

Granulometria: perché usare la scala log-probabilistica? Un viaggio nel passato

Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, Via Micheli 6, 50121 Firenze.
enzo.pranzini@unifi.it

Premessa

La possibilità di usare programmi di elaborazione dei dati, in cui il solo lavoro richiesto è quello di digitare numeri su di una tastiera, ha portato, in molti campi, all'oblio di quanto vi è dietro ad una elaborazione e all'uso acritico dei risultati prodotti. Un esempio di ciò lo si ritrova in molte analisi granulometriche prodotte in campo scientifico e professionale, dove si fa uso di metodologie che si basano su alcuni concetti che erano ben noti quando il lavoro veniva svolto manualmente, ma che non sono stati considerati nello sviluppo dei programmi di elaborazione facilmente compilabili da parte di chiunque abbia un minimo di capacità informatiche, o che si possono anche scaricare gratuitamente dalla rete.

Non si vuole qui fare un'analisi rigorosa sull'accuratezza dei risultati, ma solo mettere in evidenza come questi sistemi producano valori diversi e allontanino i ricercatori e i professionisti dalla necessità di comprendere i principi su cui certi modelli sono stati sviluppati.

È anche l'occasione per suggerire la lettura di alcuni 'vecchi' lavori la cui conoscenza dovrebbe essere parte del bagaglio culturale di chi oggi studia la dinamica dei sedimenti in ambiente costiero, se non altro quale tributo a quei giganti sulle cui spalle noi siamo saliti.

I parametri di Folk e Ward

Fra i vari parametri proposti per la descrizione sintetica delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti, quelli definiti da Folk e Ward nel 1957 sono certamente fra i più utilizzati negli studi sulla dinamica dei litorali, anche se non sono quelli che hanno la maggiore efficienza descrittiva (McCammon, 1962).

L'articolo di questi due autori, *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*, è uno dei più citati in ambito sedimentologico (9762 su Scholar, che non raccoglie le citazioni più vecchie) e quei parametri descrivono migliaia, se non milioni, di sedimenti analizzati in tutte le parti del mondo. È anche per questo che, nonostante siano stati fatti numerosi tentativi, anche scientificamente ben basati, per introdurre nuovi descrittori, la comunità scientifica continua ad utilizzare questa metodologia sviluppata 65 anni fa. Il suo abbandono comporterebbe la perdita della possibilità di confronto con questa enorme ed importantissima mole d'informazioni.

Prima che questo metodo si affermasse, ma ciò avvenne quasi subito dopo la sua presentazione, i parametri statistici più utilizzati erano quelli proposti da Trask (1932) e da Inman (1952). Tutti questi descrivono la distribuzione granulometrica dei sedimenti ipotizzando che essa sia 'normale', ossia che si possa identificare con una gaussiana, cosa che sappiamo non essere sempre vera.

Per le dimensioni viene sempre usata l'unità phi (ϕ), che corrisponde al logaritmo in base due delle dimensioni in mm cambiato di segno:

$$\phi = -\log_2 D_{mm}$$

proposta da Krumbein (1934) e che segue la classificazione dei sedimenti di Wentworth (1922) basata sulla progressione geometrica decrescente: 8, 4, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/8 ... mm, che può essere espressa, come 2³, 2², 2¹, 2⁰, 2⁻¹, 2⁻²,

2³ ... mm. Ecco che l'esponente diventa la dimensione in phi. Dato che in prevalenza venivano studiati sedimenti fini, venne proposta l'inversione del segno, cosa che rende difficile una immediata comprensione delle dimensioni dei sedimenti quando espressa in questa unità di misura: numero più piccolo = dimensioni più grandi.

Non è questa la sede per spiegare i vantaggi di una scala logaritmica, ma basti pensare a due coppie di sfere, 1 e 2 mm, e 100 e 101 mm, che cadono nell'acqua. Entrambe le coppie differiscono di un millimetro, ma mentre le seconde raggiungeranno il fondo quasi contemporaneamente, la velocità di caduta delle prime due sarà significativamente diversa. E noi parliamo di sedimenti sollevati, trasportati e depositati nell'acqua! Oltre ai descrittori 'sintetici' (o parametri) quali Media, Classazione, Asimmetria e Curtosi (poco usata anche perché richiederebbe analisi a ¼ phi; Friedman, 1961), che vedremo come vengono calcolati partendo dal valore di alcuni 'percentili', talvolta si fa uso anche dei singoli percentili, ossia del valore delle dimensioni del granulo che consente di raggiungere una determinata percentuale nelle curva cumulativa della distribuzione granulometrica. Il più usato è certamente il 50° percentile (D₅₀), spesso assunto come rappresentativo delle dimensioni medie (ma in realtà si tratta del valore mediano) e del 1°percentile (D₁), che rappresenta la frazione più grossolana, e viene ritenuto da alcuni autori espressione dell'energia a cui è soggetta una spiaggia o, in associazione alle dimensioni medie, per discriminare i diversi ambienti di deposizione (Passega, 1964; Friedman, 1967).

Il calcolo del valore dei vari percentili viene effettuato tramite una interpolazione fra i valori che hanno alcuni punti noti della distribuzione granulometrica, ossia quelli definiti dall'intervallo di campionamento; per l'analisi di sabbia e ghiaia, molto spesso effettuata con setacciatura meccanica, corrisponde all'intervallo fra i setacci. Ed è a questo punto che si pone il problema di quale programma usare, dato che ormai nessuno fa queste operazioni a mano. Ma conviene proprio ripartire dal metodo manuale, che veniva seguito decenni addietro e che forse nessuno - fra chi studia oggi l'ambiente costiero - ha mai fatto, se non nelle esercitazioni del corso di Sedimentologia o di Dinamica dei litorali.

Veniva usata una carta millimetrata in cui l'asse delle ordinate era in scala lineare, ma sul quale si mettevano le dimensioni espresse in phi, e quindi diventava una scala logaritmica; la scala delle ordinate era probabilistica, nella quale la distanza fra percentuali che differiscono dello stesso valore diminuiva partendo da una coda e procedendo verso il centro della distribuzione, per poi allargarsi nuovamente andando verso l'altra coda. Si aveva quindi una scala log-probabilistica.

Lasciata carta e matita (e tanta gomma!) si è cominciato ad usare i computer, talvolta dimenticando i presupposti teorici di questi metodi. L'uso diffuso di Excel, e la facilità con la quale si possono impostare i calcoli, ha portato allo sviluppo di programmi basati su questa applicazione, che ormai sono a disposizione di tutti i laboratori, anche perché scaricabili gratuitamente dalla rete.

Si è contemporaneamente persa la memoria di cosa ci fosse dietro a quei calcoli, ossia la distribuzione gaussiana, la cui curva cumulativa è una retta (sulla quale è facile fare interpolazioni) solo se tracciata su scala probabilistica.

Interpolazione su scala probabilistica vs. interpolazione su scale lineare

Ma quali sono le differenze fra i risultati che si ottengono con i due metodi? Ovviamente queste si riferiscono al calcolo del valore dei singoli percentili, che poi si ripercuotono direttamente su quello dei vari parametri. Calcoleremo quindi i percentili di alcune distribuzioni granulometriche di sedimenti di ambiente costiero (ma il discorso è valido per qualsiasi altro sedimento) effettuando le interpolazioni sia su scala log-probabilistica sia su scala log-lineare, per poi giungere al calcolo dei parametri Media (Mz), Classazione (σ₁) e Asimmetria (Sk₁) di Folk e Ward (1957), e valutare quanto il metodo di interpolazione incida sul risultato. I campioni sui quali viene effettuato il test sono scelti fra gli ultimi che ho analizzato, e non sono stati scelti in modo tale da ottenere risultati eclatanti, cosa in realtà verificatasi in passato con altri confronti.

Tabella 1. Parametri di Folk e Ward (1957) calcolati con le due diverse interpolazioni.

$$\text{Media (Mean) } Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$$

$$\text{Classazione (Sorting) } \sigma_1 = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6}$$

$$\text{Asimmetria (Skewness) } Sk_1 = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Sabbia fine dei fondali antistanti Alba Adriatica

In Figura 1 viene riportata la curva cumulativa della distribuzione granulometrica di una sabbia, prelevata dal fondale al largo di Alba Adriatica, sia con l'interpolazione su scala log-probabilistica che su scala log-lineare: è evidente il maggiore dettaglio leggibile sulle code, in particolare di quella grossolana, nel primo grafico. In Figura 2 è mostrata l'interpolazione effettuata su entrambe le curve per ottenere il valore del 5° percentile (D_5) che risulta rispettivamente 2,572 e 2,526. Anche gli altri percentili risultano diversi, come ovviamente diversi sono i valori dei parametri Media (M_z), Classazione (σ_1) e Asimmetria (Sk_1) (Tab. 2).

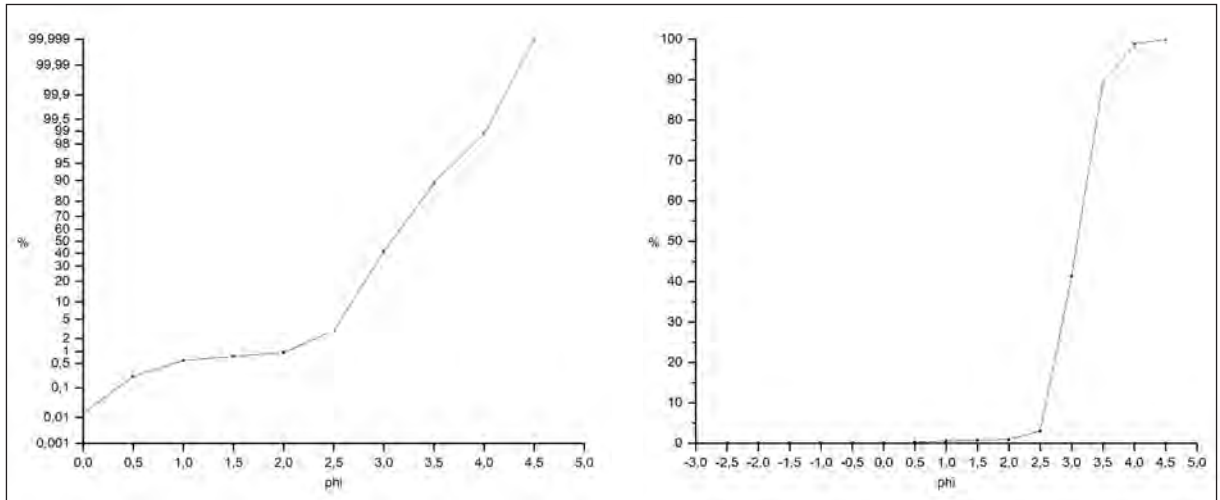


Figura 1. Curva cumulativa in scala log-probabilistica (a sinistra) e log-lineare (a destra) di una *sabbia molto fine* che risulta *molto ben classata* e con Asimmetria positiva con la probabilistica e *ben classata* e con Asimmetria negativa con la lineare. Comunque entrambe sono classificate come *quasi simmetriche* secondo la scala verbale di Folk e Ward (1957).

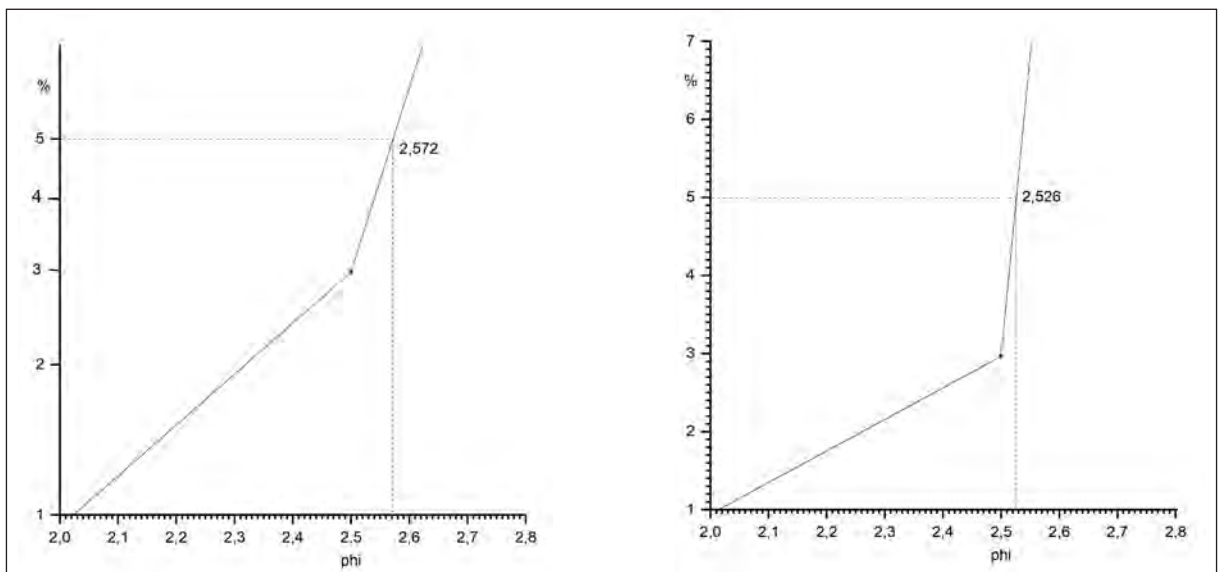


Figura 2. Determinazione del valore del D_5 su scala log-probabilistica (a sinistra) e su scala log-lineare (a destra).

*Si ricorda l'uso di scrivere in corsivo se il termine fa riferimento ad una classificazione ben precisa, che va specificata, e non descrive in modo generico una caratteristica dell'elemento. In questo articolo si usa la classificazione di Wentworth (1922) per le dimensioni dei sedimenti (M_z) e quella di Folk e Ward (1957) per la loro Classazione (σ_1) e Asimmetria (Sk_1).

Tabella 2. Valore dei vari percentili e dei parametri Media (Mz), Classazione (σ_1) e Asimmetria (Sk_1) del campione la cui curva cumulativa è rappresentata in Figura 1.

Percentile	Probabilistica	Lineare
1°	2,024	2,010
5°	2,572	2,526
16°	2,767	2,669
50°	3,075	3,090
84°	3,418	3,456
95°	3,700	3,804
Media (Mz)	3,087	3,054
Classazione (σ_1)	0,334	0,387
Asimmetria (Sk_1)	0,083	-0,015

I valori della Media (Mz) e della Classazione (σ_1) risultano simili, ma in un'area caratterizzata dalla presenza di sedimenti molto omogenei la differenza ottenuta con i due metodi di interpolazione potrebbe essere superiore a quella realmente esistente fra due campioni prelevati in punti diversi. Da notare che l'Asimmetria risulta positiva ($Sk_1 = 0,083$) con la log-probabilistica e negativa ($Sk_1 = -0,015$ con la log-lineare. Entrambi i valori fanno considerare queste sabbie *quasi simmetriche* nella classificazione di Folk e Ward (1957), ma avere valore positivo o negativo determina risultati diversi nell'identificazione delle possibili direzioni di trasporto con il metodo proposto da Gao e Collins (1992).

Sabbia fine usata per il ripascimento della spiaggia di Alassio

Per il ripascimento della spiaggia di Alassio sono stati utilizzati sedimenti presenti sui fondali antistanti il porto, dove è stata trovata sabbia leggermente più fine di quella presente sull'arenile della città. Nel deposito vi era una modestissima quantità di granuli, come ben si apprezza nella distribuzione granulometrica in scala log-probabilistica. In questa parte della distribuzione lo scostamento del valore dei percentili è significativo per il D_1 (-3,021 vs. -3,205), che però non entra nel calcolo dei parametri Media (2,268 vs. 2,259), Classazione (0,376 vs. 0,387) ed Asimmetria (-0,112 vs. -0,064) che risultano più simili. Considerando però che nella scala verbale di Folk e Ward (1957) il valore di $Sk_1 = -0,10$ separa i sedimenti *quasi simmetrici* da quelli con *asimmetria negativa*, la differenza, dal punto di vista formale, è significativa.

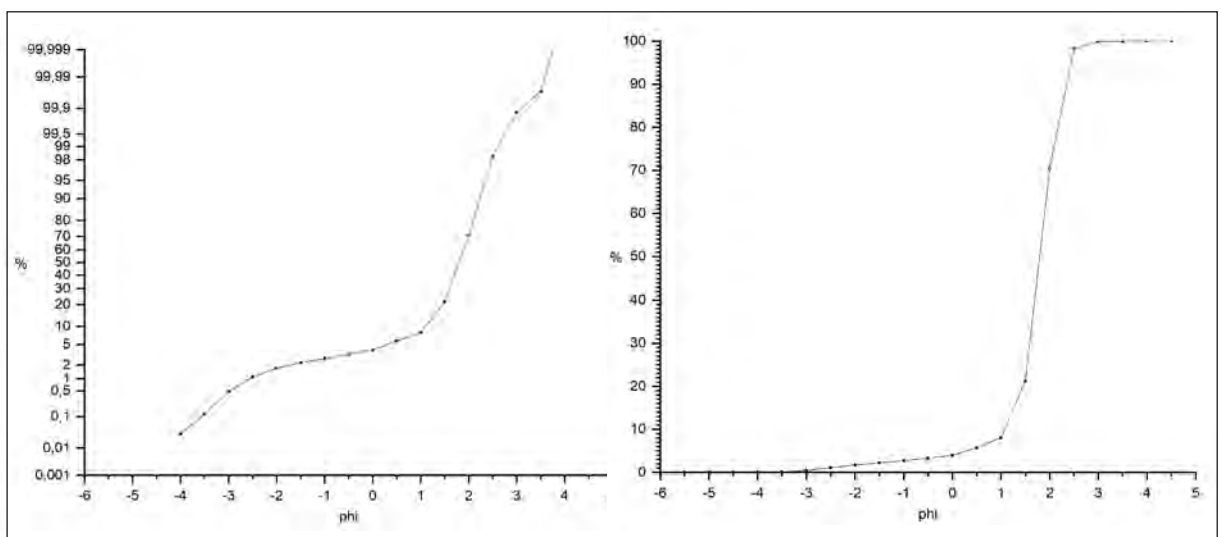


Figura 3. Curva cumulativa in scala log-probabilistica (a sinistra) e log-lineare (a destra) di un campione prelevato in mare davanti al porto di Alassio. Sabbia fine ben classata con asimmetria negativa (non in corsivo).

Tabella 3. Valore dei vari percentile e dei parametri Media (Mz), Classazione (σ_i) e Asimmetria (Sk_i) di un campione di sabbia fine utilizzata per il ripascimento della spiaggia di Alassio.

Percentile	Probabilistica	Lineare
1°	-3,021	-3,205
5°	1,243	1,220
16°	2,013	2,008
50°	2,263	2,259
84°	2,528	2,545
95°	2,872	2,929
Media (Mz)	2,268	2,259
Classazione (σ_i)	0,376	0,387
Asimmetria (Sk_i)	-0,112	-0,064

Sabbia grossolana della spiaggia della Biodola (Isola d'Elba)

Nel caso di un campione rappresentativo dei sedimenti di battigia della spiaggia della Biodola (Isola d'Elba) i due metodi di interpolazione non danno valori molto diversi dei vari percentili, ma il collocarsi in prossimità del limite fra *sabbia media* e *sabbia grossolana* (posto a 1,0 phi) li porta ad essere classificati in modo diverso in funzione del metodo di interpolazione: con la log-probabilistica si ottiene un valore di Mz = 0,999 (*sabbia grossolana*), mentre con la lineare Mz = 1,024 (*sabbia media*).

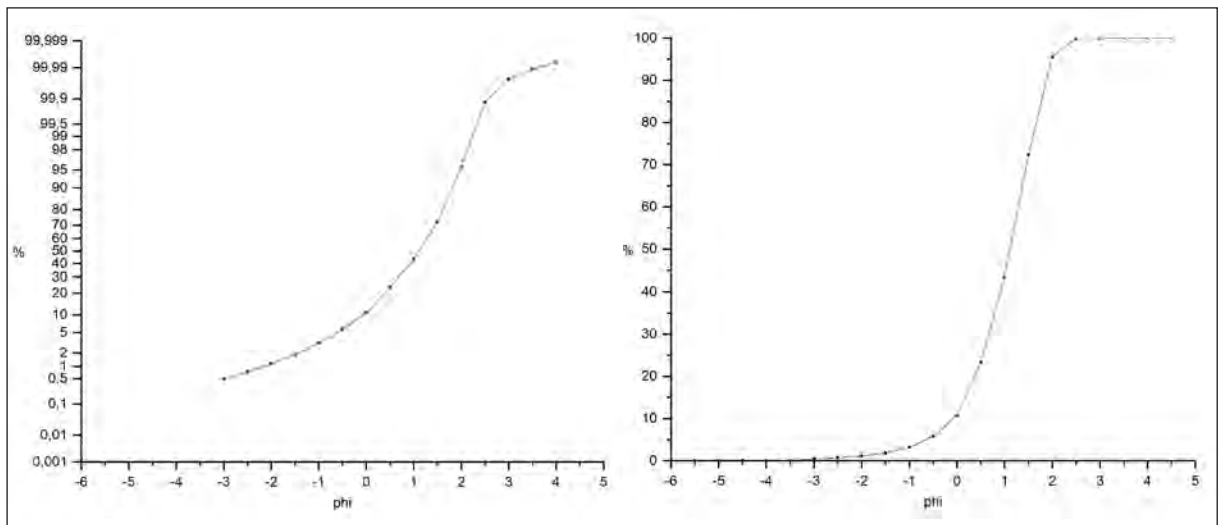


Figura 4. Curva cumulativa in scala lo-probabilistica (a sinistra) e log-lineare (a destra) di una sabbia grossolana moderatamente classata con asimmetria negativa.

Tabella 3. Valore dei vari percentile e dei parametri Media (Mz), Classazione (σ_1) e Asimmetria (Sk_1) di un campione di *sabbia grossolana* o *sabbia media moderatamente classata con asimmetria negativa*.

Percentile	Probabilistica	Lineare
1°	-2,161	-2,190
5°	-0,625	-0,649
16°	0,22	0,209
50°	1,108	1,111
84°	1,67	1,751
95°	1,972	1,984
Media (Mz)	0,999	1,024
Classazione (σ_1)	0,756	0,784
Asimmetria (Sk_1)	-0,280	-0,253

Considerazioni generali

La differenza fra il valore di ciascun percentile calcolato con i due metodi non è ovviamente costante ed è tanto maggiore quanto il punto d'interpolazione dista dai due punti 'noti': se dobbiamo determinare il valore del 16° percentile e la cumulativa passa per un punto noto a 16,1%, è chiaro che lo scostamento sarà minimo, mentre se il punto noto è, ad esempio, al 24,3% la differenza sarà maggiore.

Negli esempi sopra riportati le differenze fra il valore dei vari percentili possono essere considerate modeste e riguardano in genere il secondo decimale, ma bisogna notare che aumentano in corrispondenza delle code, dove si calcolano alcuni percentili frequentemente utilizzati, come il 1° di cui abbiamo parlato in precedenza, e il 5° e il 95° per la determinazione della Classazione (σ_1) e dell'Asimmetria (Sk_1).

Le differenze vanno poi lette alla luce del range possibile, o più frequente, per ciascun parametro: estremamente ampio per il valore della Media, minore per quello della Classazione, ma confinato fra -1 e +1 per l'Asimmetria.

Questa può passare da positiva a negativa, come nel caso della sabbia molto fine dei fondali al largo di Alba Adriatica (Fig. 1) influenzando in modo notevole il risultato di alcune elaborazioni, come la determinazione delle possibili direzioni del trasporto sedimentario di Gao e Collins (1992). Inoltre, nella classificazione dei sedimenti, sia per Media, sia per Classazione ed Asimmetria, si può verificare un salto da una classe all'altra, es. da *ben classata* a *molto ben classata*, sempre per la sabbia di Alba Adriatica.

Altro elemento da considerare è la variabilità sedimentologica dei campioni dell'area da studiare: se nella stesso tratto di litorale sono presenti sabbie fini ben classate e sedimenti grossolani poco classati (es. alcune spiagge liguri), la loro differenziazione sarà evidente con entrambi i metodi di calcolo, ma in un litorale costituito da sedimenti molto omogenei (es. Nord Adriatico), le differenze prodotte dal metodo di calcolo potrebbero essere superiori a quelle realmente esistenti fra coppie di campioni.

L'uso della scala log-probabilistica ha anche altri vantaggi, come ad esempio la possibilità percepire immediatamente quanto una distribuzione si discosti dalla normalità o quella di identificare le frazioni del sedimento soggette a processi di trasporto diversi, come messo in evidenza da Visher (1969).

Conclusioni

In ogni caso, la descrizione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti, se fatta attraverso i parametri di Folk e Ward (1957), deve rispettare la metodologia proposta da questi autori, se non altro per ottenere risultati confrontabili con quelli prodotti negli ultimi 65 anni, ed anche in quei casi in cui la distribuzione granulometrica non sia 'normale'. Ma vi è un motivo ancor più generale, ed è la necessità di rispettare quel rigore metodologico su cui si basa la scienza, che non deve essere abbandonato solo perché vi è una strada più rapida e a costo zero per raggiungere un obiettivo.

Bibliografia

Folk R. e Ward W.C., 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3-26.

- Friedman G.M., 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31: 514-529.
- Friedman G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 3: 327-354.
- Gao S., Collins M., 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sedimentary Geology*, 80: 47-60.
- Inman D.L., 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary petrology*, 22: 125-145.
- Krumbein W.C., 1934. Size frequency distributions of sediments. *Journal Sedimentary Petrology*, 4: 65-77.
- McCammon R.B., 1962. Efficiency of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *Journal of Geology*, 70: 453-465.
- Passega R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 830-847.
- Trask P.D., 1932. Origin and environment of source sediments of petroleum. Gulf Pub., 323 p.
- Visher G.S., 1969. Grain-size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39: 1074-1106.
- Wentworth C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal Geology*, 30: 377-392.