

CLASSIFICAZIONI GRANULOMETRICHE

Diverse sono le classificazioni granulometriche proposte. La scelta dell'una o dell'altra dipende dal tipo di lavoro che si fa (spesso classificazioni diverse vengono proposte a seconda dei diversi ambienti di sedimentazione), dai lavori fatti precedentemente (anche da altri autori) nella stessa area (i dati si devono poter confrontare quanto più possibile).

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

La scala più usata è quella di **Udden-Wentworth** (1922): è una scala geometrica in ragione 2

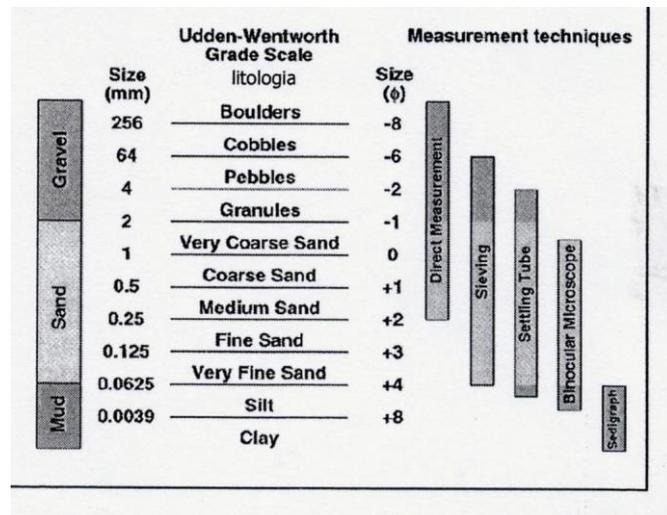
I limiti fra le **frazioni granulometriche** sono:

>2mm per la ghiaia

2mm-62.5 um per la sabbia

62.5 um-4um per il silt

<4um per l'argilla



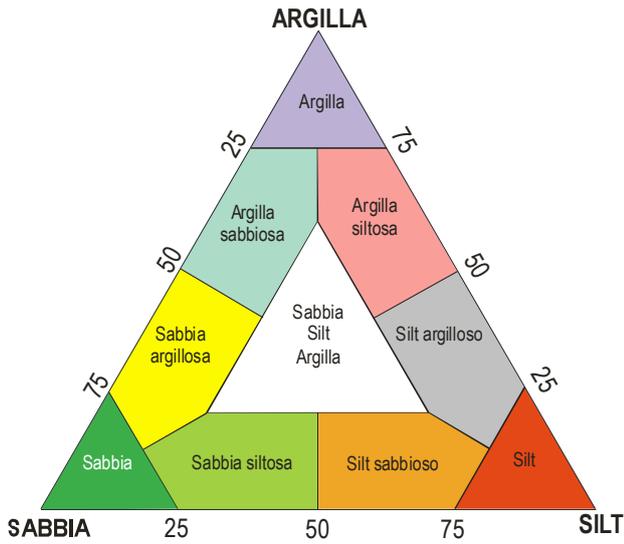
Il diametro espresso in phi è una unità di misura ricavata dalla formula:

$$\text{phi} = -\log_2 (\text{mm})$$

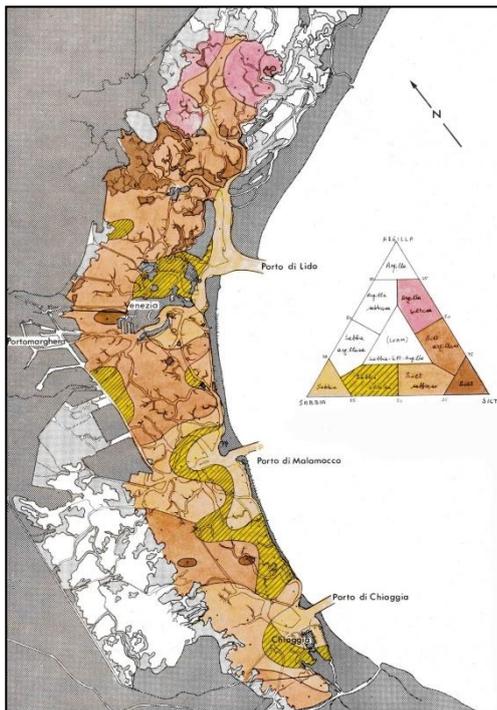
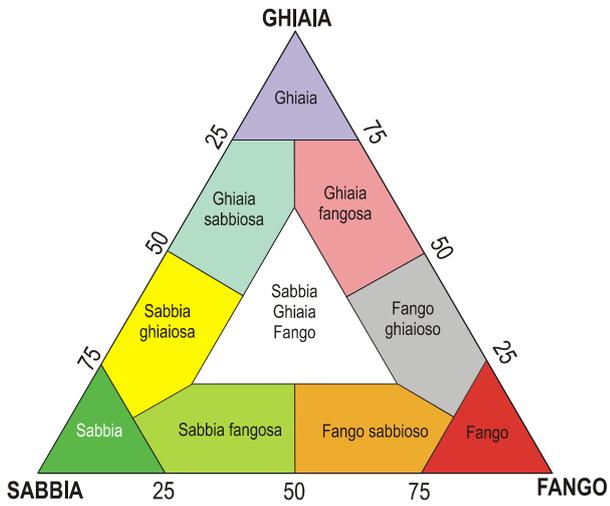
(Krumbein, 1934)

dai dati ponderali delle diverse componenti/frazioni granulometriche principali (ghiaia, sabbia e fango) si può applicare il diagramma ternario di SHEPARD

SHEPARD (1954) classifica il sedimento utilizzando un diagramma ternario a partire dai dati delle diverse componenti granulometriche principali (ghiaia, sabbia, fango).

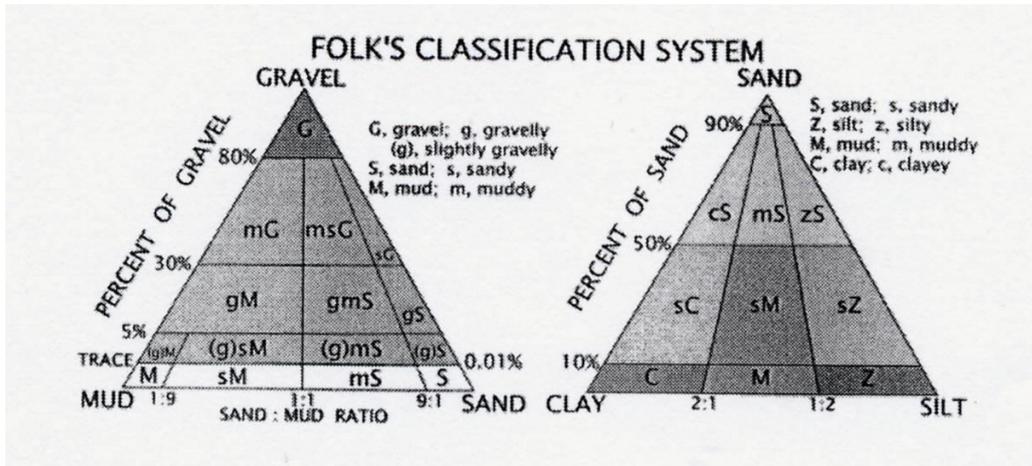


Il diagramma ternario a lato è una derivazione di quello originale di Shepard e considera ghiaia, sabbia e fango.



Esempio di applicazione della classificazione di Shepard: Laguna di Venezia

Un altro diagramma triangolare è quello proposto da FOLK (1954) e successivi



Un'altra classificazione è quella proposta da – **FRIEDMAN E SANDERS (1978)**

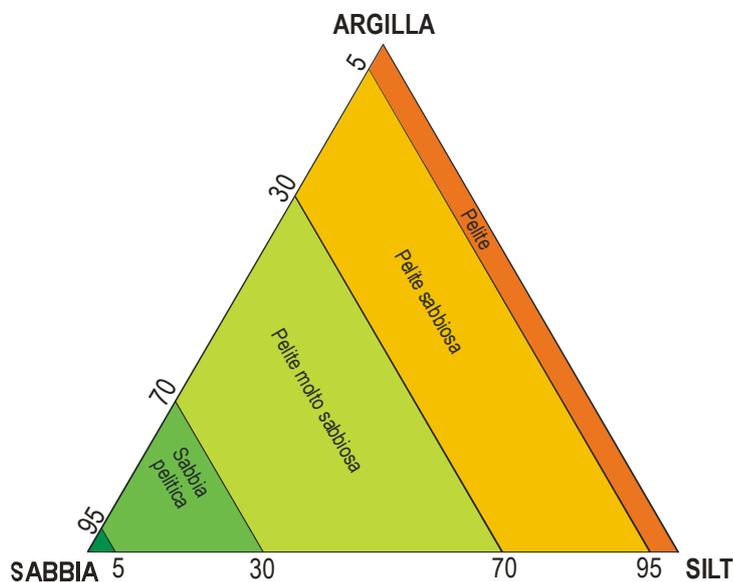
Udden-Wentworth (1922)	phi (ϕ)	mm	Friedman & Sanders (1978)
Cobbles	-11	2048	very large
	-10	1024	large
	-9	512	medium
	-8	256	small
Pebbles	-7	128	large
	-6	64	small
	-5	32	very coarse
	-4	16	coarse
Granules	-3	8	medium
	-2	4	fine
	-1	2	very fine
	0	1	very coarse
Sand	1	0.500	coarse
	2	0.250	medium
	3	0.125	fine
	4	0.064	very fine
Silt	5	0.031	very coarse
	6	0.016	coarse
	7	0.008	medium
	8	0.004	fine
Clay	9	0.002	very fine
			Clay

Figure 2.22 - Comparison between Udden-Wentworth (Wentworth, 1922) and Freedman & Sanders (1978) metric scale and grain size classifications and Krumbein (1934) phi (ϕ) scale

La classificazione di **NOTA** (1954) – classificazione di scuola olandese - pone i seguenti limiti fra le frazioni granulometriche

2mm-50 um per la sabbia
50 um-2um per il silt
<2um per l'argilla

La litologia mista sabbia + fango può essere definita anche in termini binari (per ambienti a granulometria fine come in Olanda o in nord-Adriatico) utilizzando la classificazione di **Kruit – Nota**, 1954)

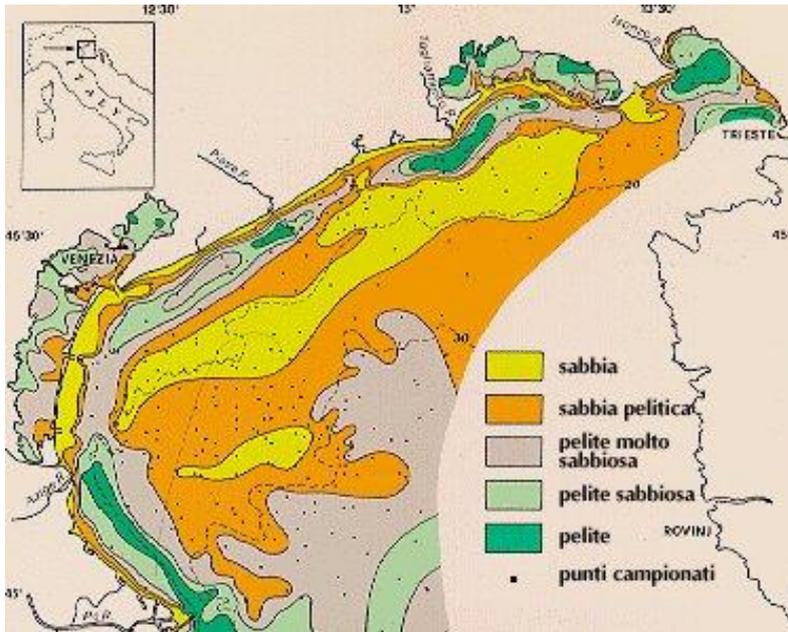


Silt ed argilla sono considerati assieme (fango) e definiti **PELITE**.
I termini litologici sono rappresentati dai limiti percentuali del 5, 30 e 70%.
La componente predominante esprime la tipologia sedimentaria (es. Sabbia o pelite), quella secondaria è indicata con l'aggettivazione “sabbioso” o “pelitico”.
Solamente il sedimento misto con percentuali di sabbia e fango comprese tra il 30 e il 70% prende il nome di **PELITE MOLTO SABBIOSA**.

Quindi:

- **Sabbia:** se sabbia > 95 %
- **Sabbia pelitica:** con % sabbia compresa tra 95 e 70; pelite compresa tra 30 e 5
- **Pelite molto sabbiosa:** % sabbia compresa tra 70 e 30 %
- **Pelite sabbiosa:** % sabbia compresa tra 30 e 5%, pelite compresa tra 70 e 95%
- **Pelite:** >95%

Con la classificazione di Nota è possibile rappresentare una distribuzione areale di sedimenti come un “*continuum*”, che risulta particolarmente efficace in ambienti selettivi, come quelli a dominio mareale.



Carta sedimentologica dell'Alto Adriatico secondo la classificazione di Nota

UNITA' DI MISURA : mm – um – phi

unità phi: $-\log_2$ (diam. mm)

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

Diametro in μm : 210

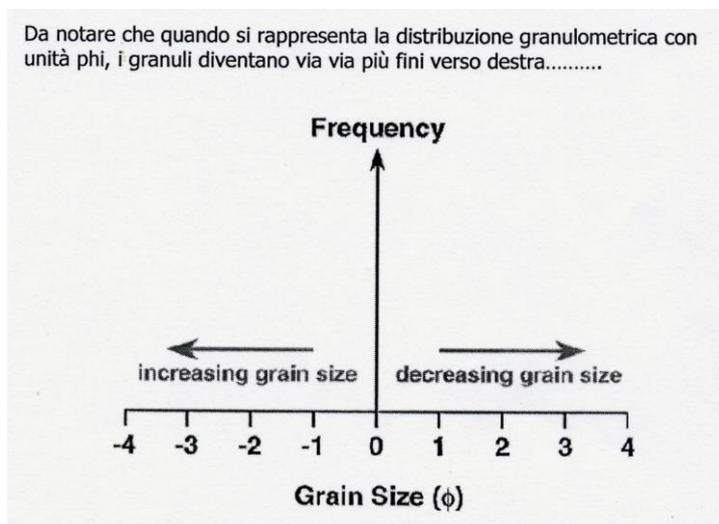
Diametro in mm: 0.210 mm

Diametro in phi: $-\log_2(0.210) = 2.25$

cioè $2^{(-2.25)}$

VANTAGGI: MOLTI, NEI CALCOLI, NEI GRAFICI

Il segno negativo permette di ottenere valori positivi in phi nel campo di materiali sabbiosi e fangosi, che sono quelli maggiormente studiati.



LA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA

1. Grain Size Class (ϕ)	2. Peso (grammi)	3. Peso (%)	4. Peso Cumulativo (%)
-0.5	0.40	1.3	1.3
0	1.42	4.6	5.9
0.5	2.76	8.9	14.8
1.0	4.92	15.9	30.7
1.5	5.96	19.3	50.0
2.0	5.96	19.3	69.3
2.5	4.92	15.9	85.2
3.0	2.76	8.9	94.1
3.5	1.42	4.6	98.7
4.0	0.40	1.3	100
Total:	30.92	100	

I dati ottenuti da un'analisi granulometrica sono rappresentati da classi dimensionali con relativo valore in peso. Da questi è possibile ottenere la distribuzione sia in termini di frequenza relativa che in modo cumulativo.

ELABORAZIONE DEI DATI

Gli strumenti utilizzati per fare le analisi granulometriche forniscono direttamente o indirettamente dei numeri.

Questi dati devono essere inseriti in tabelle che, oltre ad agevolarne l'elaborazione, fungono anche da archivio del dato.

Di seguito alcuni esempi.

La separazione ad umido delle 3 componenti (frazioni) ghiaia, sabbia, fango viene riportata in tabella prima come peso (Tab.1) e poi ricalcolata in % (Tab. 2) (campione di partenza: sedimento di carota campionato dalla superficie al fondo)

livello (cm)	FANGO tara	lordo	netto (g)
0-2	4,3469	10,6763	6,33
5-6	4,2975	13,3255	9,03
9-10	4,3338	13,9594	9,63
12-13	4,2205	11,8467	7,63
19-20	4,306	16,3676	12,06
25-26	4,2639	11,3704	7,11
28-28.5	4,3121	11,0296	6,72
28.5-29	4,3246	6,6332	2,31
30-31	4,2755	10,1159	5,84
40-41	4,2709	11,9237	7,65
50-51	4,2625	11,893	7,63
60-61	4,3295	13,1732	8,84
69-70	4,2733	11,8237	7,55
79-80	4,3098	10,407	6,10
90-91	4,3029	13,7106	9,41
110-111	4,2977	14,3818	10,08
130-132	4,2735	19,3255	15,05
150-151	4,2745	22,3293	18,05
170-171	4,2422	15,1585	10,92

GHIAIA netto (g)	SABBIA netto (g)
0	0,13
0	0,13
0,0706	0,45
0,0903	0,77
0	0,67
0	1,44
0	1,53
0	0,75
0	0,09
0	0,07
0	0,08
0	0,14
0	0,07
0,7936	0,58
0,8703	2,31
1,472	2,63
1,4457	4,62
0,9451	4,38
1,1009	3,21

Tab 1

livello (cm)	livello (cm)	somma FSG	rapporto fra le tre componenti			livello (cm)	somma FS	rapporto fango/sabbia	
			%fango	%sabbia	%ghiaia			%fango	%sabbia
1,0	1,0	6,46	98,04	1,96	0	1,0	6,46	98,04	1,96
5,5	1,0	6,46	98,04	1,96	0	1,0	6,46	98,04	1,96
9,5	5,5	9,15	98,63	1,37	0	5,5	9,15	98,63	1,37
12,5	9,5	10,14	94,89	4,41	0,70	9,5	10,07	95,56	4,44
19,5	12,5	8,49	89,85	9,09	1,06	12,5	8,40	90,82	9,18
25,5	19,5	12,73	94,77	5,23	0	19,5	12,73	94,77	5,23
28,0	25,5	8,55	83,15	16,85	0	25,5	8,55	83,15	16,85
28,5	28,0	8,25	81,41	18,59	0	28,0	8,25	81,41	18,59
30,5	28,5	3,06	75,46	24,54	0	28,5	3,06	75,46	24,54
40,5	30,5	5,93	98,50	1,50	0	30,5	5,93	98,50	1,50
50,5	40,5	7,72	99,10	0,90	0	40,5	7,72	99,10	0,90
60,5	50,5	7,71	98,99	1,01	0	50,5	7,71	98,99	1,01
69,5	60,5	8,99	98,40	1,60	0	60,5	8,99	98,40	1,60
79,5	69,5	7,62	99,06	0,94	0	69,5	7,62	99,06	0,94
90,5	79,5	7,47	81,65	7,73	10,63	79,5	6,67	91,35	8,65
110,5	90,5	12,59	74,73	18,35	6,91	90,5	11,72	80,28	19,72
131,0	110,5	14,18	71,10	18,52	10,38	110,5	12,71	79,33	20,67
150,5	131,0	21,12	71,26	21,89	6,84	131,0	19,68	76,50	23,50
170,5	150,5	23,38	77,22	18,74	4,04	150,5	22,44	80,47	19,53
170-171	170,5	15,23	71,70	21,07	7,23	170,5	14,13	77,28	22,72

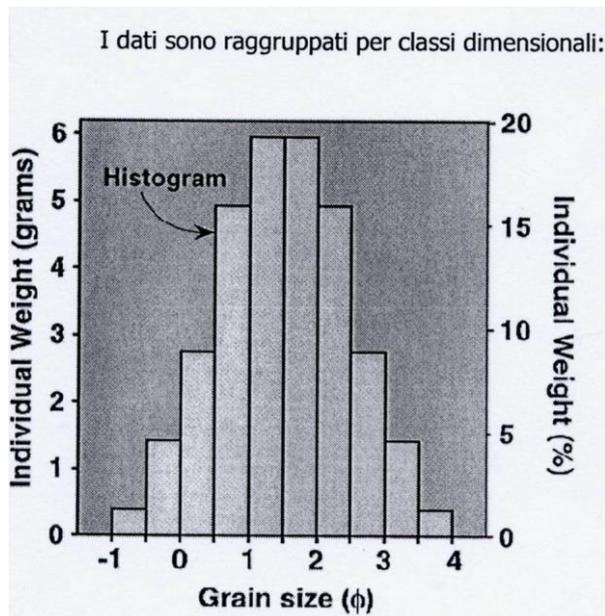
Tab.2

In Tab. 3 le classi dimensionali in % ottenute con il Malvern-Laser e con l'abbinamento bilancia+Sedigrafo

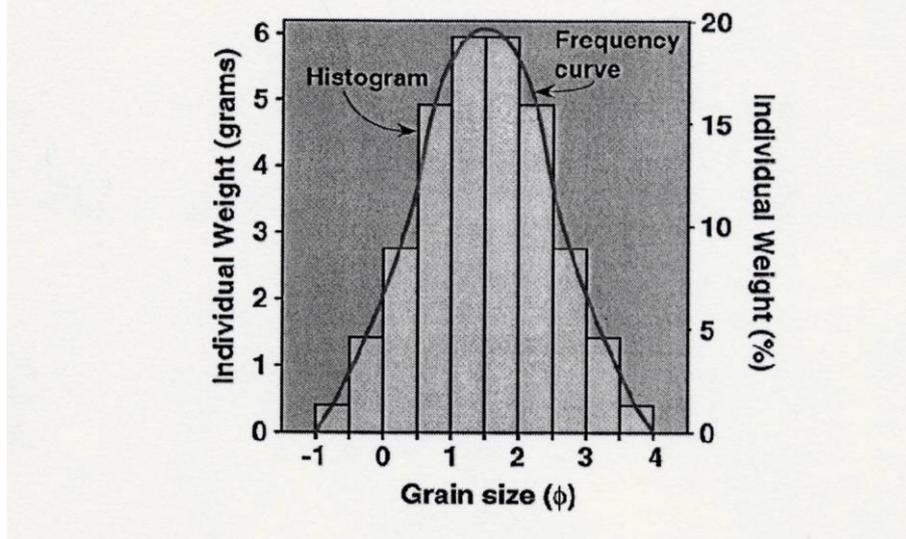
classi in phi	-0,50	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	>11,00	
classi in um		1000		500		250		125		62,5		32		16		8		4		2						
Sigla	sabbia									sabbia	silt															colloidi
malvern																										
2b bottom fango	0,00	0,00	0,19	0,79	1,60	2,63	4,19	6,31	8,18	8,83	8,34	7,50	6,98	6,82	6,72	6,43	5,92	5,15	4,17	3,11	2,16	1,60	1,37	1,02	0,31	
2b bottom tasca	0,02	0,27	0,67	1,57	3,01	5,15	8,30	11,62	12,95	11,22	7,95	5,34	4,27	4,16	4,18	4,00	3,66	3,19	2,62	1,97	1,37	1,01	0,86	0,65	0,16	
7b 2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,16	0,45	1,44	3,40	5,88	8,21	10,01	11,23	11,80	11,62	10,52	8,58	6,18	4,00	2,70	2,15	1,51	0,43	
11b 0-1	1,57	4,05	8,47	15,10	20,13	19,45	13,76	7,30	3,22	1,64	1,25	1,06	0,83	0,64	0,50	0,39	0,30	0,22	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
bilancia-sedigrafo																										
2b bottom fango	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	10,00	9,33	8,93	9,47	7,30	7,38	8,34	7,14	7,22	6,09	3,93	3,69	3,21	2,97	1,68	1,44	4,15	
2b bottom tasca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,91	22,77	10,70	6,90	6,36	5,80	6,05	5,62	5,93	5,30	4,93	4,12	2,75	2,75	2,56	0,87	0,69	3,78	
7b 2-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	0,12	2,31	2,43	3,04	5,96	7,42	9,61	10,59	12,53	11,44	9,48	8,76	8,03	6,45	17,97		
11b 0-1	0,08	5,47	8,54	13,07	19,73	25,68	18,33	5,85	1,77	0,78	0,51	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

I dati granulometrici possono essere rappresentati attraverso grafici. Le rappresentazioni grafiche che si utilizzano comunemente sono 3: istogramma, curva di frequenza, curva cumulativa.

Esempio di istogramma

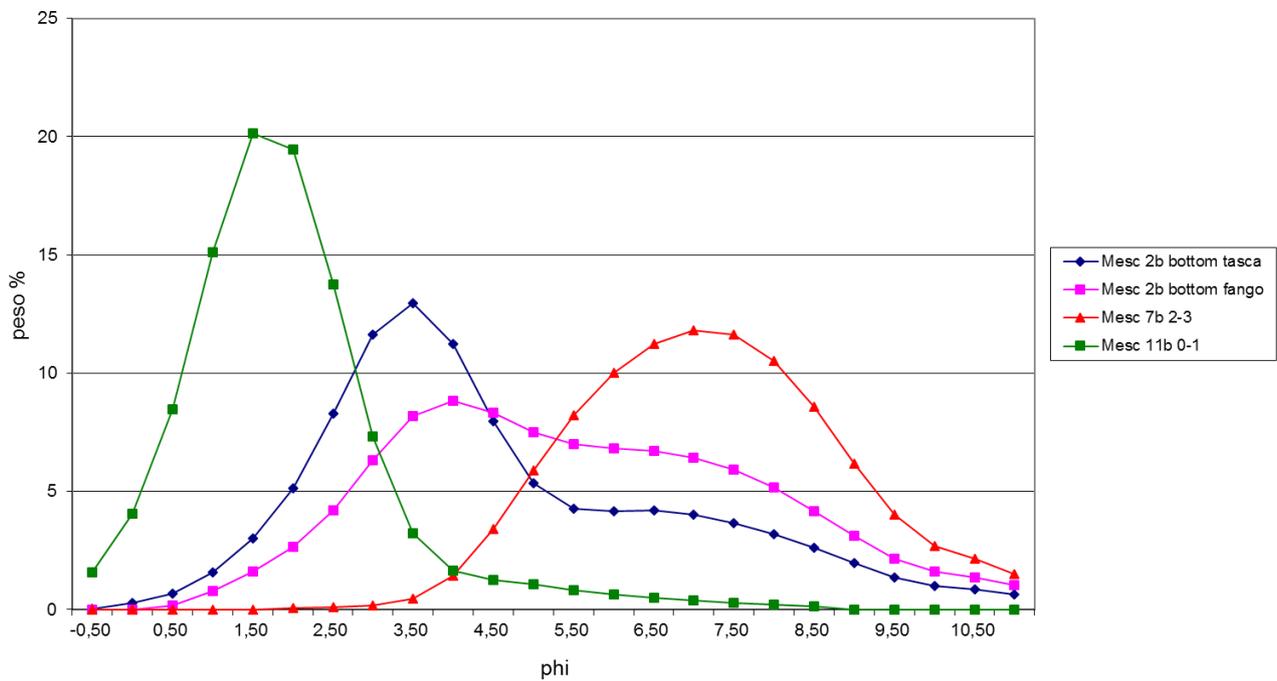


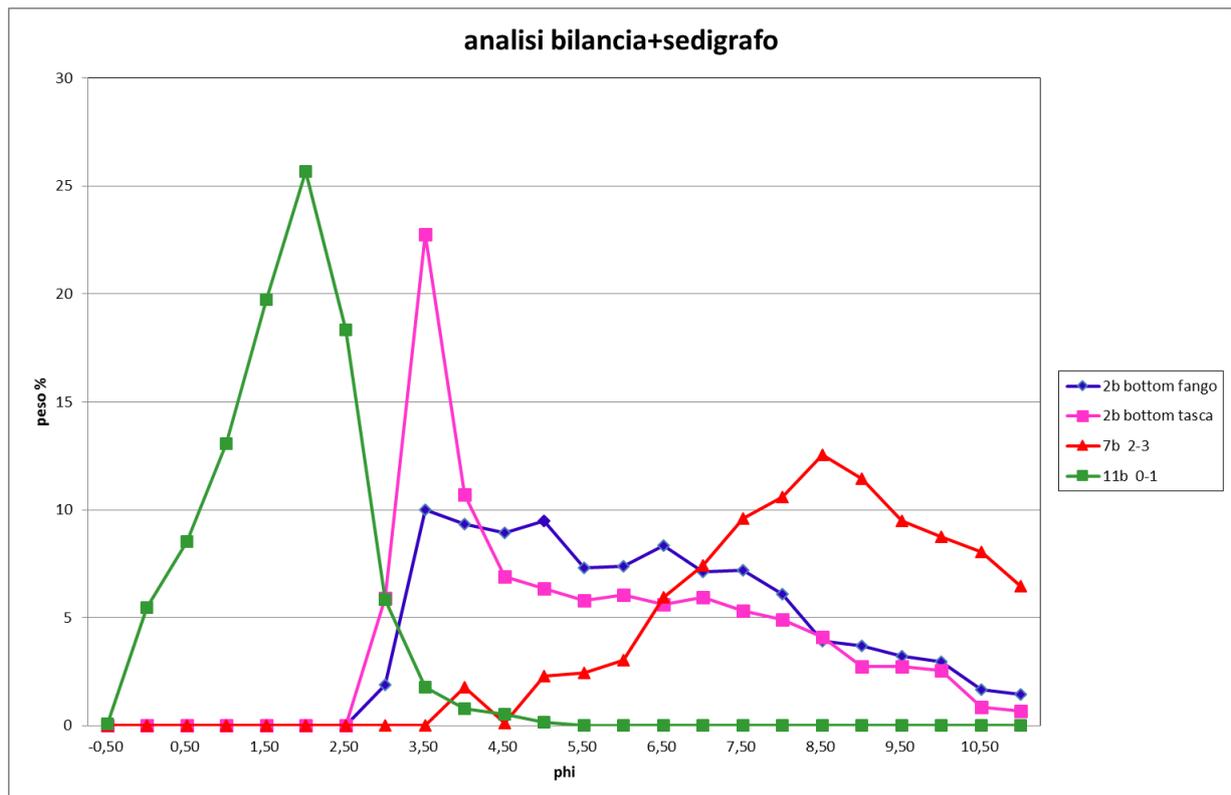
Rappresenta la curva che congiunge i punti di mezzo delle barre dell'istogramma.



Nelle due figure di seguito riportate sono messi in grafico (**curve di frequenza**) le analisi di Tab.3

analisi con il LASER





Vantaggi:

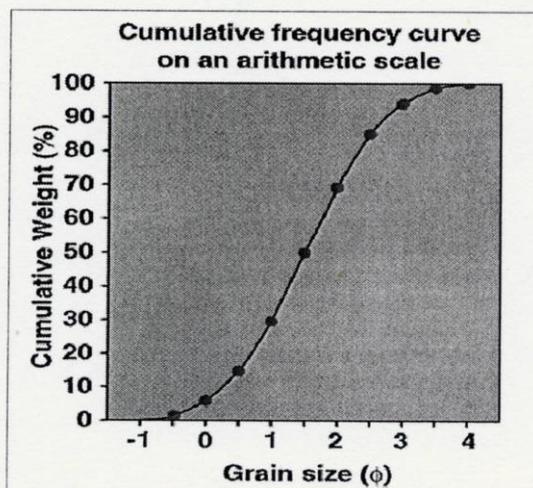
- Individuazione delle mode: classi di maggior frequenza
-

Svantaggi:

- Con poche classi meglio l'istogramma
- Le classi granulometriche devono avere ugual ampiezza
-

Le **curve cumulative** si costruiscono sommando ad ogni classe quelle precedente.

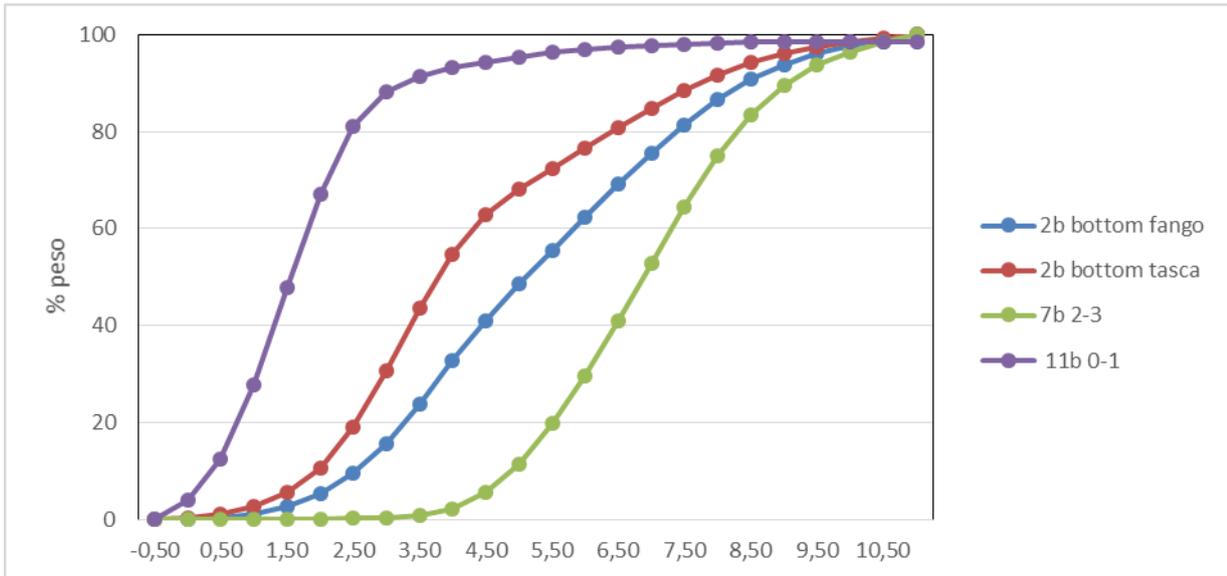
E' la curva che congiunge i valori di frequenza cumulati, a partire dalle classi più grosse



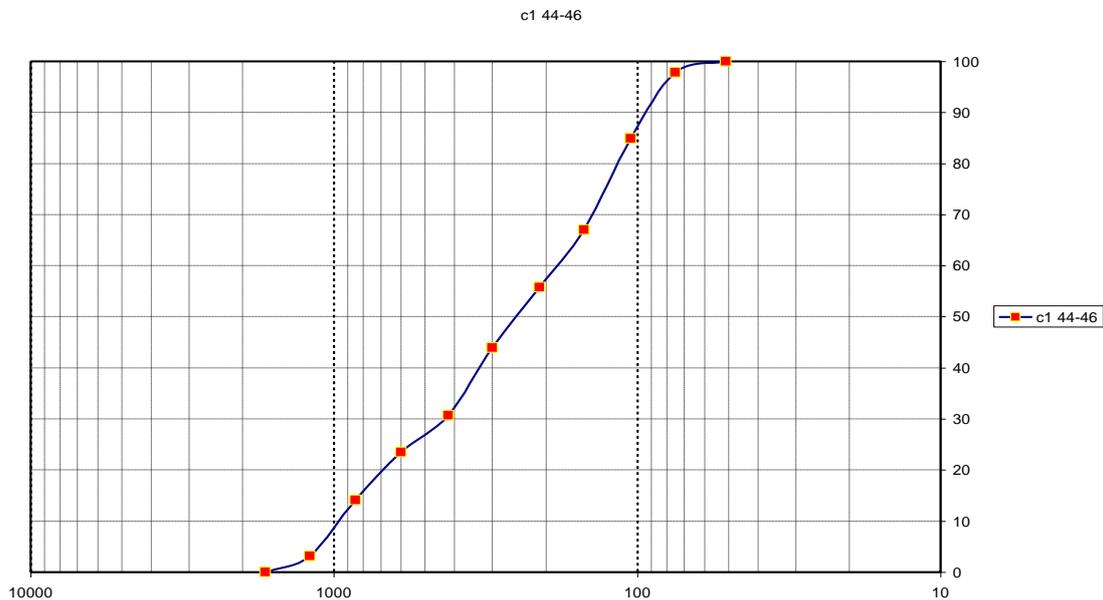
La rappresentazione cumulativa può essere fatta con due diversi tipi di scala delle ordinate:

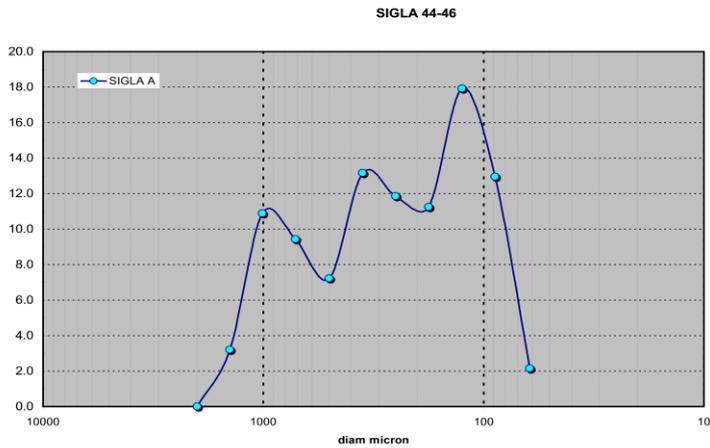
1) Scala aritmetica

Con questa rappresentazione una distribuzione normale (gaussiana) è rappresentata da un sigmoide, di difficile lettura soprattutto lungo le code della distribuzione.

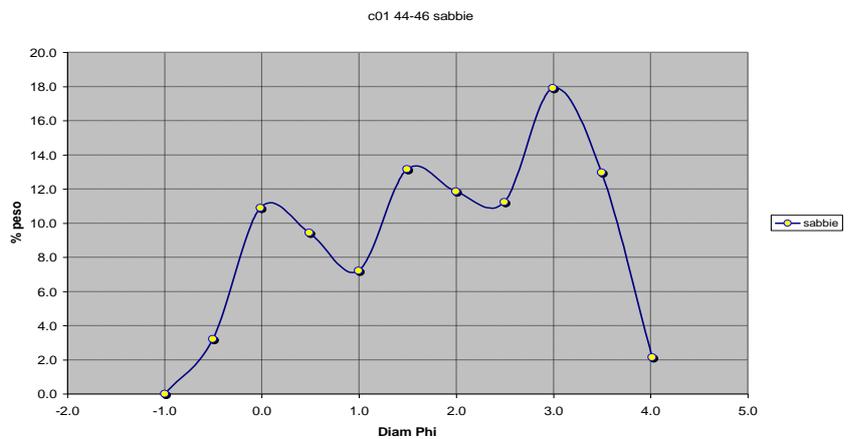


Può essere utile adottare non una scala lineare, ma logaritmica. Questo tipo di scala è utilizzata soprattutto quando si rappresentano sedimenti con un ampio range dimensionale, ad esempio dalle ghiaie alle argille, ma può essere utile anche dalle sabbie alle argille (c'è molta differenza tra le dimensioni più grandi (2-1 mm,) delle sabbie e quelle più piccole (1-2 μm)). In genere è l'ascissa ad essere logaritmica (è sull'ascissa che si riporta la dimensione).





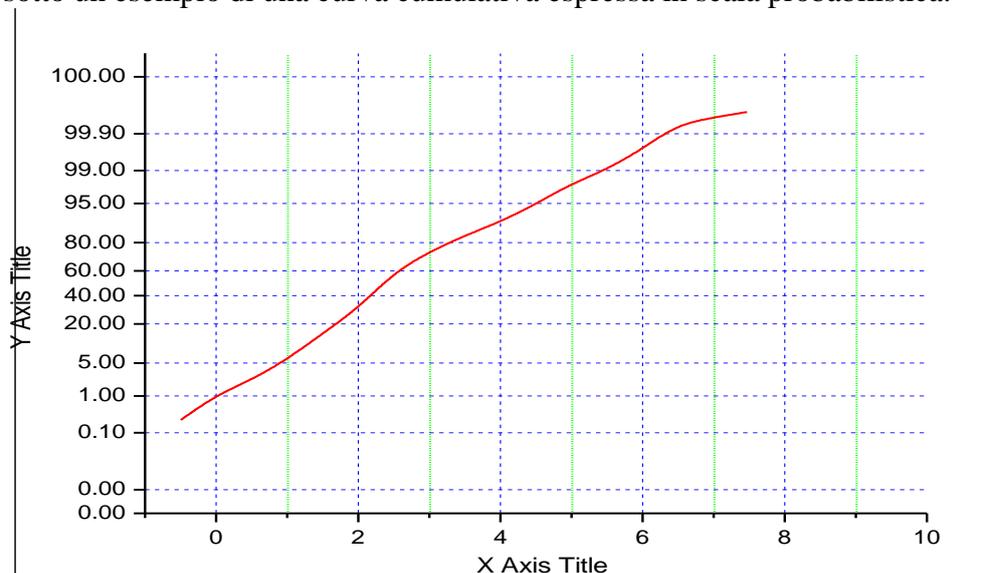
Diametro Lineare (mm o micron); Asse X logaritmico



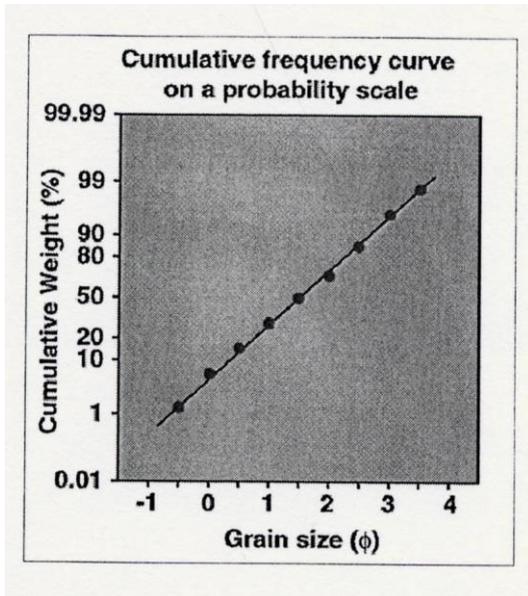
Diametro logaritmico; asse lineare

Diagrammi probabilistici (**scala probabilistica**): in questi diagrammi viene utilizzata, in ascissa, una scala lineare o logaritmica (generalmente diametro in phi), mentre l'ordinata, su cui si riportano le percentuali cumulate, non è più divisa linearmente da 0 a 100, ma secondo una funzione particolare in modo da farla "dilatare" alle estremità e comprimere al centro.. Vengono utilizzati con curve cumulative e permette di dilatare

Qui sotto un esempio di una curva cumulativa espressa in scala probabilistica.



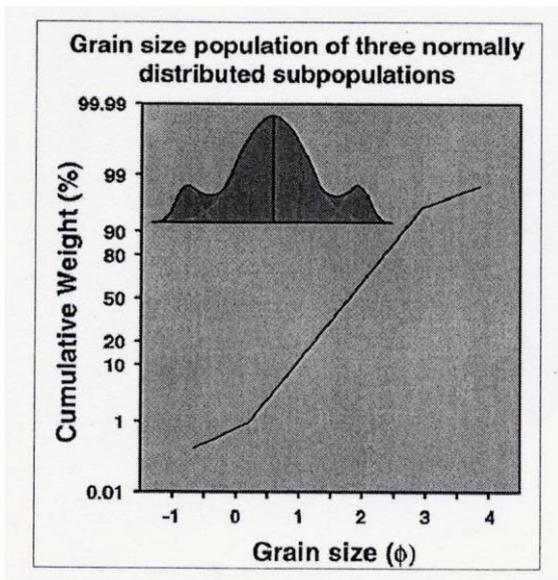
Con questo tipo di rappresentazione, una distribuzione normale (gaussiana, cioè unimodale) è rappresentata da una retta, cosa che favorisce la lettura dei dati su tutta la distribuzione. Nella figura sottostante un esempio.



In ordinata le percentuali sono in scala logaritmica simmetricamente rispetto al 50% (cioè la graduazione si restringe da entrambi i lati verso il 50%). In questo modo si leggono agevolmente i valori estremi (verso 0% e verso 100%)

Questa retta rappresenta una curva log-normale in quanto l'asse x è espresso in phi (scala granulometrica logaritmica)

Il significato di questa curva è che ho analizzato un sedimento unimodale, simmetrico, indipendentemente dall'essere ben o mal classato, che corrisponde quindi ad un livello energetico costante.



In pratica la maggior parte dei sedimenti selezionati dagli agenti di trasporto (sia acqua che terra) presenta una distribuzione log-normale o più complessa ma riconducibile a più subpopolazioni log-normali.

Nella figura a lato la curva granulometrica di un campione costituito da subpopolazioni a distribuzione log-normale (ogni spezzata rappresenta una subpopolazione)

Vantaggi:

- Migliore lettura delle code (delle estremità fine e grossolana).
- Miglior lettura dei percentili.
- Se la curva è perfettamente log normale diventa una retta.

Le "code" sono importanti per interpretare le dissimmetrie. Infatti proprio le code sono più sensibili nel risentire delle fluttuazioni del livello energetico. Lievi variazioni della capacità di trasporto o della competenza della corrente non influiscono sulla totalità dei granuli espressa dalla parte centrale del diagramma, ma sugli esterni sì! Per esempio basta una minima diminuzione della

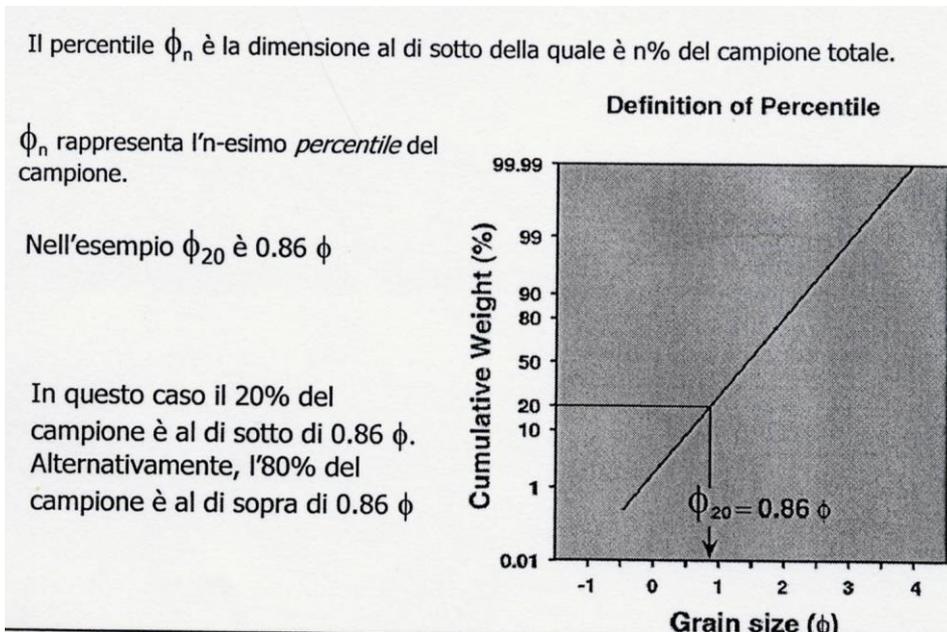
capacità di trasporto per provocare la perdita delle frazioni grossolane!. In questi tipi di grafici si amplificano quelle piccole variazioni percentuali corrispondenti alle frazioni più fini o più grossolane del sedimento.... Dalla pendenza della retta si può ricavare la classazione di un sedimento. Una retta più ripida corrisponde ad un sedimento più classato (range dimensionale più ristretto). Se il sedimento è bimodale (o plurimodale) si ottiene una spezzata

Le tipologie di grafici che si usano di più sono la curva di frequenza e la cumulativa.

Concetto del PERCENTILE:

considerando la curva cumulativa, a qualsiasi valore intero in ordinata, cioè a qualsiasi unità percentuale, la curva fa corrispondere in ascissa la relativa dimensione detta percentile.

Il primo percentile (unpercentile) è il diametro a cui è superiore ed il 99% inferiore. Il 16° percentile è il diametro del granulo in corrispondenza del quale il 16% del sedimento è superiore e l'84% è inferiore.. ecc....



Dalle tabelle e/o curve si calcolano pochi **parametri** statistici che sintetizzano le caratteristiche principali della curva.

Scegliendo e manipolando matematicamente alcuni percentili posso ricavare parametri ed indici che esprimono, in modo più o meno corretto dal punto di vista statistico, i caratteri fondamentali di ogni distribuzione!!!

PARAMETRI STATISTICI

Poiché le distribuzioni granulometriche possono essere assimilate a curve gaussiane, la descrizione dello spettro dimensionale segue le regole dei parametri statistici classici che sono

Media

Deviazione standard

Skewness

Kurtosis

A questi “classici” si possono aggiungere altri parametri statistici. Ogni sedimento, in pratica, viene caratterizzato da una serie di parametri statistici, detti granulometrici, che possono essere dedotti graficamente o mediante metodi analitici.

I parametri statistici più significativi utilizzati sono:

MODA: diametro più frequente (si deduce dalla curva di frequenza)

MEDIANA (Md): diametro corrispondente al 50% della curva cumulativa

DIAMETRO MEDIO o MEDIA (Mz o M) (indicato nella figura sottostante come “valor medio”)

Questi primi tre parametri indicano la “**tendenza centrale**” che è un valore che è rappresentativo di un insieme di dati

CLASSAZIONE o SORTING (σ) indica il grado di omogeneità o eterogeneità nella dimensione dei clasti entro un sedimento

SKEWNESS o ASIMMETRIA (Sk): la prevalenza di componenti fini o grossolani rispetto alla moda

KURTOSIS o APPUNTIMENTO (K): grado di cernita attorno alla moda principale

Primo percentile (C): il diametro del granulo più grossolano presente nel sedimento, strettamente legato alla velocità massima della corrente (vedi diagramma di Sunborg)

ANALITICAMENTE

I parametri granulometrici possono essere calcolati a partire dai dati analitici mediante il calcolo dei **momenti, rigoroso calcolo analitico**. I vari parametri ottenibili attraverso le formule, pur essendo validi descrittori delle caratteristiche delle distribuzioni di frequenza, sono scarsamente utilizzati per due motivi principali:

- 1- Sono calcolabili solo su distribuzioni chiuse, di cui si conoscono i limiti superiore e inferiore. Ad esempio non è possibile calcolare i vari momenti quando la classe inferiore viene genericamente definita come $<9\phi$. Invece per poter calcolare i parametri mediante formule per es di Folk & Ward, è sufficiente che un'eventuale classe con limite inferiore non definito non abbia frequenza maggiore del 5%.
- 2- I calcoli da eseguire sono lunghi (problema questo superato dalla possibilità di utilizzare i computer!!)

GRAFICAMENTE: visivamente o basandosi sui percentili. In pratica:

da *istogramma e curva di frequenza*, visivamente, posso dedurre:

classe modale (classe di massima frequenza)

dispersione (classazione)

asimmetria rispetto alla moda (skewness)

appuntamento (kurtosis)

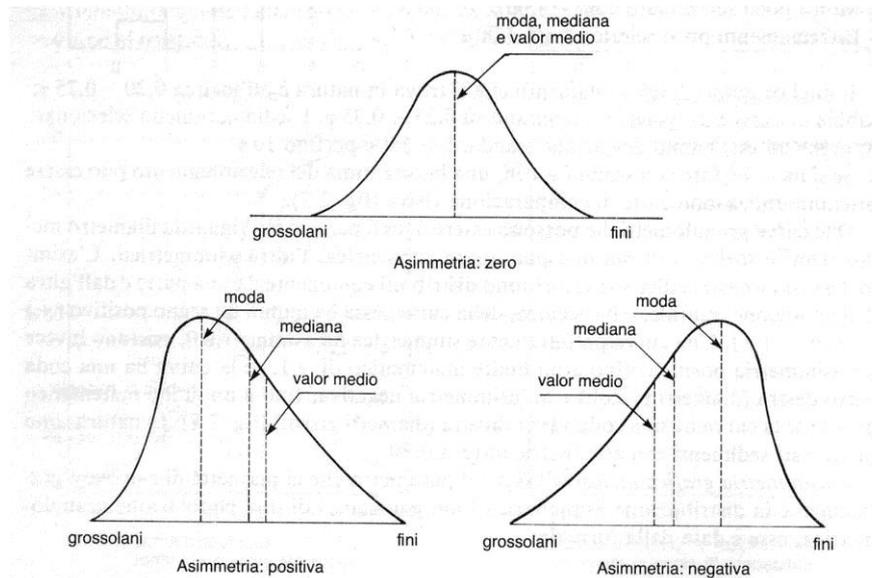


Fig. 2.8 - Curve granulometriche asimmetriche e la posizione dei vari parametri della grana media rispetto a quelli della curva gaussiana avente asimmetria nulla.

dalla *curva cumulativa*, graficamente, utilizzando i percentili ed elaborandoli secondo formule definite, si possono ricavare dei dati quantitativi su:

classe modale (sta nella parte più ripida)

mediana

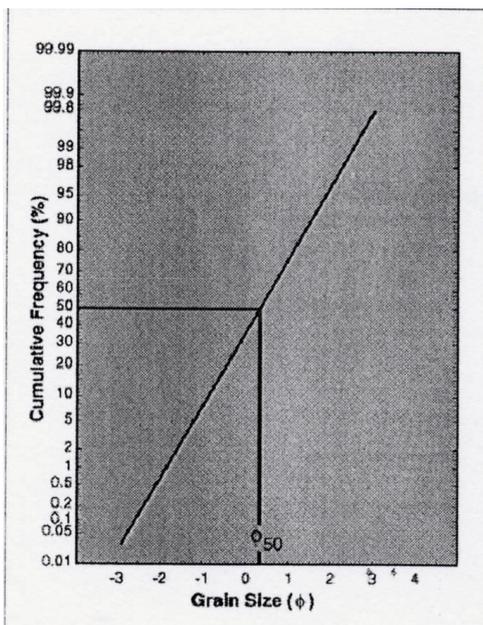
diametro medio

classazione (più pendente è la curva, più classato è il sedimento)

asimmetria

appuntimento

I percentili più significativi sono 1°, 5°, 16°, 25°, 50°, 75°, 84°, 95°. Il 25° ed il 75° sono anche detti rispettivamente primo e terzo quartile poiché, insieme al 50° suddividono in 4 parti la distribuzione e l'area della cumulativa.



La **Mediana (Md)**: corrisponde al 50° percentile. La mediana corrisponde quindi al diametro per il quale metà del sedimento è più grossolano e l'altra metà è più fine. E' un centro geometrico. Si calcola graficamente tracciando il valore dimensionale a partire dal 50-esimo percentile come indicato in figura.

Per gli altri parametri, le formule più utilizzate sono quelle di Folk & Ward (1957), ma ce ne sono altre (per es McCammon 1962; Inman, 1949; Trask 1932). In questo corso sono riportati solo le formule proposte da Folk & Ward, 1957 (Folk R.L. and Ward W.M “Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters” Journ.Sed. Petrology, vol. 27, 1957).

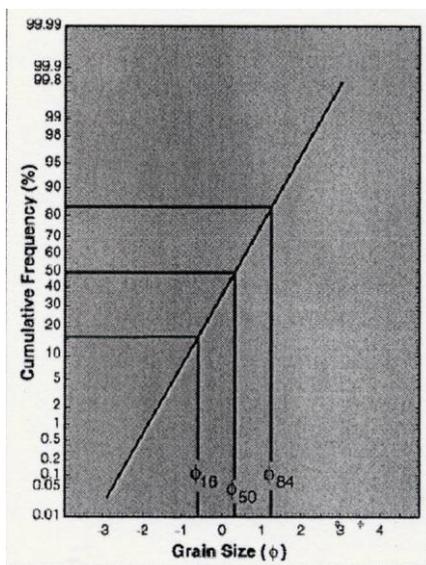
Nel dettaglio:

Il **Diametro Medio (Mz)** è il centro di gravità ed è influenzata quindi dai granuli che pesano di più. In pratica è la media aritmetica, indicata con classi in unità phi. Se la distribuzione è simmetrica, moda, mediana e diametro medio coincidono

La formula proposta da Folk & Ward è:

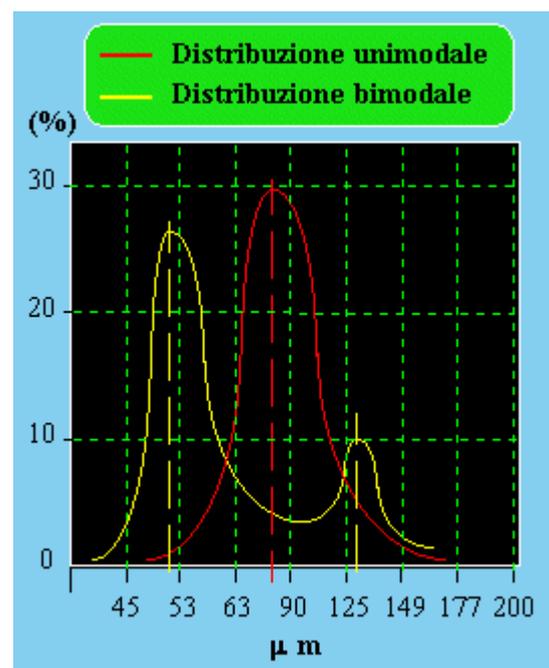
$$\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

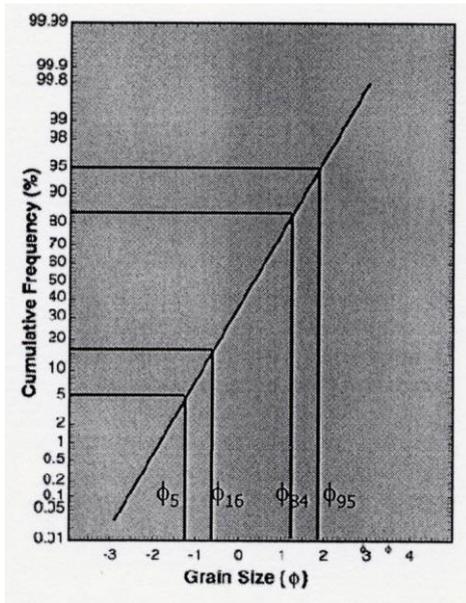
Come detto prima, queste formule vengono utilizzate nei grafici in phi. Una volta noto Mz, si usa la terminologia basata sulla scala per es di Udden-Wentworth.



PS: il diametro medio può essere indicato anche come “Media” (M).

Moda: valore del punto medio della classe granulometrica più abbondante. I sedimenti possono essere uni o bi o polimodali



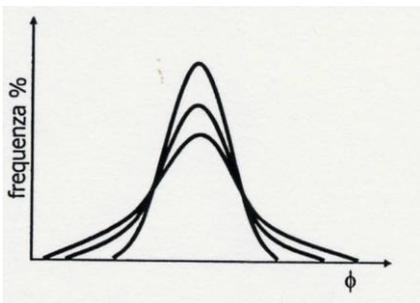


Classazione (*sorting o deviazione standard o coefficiente di dispersione del sedimento*) (σ).

Rappresenta la misura della variabilità dimensionale entro il campione.

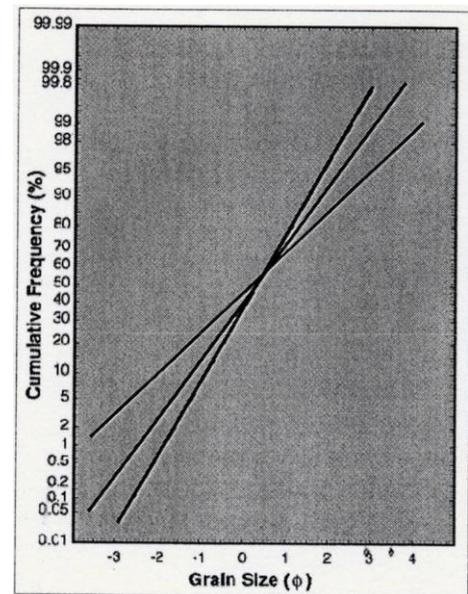
Folk & Ward (sempre in phi) propongono di calcolare la dispersione della curva entro un intervallo maggiore rispetto a come si calcola in statistica, considerando anche le code (vedi figura a lato)

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$



L'aumento del sorting è dato da un incremento del numero di classi dimensionali che, a parità di M_z , tende ad appiattire la curva di frequenza. Questo, nella curva cumulativa, si evidenzia con una

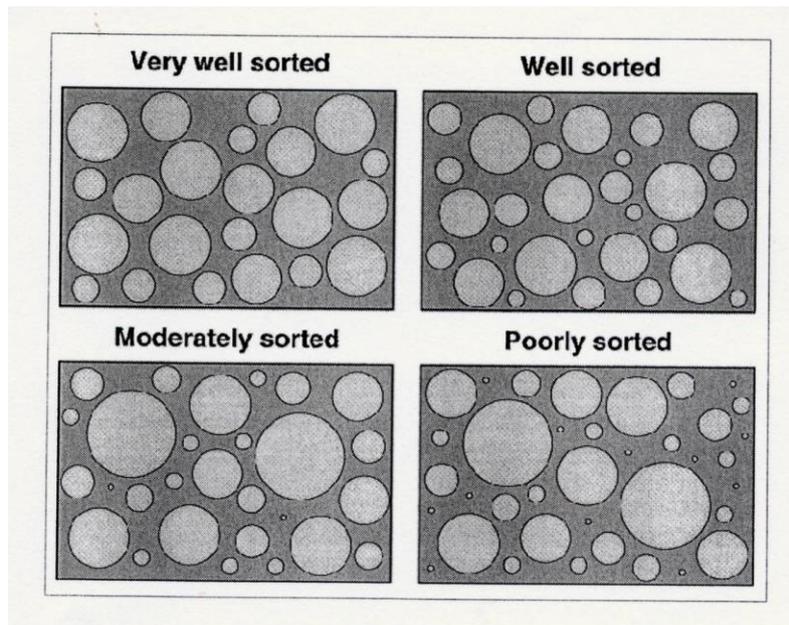
diminuzione della pendenza della retta. Se un sedimento è composto da una sola classe dimensionale, la curva è perfettamente verticale.



A seconda dei valori di sorting, il sedimento può essere definito:

Molto ben classato	$0 < \sigma < 0.35\phi$
Ben classato	$0.35 < \sigma < 0.50\phi$
Moderatamente classato	$0.50 < \sigma < 1.00\phi$
Mal classato	$1.00 < \sigma < 2.00\phi$
Molto mal classato	$2.00 < \sigma < 4.00\phi$
Estremamente mal classato	$\sigma > 4.00\phi$

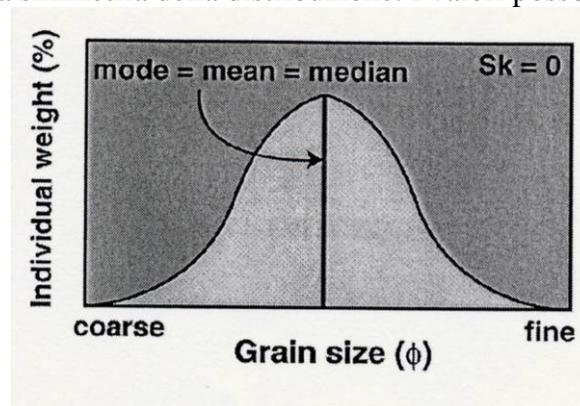
Per i sedimenti coerenti si usano le tavole di comparazione:



La classazione è un parametro molto utilizzato in quanto può dare indicazioni sulla capacità dell'agente deposizionale nel separare granuli di diverse classi granulometriche.

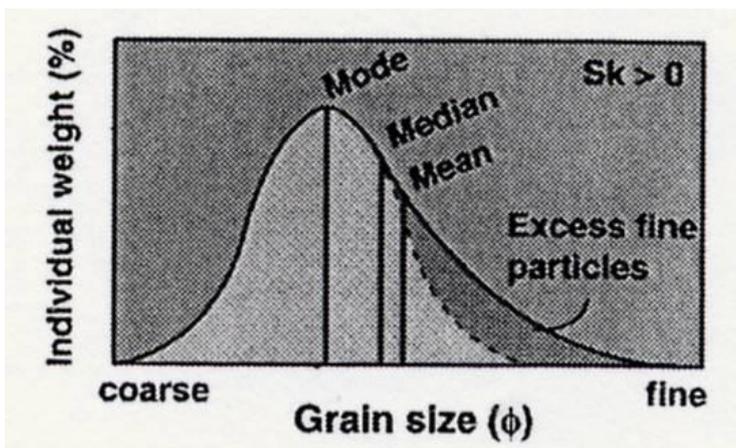
Skewness (o asimmetria) Sk

Rappresenta la misura della simmetria della distribuzione. I valori possono variare da -1.0 a +1.0



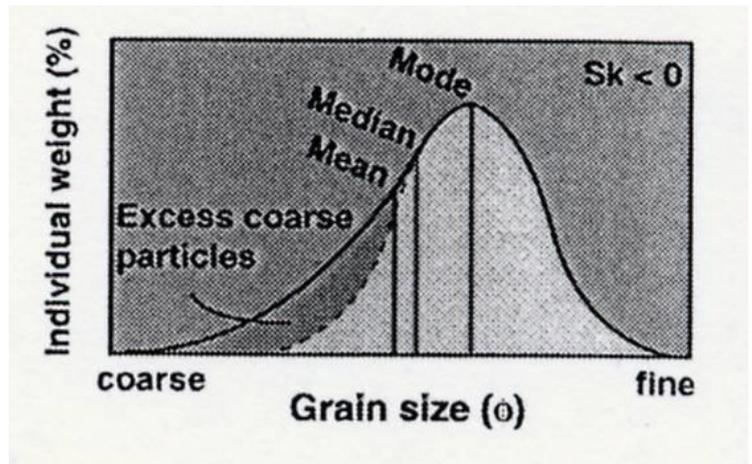
La formula proposta da Folk & Ward è:

$$Sk = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$



Con asimmetria positiva ($Sk > 0$), la distribuzione presenta un eccesso di componenti fini rispetto ad una curva simmetrica (si parlerà di *coda fine*). Con una coda fine Mz è più fine della Md (valore di Md e Mz positivi)

Con asimmetria negativa ($Sk < 0$), la distribuzione ha un eccesso di grani grossolani rispetto una curva simmetrica (*coda grossolana*). Con una coda grossolana Mz è più grosso della Md (valore di Md e Mz negativi)



Sulla base dei valori di Sk , il sedimento può essere definito

$-1.00 < Sk < -0.30$	asimmetrico molto negativo
$-0.30 < Sk < -0.10$	asimmetrico negativo
$-0.10 < Sk < 0.10$	simmetrico
$0.10 < Sk < 0.30$	asimmetrico positivo
$0.30 < Sk < 1.00$	asimmetrico molto positivo

Kurtosis (Appuntamento) (K)

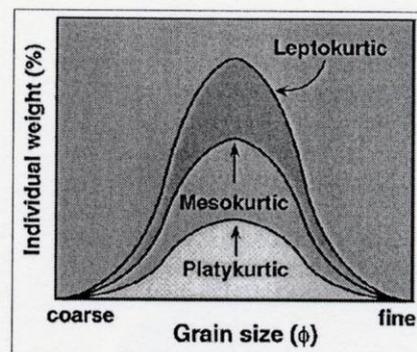
Rappresenta la misura dell'acutezza della distribuzione in rapporto al sorting

$$K = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

La formula di Folk & Ward è:

Sulla base dei valori di K , il sedimento può essere definito:

$K < 0.67$	molto platicurtico
$0.67 < K < 0.90$	platicurtico
$0.90 < K < 1.11$	mesocurtico
$1.11 < K < 1.50$	leptocurtico
$1.50 < K < 3.00$	molto leptocurtico
$K > 3.00$	estremamente leptocurtico

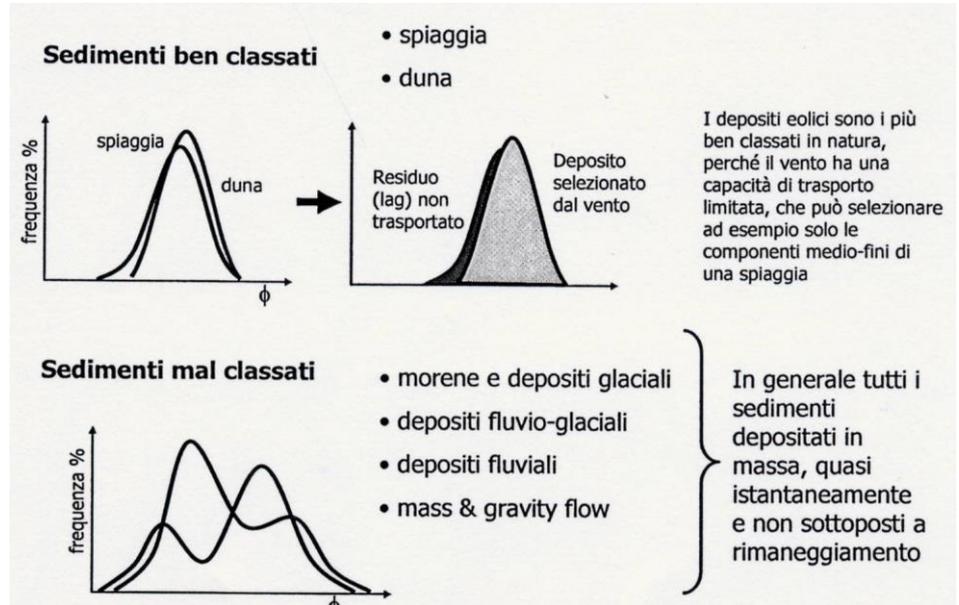


Questo parametro ha uno scarso significato geologico.

Di seguito un esempio che riporta i risultati di analisi granulometriche effettuate su sedimento di carota col Malvern, tabellati in un foglio excel.

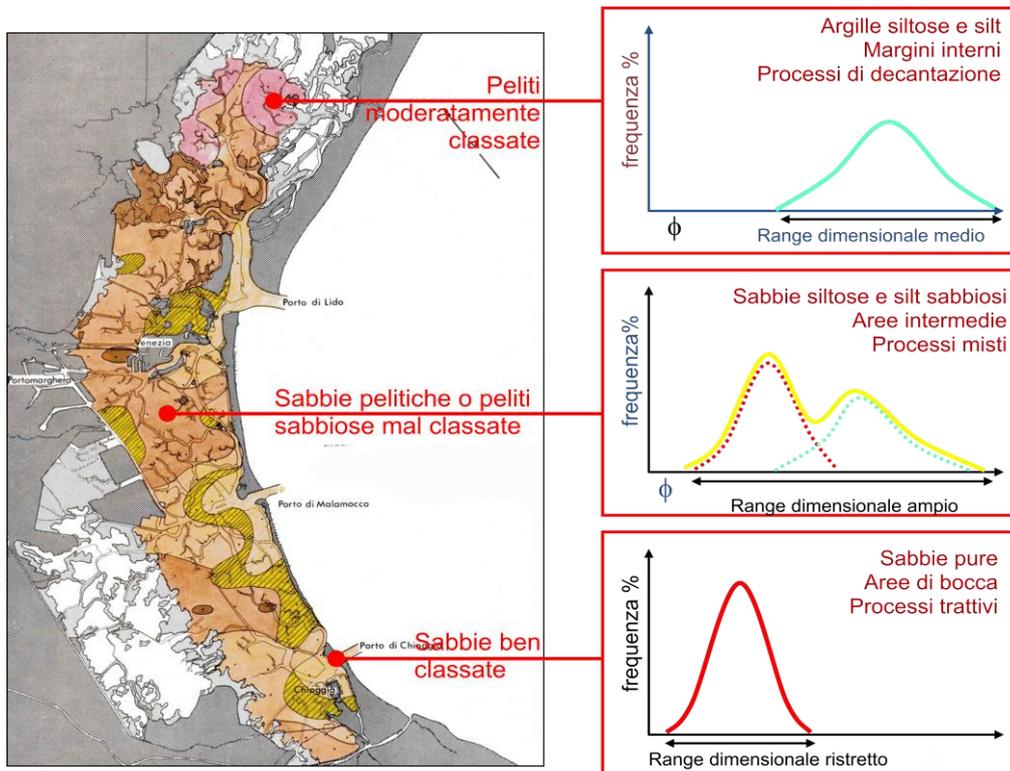
Sorting indica la capacità selettiva del mezzo di trasporto. Un sedimento ben classato è sottoposto ad una selezione costante. Ad esempio il moto ondoso su una spiaggia: sulla battigia il fine viene dilavato e allontanato verso il largo. Rimane il grossolano che è ben classato, eventualmente arricchito di materiale ancora più grossolano non trasportabile, che può portare ad una asimmetria negativa nella distribuzione granulometrica.

Nella figura a lato esempi di variabilità del sorting



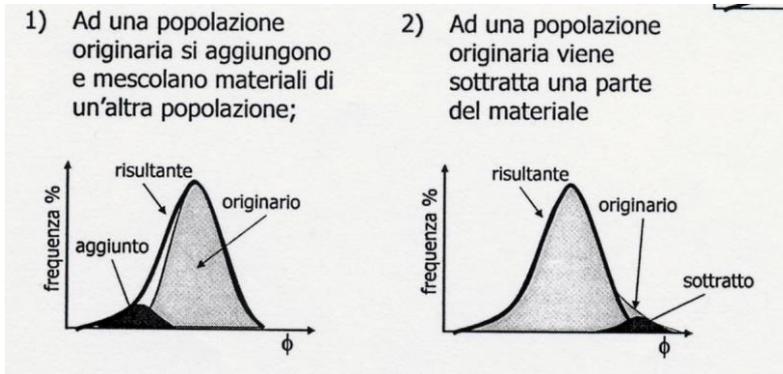
Quindi sedimenti mal classati = no agente selezionatore; sedimenti ben classati= agente che seleziona

Nell'immagine sottostante le principali caratteristiche dei sedimenti nella Laguna di Venezia



Lo Skewness o coefficiente di asimmetria indica l'omogeneità di una certa popolazione di granuli: una curva simmetrica è generalmente unimodale o log-normale. Un'asimmetria molto elevata indica spesso una bi o pluri-modalità.

Per quanto riguarda l'asimmetria, due sono i processi che si possono distinguere:

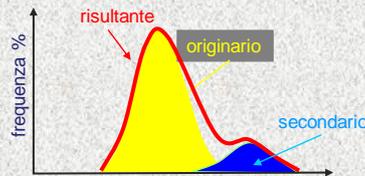


nel caso di una asimmetria verso le frazioni grosse: impulsi di corrente

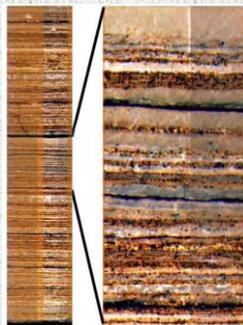
nel caso di asimmetria verso le frazioni fini: caduta di corrente.

Asimmetria per aggiunta di sedimento

- Ad una popolazione originaria si aggiungono e mescolano materiali di un'altra popolazione.



Una corrente fluviale deposita dapprima la sabbia, poi – al diminuire della velocità – il materiale fangoso (silt e argilla).

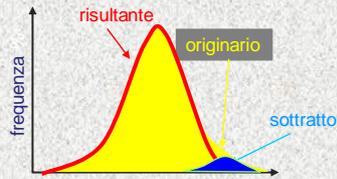


Un esempio alternativo è dato da una successione di piana di marea, in cui il materiale sabbioso rappresenta il sedimento deposto durante la massima fase montante o calante (cui corrisponde la massima velocità) ed il fango costituisce il drappoggio di sedimento che si depone durante le fasi di stanca.

Data l'esiguità degli spessori, un campionamento a media scala non riesce a segregare le diverse fasi deposizionali, dando luogo ad una curva dimensionale composta, asimmetrica positiva.

Asimmetria per asportazione di sedimento

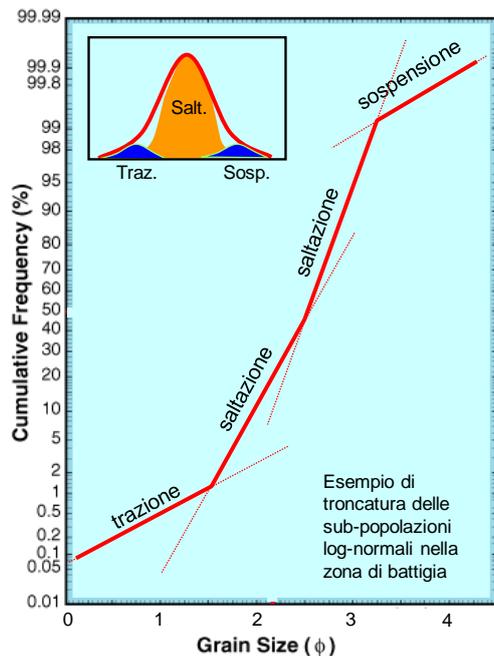
- 2) Ad una popolazione originaria viene sottratta una parte del materiale



E' abbastanza comune che ad un sedimento con una certa caratteristica originaria possa essere sottratta la componente più fine, semplicemente per incremento di velocità di corrente. La risultante è un sedimento che presenta un'asimmetria negativa

L'esempio tipico sono i depositi grossolano-sabbiosi degli ambienti desertici di rimozione (in cui prevale la deflazione) noti con il termine di "desert pavement" e distinguibili in *hammada* (deserti pietrosi) e *serir* (deserti ciottoloso-sabbiosi)

Sono il prodotto della "pulizia" operata dal vento su antichi depositi di piana alluvionale, che lascia alle spalle la sabbia ed il materiale più grossolano, non trasportabile (deposito residuale di *lag*).



Secondo **Visher** (1969) da un'analisi granulometrica possono essere evidenziati i diversi **processi di trasporto e deposizione** che hanno interessato un sedimento. Resta tuttavia difficile definire l'ambiente, poiché le modalità di trasporto di ambienti diversi possono essere le stesse

L'esempio più classico riguarda le sabbie di spiaggia, che sono in genere costituite da più spezzate in cumulativa, riconducibili a modalità di trasporto diverse.

MORFOLOGIA DEI GRANULI

La morfologia dei granuli riguarda tre aspetti fondamentali:

- FORMA
- SFERICITA'
- ARROTONDAMENTO

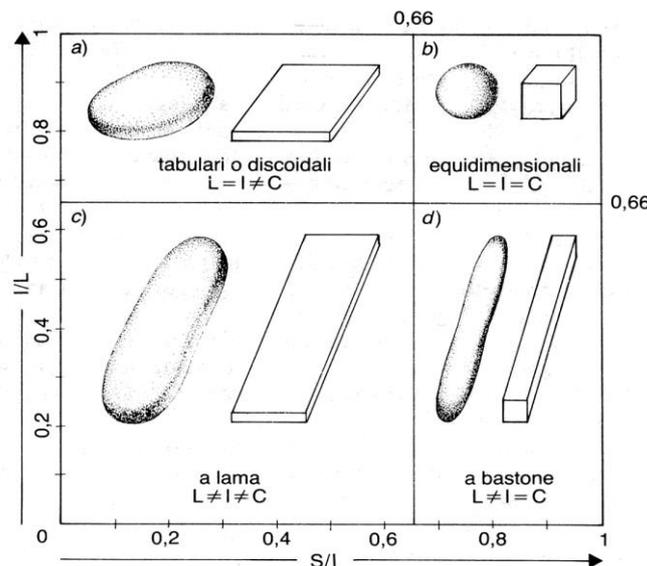
FORMA

Le particelle vengono confrontate con delle forme di riferimento (o forme base) ottenute dalla relazione fra le 3 dimensioni di un oggetto (clasto):

L = asse lungo; I = asse intermedio; C = asse corto

In natura si è visto che le particelle tendono a raggrupparsi in 4 forme principali riassunte nel diagramma di Zingg (1935)

Fig. 2.10 - Le quattro principali classi della forma dei ciottoli, basate sui rapporti dei tre assi: lungo (L), intermedio (I) e corto (C).
(Da Zingg, 1935.)



Su ciottoli di stessa natura e stesse dimensioni

Questa è una scala piuttosto rigida. Per avere uno spettro più ampio di campi o classi, Folk ha proposto un diagramma triangolare suddiviso in 10 campi

In questo diagramma, per ogni granulo si riporta, dalla base verso il vertice opposto il valore $(a-b)/(a-c)$, e dai lati, parallelamente alla base, il valore c/a

S	forma	sferica o compatta
SD	"	sferico-discoidale
SL	"	sferico-lamellare
SA	"	sferico-allungata
D	"	discoidale o appiattita
L	"	lamellare
A	"	allungata
DD	"	molto appiattita
LL	"	molto lamellare
AA	"	molto allungata

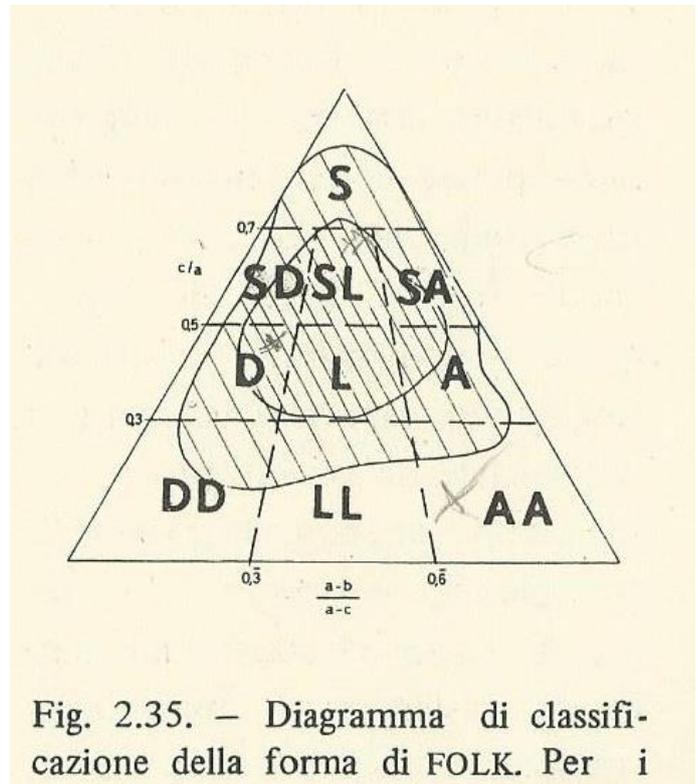


Fig. 2.35. — Diagramma di classificazione della forma di FOLK. Per i

In linea di massima nelle ghiaie fluviali dominano ciottoli sferici e lamellari, in quelli di spiaggia ciottoli discoidali

Può essere utile misurare un **indice di appiattimento** (per es utilizzando la formula proposta da Cailleux : $(a+b)/2c$)

Statisticamente si è riscontrato che questo indice risulta >2.1 nelle spiagge (forme più piatte) e <2.1 (forme più sferiche) nei fiumi e nei torrenti. Questo perché sulle spiagge le onde non riescono, in fase di risacca, a portarsi via le forme più piatte in quanto queste ultime oppongono un più forte attrito. I frammenti sferici invece tendono a disperdersi nella parte sommersa della spiaggia. L'arricchimento di ciottoli piatti sulla spiaggia non è dunque dovuto ad usura, ma ad azione selettiva da parte delle onde. In conclusione, il mare non produce ciottoli piatti, ma le forme piatte sono più stabili sulla spiaggia.

Quindi c'è una selezione meccanica anche in base alle forme oltre che in base alla granulometria.

SFERICITA'

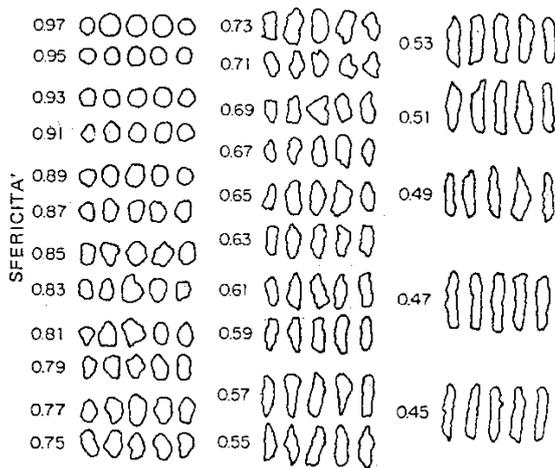
Indica quanto un clasto si avvicina alla forma sferica (è il grado di uguaglianza delle tre dimensioni dei clasti).

Per il calcolo della sfericità si usano formule (volume del granulo / volume della sfera circoscritta). Per es Folk, 1974, abbinando al diagramma triangolare, propone il seguente indice di sfericità:

$$\sqrt[3]{\frac{c^2}{ab}}$$

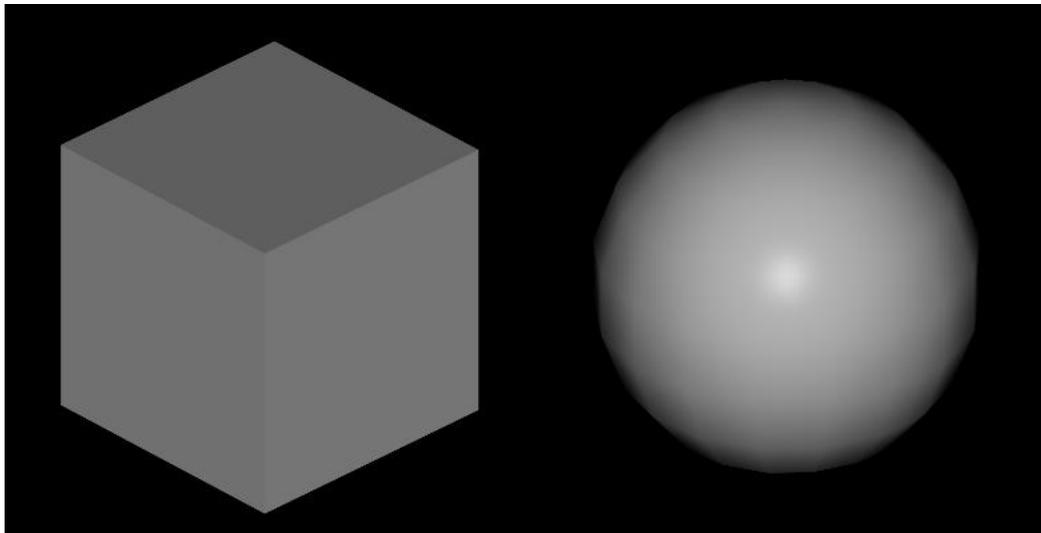
dove ab è il diametro massimo. Quanto maggiore è ab , tanto più piatto è il granulo (il che vuol dire che tanto più lentamente il granulo cade nel fluido... viceversa, tanto più sferico è il granulo tanto più velocemente cade nel fluido)

Il calcolo va fatto su almeno 50-100 granuli.



Per osservare molti granuli in poco tempo si fa un confronto visivo con delle sagome predisposte

Fig. 2.39. — Sagome per la stima visiva della sfericità (da RITTENHOUSE 1943, in GRIFFITHS, 1967).



Nella figura soprastante, due forme di uguale sfericità ($a = b = c$), ma MOLTO diverse. È necessario perciò un ulteriore parametro che indichi lo “smussamento” degli spigoli, cioè l’arrotondamento

ARROTONDAMENTO

Indica il grado di angolosità del contorno dei clasti. E’ indipendente da forma e sfericità. L’arrotondamento dipende dalla litologia del granulo, dalle sue dimensioni (a parità di litologia, maggiore è la dimensione del granulo, maggiore è il suo potenziale di arrotondamento) e dal tipo e durata dei processi di trasporto. E’ forse il parametro più utilizzato, rispetto a forma e sfericità.

Si utilizzano anche in questo caso formule (per es Folk, 1974), ma spesso è sufficiente il confronto con le tavole di comparazione riportate qui sotto. La prima per i ciottoli, la seconda per le sabbie.

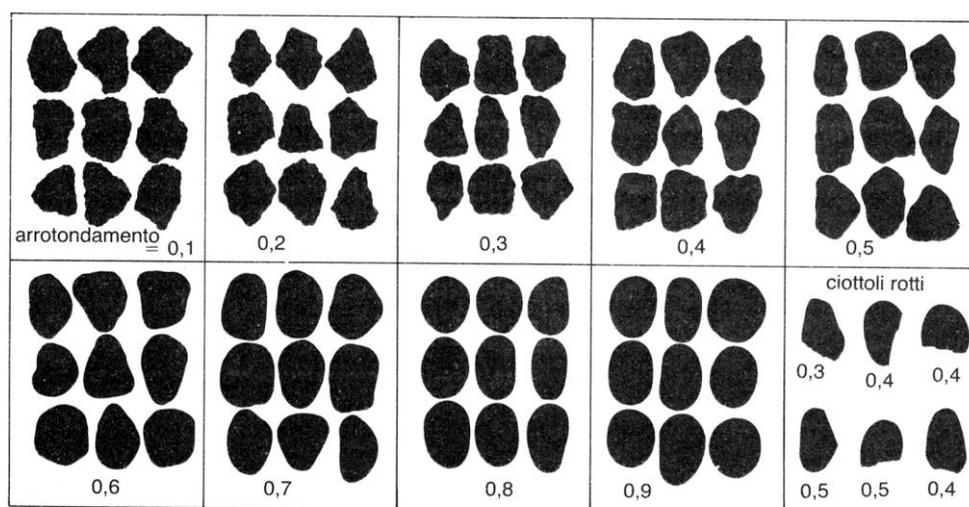


Fig. 2.12 - Carta di comparazione visiva per la stima dell’arrotondamento dei ciottoli. (Da Pettijohn, 1975.)

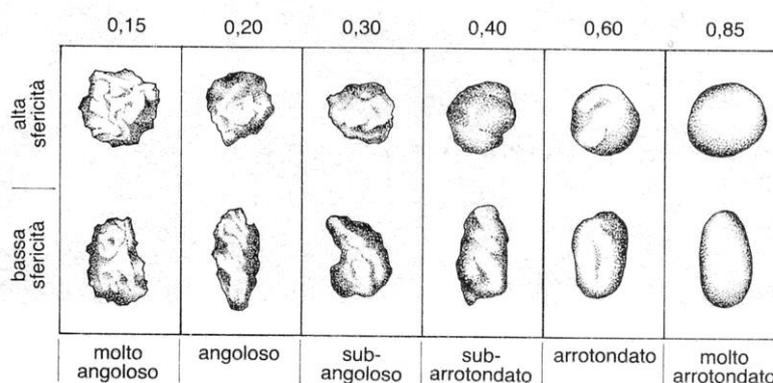


Fig. 2.13 - Carta di comparazione visiva per la stima dell’arrotondamento dei granuli di sabbia. Per ogni categoria, è mostrato un granulo di bassa e alta sfericità. (Da Powers, 1953, ridisegnato.)

Anche in questo caso il calcolo va fatto su almeno 50-100 granuli, che per la sabbia sono granuli di quarzo (i meno alterabili meccanicamente ed i più stabili chimicamente).

Come detto, l'arrotondamento è più significativo della sfericità.

In generale la morfologia di un granulo dipende da molti fattori: natura della roccia madre ed il suo grado di alterazione, il grado di abrasione subito durante il trasporto, il grado di dissoluzione durante la diagenesi.

In teoria l'arrotondamento indica maturità, ma attenzione che, per es, l'acqua dei fiumi arrotonda più di quella del mare. Una sabbia ben arrotondata potrebbe indicare più cicli sedimentari o un trasporto molto lungo. I ciottoli sono più sensibili al trasporto anche su brevi distanze.

Sulla superficie dei granuli si possono osservare delle strutture che ci aiutano a risalire al meccanismo di trasporto ed all'ambiente di formazione. L'osservazione di queste superfici (**MORFOSCOPIA**) si fa visivamente sui ciottoli oppure attraverso il microscopio elettronico (SEM), sui grani di sabbia (quarzo).

Ciottoli: in genere con superficie opaca, a volte possono presentare una superficie smerigliata dovuta ad azione meccanica (ambiente desertico freddo o ghiacciato) o ad azione chimica (produzione di una patina colloidale di silice, ossidi di Fe e o Mn -vernice del deserto; ambiente desertico intertropicale), oppure possono essere striati (ghiaccio). Attenzione a non confondere le striature dovute a ghiaccio con quelle dovute ad attrito tettonico (quando due masse rocciose si spostano l'una rispetto all'altra).

Sabbia: vengono considerati i grani di quarzo monocristallino.

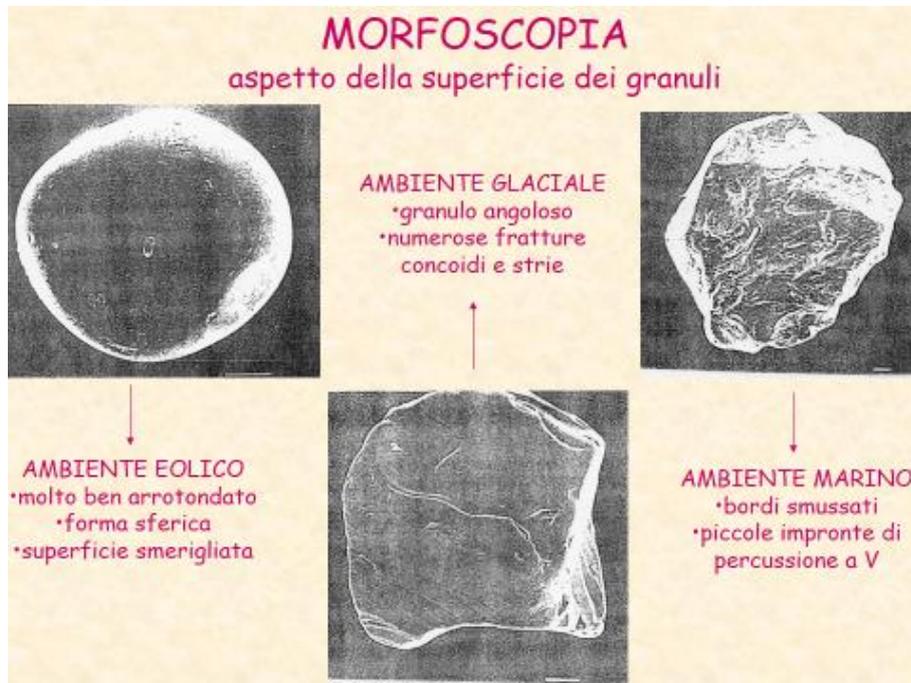
Granuli glaciali: spigoli a coltello, fratture concoidi, linee e gradini arcuati sottolineano le linee di frattura create dalla triturazione glaciale

Granuli fluviali; spigoli vivi, superfici di frattura scheggieose o a blocchi (cioè in prevalenza piane e non curve), impronte di percussione a V o arcuate

Granuli litorali: se l'azione del moto ondoso è debole e non prolungata, i granuli portati dai fiumi non vengono usurati (per es. spiagge adriatiche). Se invece (per es spiagge tirreniche) l'azione meccanica è maggiore, aumenta lo smussamento e sugli spigoli ci sono le tacche di percussione (a V), mentre le facce restano lisce.

Granuli desertici: superficie scabra o “picchiettata”, spesso ricoperta da una patina di ossidi di ferro che danno una tipica colorazione rosso-arancio alla sabbia. L’arrotondamento è particolarmente elevato.

Nella figura sottostante alcuni esempi.



FABRIC

Disposizione spaziale degli elementi che compongono una roccia e quindi orientamento e impacchettamento (*packing*) dei granuli (natura dei contatti fra i granuli).

L’orientamento dei granuli può essere osservato sia sul terreno (soprattutto per brecce e conglomerati) che al microscopio. Se i granuli (la maggior parte dei granuli) sono isorientati, cioè allineati col loro asse maggiore nella stessa direzione, a meno che la roccia non sia stata deformata tettonicamente o dal processo metamorfico, il fabric è primario e rappresenta l’interazione tra l’agente deposizionale (acqua, vento, ghiaccio) ed il sedimento. Un fabric comune dei ciottoli discoidali è l’embriciatura (i ciottoli si sovrappongono uno sull’altro con inclinazione opposta al flusso della corrente).

Fig. 2.15 - Orientazione spaziale (in sezione) di elementi discoidali depositati sotto il controllo della sola gravità (a) e della gravità più una corrente unidirezionale (b). In questo secondo caso i ciottoli risultano embriciati (si veda anche fig. 2.17). (Ridisegnato da Potter e Pettijohn, 1963.)

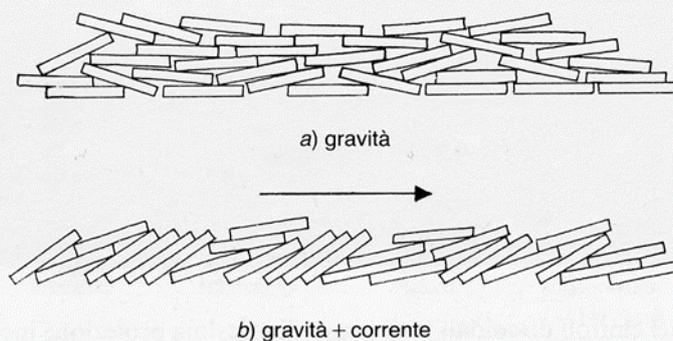
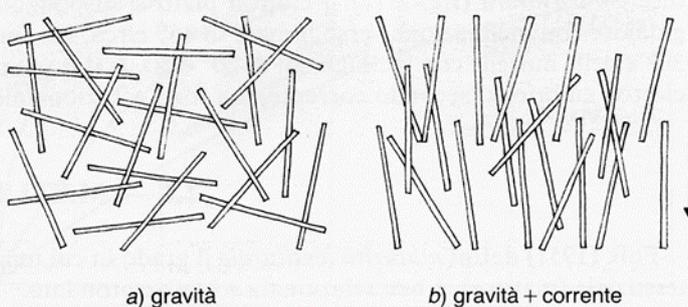


Fig. 2.16 - Orientazione areale di elementi allungati depositati sotto il controllo della gravità (a) e della gravità più corrente (b). (Ridisegnato da Potter e Pettijohn, 1963.)



In generale i grani (ciottoli o sabbia che siano) isorientati hanno una orientazione parallela al flusso di corrente, ma ci sono delle eccezioni. Per esempio nelle correnti fluviali i ciottoli appiattiti sono embriciati con l'asse maggiore trasversale alla direzione della corrente e l'asse intermedio inclinato controcorrente. Nelle correnti di torbida e nei *debris flow* i clasti sono orientati con l'asse maggiore parallelo alla corrente.

Riconoscere un isorientamento delle particelle è importante in quanto indice di una paleocorrente (o di azioni tettoniche).

La disposizione (*packing*) influisce invece su porosità e permeabilità. Dipende soprattutto da dimensione, forma e grado di classazione dei grani. Più aperto è l'impacchettamento (per es impacchettamento cubico), più la porosità è alta. Viceversa, un impacchettamento più chiuso (rombedrico) porta ad una porosità più bassa. Questo è valido per sedimenti caratterizzati da granuli arrotondati e ben classati (per es dune eoliche). Se il sedimento è mal classato, il sedimento ha un *packing* più stretto quindi una più bassa porosità (fra i grani più grossi ci sono quelli più piccoli che tendono a riempire gli interstizi).

La quantità di matrice (maturità tessiturale) ed il rapporto granuli-matrice (tessitura fango o grano-sostenuta) influenzano l'impacchettamento ed il fabric di un sedimento. Si parlerà di una densità di *packing* o *grain fraction* (frazione

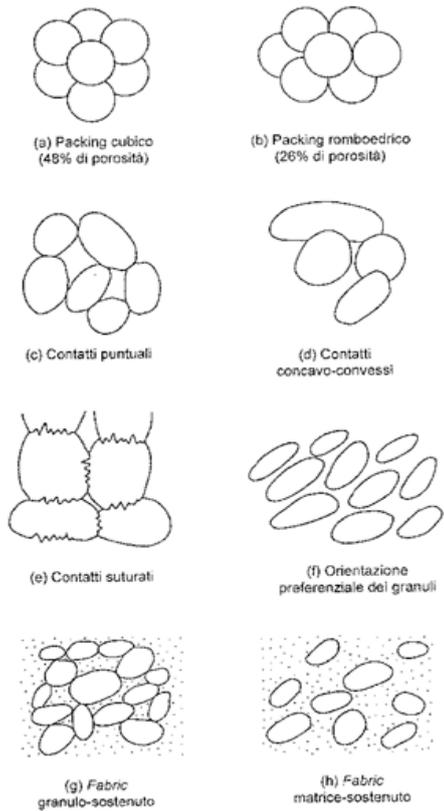


Figura 2.8
Fabric dei granuli nei sedimenti: disposizione, contatti, orientazione dei granuli e relazioni granuli-matrice

granulare) cioè il volume dei granuli espresso come percentuale del volume della roccia. La percentuale di *grain fraction* aumenta all'aumentare della pressione di carico.

In un sedimento grano sostenuto si riconoscono comunemente 3 tipi di contatto: contatto puntuale, concavo-convesso, contatto suturato.

Il definire questi rapporti è importante per interpretare i meccanismi