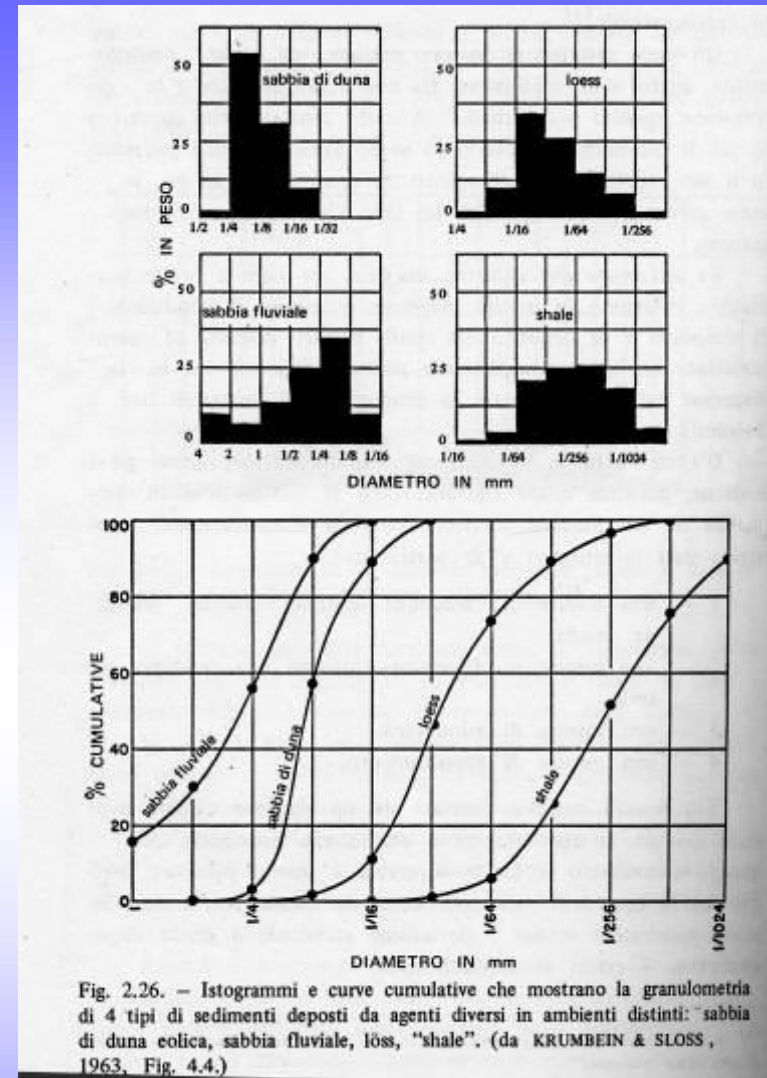
Altre caratteristiche delle curve

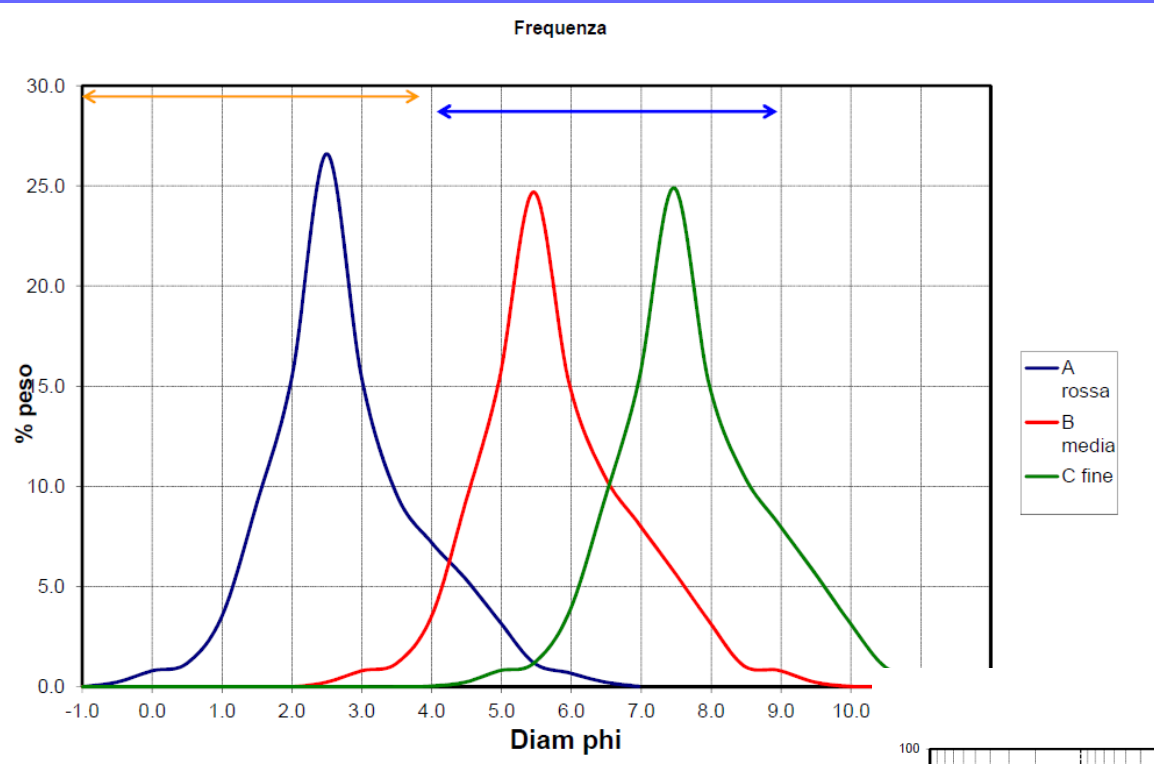


In nero: classe modale

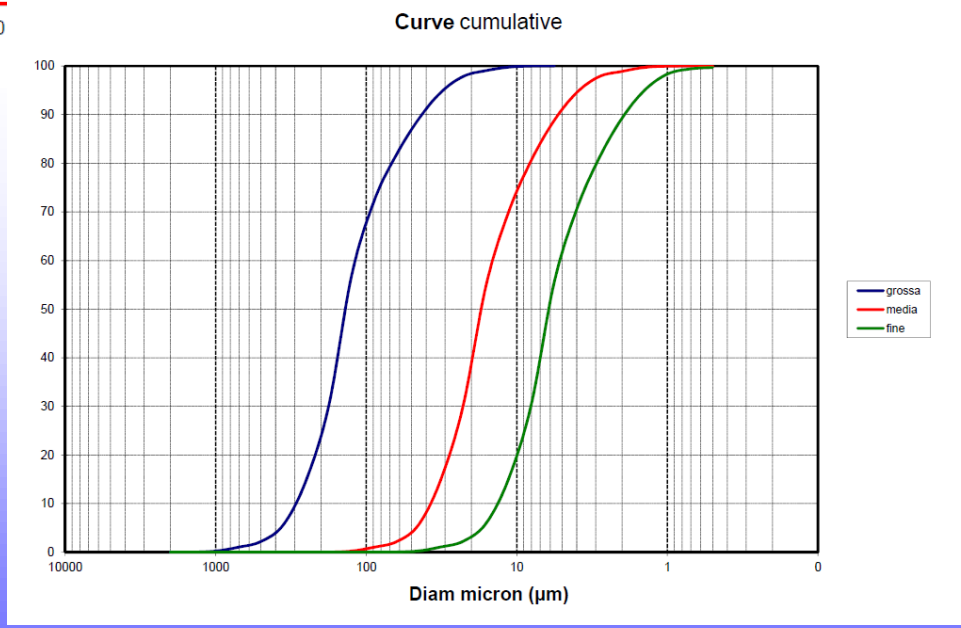
D asimmetria positiva; (piena fluviale)

E asimmetria negativa; F bimodalità (corrente variabile o...=

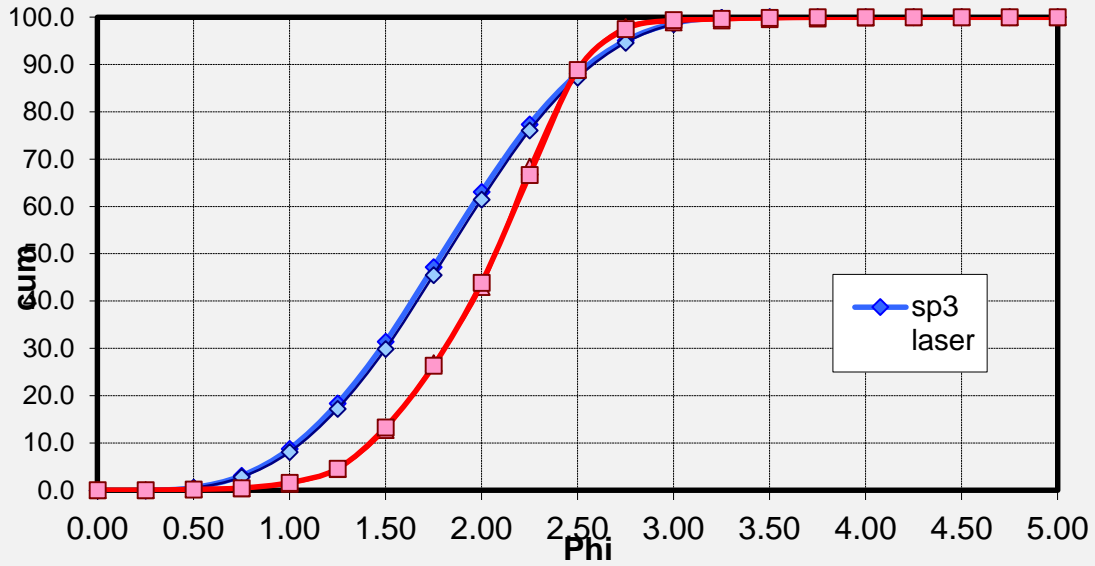




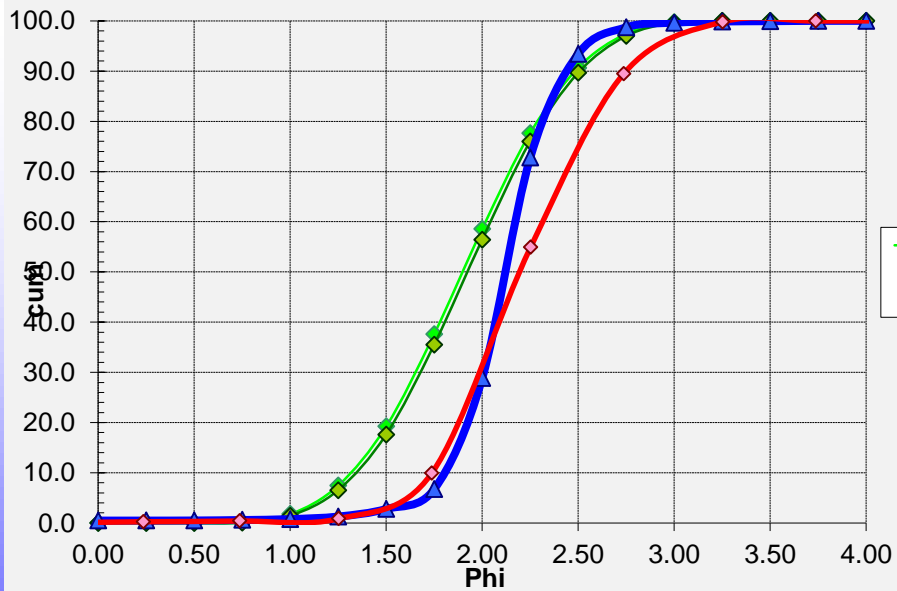
Diamwteor phi ?



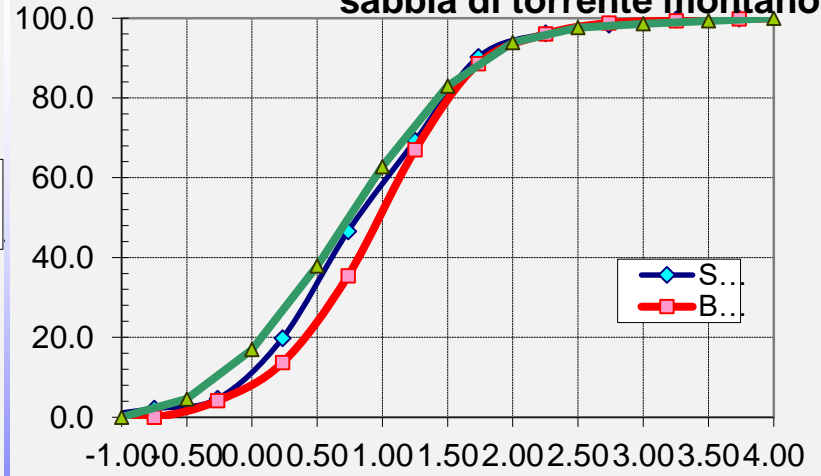
Olanda spiaggia



olanda dune



sabbia di torrente montano



Diametro: mm o μm o Φ

Oppure trasformo il diametro in unità **Phi: $-\log_2$ (diam. mm)**

Logaritmo: il numero cui devo innalzare una base per ottenere il risultato NB se «logartimizzo il diametro posso fare grafici su carta millimetrata...

Se $2^2 = 4$.. 2 è il logaritmo in base 2 di 4

Formule per Excel: $\text{phi} = -\text{LOG}(\text{mm});2$

Formula contraria: da misura in phi a mm:

$$\text{mm} = 2^{(-\text{phi})}$$

VANTAGGI: MOLTI, NEI CALCOLI, NEI GRAFICI

- Diametro in μm : 210
- Diametro in mm: 0.210 mm
- Diametro in phi: $-\log_2 (0.210) = 2.25$
- Ovvero $2^{-2.25}$

Forma dei clasti

La forma di un clasto può essere descritta da 3 assi ortogonali tra loro:

a b c

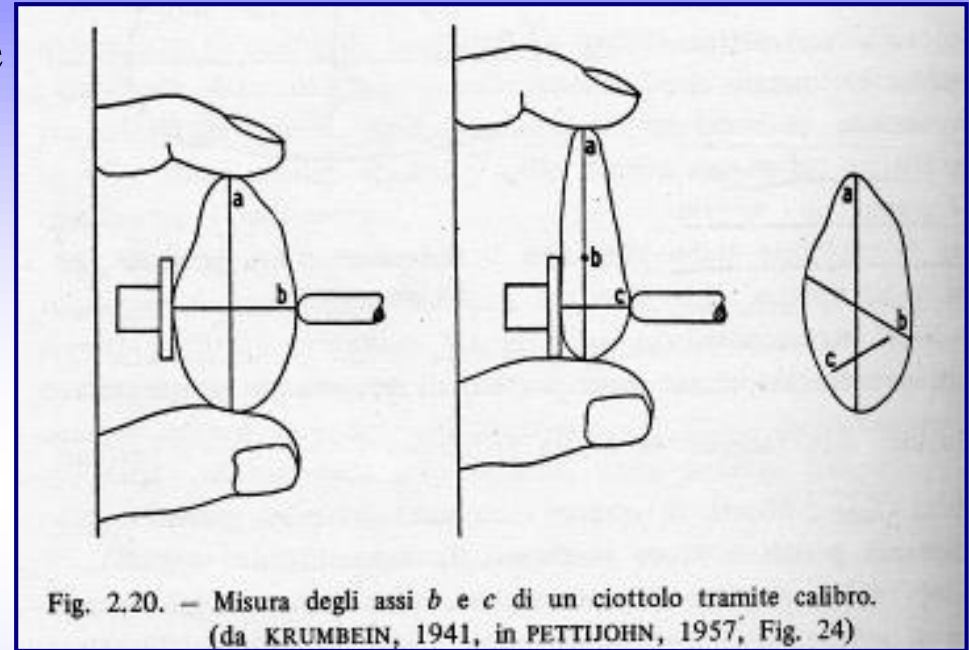
In una sfera: $a = b = c$

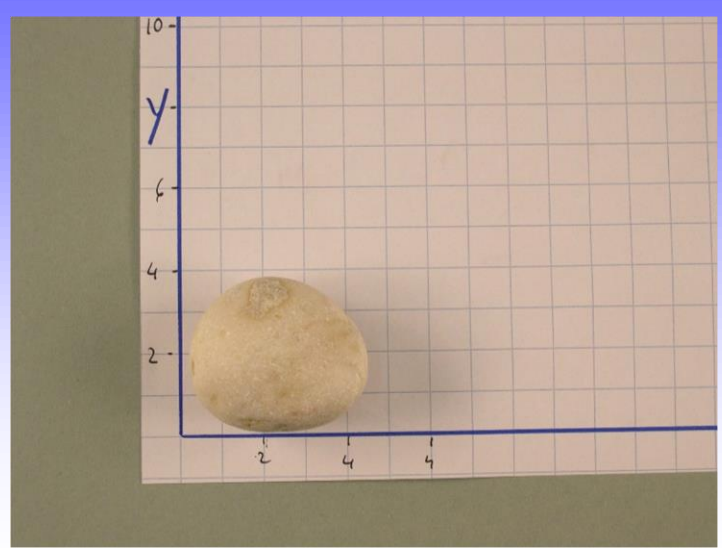
In un cilindro: $a \gg b \sim c$

In un libro.....: $a \sim b \gg c$

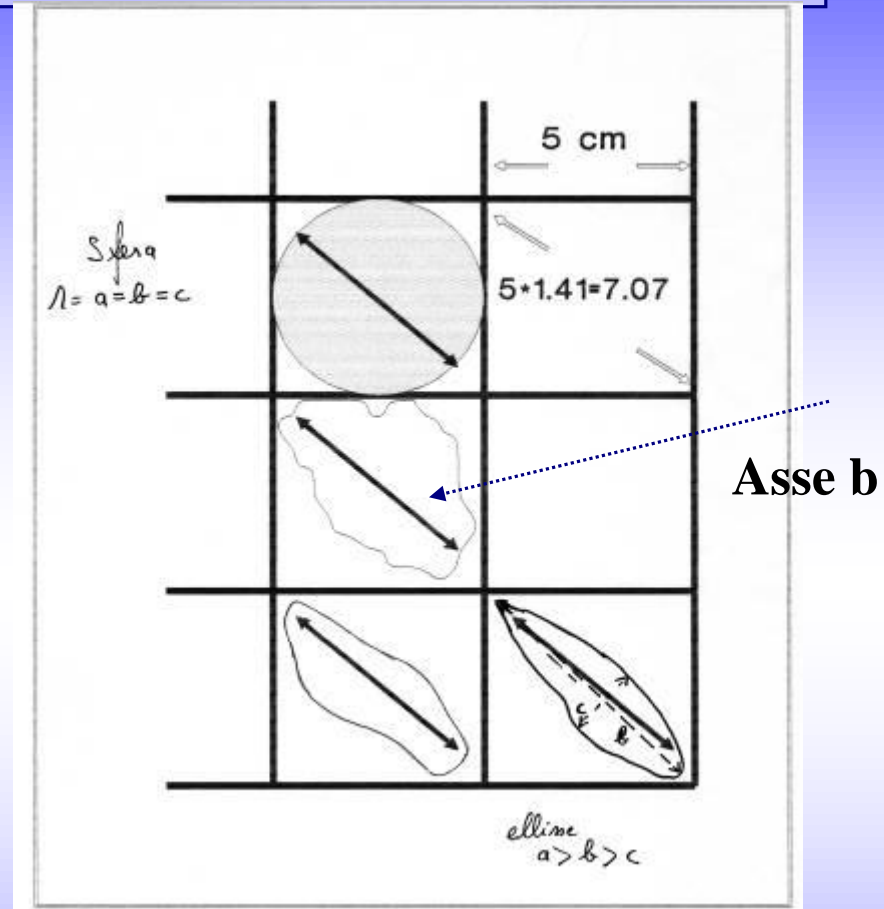
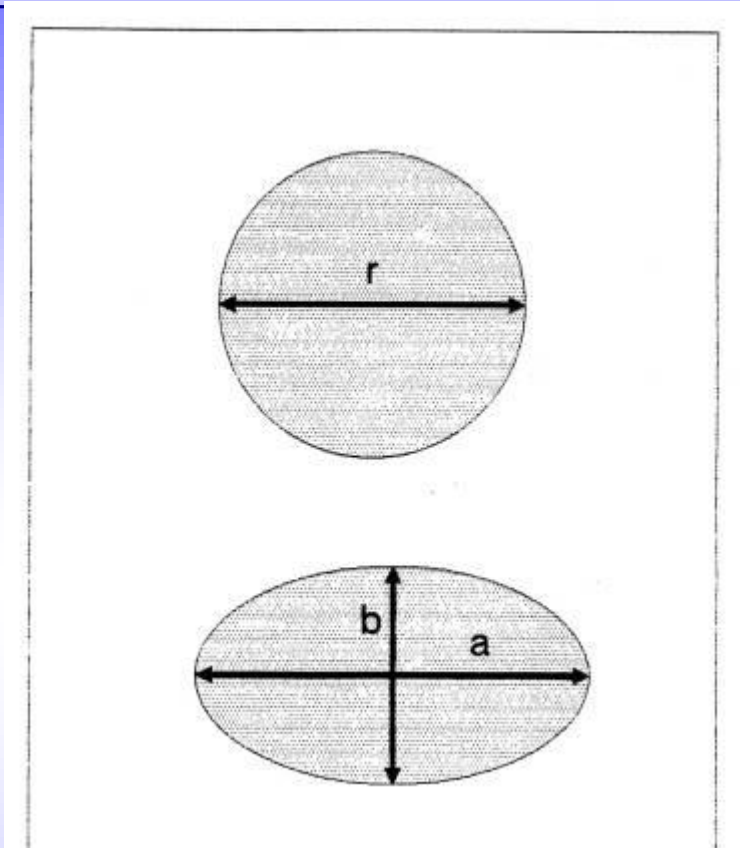
Sfericità: radice cubica (c^2/ab)

Un ciottolo appoggiato su un piano si dispone con la sezione ab parallela al piano e l'asse c ortogonale





L'influenza della forma sulle dimensioni al setaccio:

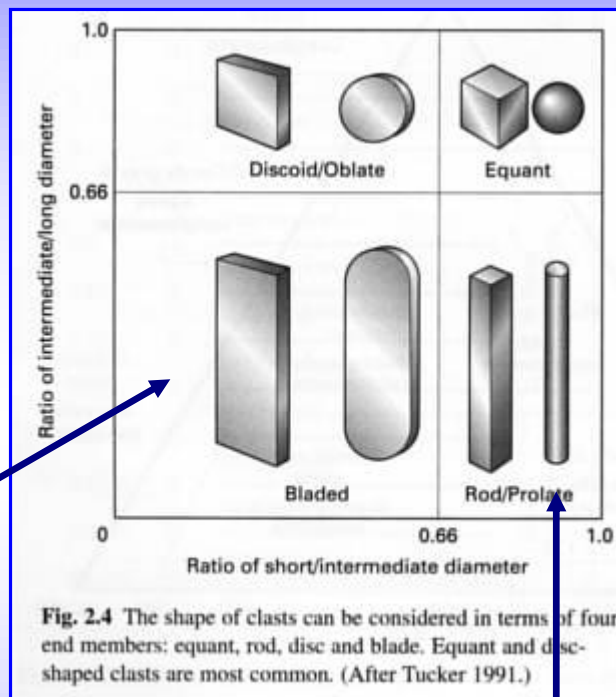


NB: asse c (asse minore) ortogonale al piano identificato dagli assi a b

NB: i granuli vengono selezionati sulla base della dimensione dell'asse b, ma

Misurando i tre assi o fotografando il ciottolo ..appoggiato sulla sezione *a-b*

Discoidali

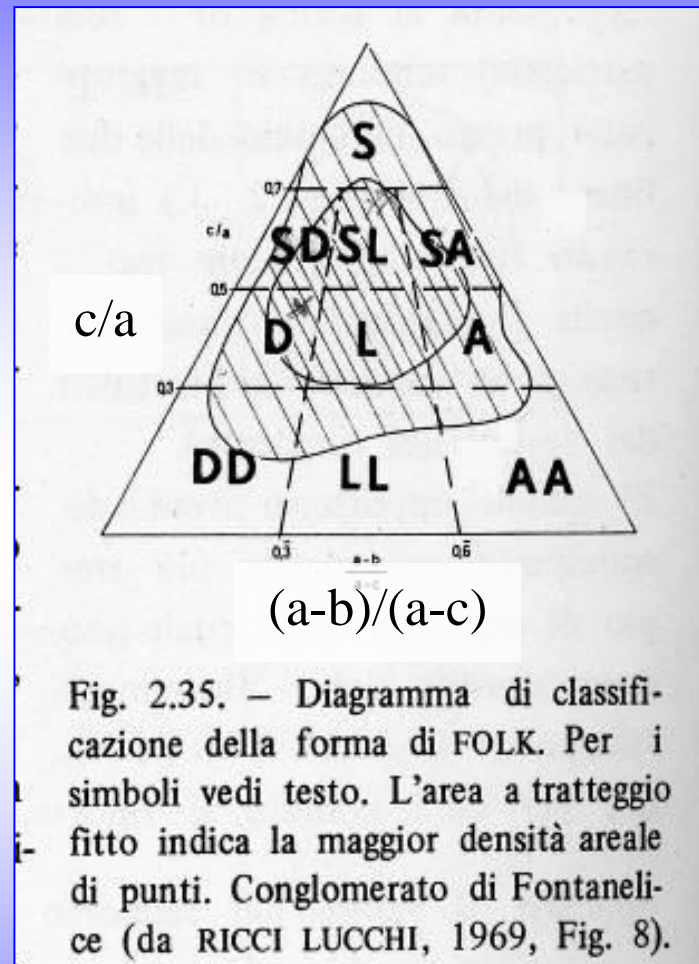


b/a

Lamellari

c/b

Allungati



NB ciottoli fluviali ovoidali, ciottoli di spiaggia discoidali/appiattiti

Ma a parità di litologia

Image analysis automatizzata su PC

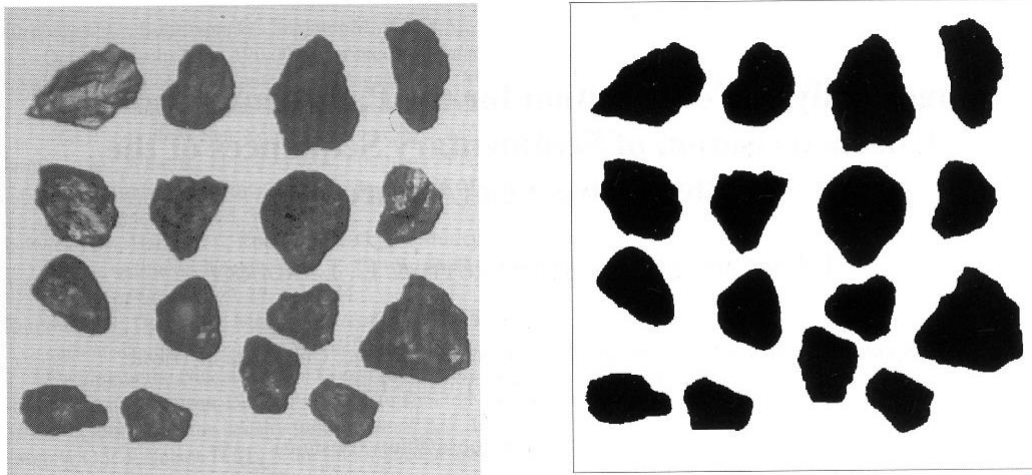


Fig. 2 – Example of a pre-processed image.

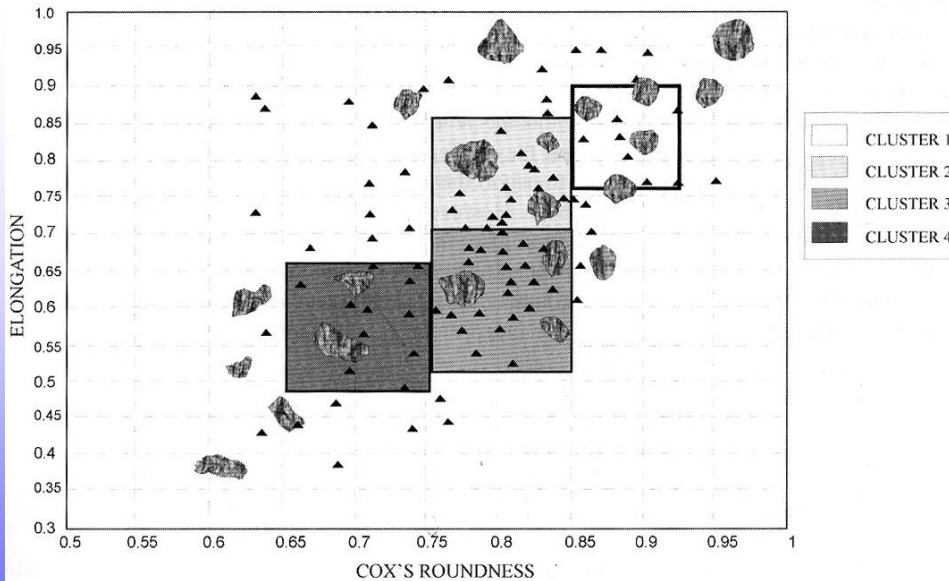


Fig. 5 – Example of the actual shapes of some grains (sample TR 119).

Tab. 1 – Geometric parameters and morphometric indices obtained automatically.

GEOMETRIC PARAMETERS	MORPHOMETRIC INDEXES	
	Method	Index
Perimeter of each grain (P) as mean of inner and outer perimeters.	Rectangular Fitting	A A_r A_e A_c A_{cr} A_{cv} A_{cvr}
Area of each grain (A).	Elliptic Fitting	A_e A_r A_c A_{cr} A_{cv} A_{cvr}
Major and intermediate axes in 2D (AS_1, AS_2).	Circular Fitting	A_e A_r A_c A_{cr} A_{cv} A_{cvr}
Four axle-shafts respect to the intersection center of the two axes.		

Tab. 2 – Derived morphometric indices.

DERIVED MORPHOMETRIC INDEXES			
Cox, 1927	Roundness or Projection Sphericity (ϕ_p) (Riley, 1941)	$\frac{4\pi A}{P^2}$	P = perimeter of the grain.
Tickell, 1931	Roundness or Projection Sphericity (ϕ_p) (Riley 1941)	$\frac{A}{A_c}$	A_c = area of the smallest circle circumscribing the grain.
Wadell, 1935	Projection Sphericity (ϕ_{pw})	$\frac{d_e}{D_c}$	d_e = diameter of the circle having the same area as the grain; D_c = diameter of the smallest circle circumscribing the grain.
L. tting, 1956	Degree of Elongation (in Sames, 1966)	$\frac{AS_2}{AS_1}$	AS_1 = major axis; AS_2 = intermediate axis.
	Specific perimeter	$\frac{P}{P_c}$	P_c = perimeter of the circle having the same area of the grain.
Cailleux, 1952	Dissimmetry of AS_1 (respect to AS_2)	$\frac{AC}{AB}$	$AB = AS_1$
	Dissimmetry of AS_2 (respect to AS_1)	$\frac{DE}{DF}$	$DF = AS_2$

Arrotondamento

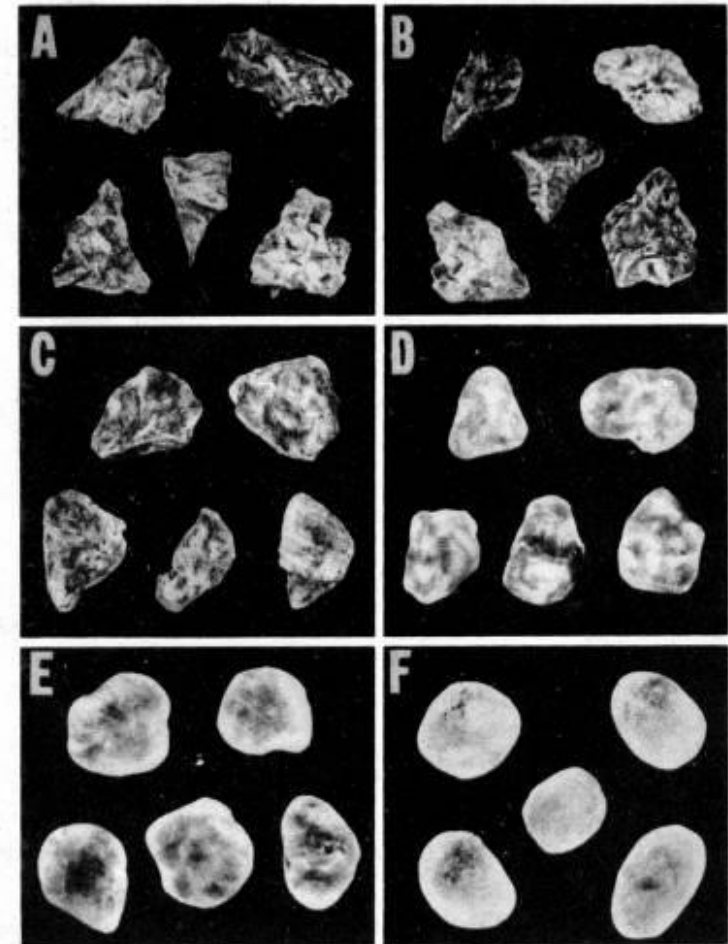
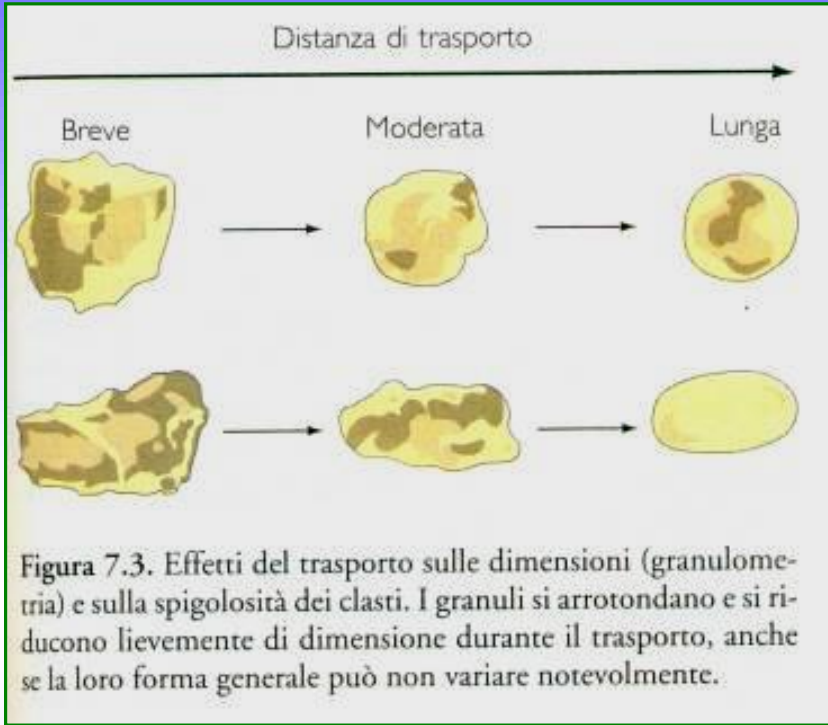
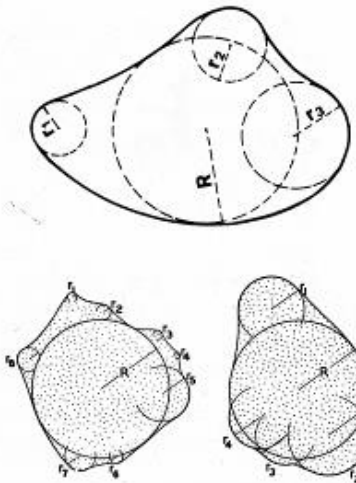


Fig. 2.42. — Classi o gradi di arrotondamento. A: molto angolosa; B: angolosa; C: subangolosa; D: subarrotondata; E: arrotondata; F: ben (molto) arrotondata. (da POWERS, 1953, modif. in SHEPARD, 1963, Fig. 65)



Calcolo teorico:
Raggio sfera iscritta
vs somme raggi
sfere che
approssimano gli
spigoli...

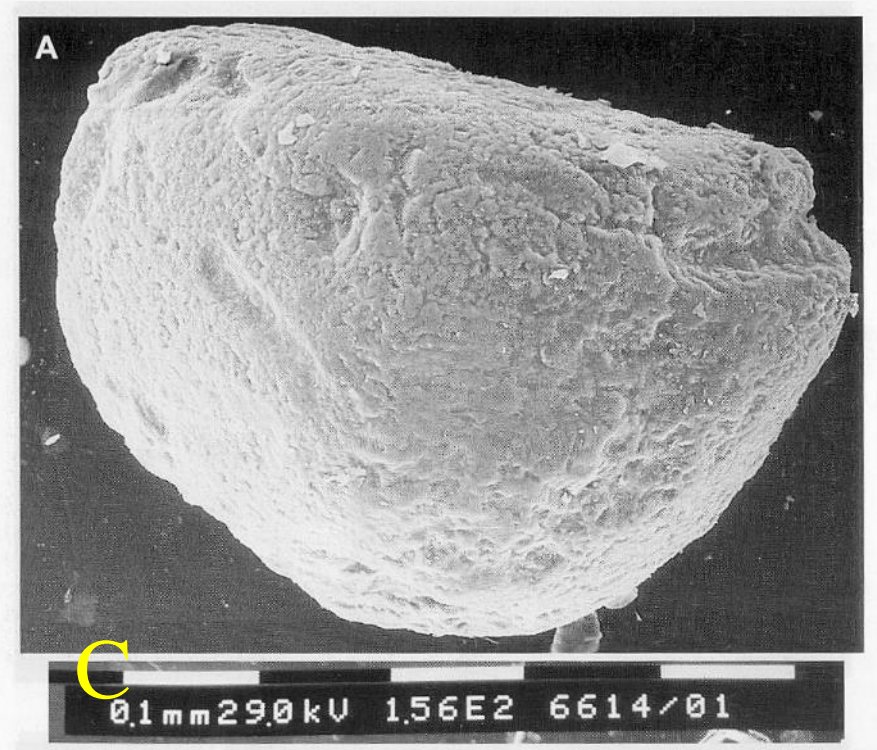
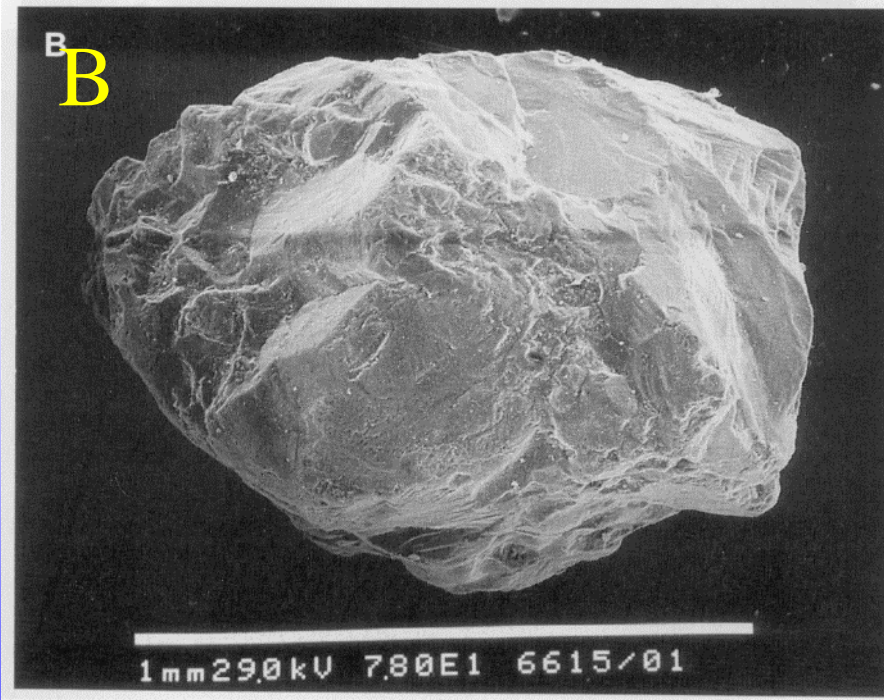
..oppure stima visiva

Superficie dei granuli (Qz) al SEM

A: abbastanza liscio, ma opaco:
trasporto eolico,

B: spigoloso e fratturato trasp. glaciale

C: alterato (pedogenesi)



Embriciatura



Fig. 2.5 Imbrication produced by reorientation of pebbles in a flow (direction of flow from left to right).

Ad essere precisi è
una struttura sedimentaria...
(vedi più avanti)

Quindi un sedimento sciolto può essere descritto mediante:

- **Dimensioni dei clasti**
 - Forma dei clasti
 - Arrotondamento (spigoli)
- Caratteristiche della superficie

Modificazioni con la distanza di trasporto

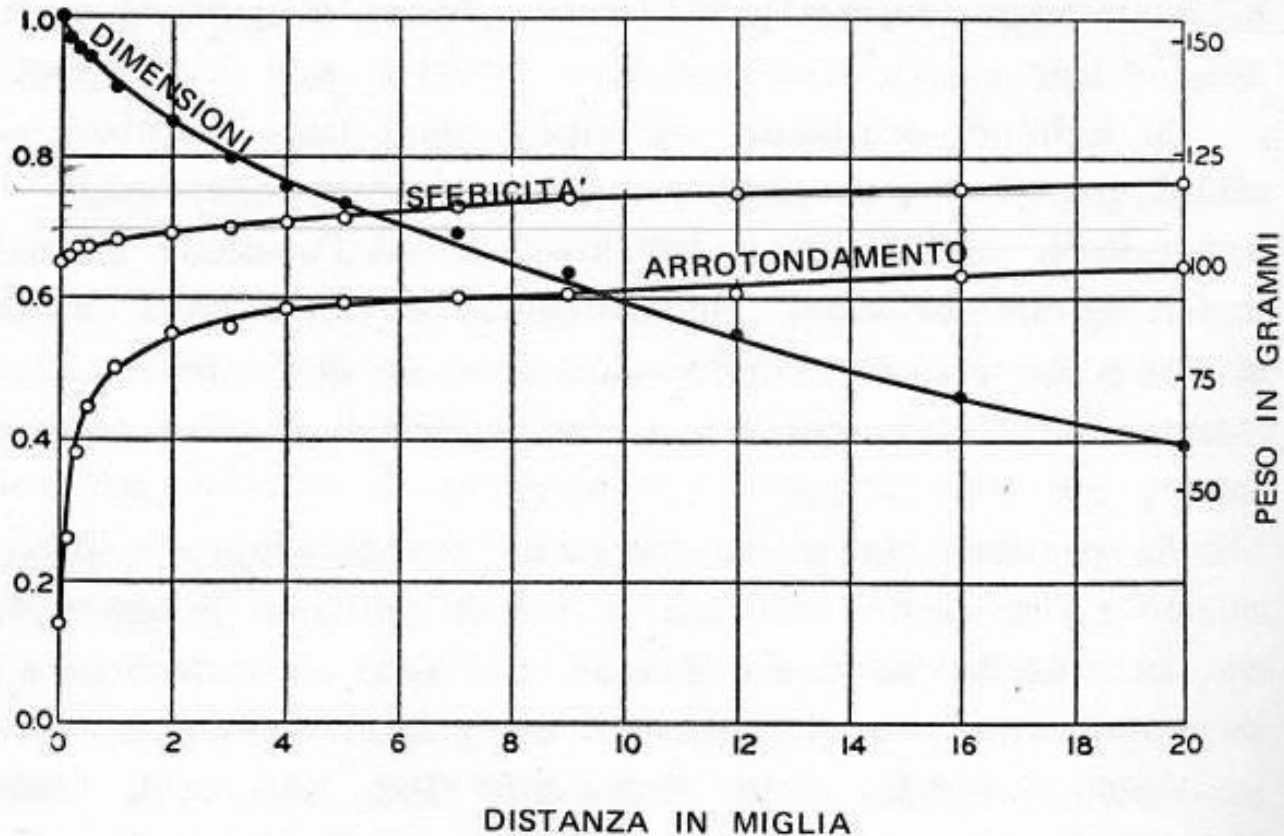


Fig. 2.46. – Variazioni delle dimensioni, della sfericità e dell'arrotondamento di una popolazione di frammenti calcarei con la distanza. La diminuzione delle dimensioni è espressa come perdita in peso.

(da KRUMBEIN, 1941, in PETTIJOHN, 1957, Fig. 127)

Concetto di maturità

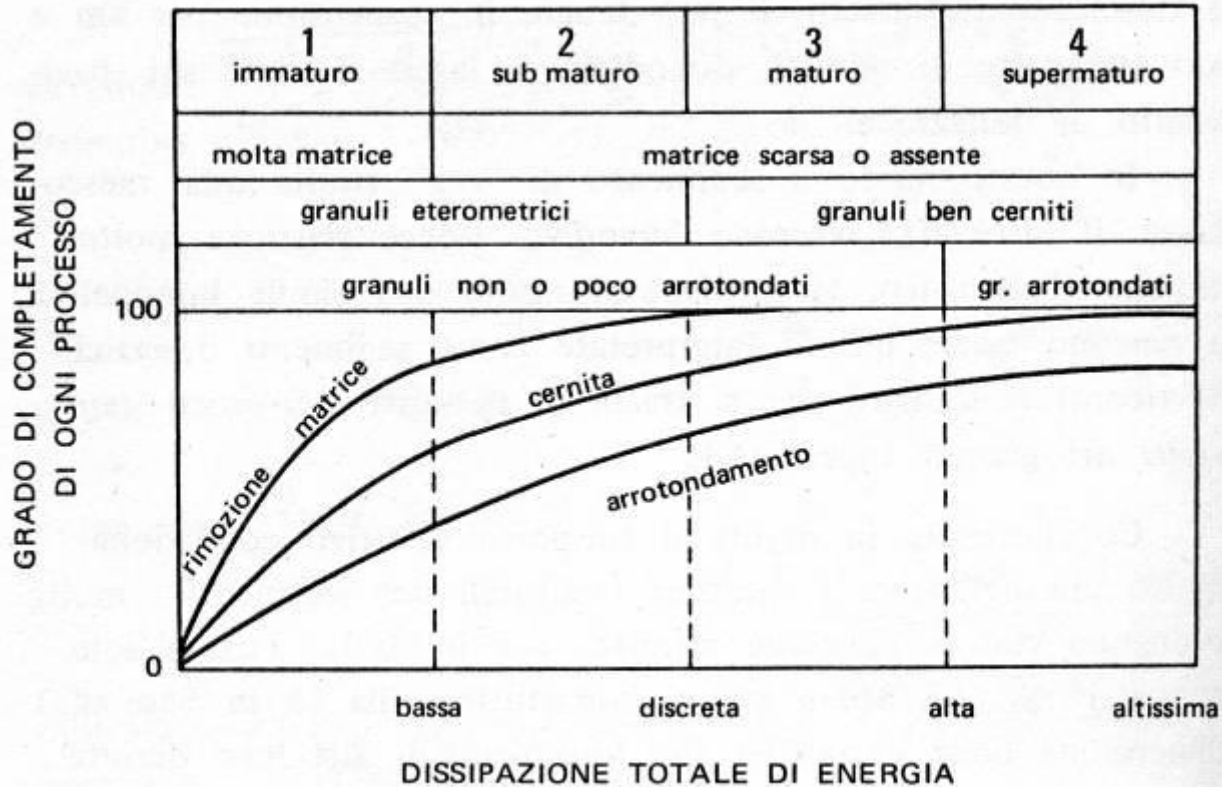
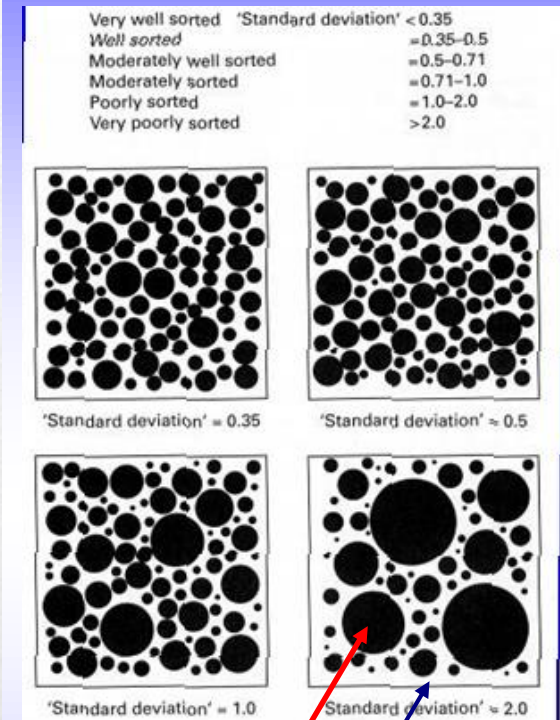


Fig. 2.49. – Gradi di maturità tessiturale dei sedimenti clastici secondo FOLK.

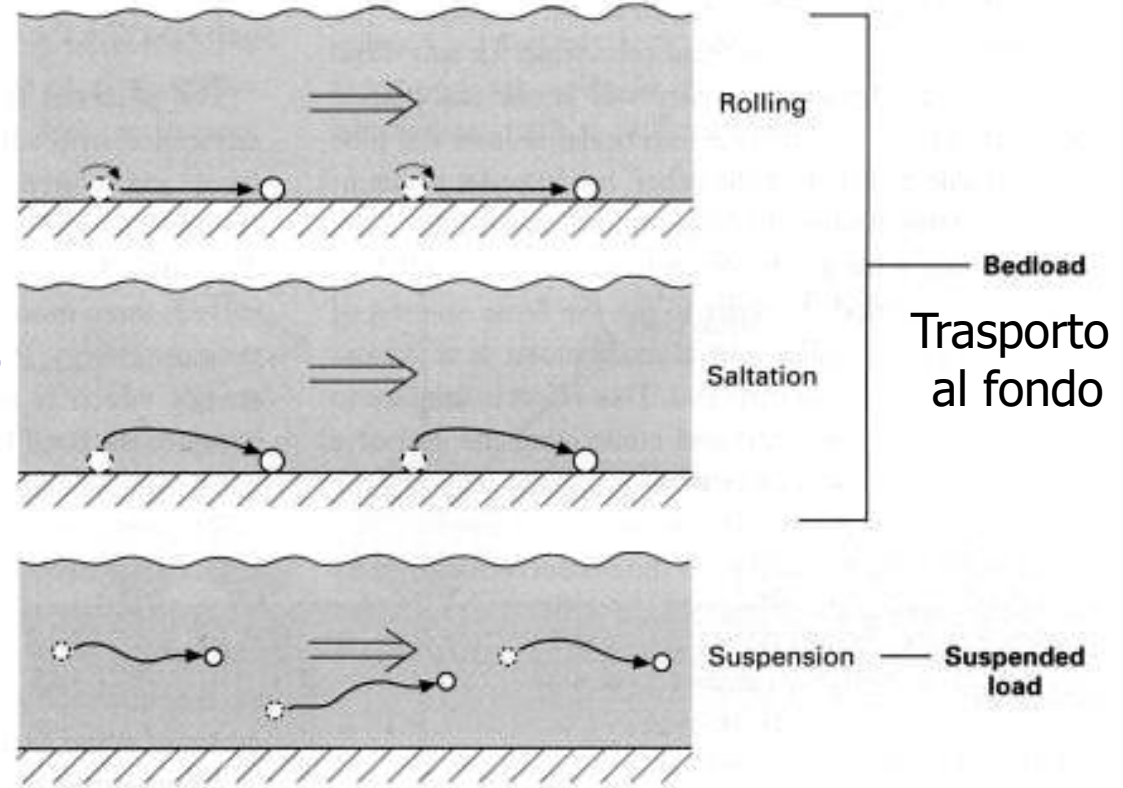


Granuli
matrice

NB la maturità è un concetto che implica sia mineralogia, che forma e dimensione dei granuli

Modalità di trasporto in correnti incanalate

rotolamento
saltazione
Sospensione



Secondo alcuni autori anche con correnti costanti si possono formare curve bimodali ...

Rapporti tra velocità della corrente e diametro delle particelle

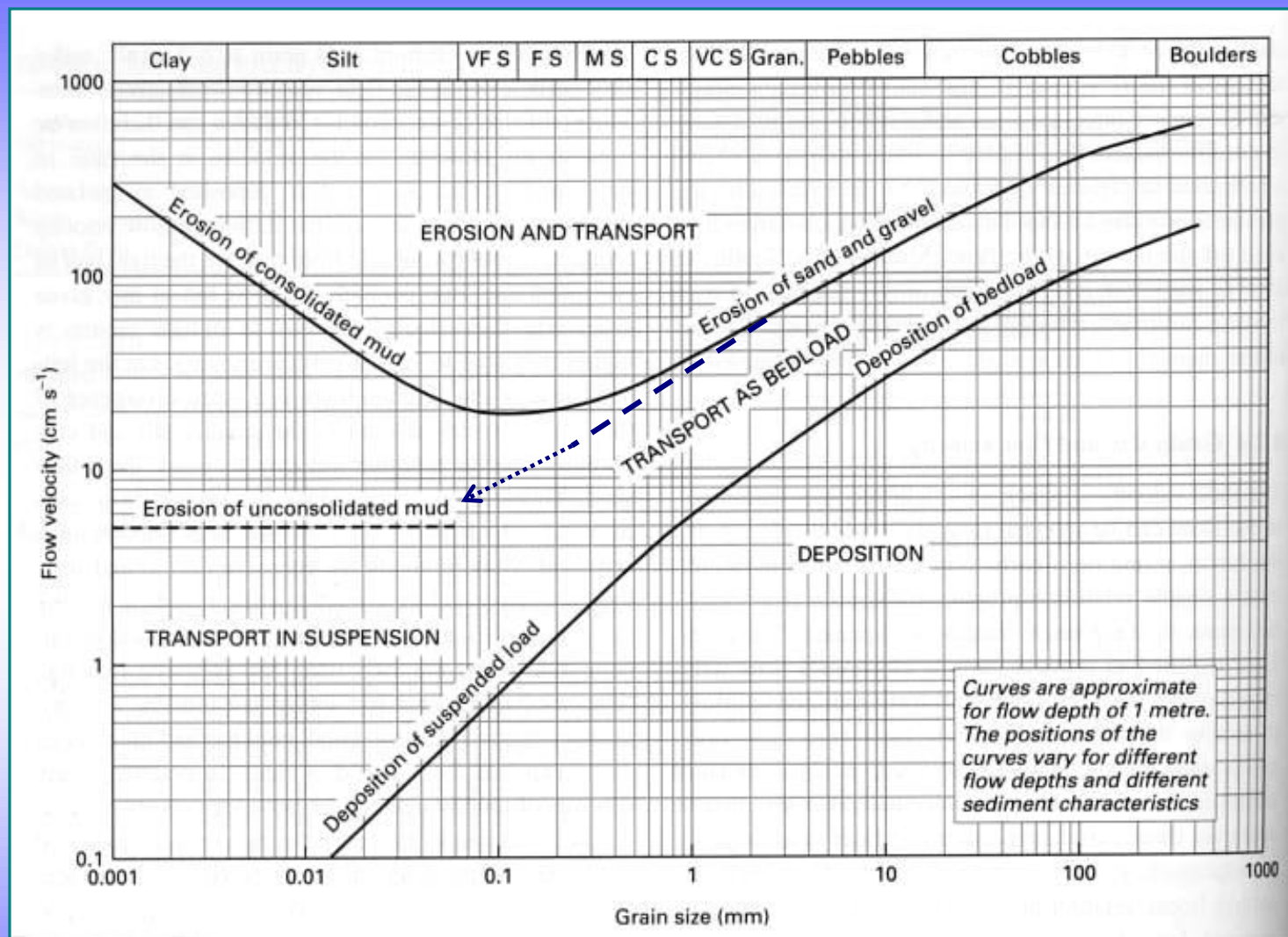
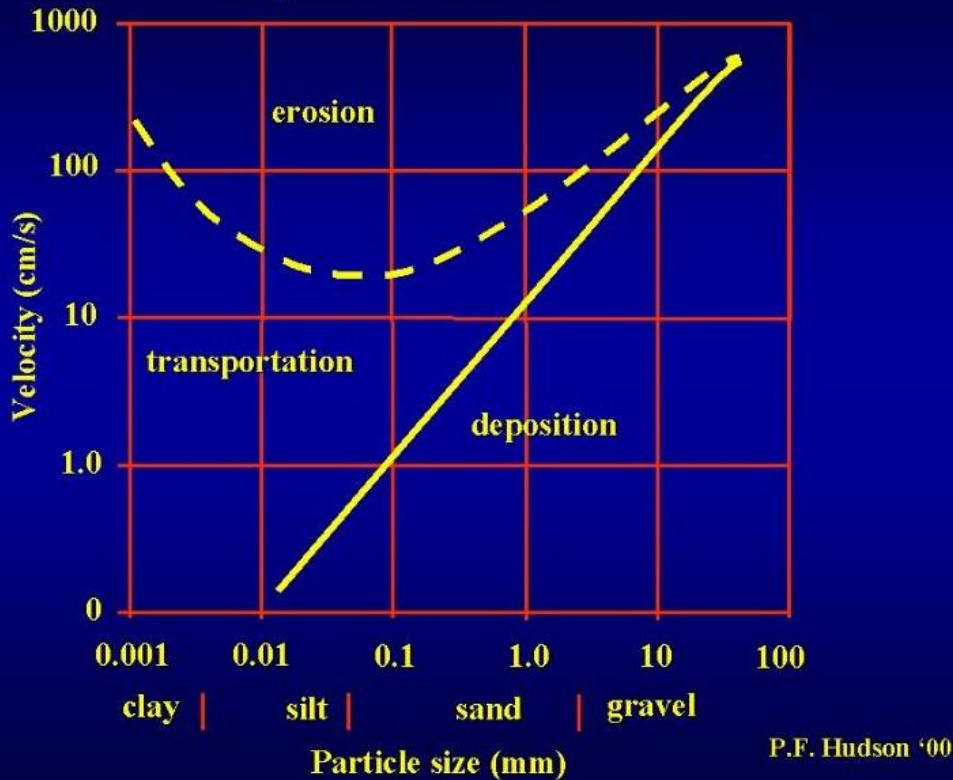


Diagramma di Hjulstrom

Hjulstrom Curve



PER OGNI DIAMETRO
Linea continua: velocità critica di sedimentazione
Linea tratteggiata: velocità critica di erosione

- SOLO attrito tra granuli di sabbia;
 - .- tra particelle di silt e argilla: coesione
- velocità di erosione > velocità di deposizione
la differenza è la velocità di trasporto