

Proprietà idrauliche dei sedimenti sabbiosi: significato fisico e loro impiego*

R. OLIVOTTI**

SOMMARIO: Si formulano alcune indicazioni sulle proprietà idrauliche che, nelle varie situazioni esaminate (sperimentazione su modelli a fondo mobile, dissabbiamento delle acque di rifiuto e di quelle per uso idroelettrico, studi in natura sul trasporto solido sui fiumi e nei litorali, studio teorico del trasporto turbolento in sospensione etc.) paiono rappresentare meglio il comportamento dei sedimenti sabbiosi.

Si propongono quindi alcuni criteri per decidere delle forme di analisi granulometrica che — tenuto conto di esigenze talora contrastanti di precisione e di praticità — risultino essere, caso per caso, più convenienti.

Il discorso fa capo ad una distinzione tra il significato fisico ed il valore convenzionale delle grandezze cui si suole connettere il comportamento dei materiali sabbiosi in fase di erosione e di trasporto (diametri passanti al setaccio, d. nominali, d. equivalenti, coefficienti di forma, velocità di caduta...).

1. Introduzione.

Lo studio del trasporto solido ad opera delle correnti idriche ha sempre rivestito un interesse notevole, ed è particolarmente attuale. Si osserva in particolare che il gioco tra erosione e ripascimento delle spiagge, la dinamica degli alvei fluviali, e numerosi altri temi concernenti sia la difesa del suolo che i trattamenti delle acque di approvvigionamento e di scarico, sono, appunto, questioni di trasporto solido.

Purtroppo, però, nonostante i sensibili progressi che, soprattutto in epoca recente⁽¹⁾, sono stati compiuti in questo senso, le conoscenze in proposito restano per più versi un po' insoddisfacenti.

Il fenomeno in questione dipende, come si sa, non solo dalle caratteristiche della corrente — per esempio della sua velocità — ma anche dalle proprietà fisiche che individuano il comportamento idrodinamico delle particelle erose e trasportate, ovverosia dalle loro proprietà idrauliche; ad esempio dal loro peso, dalle loro

dimensioni, ecc.⁽²⁾.

Si comprende quindi come un importante capitolo degli studi sulla sedimentazione sia inteso a determinare quali siano queste proprietà, quali tra di esse le più significative nei riguardi di quel particolare fenomeno che si indaga e quali siano i modi di misurare le grandezze fisiche corrispondenti — lunghezze, densità...⁽³⁾

⁽²⁾ Non vengono qui di proposito considerate le proprietà che conferiscono coesione e che interessano in genere le frazioni più minute dei sedimenti, sebbene esse riguardino in modo diretto la fase di erosione; nemmeno sono qui discusse quelle altre proprietà elettrochimiche da cui dipendono la coagulazione e la flocculazione delle particelle. Questi fenomeni sono però ristretti, in sostanza, al campo delle argille, il cui moto si identifica quasi con quello della corrente che le trasporta; esse presentano, nell'ambito di questo esame che concerne gli aspetti eminentemente idraulici ed idrodinamici del trasporto solido, interesse alquanto limitato rispetto il comportamento delle sabbie. Con ciò, naturalmente, non si vuol disconoscere a tali fenomeni un ruolo che talora è fondamentale, ma che, però, può rientrare meglio in un'altra sfera di ricerche. [MIGNIOT, 1968]

⁽³⁾ A sua volta l'esecuzione di queste misure comporta difficoltà di diverso genere, secondochè esse siano inerenti ad accurate ricerche di laboratorio, o a sistematiche rilevazioni che abbiano per principale requisito la praticità.

Per dare un'idea dell'importanza di questo genere di problemi, ricordo tra l'altro che, proprio allo scopo di perfezionare i metodi e le tecniche di prelievo e di analisi dei sedimenti è stato istituito negli Stati Uniti, inizialmente — [1939] — presso l'Istituto di Ricerche Idrauliche dell'Università di Iowa, e per iniziativa di diversi Enti pubblici, un gruppo di studio, o « Comitato interpartimentale ». Nel 1946 le funzioni di questo gruppo vennero assorbite dal Comitato Interministeriale per il controllo dei bacini idrografici, e, nel 1948, la sede della sua

* La presente memoria costituisce la prima parte di un lavoro di aggiornamento e di documentazione in vista della compilazione di una bibliografia ragionata sui metodi e strumenti di analisi granulometrica. L'autore ringrazia il Prof. Francesco RAMPONI, direttore dell'Istituto, per il materiale bibliografico e per le attrezzature di laboratorio messe a disposizione.

** Dott. ing. Raffaello OLIVOTTI, assistente di ruolo presso l'Istituto di *Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Università degli Studi, Trieste.

⁽¹⁾ Si può leggere, a questo proposito, la relazione di Vito A. Vanoni, [VANONI, 1963].

In questa nota si è cercato di esaminare sotto la prospettiva unitaria della loro possibilità di impiego diverse (e ben note) proprietà idrauliche, (per brevità « p.i. »). Si è pensato che potesse così saturare meglio il loro intrinseco significato fisico, e, con esso, anche un orientamento per decidere, secondo le necessità che via via si presentano, di quale p.i. tener preferibilmente conto ed a quale tecnica di analisi fare ricorso.

Com'è noto, infatti, in diverse occasioni i sedimenti possono venir caratterizzati vantaggiosamente con parametri diversi dal ben conosciuto — e per vari aspetti ancor utile — « diametro passante al setaccio »; l'impiego di questi parametri — tra i quali si annoverano, ad esempio, la velocità di caduta in acqua ferma, vari coefficienti di forma, « diametri » di diversa definizione —, può far nascere qualche perplessità in chi non abbia potuto approfondire l'argomento, tanto più che la letteratura al riguardo è, oltrèchè estesa, talora non concordante.

Pare inoltre che talune parti dell'argomento — come la questione dei coefficienti di forma — si siano prestate a sviluppi di una certa finezza, i quali però, avendo forse talora più pregio di esercitazione e di pura speculazione che interesse applicativo, possono disorientare chi voglia intraprendere in proposito un rapido lavoro d'aggiornamento.

Il contenuto di questa nota riflette in una certa misura punti di vista personali (ciò sia nell'impostazione e nell'ordinamento del discorso, sia nel significato che si connette alle varie p.i., considerate), e, come tale, lasciano ampio margine alla discussione.

Si riconosce infine che il genere di considerazioni qui svolte appartiene ad un tema di studio, a quanto pare, piuttosto attuale, che può essere affrontato con i metodi più efficaci dell'analisi dimensionale e con ricorso a tecniche matematiche rigorose (ma anche poco accessibili; ampi riferimenti alla letteratura pertinente

attività venne trasferita al Laboratorio di Idraulica di St. Antony Falls, in Minneapolis. Le sue competenze sono andate poi via via allargandosi ai vari problemi della sedimentologia che si presentavano alle pubbliche amministrazioni. Per più estese notizie sulla attività del Comitato si veda F. W. Witzigman, [WITZIGMAN, 1963].

Le ricerche svolte nell'ambito di quel programma sono state particolarmente felici, e costituiscono un riferimento necessario per tutti coloro che si occupano dell'argomento. Un compito analogo viene svolto nella repubblica Sovietica da un apposito ufficio dell'Istituto Idrologico di Stato [SOLOVJEV, 1949]; del resto iniziative consimili sono state assunte in diversi altri paesi.

si trovano nel recente lavoro di HERBERTSON, 1969).

2. Proprietà idrauliche dei sedimenti sabbiosi: significato fisico e valore convenzionale.

È forse il caso di puntualizzare — prima di scendere a questioni particolari — cosa siano ed « a cosa servano » le p.i. di cui si sta appunto parlando.

Basterà ricordare, per ciò, che è fine preminente dei vari studi sul trasporto solido il consentire la previsione di certi fenomeni.

Queste previsioni possono essere svolte, in sostanza, attraverso due vie, che fanno capo ad altrettante « ipotesi di partenza ».

a) Il meccanismo di un certo fenomeno è compreso abbastanza bene, affinché tali previsioni discendano con una certa generalità da pertinenti formulazioni; che queste ultime assumano veste analitica o di relazione funzionale, devono comunque in esse comparire quelle proprietà del sedimento⁽⁴⁾ che effettivamente ne individuano — in quelle particolari circostanze — il comportamento idrodinamico.

Si tratta dunque di proprietà ben definite (altrimenti non potrebbe ritenersi ben definito nemmeno il fenomeno nel suo insieme), alle quali competono un preciso ruolo ed un effettivo significato fisico; ad esse, e solo ad esse, pare appropriato riferire il termine di « p.i. ».

Per tradurre quanto detto in un esempio concreto, si può prendere in considerazione il moto di sedimentazione di una particella sferica in un fluido fermo; si voglia prevedere la velocità di sedimentazione assegnate che siano la densità della particella ed ogni pertinente proprietà del fluido.

La cosa si può fare sulla sola scorta di deduzioni analitiche, se il moto ha carattere viscoso; sia il peso che la resistenza all'avanzamento della sfera vengono messi in relazione analitica ad un solo elemento geometrico, che è il dia-

⁽⁴⁾ Naturalmente le p.i. dei sedimenti sabbiosi e cioè di un insieme di particelle, sono espresse dalla distribuzione statistica delle p.i. dei singoli grani. Tale distribuzione può essere espressa da un istogramma, da una curva (v. la nota « curva indice di granulazione »), da un valore medio accompagnato o no da coefficienti che individuano proprietà statistiche della distribuzione in oggetto (dispersione, grado di asimmetria, ...).

Nel seguito del discorso si fa precisamente riferimento alle p.i. del grano isolato; è chiaro però che la necessità di una siffatta valutazione statistica pesa in modo decisivo sull'applicabilità dei vari metodi di analisi granulometrica proponibili.

metro; quest'ultimo rientra dunque appieno nella definizione di p.i. appena avanzata.

Nel caso che il moto fluido indotto dalla discesa della sfera non abbia carattere viscoso, la resistenza all'avanzamento si può esprimere mediante un coefficiente, deducibile sperimentalmente, che tien conto del fenomeno di separazione; quest'ultimo fenomeno si pone in relazione ad un certo valore del numero di Reynolds ed è, quindi, di nuovo connesso al diametro della sfera.

Anche in questo secondo esempio il diametro conserva il carattere di p.i., in quanto la sua misura — pur rientrando nel procedimento di previsione il riferimento ad una valutazione sperimentale — individua appieno il comportamento della particella nei riguardi del fenomeno di caduta ora considerato.

b) Non si è in grado di dare una soddisfacente formulazione al fenomeno, sebbene l'andamento di questo possa essere, nel suo complesso, afferato; in particolare non si sanno riconoscere le proprietà che determinano il comportamento di un certo insieme di particelle in determinate circostanze, anche se l'analisi riesce fattibile nei confronti di una particella isolata di forma ben definita ed in una ben definita situazione.

Ad esempio, è possibile prevedere, in linea teorica, le condizioni di moto fluido per cui un certo grano di sabbia, appoggiato su di un fondo liscio, viene spostato; sono cioè individuabili gli elementi geometrici che ne determinano la portanza, la resistenza al rovesciamento ed al sollevamento, etc.; quando però si debba estendere l'analisi alla valutazione statistica degli elementi geometrici che definiscono il comportamento di un insieme di particelle di forma e dimensioni variabili, e tra di loro interagenti, il discorso diviene difficile, ed, ai fini applicativi, probabilmente inutile; infatti l'applicazione delle pertinenti formulazioni richiederebbe laboriose misure in termini di frequenza dei vari parametri così individuati.

In tutti questi casi le previsioni volute possono essere effettuate sulla scorta della sola esperienza; occorre cioè sapere « come sono andate le cose » in circostanze « uguali »: stesse condizioni di moto fluido, stesso tipo di sedimento.

Allo scopo è necessario caratterizzare od « etichettare » in modo qualsiasi — purchè ben definito — il materiale sedimentabile; altrimenti non si potrebbe stabilire nemmeno una corrispondenza empirica tra un caso e l'altro.

L'individuazione del « tipo » di sedimento viene

dunque svolta attraverso la misura di proprietà che può avere legame anche molto scarso col l'effettivo prodursi del fenomeno.

A questo punto prende spontaneamente consistenza una certa distinzione tra le p.i. « effettive » e questo altro genere di proprietà, alle quali ci si potrebbe più appropriatamente riferire con il termine, ad es., di « proprietà indice ».

Pare a chi scrive che questo elementare criterio di distinzione, — il quale del resto non costituisce una novità — consenta di ordinare in un accettabile schema le numerose grandezze ed i parametri che vengono considerati ed adoperati come p.i., e fornisca una utile « chiave » a discuterne, caso per caso, i rispettivi meriti.

2.2. Proprietà idrauliche propriamente dette.

Un grano viene definito, sotto il profilo del suo comportamento idrodinamico, dalla sua densità, dalla dimensione, dalla forma.

Sono dunque p.i. oltrechè la densità, i vari elementi e rapporti geometrici da cui dipende in modo univoco il suo comportamento idrodinamico.

Se si restringe l'attenzione al campo dei sedimenti naturali, la cui densità è con buona approssimazione costante, lo studio delle p.i. si riconduce essenzialmente all'individuazione ed alla misura dei corrispondenti elementi geometrici.

Questi ultimi sono numerosi, in quanto varie sono le condizioni in cui si esercita la forza di trascinamento; il granello appoggiato sul fondo rappresenta una sezione resistente alla corrente che dipende dall'orientamento reciproco, e che è in genere diversa da quella che interessa il moto di caduta libera (e che corrisponde, quando prevalga la resistenza di forma, alla sezione trasversale più ampia); la distribuzione delle velocità in prossimità del fondo è influenzata dalla scabrezza, e cioè da certe dimensioni dei granelli che non corrispondono a certe altre, esprimenti ad es. la loro resistenza ad essere rotolati, e così via.

Questi elementi geometrici possono essere individuati — in linea teorica — analizzando in dettaglio — per quanto ciò sia possibile — lo svolgersi del trascinamento sul fondo, del trasporto in sospensione, e le corrispondenti interazioni granello-fluido.

Ciò è stato fatto in più luoghi: [BROWN 1949, VANONI 1961, RAUDKIWI 1967].

Si preferisce non riprendere qui una tale esposizione, anche perchè, sebbene essa rappresenti probabilmente il modo scientificamente

più istruttivo di analizzare il problema, le ancor scarse conoscenze sull'effettivo prodursi del fenomeno, la varietà delle situazioni (e, soprattutto, delle forme), rende quasi disperata la formulazione di teorie soddisfacenti che siano fondate sulla individuazione ed inoltre sulla misura di tutti gli elementi geometrici pertinenti.

Come accennato, poichè la determinazione della loro distribuzione statistica rappresenta un lavoro improbo, quand'anche il problema trovasse soluzione concettuale, a questa non corrisponderebbero probabilmente applicazioni.

Queste difficoltà possono essere superate sfruttando come sistema di classificazione lo stesso fenomeno che si vuole indagare, od altro ad esso analogo. In quest'ordine di idee rientra ad es. la misura della velocità di caduta in acqua ferma, «*w*». Il valore di «*w*» che dipende dalla combinazione di vari elementi geometrici e dalla densità, individua infatti in modo univoco — pressochè indipendente dalla forma e dalla densità — i caratteri del moto in sospensione.

2.3. *Proprietà indici*

Si vorrebbe ora porre meglio in evidenza quanto sia di convenzionale nel significato di quei parametri ai quali si è voluto riferire il termine «*proprietà indice*».

Allo scopo, considerati due diversi campioni di sedimento — o, più in generale, di materiali granulari — si supponga che la distribuzione statistica delle forme competenti agli elementi di pari dimensione sia la medesima per entrambi; se questo fatto — il quale, seppur grossolanamente, risulta verificato di frequente — sussiste, avviene che l'eguaglianza nella distribuzione statistica di una qualsiasi purchè ben individuata e convenuta dimensione — es.: volume, diametro passante al setaccio, etc. — implica al tempo stesso la uguaglianza della distribuzione di ogni altra dimensione o proprietà geometrica che si voglia considerare, e quindi di tutte le varie proprietà idrauliche: due campioni sono allora granulometricamente identici.

Per confrontare le p.i. di un campione con quelle di un altro, basterà quindi riferirsi alla misura di una qualsiasi dimensione, la quale potrà essere scelta, di conseguenza, più in funzione della comodità con cui può essere rilevata, che in rapporto alla sua significatività come proprietà idraulica.

Avviene così che la proprietà più conosciuta — che è il diametro passante al setaccio, «*d_s*» — abbia in sè stessa scarso significato come pro-

prietà idraulica, e debba piuttosto la sua fortuna al fatto che, mediante la setacciatura, risulta relativamente agevole sia associare, in modo convenzionale ma univoco, una certa dimensione ad un granello di forma qualsiasi, sia separare in gruppi, ovvero classificare, il numero insieme di particelle che costituisce un campione da analizzare.

I termini p.i. «*effettiva*» e «*indice*» si sono riferiti, veramente, più al ruolo che un certo parametro è chiamato a svolgere nei confronti di un certo fenomeno, che ad una sua intrinseca qualità; è infatti possibile che una certa grandezza svolga in una certa occasione un ruolo effettivo di p.i. ed, in un'altra occasione, quello di «*indice*»; tali termini, quindi, non sono antitetici, nel senso che una p.i. effettiva — come «*w*» — in certe occasioni può essere assunta — ed anzi è auspicabile che lo sia — a rappresentare convenzionalmente come p. «*indice*» le caratteristiche di un sedimento, (v. seguito).

I motivi della distinzione che si è voluta fare tra p.i. e p. indice potrebbero essere, volendo, approfonditi; ma ciò sembra, almeno in questa occasione, superfluo.

2.4. *I coefficienti di forma.*

Tra le p.i. dei sedimenti si annoverano anche i «*coefficienti di forma*». La loro importanza appare, ai fini applicativi, alquanto limitata; il significato di questi coefficienti è poi piuttosto sottile e si presta un poco all'equivoco [OLIVOTTI, 1969, b.]; peraltro la loro definizione riesce quanto mai opportuna e chiarificatrice, nel contesto della distinzione appena svolta tra significato fisico e valore convenzionale dalle varie proprietà idrauliche.

La misura di una p. indice — cui corrisponde, ad es. una certa curva indice di granulazione — consente di definire in modo spesso soddisfacente le p.i. dei materiali granulari (nel senso che la previsione di un fenomeno può essere riferita a quanto sia già stato verificato in circostanze analoghe) semprechè, come detto, sussistano le ipotesi già fatte sulla somiglianza nelle forme dei granelli.

A mano a mano che questa ipotesi di somiglianza viene compromessa, un tal genere di riferimento diviene sempre meno valido: ad es. è illusorio paragonare il comportamento di particelle di forma scagliosa (v. particelle di mica o certi materiali plastici impiegati in laboratorio) a quello di sabbie naturali rotondeggianti, sulla base di una curva granulometrica.

Si presenta quindi l'opportunità di definire in qualche modo la forma dei granelli, al fine di costituire « categorie di forme affini » entro le quali poter trasferire ed utilizzare i risultati delle prove sperimentali.

Sono stati perciò adoperati i termini « granelli piatti, rotondeggianti » i quali, pur costituendo apprezzamenti fatti « ad occhio » contribuiscono certo a precisare, assieme ad una granulometria-indice, il comportamento idraulico.

Si è poi cercato di istituire un criterio di classificazione più rigoroso, ricorrendo ad espressioni numeriche delle menzionate qualità di forma [RUBEY 1933, MALAIKA 1949, ALBERTSON 1952, DURAND 1953, MAMAK 1964, CHRISTIANSEN 1965, GRAF 1966, ALGER 1968, ROMANOVSKY 1966]; per solidi di forma regolare, v. ad es. [PETTYJOHN 1948, Mc NOWN 1950, 1951]; i coefficienti di forma, (« c.f. ») consistono appunto in queste espressioni.

Un c.f. è dunque un numero, espresso dal rapporto tra elementi geometrici opportunamente scelti e combinati; esso è tale che tutti i granelli caratterizzati contemporaneamente dal medesimo valore di una certa p. indice e dal medesimo valore di quel coefficiente si comportano in modo analogo nei riguardi di un determinato fenomeno; il c.f. si presenta quindi come proprietà « ausiliaria » delle p. indice; la sua formulazione, che riposa sull'esperienza, ne « calza » però i risultati, almeno nel caso di forme irregolari, in modo sempre approssimativo.

In ogni caso la struttura di tali coefficienti dipende non solo dal particolare fenomeno considerato, ma anche dalla particolare p. indice, che si assume a rappresentare la dimensione del granello.

Quanto ora esposto può essere chiarito con un esempio elementare. Considerato il moto di una sfera immersa in acqua, il rapporto:

$$C_D = \frac{F}{\rho AV^2/2}$$

viene detto « coefficiente di resistenza »

F = spinta idrodinamica

V = velocità relativa sfera-acqua

ρ = densità dell'acqua

A = $\frac{\pi D^2}{4}$, essendo D il diametro della sfera.

Nel moto di caduta libera, F = peso immerso, V = w (velocità di caduta in acqua ferma).

C_D è funzione del numero di Reynolds della particella,

$$C_D = f(R_p) = \left(\frac{VD}{\nu} \right)$$

(ove ν = viscosità cinematica dell'acqua a quella certa temperatura).

L'andamento di tale funzione viene descritto da una ben nota curva costruita sperimentalmente, (o, come si dice, « per punti »).

Questo grafico presenta un certo interesse applicativo nel senso che, volendo, si può stabilire per suo tramite una relazione tra la velocità di caduta di una sfera in un fluido qualsiasi, ed il suo diametro « D ».

Ma nel caso di grani sferici cadenti in acqua è certo più comodo ricorrere ad abaci e diagrammi « w - D » che forniscono simili indicazioni in modo più diretto [VANONI, 1962].

Si voglia ora prendere in considerazione il caso di una particella di forma qualsiasi, anziché di forma sferica. Si supponga che sia conosciuta di essa una certa dimensione indice, come, ad es. il diametro nominale « d.n. » (v. seguito).

Si ammetta che sia individuabile e conosciuta la sezione trasversale « A » (questa sezione corrisponde, nel caso di caduta libera in cui predomini la « resistenza di forma », alla sezione trasversale massima).

È possibile quindi, mediante una serie di esperienze, stabilire una relazione del genere già visto:

$$C_a = \frac{F}{\rho \cdot A \cdot V^2/2} = f_1 \left(\frac{V d_n}{\nu} \right) = f_1(R_p)$$

Ebbene, siffatta relazione vale solo per il particolare granello esaminato; non è valida cioè per qualsiasi altro granello che, pur venendo caratterizzato mediante la dimensione « d_n », abbia forma diversa.

Una relazione del genere sarebbe pertanto utilizzabile solo per quel particolare granello e per gli altri che abbiano forma identica alla sua, o, almeno, « abbastanza uguale ».

L'introduzione di un opportuno coefficiente di forma, « α », permette di stabilire, appunto, quando un granello abbia forma « abbastanza uguale » a quello di un altro, affinché per essi possa valere, con buona approssimazione, la stessa relazione:

$$C_a = f_1(R_p)$$

Come ha dimostrato Albertson, [ALBERTSON, 1952] una espressione soddisfacente di tale coefficiente di f . è la seguente (e ne sussistono numerose altre [OLIVOTTI 1969 b]):

$$\alpha = \frac{c}{\sqrt{ab}}$$

ove, a , b , c , sono gli assi del granello rispettivamente massimo, intermedio e minimo fra loro perpendicolari.

Il « coefficiente di forma » α assume vari valori, e definisce così altrettante « categorie di forma » all'interno delle quali si può ritenere che i grani siano « abbastanza uguali » ai fini predetti.

La relazione dianzi scritta assume quindi la forma più generale:

$$C_d = f(R_e, \alpha) \text{ oppure } C_d(R_e, \alpha).$$

Naturalmente, per conoscere il valore di « α » bisogna ricorrere a laboriose misure al microscopio di a , b , c , granello per granello; ciò limita fortemente, a giudizio dello scrivente, l'applicazione dei c.f. alle necessità della pratica (⁶).

Apparirà poi chiaro quanto è stato già accennato all'inizio del paragrafo, e cioè che la funzione di un determinato c.f. resta soddisfacente — quanto lo è — solo nell'ambito del particolare fatto fisico per cui è stata concepita, ed in rapporto alla particolare p.i. indice considerata.

In altre parole, ad esempio, non è detto che quanto esposto a proposito del coefficiente « α » sia altrettanto ben verificato qualora si sostituisca al « d_n » la misura del « d_s », e nemmeno che l'uguaglianza di comportamento possa essere estesa al moto di trascinamento sul fondo; in questi casi potrà, invece, dimostrarsi più adeguata l'adozione di un coefficiente di forma di differente concezione.

3. Diametri « passanti al setaccio », « diametri equivalenti », « diametri nominali ».

3.1. Nei precedenti paragrafi si è voluta fare una distinzione tra significato fisico e valore convenzionale da annettere ad una generica proprietà idraulica.

(⁶) Volendo poi mettere in relazione « w » con « d_n » (o « d_s ») anziché con « A », occorre ricercare un coefficiente di forma « β » tale che, per tutti i grani caratterizzati dal medesimo valore di β , sia valida una certa relazione tra « A » e « d_n » o « d_s ».

In tali prospettive vengono ora inseriti alcuni commenti sullo impiego delle due più importanti p.i., che sono il « diametro » del granello e la velocità di caduta in acqua ferma; essi formano tra l'altro l'oggetto di gran parte dei metodi di analisi comunemente adoperati.

Una questione piuttosto discussa è quale delle due proprietà sia più « importante »; nei paragrafi 3 e 4 lo scrivente espone come, a suo parere, sia preferibile prendere in considerazione l'una o l'altra di esse, secondo le circostanze.

3.2. La p.i. dei sedimenti più nota è certamente il « diametro del granello passante al setaccio », o « d_s »; come è noto, la misura di tale diametro corrisponde alla luce della maglia più stretta attraverso cui può passare il granello, o della maglia più larga attraverso cui non passa.

Fissata la forma della maglia (spesso quadrata, talora circolare; in linea di principio potrebbe assumere anche altre forme, purché fissate) è possibile così associare ad ogni granello in modo univoco una ben individuata per quanto convenzionale dimensione.

La misura del « d_s » fornisce indicazioni tanto più incerte sulle effettive dimensioni del granello quanto meno sia conosciuta la forma di quest'ultimo. Nel caso di sedimenti naturali il « d_s » riveste quindi, in modo tipico, ruolo di p.i. indice.

Nel caso di grani di forma fissata — es.: sfere di vetro o di plastica adoperate in laboratorio — il « d_s » acquista invece, ovviamente, un significato fisico più importante.

Il favore che ancora oggi incontra l'analisi mediante setacciatura pare giustificato e dal fatto che spesso non si conoscono altre tecniche di analisi granulometrica delle sabbie, e dal fatto che, essendo in diverse occasioni abbastanza costante la forma dei grani naturali, la curva di granulazione così ottenuta può essere utilmente impiegata come « indice » delle effettive p.i., e costituisce una utile base di riferimento tra vari risultati sperimentali.

È noto ad esempio che nel diagramma di Shields, sul quale si possono raccogliere i risultati delle esperienze sulla incipienza del moto dei materiali sul fondo, le dimensioni dei granelli naturali possono essere rappresentate (o, meglio, « indicate ») dal « d_s »; se sono però impiegati grani la cui forma media si discosta fortemente da quella che si riscontra di solito in natura, la curva « critica » di Shields viene, per essi, un po' spostata.

Un altro esempio: è possibile derivare da una

curva indice di granulazione ricavata da una sabbia di fiume la distribuzione dei « diametri equivalenti » (v. seguito); ciò si fa mediante fattori correttivi ricavati sperimentando, appunto, su sabbie di quella origine.

Ma sbaglia, a giudizio dello scrivente, chi applica quei medesimi fattori correttivi ad analisi granulometriche effettuate su particelle di origine diversa (es.: granelli cubici, cilindrici, sabbie scagliose).

L'impiego dei « fattori di forma » è stato proposto per ovviare appunto a difficoltà di tal genere, connaturate cioè all'effetto della forma.

Per quanto è già stato esposto a questo proposito, lo scrivente non ritiene però che l'impiego di tali fattori possa essere — per lo meno ai fini applicativi — veramente felice, e propone invece di ricorrere, eventualmente, ai consueti apprezzamenti fatti « ad occhio »; rotondeggianti, spigoloso, etc.

In definitiva, la classificazione mediante setacciatura pare consigliabile, nei seguenti casi (e comunque, si ricorda, per dimensioni dei granelli superiori agli 80 μ):

a) quando basti conoscere con larga approssimazione le p.i. del campione da analizzare; i granelli possono in tal caso essere assimilati a sfere, ed il « d_s » viene assimilato, in tal caso, ad una p.i. fondamentale.

b) quando pur essendo richiesta una certa precisione, non si disponga di strumenti più appropriati, o, comunque, il loro reperimento rappresenti un onere non proporzionato al beneficio;

c) quando si affidi al « d_s » ruolo di p. indice, e cioè quando (si ripete per chiarezza quanto già esposto) non si abbiano di mira tanto indicazioni sulle effettive p.i., quanto interessi disporre di un sistema di confronto tra le p.i. del campione da analizzare e le p.i. di un materiale di cui sia stato già sperimentato il comportamento.

Ciò si verifica molto bene, ad es., per campioni ben assortiti presi da uno stesso ammasso, e vagliati con modalità uguali⁽⁶⁾, ed abbastanza bene anche per sabbie prelevate dalla medesima cava o dallo stesso tratto di fiume o di costa.

3.3. Per rappresentare le dimensioni di una

(6) Ciò può essere tenuto presente quando si vogliono confrontare tra loro i risultati di sperimentatori diversi: [ISMAIL, 1944].

particella ci si può riferire, anziché alla misura del « d_s », a quella del « diametro equivalente », « d_e », che è il diametro della sfera che ha densità uguale a quella del granello considerato ed uguale velocità di caduta « w » in acqua ferma (ad una certa temperatura).

Questo nuovo parametro ha a che vedere con le effettive dimensioni del granello tanto poco quanto il « d_s »; esso è in sostanza una pura espressione di « w ».

La distribuzione del « d_e » non dice quindi nulla di più e nulla di meno di quanto non dica la distribuzione statistica delle velocità di caduta.

I risultati delle analisi granulometriche vengono però esposti, di preferenza, intermini di « d_e » anche quando non è una lunghezza ad essere misurata, ma la velocità « w »; ciò è dovuto probabilmente al fatto che si ha in tal modo una rappresentazione più intuitiva, più tradizionale ed immediata delle dimensioni del granello e delle p.i. che vengono istintivamente loro associate (granelli più « grossi » sedimentano più facilmente...).

Lo scrivente osserva inoltre che la determinazione del « d_e » prescinde in una certa misura dalla viscosità dell'acqua, e cioè dalla sua temperatura; infatti, mentre il valore di « w » risente sensibilmente dalle variazioni della viscosità, il diametro della sfera equivalente rimane con buona approssimazione costante.

Un certo granello, non sferico, è caratterizzato in genere da valori diversi del « d_s » e del « d_e ». Per questo motivo, quando le frazioni più grosse di un certo campione sono analizzate mediante vagliatura, e le più minute mediante sedimentazione, (i risultati essendo quindi espressi in termini, rispettivamente di « d_s » e « d_e »), si produce, nel tratto di contatto tra le due curve, una certa discordanza.

Questa difficoltà segna un piccolo punto a vantaggio dei moderni procedimenti di sedimentazione, i quali coprono, in sostanza, la intera gamma di dimensioni in cui sono comprese le sabbie ed i fanghi.

Vi sono però motivi assai più concreti, e che riguardano sia la precisione che la praticità delle analisi, per i quali in numerose occasioni lo impiego del « d_e » pare largamente preferibile a quello del « d_s »; poichè, come è stato detto, la misura del « d_e » è una pura espressione della velocità di caduta, l'esposizione di siffatti motivi si rimanda a quest'ultima voce (par. 4).

3.4. Se il « d_e » è un'espressione della velocità di caduta, il diametro nominale, « d_n », (diametro della sfera avente volume uguale a quello del

granello considerato) è una pura espressione del volume; come tale il « d_n » è la proprietà geometrica fondamentale che individua il peso della particella; l'impiego della « d_n » è stato poi proposto, [ALBERTSON, 1952] nel ruolo di p. indice in sostituzione del « d_s », in quanto la definizione di diversi coefficienti di forma risulta più soddisfacente in funzione del « d_n » che del « d_s ».

L'impiego di questo diametro risulta tuttavia ancora ristretto a particolari ricerche in quanto, sebbene esso costituisca in diverse occasioni una p. indice effettivamente migliore del « d_s », non è facile procedere alla sua misura.

Recentemente è stata però considerata la possibilità di fare uso, anche nelle analisi granulometriche di sedimenti naturali, di « contatori a resistenza », i quali misurano automaticamente il volume delle singole particelle che compongono il campione e le classificano di conseguenza e con grande precisione.

Può quindi darsi che in un prossimo futuro, per motivi di praticità e di precisione, nonché in vista del rilevante significato fisico di tale parametro, esso acquisti maggiore importanza e si sostituisca in molti casi alla determinazione del « d_s » e del « d_c », [INTER AGENCY COMMITTEE..., 1941, 1964].

4. Velocità di caduta in acqua ferma.

Per quanto riguarda il moto in sospensione di particelle discrete pesanti la velocità di caduta in acqua ferma, « w », è, molto probabilmente, la « p.i. fondamentale » per eccellenza (VANONI, 1962).

Si vuole precisare che per « moto in sospensione » si intende qui quella fase del moto di una particella in cui essa si trova a sufficiente distanza dal fondo (e dalle pareti) affinché la velocità propria alle zone fluide da essa attraversate non dipenda in alcun modo dalle dimensioni della particella medesima.

Ciò ovviamente non è vero, per es., nel caso di un grano isolato, appoggiato sul fondo liscio di una canaletta; infatti la velocità media della corrente che investe il grano è tanto più elevata quanto più essa « sporge » dal fondo.

La misura di tale sporgenza corrisponde presso a poco alla lunghezza dell'asse minore del grano, qualora esso si supponga appoggiato nel modo più stabile, (com'è più probabile che sia).

In queste condizioni, poichè l'uguaglianza della velocità di caduta in acqua ferma non implica necessariamente nè somiglianza di forma tra grano e grano nè parità di dimensioni (anzi im-

plica giusto il contrario, quando si consideri la densità come variabile) si può constatare che « w » non individua in modo univoco il comportamento del grano; sul fondo, od in prossimità di esso, il ruolo di « w » decade quindi da « fondamentale » ad « indice ».

Del resto ciò può essere verificato con una semplice esperienza.

Si è voluto ora considerare il caso dei grani isolati allo scopo di ammettere fissata la distribuzione delle velocità nella canaletta, ed, in particolare, il suo gradiente in prossimità del fondo.

Quando si voglia estendere il discorso al caso, più interessante, dell'erosione esercitata da una corrente su di un letto di granelli, bisogna allora tener conto del fatto che il gradiente della velocità risente, a sua volta, della scabrezza del fondo e, quindi, delle dimensioni già richiamate delle particelle, rapportate allo spessore dello strato limite ed al raggio idraulico del canale o condotto; per di più ha giuoco talora preponderante l'assetto più o meno ondulato assunto dall'insieme del materiale di fondo.

Non è il caso di diffondersi, nell'ambito di questa indagine, sui dettagli di tale questione; le conclusioni che l'autore ha creduto di poter trarre in sede separata sono che l'azione erosiva si fa sentire — a parità di « w » — più fortemente su di un letto di grani a basso peso specifico che su di un letto sabbioso.

Stando poi ai risultati di una recente indagine sperimentale di G. Scarpi, [SCARPI, 1968], pare poi che una marcata differenza di forma — che può essere anche espressa dalla sistematica deviazione di un certo coefficiente di forma rispetto un determinato valore — giochi di per sé un ruolo non trascurabile.

Quanto è stato ora esposto è inteso a limitare l'importanza che la velocità di caduta riveste nell'analisi teorica e sperimentale dell'erosione e del trasporto in vicinanza del fondo.

Le riserve appena avanzate si devono poi estendere al fenomeno del trasporto solido considerato nel suo complesso in quanto erosione e trascinamento sul fondo ne facciano parte integrante; inoltre, quando anche si ponga attenzione al solo « carico sospeso » si dovrà tener conto, nel caso che tale fase venga alimentata dalla « rimessa in sospensione », che anche i valori assoluti delle « concentrazioni solide » alle varie quote dipendono dai fenomeni « sul fondo ».

Secondo lo scrivente, però, se si restringe il discorso ai sedimenti naturali, in cui la densità

e la forma si possono considerare anche come costanti, la distribuzione statistica della velocità di caduta si presta ad individuare le p.i. del sedimento altrettanto e, probabilmente, più soddisfacentemente, di quanto non possa essere fatto con una curva indice di granulazione ottenuta dalla setacciatura.

Si ribadisce però che, in tal caso, e cioè per quanto riguarda il fenomeno del trasporto solido nel suo complesso, la velocità di caduta svolge più che altro ruolo di « indice », nel senso già definito.

La determinazione della velocità di caduta in acqua ferma acquista dunque importanza fondamentale solo:

a) quando si considera il « moto di sospensione » di particelle discrete (e cioè di dimensioni ed in concentrazioni abbastanza piccole affinché esse non influenzino il moto reciproco), e « pesanti », (e cioè di densità e dimensioni tali per cui l'effetto della gravità sia sensibile);

b) quando, inoltre, non interessi conoscere in modo particolare il valore assoluto delle « concentrazioni solide », oppure nella ipotesi che il fenomeno della rimessa in sospensione sia assente o trascurabile.

Questo ruolo fondamentale scaturisce dal fatto che la velocità assoluta di una particella può essere considerata come la risultante della velocità « U », propria alla zona fluida in cui essa si trova in quell'istante, e della velocità di caduta, « w »⁽⁷⁾.

Se si considerano quindi due particelle distinte, ognuna di forma, dimensioni e densità diverse dall'altra, ma tali però da scendere con la medesima velocità nel moto di caduta libera, esse si comporteranno certamente nello stesso modo — sempre, si intende — parlando in senso statistico — nel caso del loro trasporto in sospensione.

E così, l'aver determinato con precisione la distribuzione delle velocità di caduta significa, al tempo stesso, avere individuato implicitamen-

(7) Ciò è vero, a rigore, in un ambiente fluido non turbolento; altrimenti conviene ragionare in termini di accelerazioni e di forze ed aggiungere, quindi, allo slittamento « w » dovuto al « peso immerso » lo slittamento supplementare dovuto alla reazione di inerzia (comprendendo in quest'ultima anche l'effetto della « massa virtuale »). Questi effetti inerziali sono stati analizzati altrove dall'autore; i risultati di quella indagine, comprovati da alcune esperienze di laboratorio che si protraggono tutt'ora, assegnano a tali effetti una importanza di secondo ordine nei riguardi di gran parte delle applicazioni, [OLIVOTTI, 1968].

te ed appieno tutte le p.i. che influenzano il trasporto in sospensione del sedimento, (casi a) e b).

Del resto, in pressochè tutte le formule razionali cui approdano le teorie conosciute dallo scrivente sulla diffusione turbolenta di particelle « pesanti », le proprietà di queste ultime vengono rappresentate dalla misura della loro velocità di caduta.

A questo punto si spiega come effettivamente si presenti, in occasione di accurate ricerche di laboratorio, la necessità di misurare direttamente i valori di « w », in quanto essi non sono deducibili, se non in modo approssimativo, da calcoli basati sulle curve indice di granulazione ricavate dalla setacciatura, quand'anche si volesse tener conto dei coefficienti di forma.

Questa esigenza è stata avvertita da numerosi ricercatori⁽⁸⁾ alcuni dei quali sono addirittura ricorsi, non disponendo di strumenti adatti, alla misura diretta, granello per granello⁽⁹⁾.

Per quanto è stato fin'ora detto può apparire che l'interesse di tali tecniche resti confinato a particolari ricerche di laboratorio; e ciò sarebbe vero se non fossero stati messi a punto, presso il già menzionato laboratorio di Idraulica dell'Università di Iowa, alcuni dispositivi che riducono tali misure ad operazioni più agevoli e rapide della stessa setacciatura; il fatto più notevole è che possono essere analizzati in tal modo non solo i fanghi — i quali, comunque, anche prima dell'introduzione di tali metodi non erano classificati per setacciatura ma con procedimenti di sedimentazione — ma anche l'intera gamma delle sabbie.

Per di più, mentre la vagliatura e la pesata delle spesso esigue quantità ricavate dalla campionatura del « carico sospeso » presentano certe difficoltà, queste ultime vengono del tutto superate coi procedimenti di analisi per misura diretta di « w ».

In modo analogo a quanto è già stato fatto a proposito delle possibilità di impiego del « d_s »

(8) Basterà ricordare: [ROUSE, 1938a, 1939, 1940, 1941; VANONI, 1946].

(9) Ci si potrebbe chiedere come mai possa essere sentita la necessità di misurare con tanta precisione una p.i., come è « w », quando il fenomeno del trasporto solido è, nel suo complesso, conosciuto ancor così vagamente. Il fatto è che, quando si affronta sperimentalmente un fenomeno complesso, nella cui soluzione rientrano numerose incognite, giova isolare queste ultime, e risolverle separatamente; e ciò si può fare appunto « fissando » o misurando con precisione le altre. Lo scrivente, si è diffuso più ampiamente su di questo argomento altrove [OLIVOTTI, 1969].

(v. § 3.2), si vogliono ora raccogliere alcune indicazioni sui casi in cui, a giudizio dello scrivente, appare particolarmente consigliabile l'analisi per misura diretta di « w »:

a) in indagini sistematiche sul trasporto solido, svolte sia in natura che in laboratorio, e che implicino l'analisi di numerosi campioni; ciò vale soprattutto quando si abbia di vista in particolare lo studio del « carico sospeso », oppure quando le quantità campionate secche siano esigue;

b) in accurate indagini di laboratorio sul trasporto in sospensione con scarsa o nulla rimessa dal fondo (es.: studio su modello di disabbiatori o di vasche di sedimentazione), oppure nei casi in cui interessi conoscere la distribuzione relativa del « carico sospeso » nello spazio (e, soprattutto, sulla verticale);

c) nelle indagini di laboratorio non rientranti nel caso b), quando però a « w » venga assegnato ruolo di proprietà « indice » (v. par. 4.2.).

Conclusioni.

A giudizio dell'autore le analisi granulometriche fondate sulla setacciatura forniscono indicazioni alquanto approssimative sulle effettive proprietà idrauliche dei materiali sciolti, e, in particolare, su quelle dei sedimenti naturali; esse tornano utili per individuare un certo tipo di materiale, per poter così confrontare tra di loro diversi risultati sperimentali e stabilire convenienti relazioni funzionali; tutto ciò però a patto che sia conosciuta, per lo meno in maniera indicativa, la forma media dei granelli. Del resto in numerose circostanze (erosione, rimessa in sospensione) è così difficile analizzare e descrivere matematicamente le interazioni granello-fluido, che la deduzione — necessariamente su base statistica — delle proprietà idrodinamiche fondamentali appaiono, così come la loro misura, compiti ardui e poco promettenti. La sola proprietà che possa essere messa in diretta e soddisfacente relazione con certe fasi del moto (sedimentazione e moto in sospensione), e che sia al tempo stesso agevolmente misurabile in termini di frequenza, è la velocità di caduta libera dei granelli. D'altro canto neppure essa pare caratterizzare adeguatamente il comportamento del materiale in altre situazioni, nelle quali la misura della velocità di caduta, come quella di « un diametro » convenuto, conserva un valore puramente indicativo, di utile riferimento.

Ai §§ 3.2 e 4.4 si sono elencate le circostanze nelle quali, secondo l'avviso dello scrivente, appare più indicato tener conto dell'una o dell'altra delle proprietà richiamate.

Pur riconoscendo che la misura convenzionale di un « diametro » fornisce la rappresentazione più intuitiva e consueta delle qualità di un granello, l'autore ritiene che, nel complesso, la velocità di caduta sia la proprietà idraulica dei sedimenti più ricca di significato fisico; tenendo poi presente che certe tecniche di analisi granulometrica per sedimentazione presentano alcune vantaggiosità di carattere « pratico », in termini di rapidità ed accuratezza, rispetto le consuete operazioni di setacciatura, pare ragionevole sostenere che l'impiego degli appositi strumenti meriterebbe, anche nel nostro paese, una maggiore diffusione.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTSON M. L. (1952) - *Effects of shape on the fall velocity of gravel particles*. Proc. Fifth Hydraulics conf., Iowa Institute of Hydraulic Research.
- ALGER G. R. (1968) - *Fall velocity of irregular shaped particles*. Proc. ASCE, HY 3.
- ⁴BROWN C. B. (1949) - *Engineering hydraulics*. J. Wiley and Sons N. Y.
- CHRISTIANSEN R. I. (1965) - *The effects of shape and density on the free settling of particles at high Reynolds numbers*. A. I. Chem. Eng., vol. 11, Gennaio.
- DURANDS R., COHEN, DE LARA G. (1953) - *Vitesse de chute des grains de sable dans les fluides en milieu infini*. La Houille Blanche, vol. 8, n. 2.
- GRAF W. H., ACARAGLU E. R. (1966) - *Settling velocities of natural grains*. Bull. I.A.S.H., anno XI, n. 4.
- HERBERTSON I. G. (1969) - *Scaling procedures for mobile bed hydraulic models in terms of similitude theory*. Journal of hydraulic research, n. 3.
- INTER AGENCY COMMITTEE ON WATER RESOURCES (1964) - *A study of methods used in measurement and analysis of sediment Loads in streams; electronic sensing of sediment*. Progress report, Subcommittee on Sedimentation, St. Antony Falls Hydraulic Laboratory, Minneapolis.
- INTER AGENCY COMMITTEE ON WATER RESOURCES (1941) - *A study of methods for size analysis of suspended sediment samples*. St. Paul U.S. Eng. District Office, Hydraulic Laboratory University of Iowa, Iowa City, Iowa. Relazione n. 3: Analytical study of methods of sampling suspended sediment.
- ISMAIL N. M. (1944) - *Turbulent transfer mechanism and suspended sediment in closed channels*. Trans ASCE pag. 629.
- MAMAK W. (1964)* - *River regulation*. Tradotto da: US Dept. of Interior and NGF, Washington; D.C.

* Non consultato direttamente e non reperibile presso l'autore.

** Più ampi ragguagli bibliografici possono essere reperiti in appendice alle opere citate.

- Mc NOWN (1951) - *Particules en mouvement lent*. La Houille Blanche n. 5.
- Mc NOWN MALAIKA (1950) - *Effects of particle shape on settling —velocity at low Reynolds numbers*. Trans. A.G.U.
- MIGNIOT C. (1968) - *Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques*. Communication présentée au Comité technique de la Société Hydrotechnique de France, 22 mars.
- OLIVOTTI R. (1968) - *Sulla sedimentazione in moto turbolento di particelle che cadono con la medesima velocità in acqua ferma*. Trieste, Università degli Studi.
- OLIVOTTI R. (1969a) - *Di alcune esigenze di precisione nelle esperienze di laboratorio sul trasporto solido*. Rend. Int., Ist. Idraulica, Trieste.
- OLIVOTTI R. (1969b) - *Sulla sostanziale equivalenza di alcuni coefficienti di forma*. Rend. Int., Ist. Idraulica, Trieste, non pubblicato.
- PETTYJOHN et al. (1948) - *Effect of particle shape on free settling Rates of Isometric Particles*. Chem. Eng. Prog. vol. 44, n. 2.
- RAUDKIWI A. J. (1967) - *Loose boundary hydraulics*. Pergamon Press, London.
- ROUSE H. (1938a) - *Experiments on the mechanics of sediment suspension*. Proc. fifth int. Congr. Appl. mech., Cambridge, Mass.
- ROUSE H. (1939) - *An analysis of sediment transportation in the light of fluid turbulence*. California Inst. of Techn., Luglio.
- ROUSE H. (1940) - *Criteria for similarity in the transportation of sediment*. Proc. Hydr. Conf., Univ. of Iowa, Bull. n. 20.
- ROUSE H. (1941) - *Suspension of sediment in upward flow*. Investigations of the Iowa Inst. of Hydr. Res., Univ. Iowa - studies in Engineering, Bull. n. 26.
- ROMANOWSKY A. (1966) - *Settling velocity of coarse sediment*. Soviet Hydrology, n. 1.
- RUBEY W. (1933) - *Settling velocities of gravel sand and silt particles*. Am. J. of Science, vol. 225.
- SCARPI G. (1968) - *Influenza della forma del materiale di fondo sull'inizio del movimento*. L'Energia Elettrica, n. 4.
- SOLOVYEV N. Y. (1949) - *Examination of a device for studying the movement of coarse sediment in streams*. Soviet hydrology selected papers, n. 1.
- VANONI V. A. (1946) - *Transportation of suspended sediment by water*. Trans. A.S.C.E.
- VANONI V. A. (1962) - *Sediment transportation mechanics; introduction and properties of Sediment*. Progress Report by the Task Committee on Preparation of Sedimentation manual of the Committee on Sedimentation of the Hydraulics division », Proc. A.S.C.E., HY 4.
- VANONI V. A. (1963) - *Review of research activities on sedimentation*. Proc. of the federal inter agency sedimentation conference, U.S. dept. of Agriculture, misc. publ. n. 970.
- WITZIGMAN F. W. (1963) - *A summary of the work of the inter Agency sedimentation Project*. Proc. Federal inter agency sedimentation conference, U.S. dept. of Agriculture, misc. publ. n. 970.

SUMMARY

Hydraulic properties of sandy sediments: the physical meaning and their use.

Some indications are formulated on the hydraulic properties that, in the various situations examined (experimentation on mobil-bed models, desanding of waste waters and of waters for hydro-electric use, natural studies on the transport of coarse sediment in rivers and along the coast, the theoretical study of turbulent suspension etc.) appear to be more representative of the behaviour of sandy sediments.

Therefore some criteria are proposed to decide on the form of the granulometric analyses that — taken account of the requirements that are sometimes contrasting in precision and practicality — turn out, case by case, to be more convenient.

The discussion refers to a distinction between the physical meaning and the conventional value of the parameters to which we usually connect the behaviour of the sandy sediments at the phase of erosion and transport (sieve diameters, nominal diameters, equivalent diameters, coefficients of shape, settling rate ...).

The author thinks that granulometric analyses based on sieving give somewhat approximate indications on the effective hydraulic properties of loose materials, and, in particular, of those of natural sediments; they are useful for identifying a certain type of material, so as to be able to compare different experimental results and to establish convenient functional relations; all this however depends —on whether the average shape of the grains is known, to a certain extent at least. However, in many

circumstances (erosion, re-suspension), it is so difficult to analyse and describe the grain-fluid interactions mathematically, that the deduction — necessarily on a statistical basis — of the fundamental hydrodynamic properties appears, just like measuring them, to be an arduous and unrewarding task. The only property that can be put in direct and satisfying ratio with certain phases of the motion (sedimentation and motion in suspension), and that at the same time can be easily measured in terms of frequency, is the velocity of free fall of the grains. On the other hand, not even that seems to suitably characterize the behaviour of the material in other situations, in which the measurement of the velocity of fall, like that of an agreed « diameter », maintains a purely indicative value, useful for reference.

In paragraphs 3.2 and 4.4 there is a list of the circumstances in which, according to the writer's opinion, it appears to be more suitable to take into account one or another of the above-mentioned properties.

Although recognizing that the conventional size of a « diameter » supplies the most intuitive representation of the quality of a grain, the author thinks that, on the whole, the velocity of fall is the richest hydraulic property of sediments in the physical sense; keeping in mind then that certain techniques of granulometric analysis for sedimentation present some advantages of a « practical » nature in terms of quickness and accuracy, with respect to the usual operations of sieving, it seems reasonable to uphold that the use of suitable instruments should be more widespread in this country too.