

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).

Sono proposte 3 scale granulometriche e 3 diagrammi ternari che classificano i sedimenti in base alle scale granulometriche

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

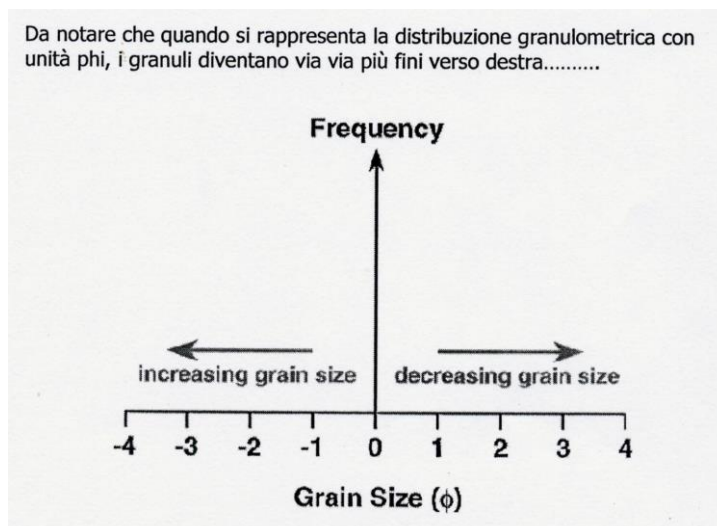
Diametro in mm: 0.210 mm

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.



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

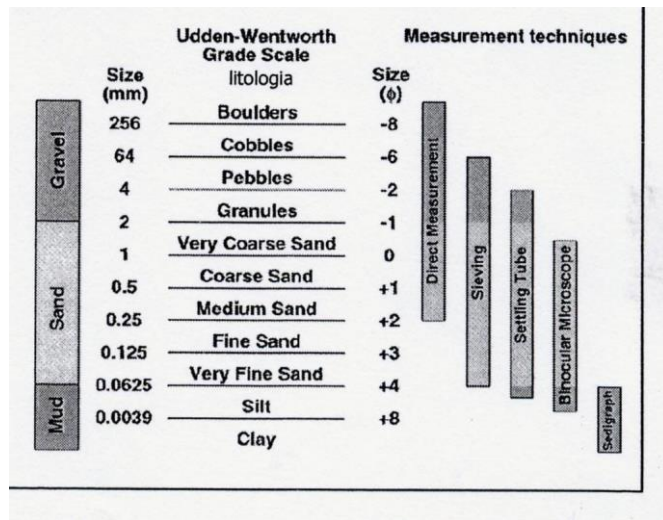
I limiti fra le **frazioni granulometriche** sono:

>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)

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

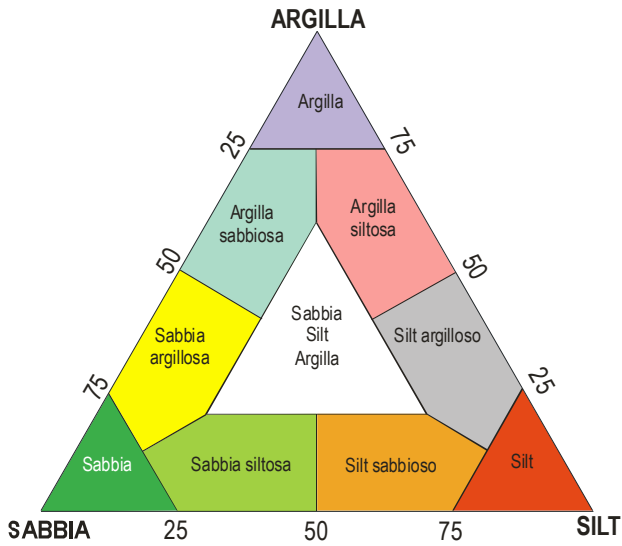
Udden-Wentworth (1922)	phi (ϕ)	mm	Friedman & Sanders (1978)
Cobbles	-11	2048	very large
	-10	1024	large
	-9	512	medium
	-8	256	small
Pebbles	-7	128	large
	-6	64	small
	-5	32	very coarse
Granules	-4	16	coarse
	-3	8	medium
Sand	-2	4	fine
	-1	2	very fine
	0	1	very coarse
	1	0.500	coarse
	2	0.250	medium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

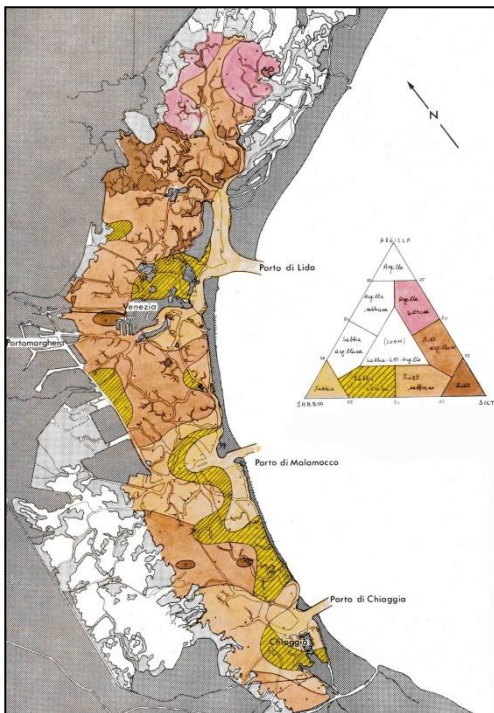
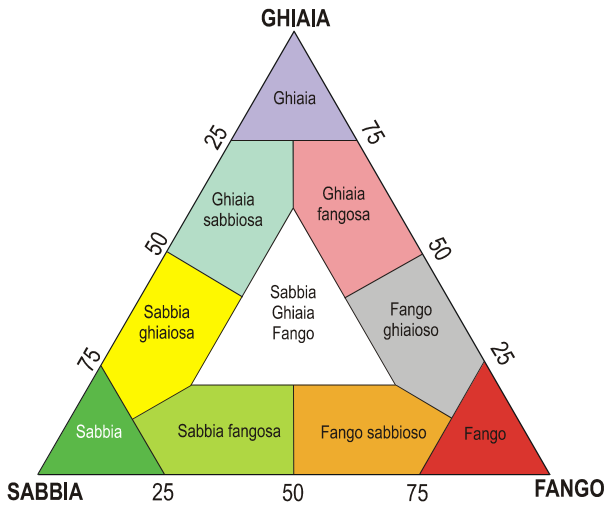
Questa classificazione pone come limite fra silt e argilla i 2um, aggiungendo quindi una classe nel silt.

Dai dati ponderali delle diverse componenti/frazioni granulometriche principali (% di 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 in percentuale delle diverse componenti granulometriche principali (ghiaia, sabbia, fango).

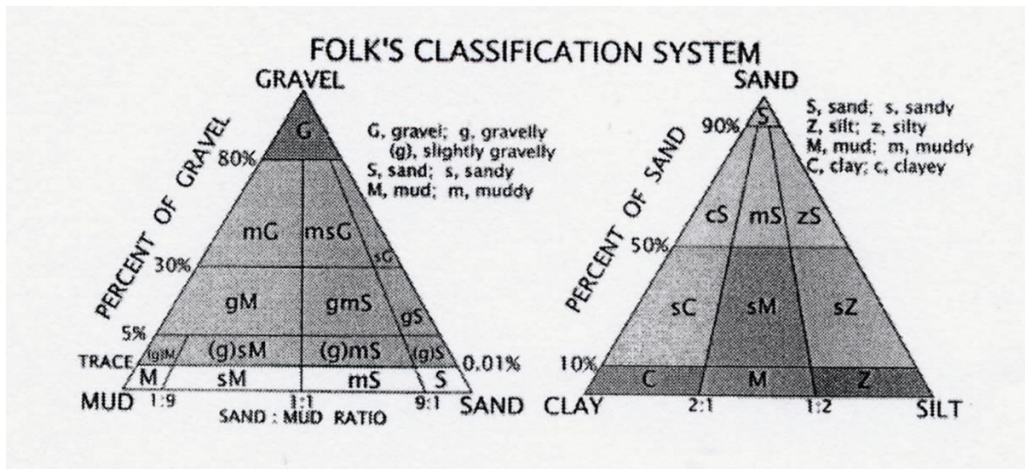


Il diagramma ternario a lato è una derivazione di quello originale di Shepard e considera ghiaia, sabbia e fango.



Esempio di applicazione della classificazione di Shepard: Laguna di Venezia

Un altro diagramma triangolare che funziona nello stesso modo è quello proposto da FOLK (1954) e successivi

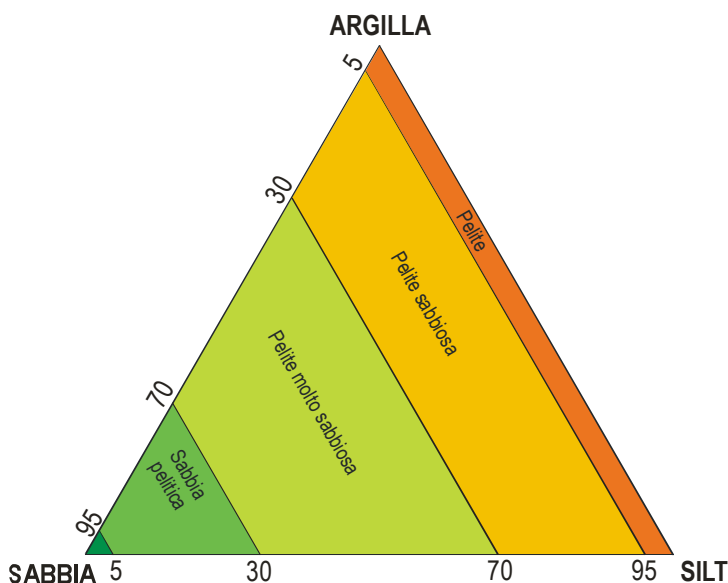


Questi diagrammi consentono di “etichettare” (di dare un nome) al sedimento che costituisce un campione sulla base dei rapporti fra le frazioni granulometriche presenti.

Un'altra classificazione è quella di **NOTA** (1954) – classificazione di scuola olandese – che pone i seguenti limiti fra le frazioni granulometriche:

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

Come nel caso di Shepard, anche questa classificazione può essere così elaborata: 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)



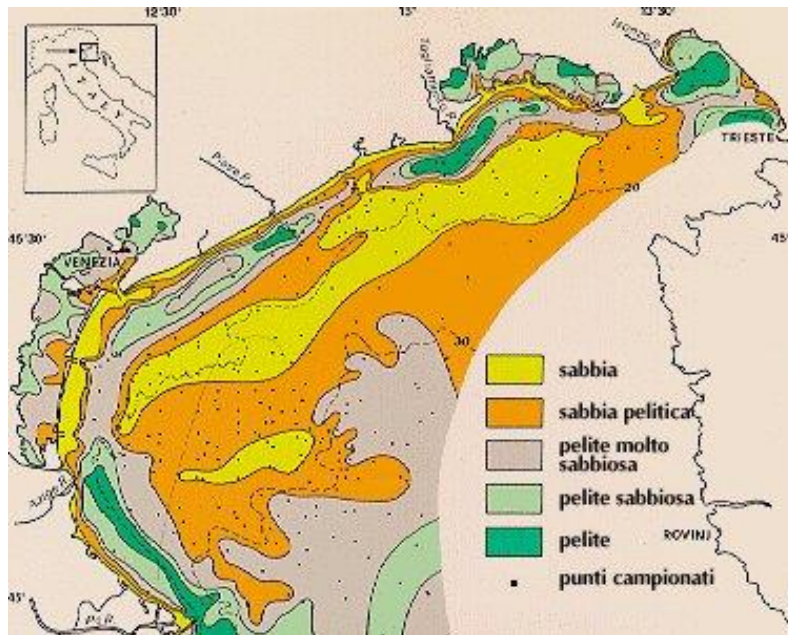
Silt ed argilla sono considerati assieme (fango) e definiti **PELITE**
 I termini litologici sono rappresentati dai limiti percentuali del 5, 30 e 70%.
 La componente predominante esprime la tipologia sedimentaria (es. Sabbia o pelite), quella secondaria è indicata con l'aggettivazione “sabbioso” o “pelitico”.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

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 (tabella di dati) o indirettamente (grafici da cui si deducono numeri) 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

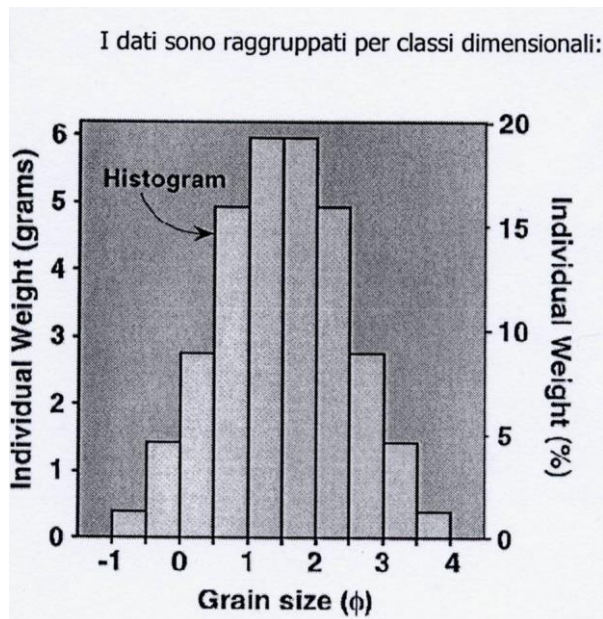
Tab.2

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

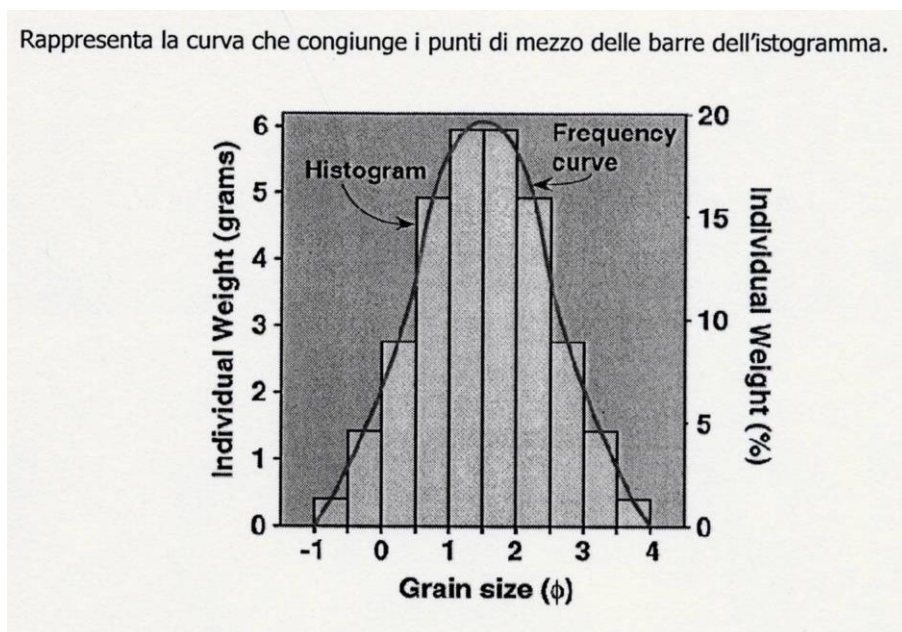
classi in phi	-0,50	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	>11,00	
classi in um	1000			500		250		125		62,5		32		16		8		4		2						
Sigla	sabbia									sabbia	silt							silt (W)	argilla (W)							colloidi
malvern																			silt (F&S)	argilla (F&S)						
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

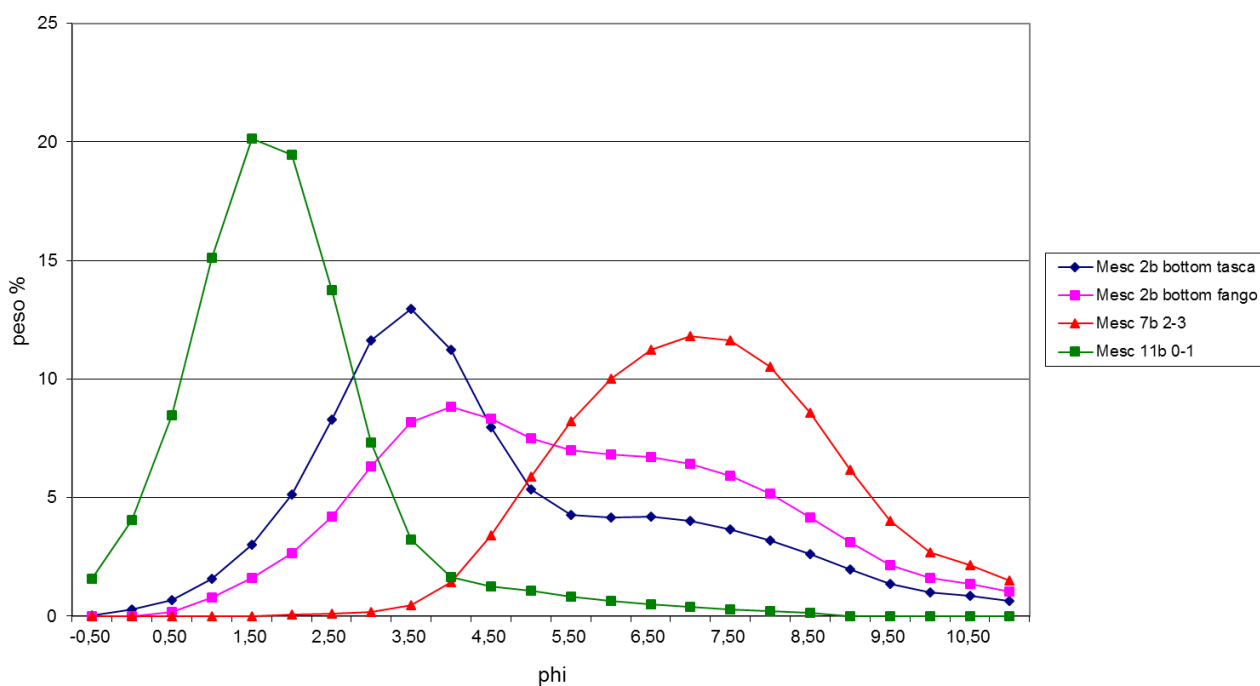


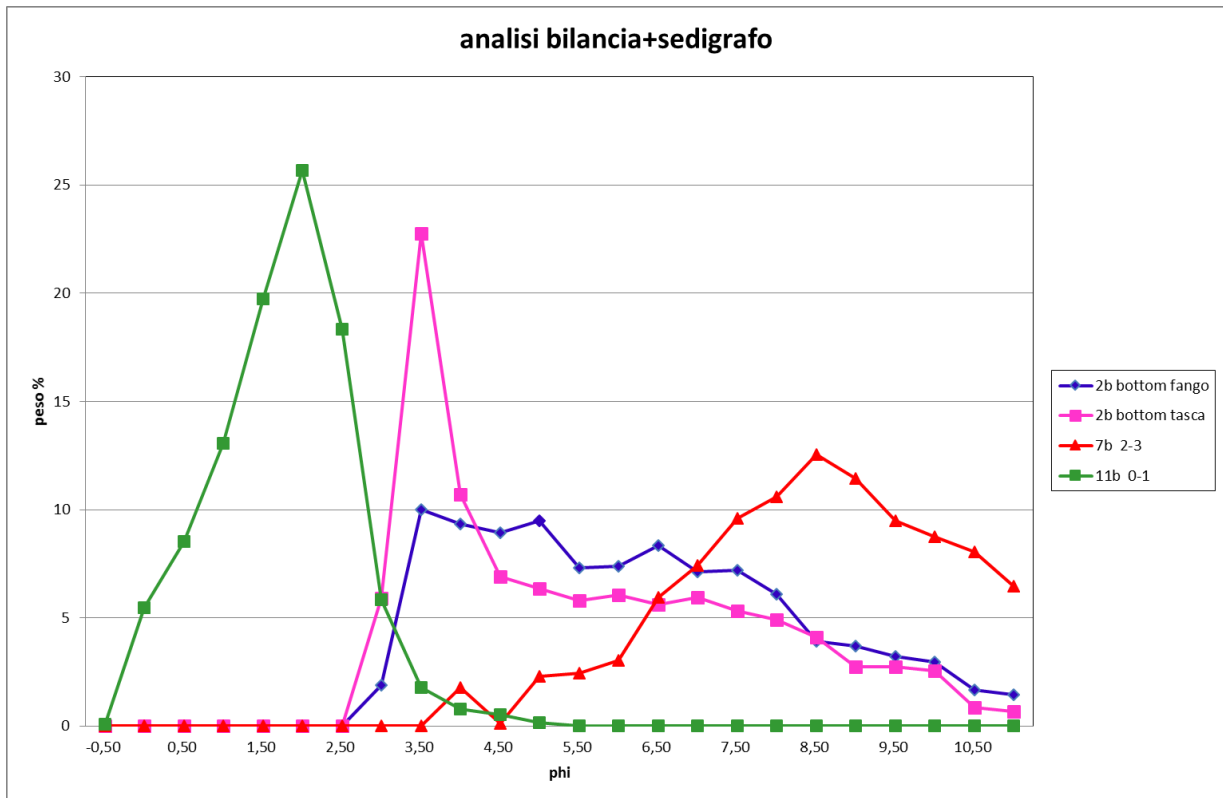
Rappresenta la curva che congiunge i punti di mezzo delle barre dell'istogramma.



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

analisi con il LASER





Vantaggi:

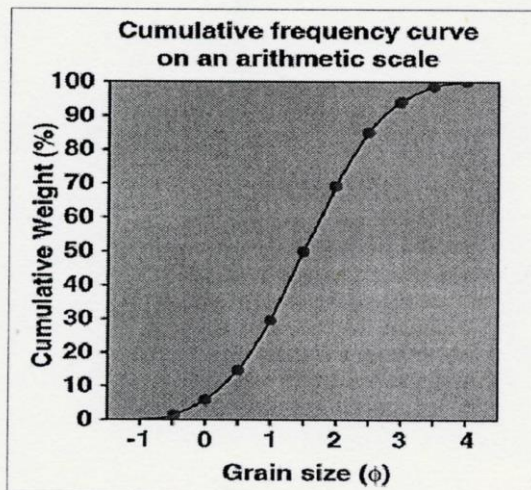
- Individuazione delle mode: classi di maggior frequenza
-

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.

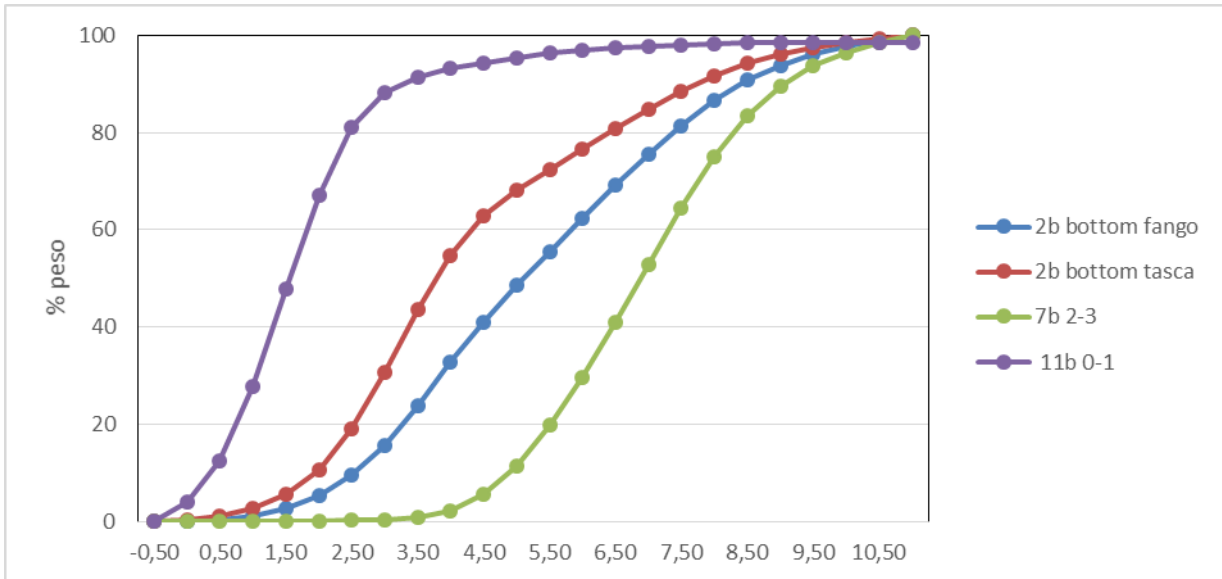
E' la curva che congiunge i valori di frequenza cumulati, a partire dalle classi più grosse



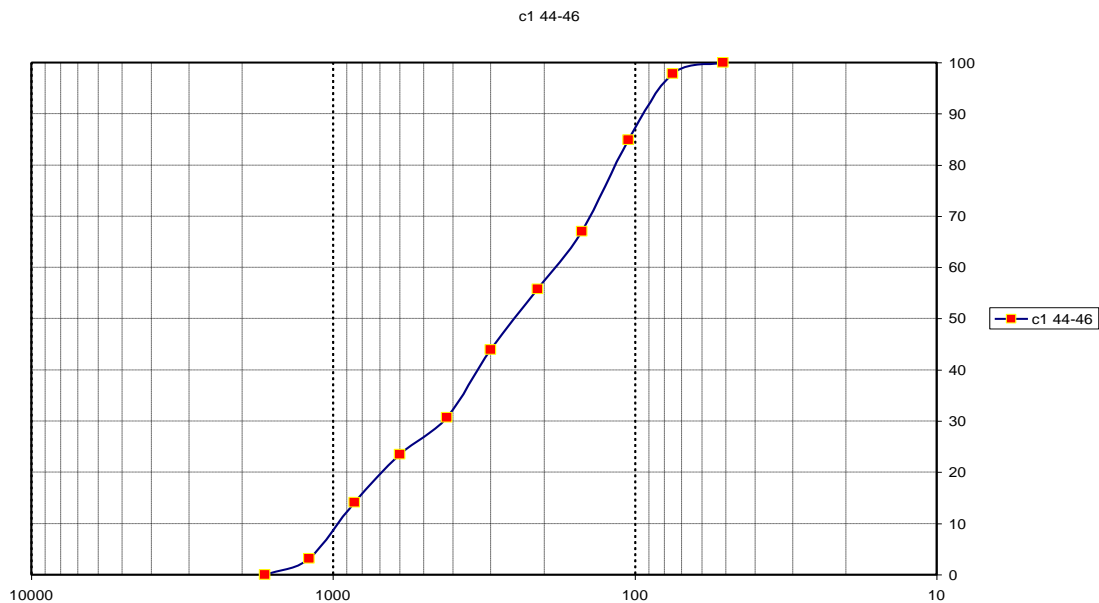
La rappresentazione cumulativa può essere fatta con due diversi tipi di scala delle ordinate:

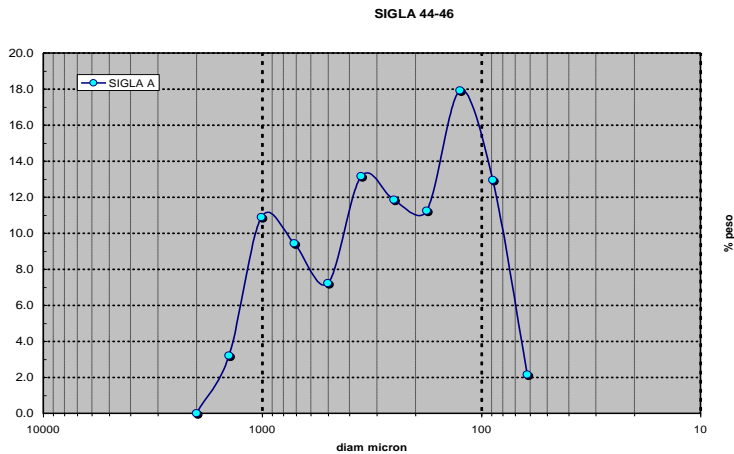
1) Scala aritmetica

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

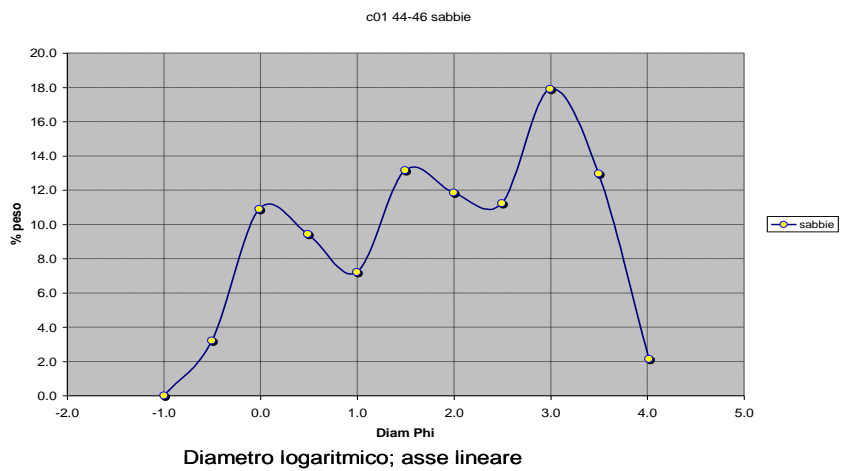


Può essere utile adottare non una scala lineare, ma logaritmica. Questo tipo di scala è utilizzata soprattutto quando si rappresentano sedimenti con un ampio range dimensionale, ad esempio dalle ghiaie alle argille, ma può essere utile anche dalle sabbie alle argille (c'è molta differenza tra le dimensioni 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).





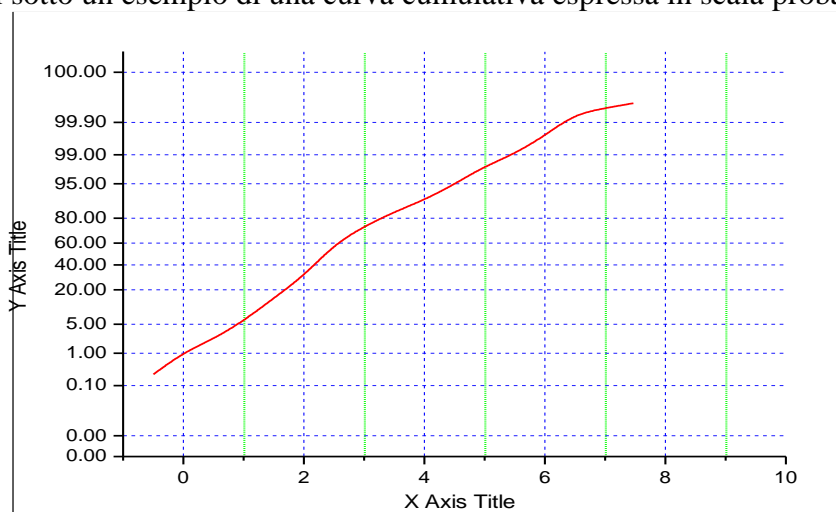
Diametro Lineare (mm o micron); Asse X logaritmico



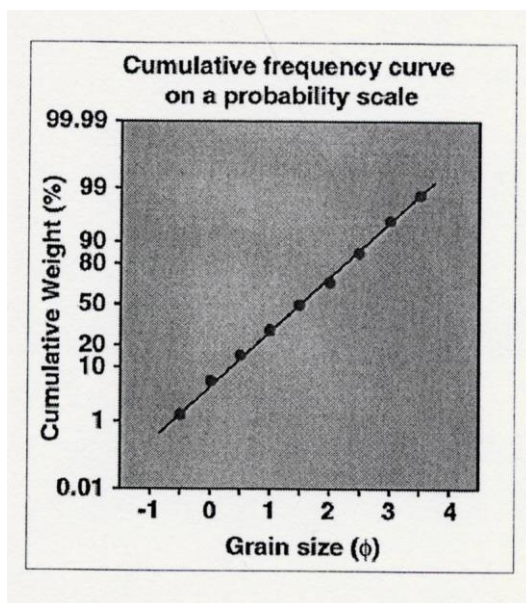
Diametro logaritmico; asse lineare

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 cumulative, non è più divisa linearmente da 0 a 100, ma secondo una funzione particolare in modo da farla "dilatata" alle estremità e comprimere al centro. Vengono utilizzati con curve cumulative

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



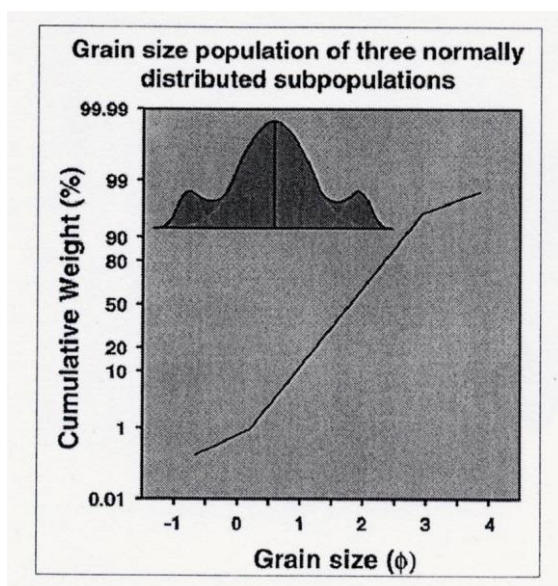
Con questo tipo di rappresentazione, una distribuzione normale (gaussiana, cioè unimodale) è rappresentata da una retta, cosa che favorisce la lettura dei dati su tutta la distribuzione. Nella figura sottostante un esempio.



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

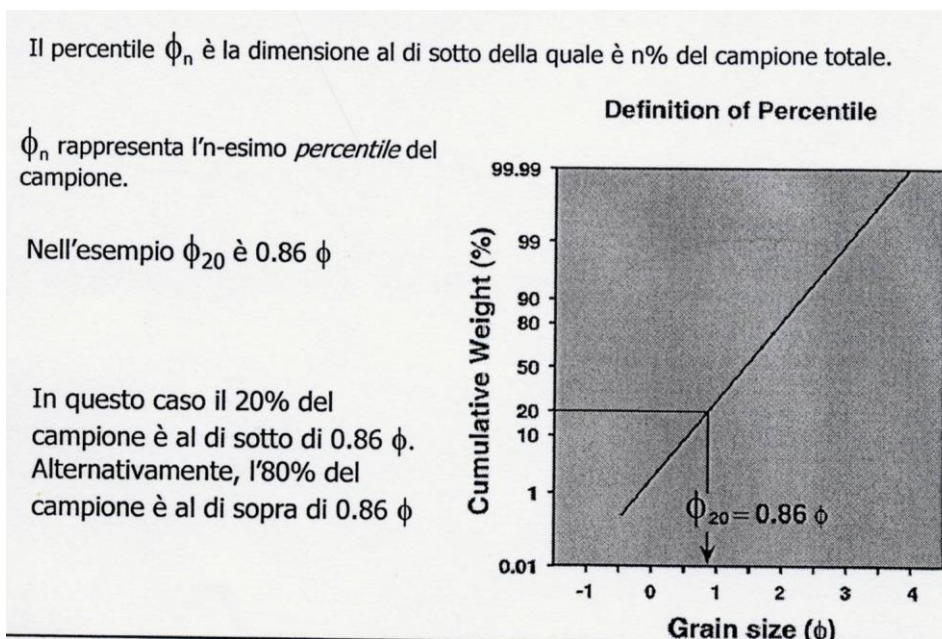
Le tipologie di grafici che si usano di più sono la curva di frequenza e la cumulativa.

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.

PS: all’esame non sono richieste le formule

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

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)

appuntimento (kurtosis)

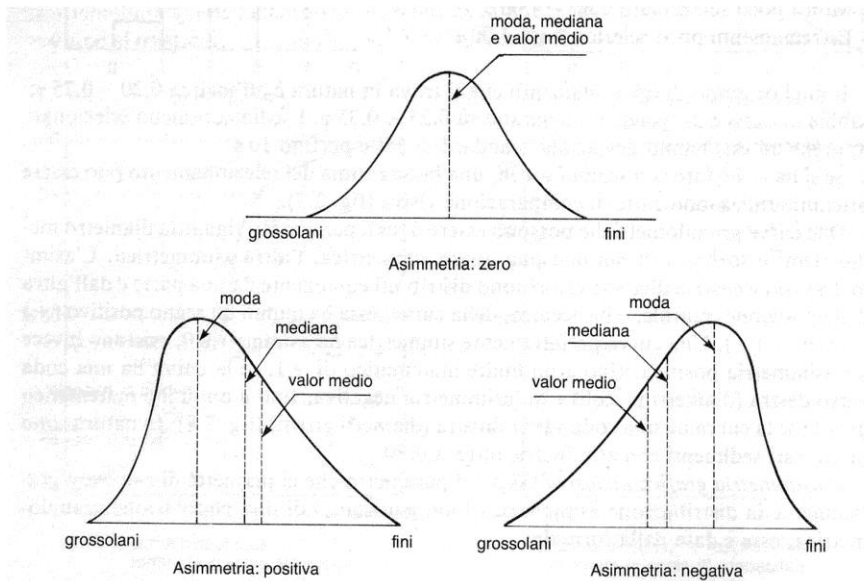


Fig. 2.8 - Curve granulometriche asimmetriche e la posizione dei vari parametri della grana media rispetto a quelli della curva gaussiana avente asimmetria nulla.

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

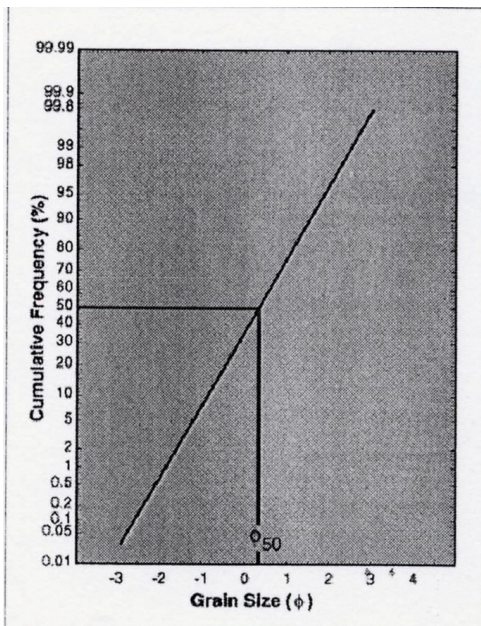
diametro medio

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).

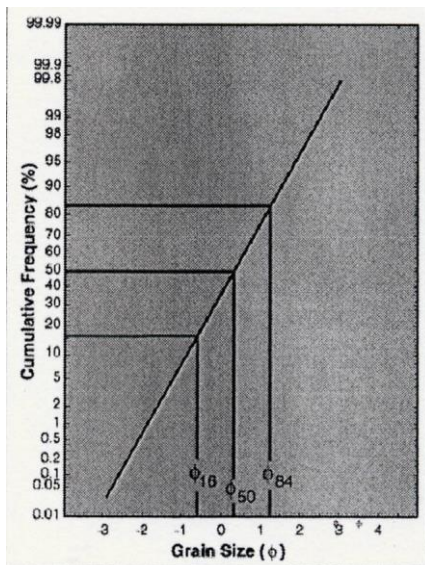
Nel dettaglio:

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:

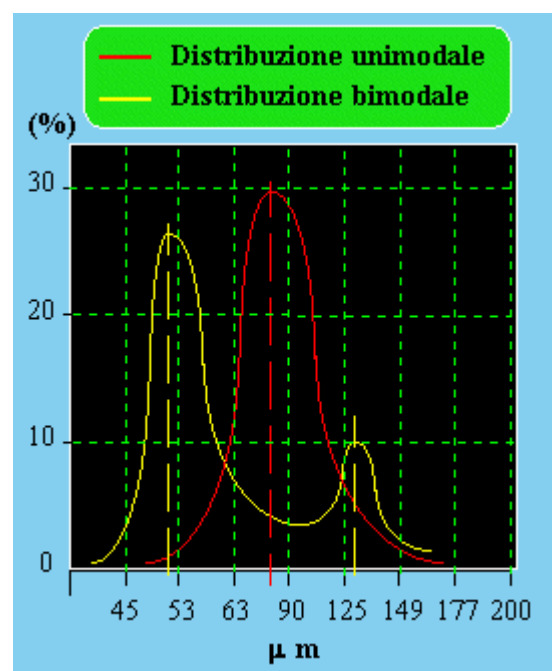
$$\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

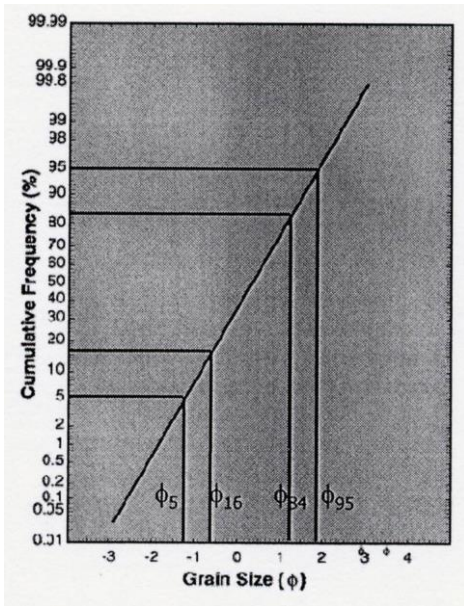
Come detto prima, queste formule vengono utilizzate nei grafici in phi. Una volta noto Mz, si usa la terminologia basata sulla scala per es di Udden-Wentworth.



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



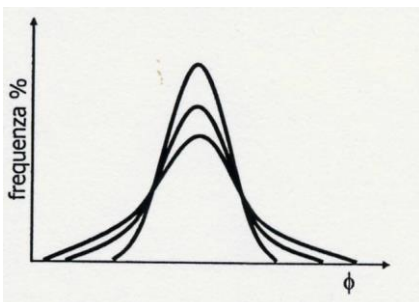


Classazione (*sorting o deviazione standard o coefficiente di dispersione del sedimento*) (σ).

Rappresenta la misura della variabilità dimensionale entro il campione.

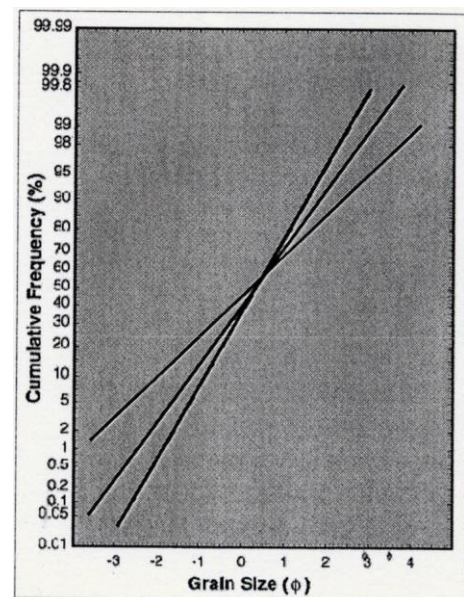
Folk & Ward (sempre in phi) propongono di calcolare la dispersione della curva entro un intervallo maggiore rispetto a come si calcola in statistica, considerando anche le code (vedi figura a lato)

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



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

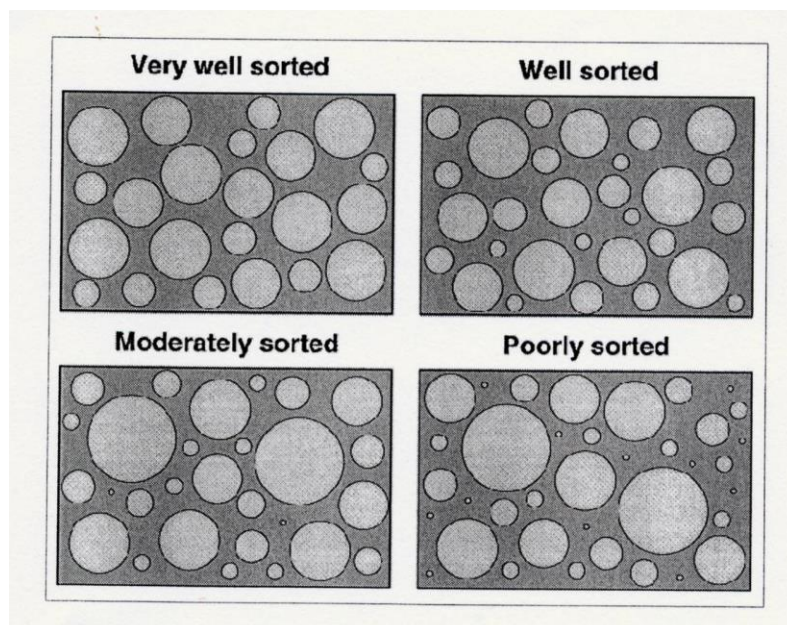
diminuzione della pendenza della retta. Se un sedimento è composto da una sola classe dimensionale, la curva è perfettamente verticale.



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	$\sigma > 4.00\phi$

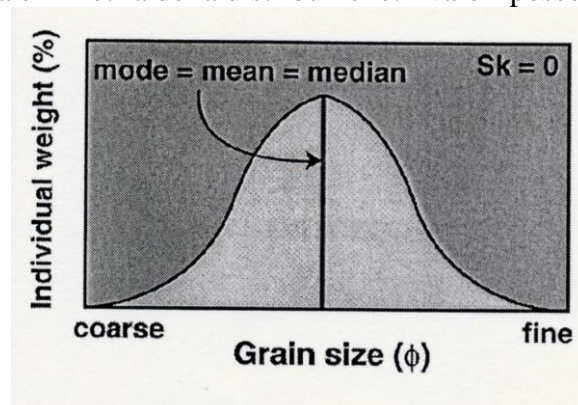
Per i sedimenti coerenti si usano le tavole di comparazione:



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

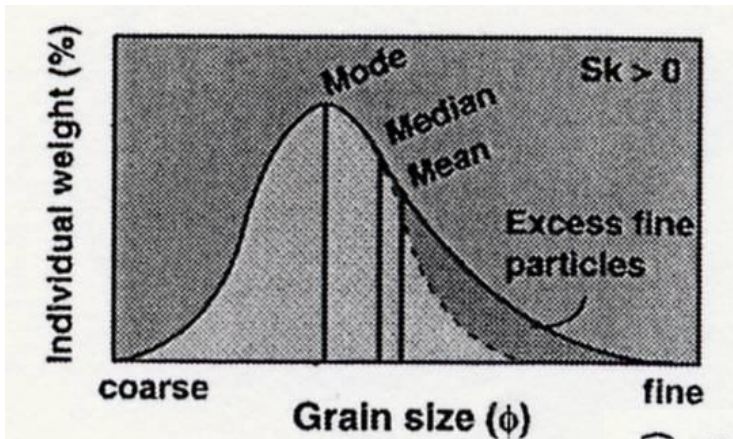
Skewness (o asimmetria) S_k

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



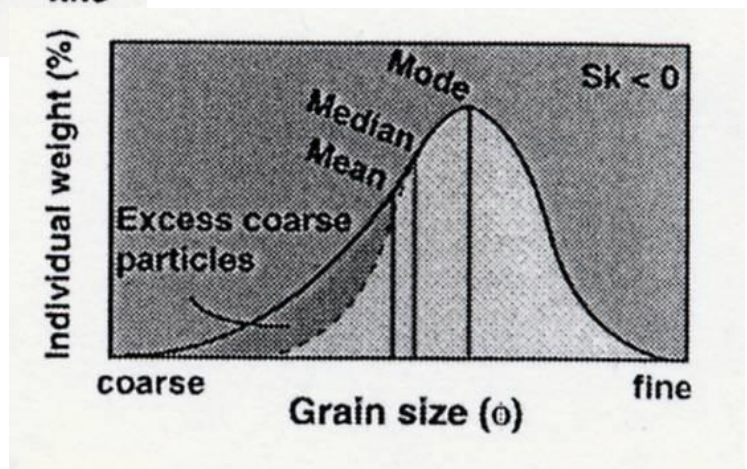
La formula proposta da Folk & Ward è:

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



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 (Appuntimento) (K)

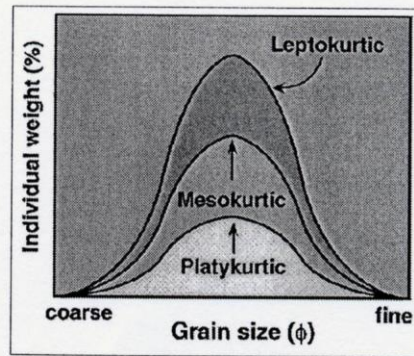
Rappresenta la misura dell'acutezza della distribuzione in rapporto al sorting

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

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.

	sand	silt	clay 4μ	Mz ρ	Sort ρ	Sk	Kg	C μ	Md μ	clay 2μ	descrizione
KI-13_c2 0-1	42.5	49.0	8.5	4.77	2.04	0.33	1.17	676	52.2	4.3	pelite molto sabbiosa molto mal classata , molto positiva , leptocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 8-9	26.2	60.2	13.6	5.41	2.08	0.29	0.98	590	31.1	7.4	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 16-17	16.3	70.6	13.2	5.88	1.85	0.03	0.91	467	16.9	5.3	pelite sabbiosa mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 24-25	18.9	63.6	17.4	5.89	2.07	0.13	0.88	522	18.5	8.6	pelite sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , platicurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 32-33	41.0	48.3	10.7	4.83	2.19	0.30	1.04	1029	47.9	5.7	pelite molto sabbiosa molto mal classata , molto positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 40-41	36.1	51.5	12.3	5.04	2.29	0.24	1.06	1187	40.5	6.7	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 48-49	42.1	46.5	11.4	4.80	2.36	0.25	1.04	1246	47.9	6.2	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 56-57	75.1	20.6	4.4	3.31	1.81	0.17	1.92	1303	109.5	2.4	sabbia pelitica mal classata , asimmetrica positiva , molto leptocurtica ; sabbia
KI-13_c2 64-65	47.4	42.4	10.2	4.61	2.31	0.29	1.11	1230	57.3	5.6	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , leptocurtica ; sabbia siltosa
KI-13_c2 72-73	54.6	37.2	8.2	4.27	2.17	0.31	1.27	1279	70.6	4.6	pelite molto sabbiosa molto mal classata , molto positiva , leptocurtica ; sabbia siltosa
KI-13_c2 80-81	63.9	29.1	7.0	4.04	2.05	0.38	1.49	1267	87.0	3.6	pelite molto sabbiosa molto mal classata , molto positiva , leptocurtica ; sabbia siltosa
KI-13_c2 88-89	41.0	47.4	11.6	4.94	2.20	0.32	0.92	1227	45.4	5.9	pelite molto sabbiosa molto mal classata , molto positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 96-97	26.1	56.1	17.8	5.60	2.55	-0.01	1.01	1298	21.4	8.7	pelite molto sabbiosa molto mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 104-105	11.6	74.5	13.9	5.92	1.77	0.19	0.95	176	18.9	6.2	pelite sabbiosa mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 112-113	24.0	62.6	13.4	5.52	2.03	0.19	0.93	418	26.3	5.9	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 120-121	15.8	71.6	12.6	5.75	1.79	0.19	0.90	198	21.4	5.3	pelite sabbiosa mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 128-129	12.5	73.3	14.1	5.98	1.84	0.07	1.00	667	16.7	6.1	pelite sabbiosa mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 136-137	5.6	75.6	18.7	6.38	1.76	0.14	0.97	106	13.0	9.3	pelite sabbiosa mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt
KI-13_c2 144-145	4.6	74.6	20.8	6.51	1.78	0.15	0.97	97	12.0	10.6	pelite sabbiosa mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 152-153	4.7	70.1	25.2	6.82	1.79	0.09	1.02	265	9.4	12.9	pelite sabbiosa mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 160-161	6.4	69.4	24.2	6.71	1.85	0.06	1.04	426	10.0	11.9	pelite sabbiosa mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 168-169	13.3	65.4	21.2	6.37	2.16	-0.13	1.13	1159	11.1	9.3	pelite sabbiosa molto mal classata , asimmetrica negativa , leptocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 176-177	48.8	38.2	13.0	4.64	2.74	0.22	1.04	1333	59.5	6.8	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; sabbia siltosa
KI-13_c2 184-185	34.6	49.6	15.8	5.38	2.43	0.07	0.84	1228	26.1	7.3	pelite molto sabbiosa molto mal classata , simmetrica , platicurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 192-193	73.9	21.9	4.2	3.54	1.53	0.33	1.89	1130	98.3	2.1	sabbia pelitica mal classata , molto positiva , molto leptocurtica ; sabbia siltosa
KI-13_c2 200-201	25.0	61.8	13.2	5.52	2.11	0.10	0.95	1002	24.2	5.9	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 208-209	26.6	60.9	12.5	5.41	2.03	0.22	0.93	1107	28.8	5.9	pelite molto sabbiosa molto mal classata , asimmetrica positiva , mesocurtica ; silt sabbioso
KI-13_c2 216-217	14.7	68.2	17.2	6.04	2.00	0.06	0.97	478	16.1	7.7	pelite sabbiosa molto mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 224-225	14.4	68.4	17.2	6.04	1.96	0.08	0.93	351	16.3	7.6	pelite sabbiosa mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt argilloso
KI-13_c2 234-235	13.4	72.6	14.0	5.94	1.82	0.10	0.92	358	17.2	5.9	pelite sabbiosa mal classata , simmetrica , mesocurtica ; silt argilloso

PS: descrizione secondo Nota, parametri Folk & Ward, descrizione secondo Shepard

COSA DICONO I PARAMETRI GRANULOMETRICI

Perché le informazioni sulla granulometria:

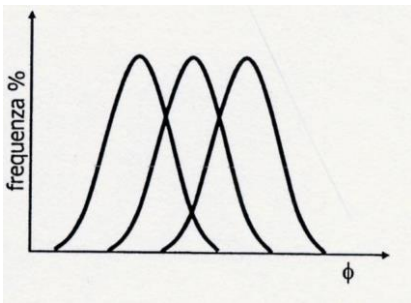
- È una proprietà fondamentale del sedimento
- Influenza altre proprietà quali per esempio porosità e permeabilità
- Le caratteristiche d'insieme possono essere discriminanti per comprendere l'ambiente di sedimentazione

Tuttavia, anche se contesti ambientali diversi sono caratterizzati da una diversa distribuzione dei parametri statistici, non è facile assegnare ad un particolare ambiente caratteristiche esclusive. Insomma la diagnosi non è sempre facile. Il problema principale è che una distribuzione granulometrica viene ereditata dal materiale sorgente: per es se una spiaggia si forma da antichi

sedimenti fluviali, i depositi litorali ereditano le caratteristiche dei depositi fluviali.

Qualche esempio.

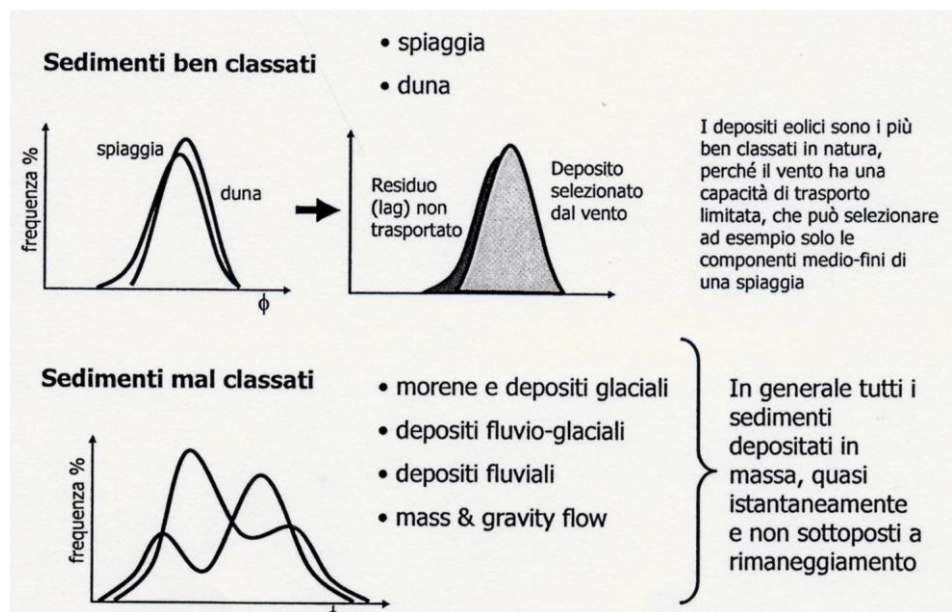
Tendenza centrale: Diametro Medio, Moda, Mediana e Primo Percentile danno indicazioni sulla capacità di trasporto. Indicano la “competenza” della corrente: la competenza massima può essere dedotta dal valore dimensionale massimo (1-percentile). In generale i sedimenti più grossolani indicano maggiore energia (maggiore capacità di trasporto) di quelle più fini.



Quando, come per es nella figura accanto, le curve dimensionali traslano mantenendo lo stesso grado di classazione, significa che esiste una selezione ambientale (x es decrementi di vel della corrente)

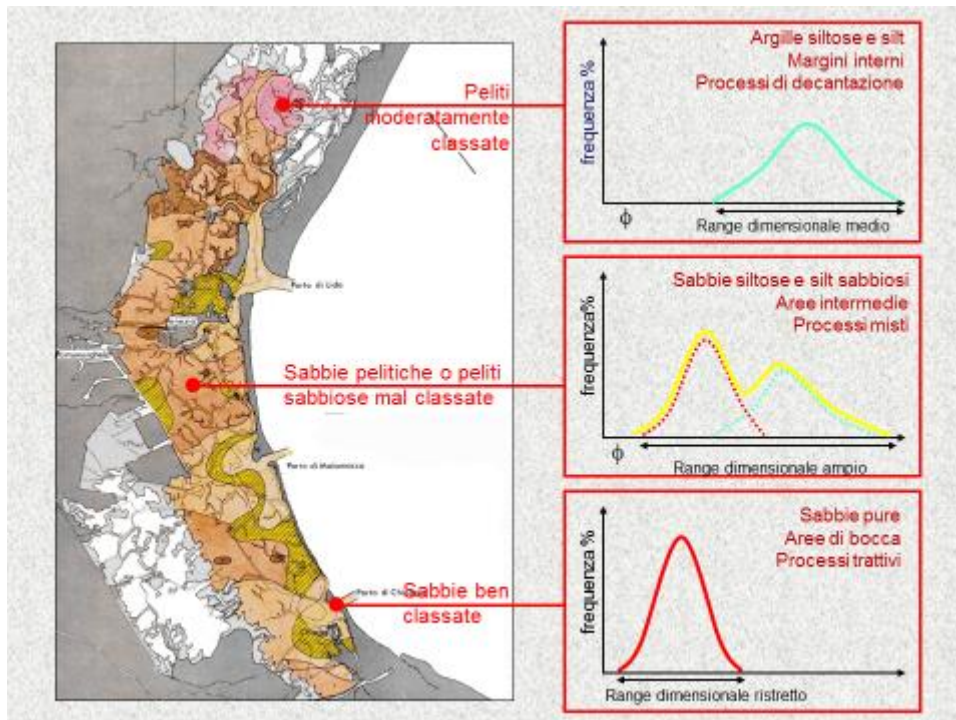
Sorting indica la capacità selettiva del mezzo di trasporto. Un sedimento ben classato è sottoposto ad una selezione costante. Ad esempio il moto ondoso su una spiaggia: sulla battigia il fine viene dilavato e allontanato verso il largo. Rimane il grossolano che è ben classato, eventualmente arricchito 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

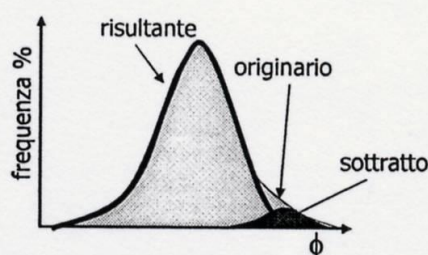


Lo Skewness o coefficiente di asimmetria indica l'omogeneità di una certa popolazione di granuli: una curva simmetrica è generalmente unimodale o log-normale. Un'asimmetria molto elevata indica spesso una bi o pluri-modalità.
 Per quanto riguarda l'asimmetria, due sono i processi che si possono distinguere:

1) Ad una popolazione originaria si aggiungono e mescolano materiali di un'altra popolazione;



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

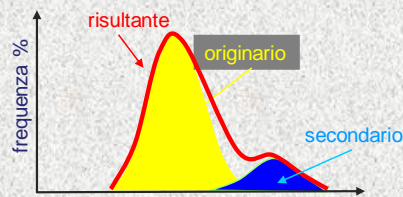


nel caso di una asimmetria verso le frazioni grosse: impulsi di corrente

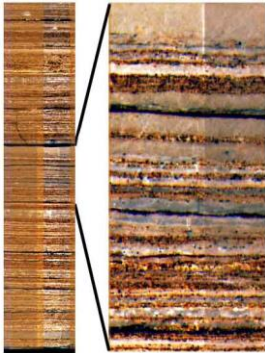
nel caso di asimmetria verso le frazioni fini: caduta di corrente.

Asimmetria per aggiunta di sedimento

- 1) 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).

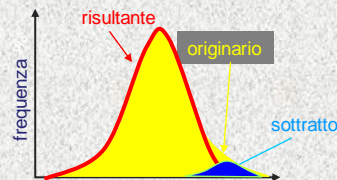


Un esempio alternativo è dato da una successione di piana di marea, in cui il materiale sabbioso rappresenta il sedimento deposto durante la massima fase montante o calante (cui corrisponde la massima velocità) ed il fango costituisce il drappoggio di sedimento che si depone durante le fasi di stanca.

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

Asimmetria per asportazione di sedimento

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

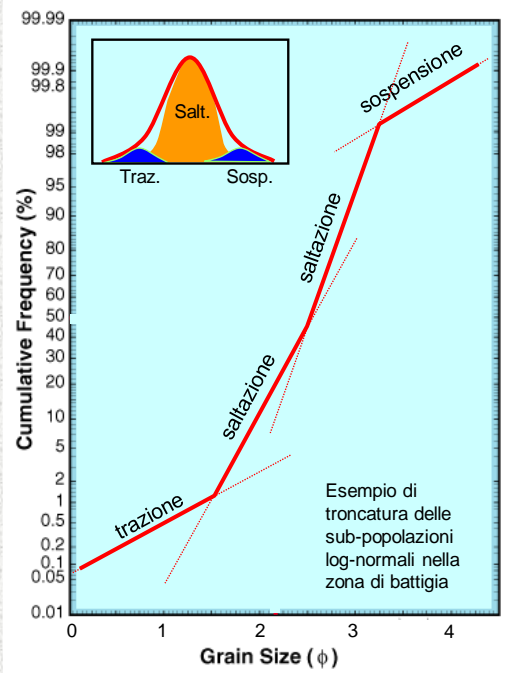


E' abbastanza comune che ad un sedimento con una certa caratteristica originaria possa essere sottratta la componente più fine, semplicemente per incremento di velocità di corrente. La risultante è un sedimento che presenta un'asimmetria negativa

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.