

copia per me

NICOLA MATARRESE

LA SEDIMENTAZIONE NEGLI INVASI
ED ALCUNI ASPETTI METODOLOGICI
PER LA SUA MISURA INDIRECTA

Estratto dagli
ANNALI DELLA FACOLTÀ DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ DI BARI
Volume XXI - 1967

TIPO SUD - BARI

19- ... Questo pregevole studio disamina accuratamente la possibilità d'impiego di correlazioni empiriche o semiempiriche per la valutazione diretta della probabile misura della sedimentazione degli invasi... La Bonifica, n. 3-4, Marzo-Aprile 1969, Roma.

NICOLA MATARRESE

LA SEDIMENTAZIONE NEGLI INVASI
ED ALCUNI ASPETTI METODOLOGICI
PER LA SUA MISURA INDIRETTA

Estratto dagli
ANNALI DELLA FACOLTÀ DI AGRARIA DELL'UNIVERSITÀ DI BARI
Volume XXI - 1967

NICOLA MATARRESE

LA SEDIMENTAZIONE NEGLI INVASI ED ALCUNI ASPETTI METODOLOGICI PER LA SUA MISURA INDIRETTA

1. — PREMESSA

Il materiale eroso in un bacino imbrifero nel corso di un dato evento pluviometrico, per esempio di durata uguale o superiore al tempo di corrivazione, solo in particolari condizioni, di carattere morfologico, idrologico, pedologico, agronomico ed idraulico, raggiunge nella sua totalità l'invaso dominato dal bacino medesimo e si deposita in esso.

Nella generalità dei casi, una parte del terreno eroso è soggetto a trasporti su lunghezze limitate ed in relazione, tra l'altro, all'andamento plano-altimetrico dei versanti, si deposita negli avvallamenti di questi ultimi (1); la rimanente parte, si immette, unitamente alla portata liquida, nella rete idrografica e va a costituire il trasporto torbido del bacino nel periodo di tempo considerato.

(1) Le condizioni che regolano il passaggio dal campo del deposito localizzato sulla superficie agraria e forestale a quello del trasporto nella rete idrografica, sono di difficile generalizzazione dato che sono numerosi e variabili i fattori che possono concorrere a determinarle. Una indicazione sommaria può ottenersi dalla misura della superficie di produzione del materiale eroso.

Alcuni studi compiuti nel Mississippi (MILLER, 1965) hanno rivelato che il caso critico nella distribuzione di sedimento, su detti avvallamenti, si ha quando un canale, ben definito nella sua sezione trasversale, ha un'area di alimentazione dell'ampiezza variabile tra 5 e 20 ettari. Vale a dire che le coltivazioni o, comunque, le pratiche di conservazione del suolo fanno tendere verso tale ampiezza la superficie minima capace di alimentare il trasporto torbido nella rete idrografica,

Il materiale dell'erosione idrica superficiale, cioè, passa dal campo del movimento sulla superficie, ove tale tipo di erosione ha luogo, a quello della rete idrografica del bacino imbrifero; in altre parole, al ruscellamento di lame torbide, più o meno espanse, in alvei relativamente molto larghi e poco profondi, aventi quasi sempre un profilo longitudinale molto irregolare anche in conseguenza delle coltivazioni, subentra il *trasporto* vero e proprio del sedimento in sospensione, con conseguenti problemi connessi con il moto di correnti in alvei a ciò appositamente destinati, ossia con il regime dei corsi d'acqua.

Detto trasporto, naturalmente, continua ad interessare i problemi della erosione e della sedimentazione localizzate lungo il perimetro dell'alveo naturale.

Perciò, il fenomeno della sedimentazione viene generalmente esaminato sia per la parte relativa al *trasporto solido* nella rete idrografica e sia per quella più strettamente connessa con la *sedimentazione nell'invaso*.

Scopo del presente studio è quello di evidenziare la possibilità di impiego di relazioni empiriche o semiempiriche per la determinazione indiretta della probabile misura della sedimentazione negli invasi.

2. — GENERALITA' SUL TRASPORTO TORBIDO

Il trasporto per *trascinamento* e per rotolamento del materiale grossolano, sul fondo o nelle immediate vicinanze del letto del corso d'acqua, è stato già sufficientemente definito, nel suo meccanismo essenziale, attraverso le note teorie, di regime, della forza di trascinamento, delle azioni idromeccaniche, ecc., sulle quali sono stati compiuti numerosi studi, tra i quali quelli di: GILBER, 1914, STRAUB, 1935, SCHOKLITSCH, 1935, MEYER-PETER, 1948, EINSTEIN, 1950, SCHROEDER e HEMBREE, 1956, BOCK, 1962, BLENCH, 1962.

Detto meccanismo, com'è noto, comprende, oltre ai fattori del deflusso delle correnti a pelo libero, quelli: del moto del materiale in sospensione, dipendenti dalla forma geometrica dell'alveo, nonché quelli connessi con la grandezza e la forma del materiale stesso.

Basti ricordare la tipica relazione:

$$\tau = \gamma h i \quad [1]$$

relativa alla forza di trascinamento τ (2) esercitata da una corrente, in regime uniforme, di altezza h (ovvero di raggio medio R) su una unità di area del fondo dell'alveo di pendenza i ($\gamma =$ peso specifico dell'acqua in gr/cm^3).

Il trasporto per trascinamento, tuttavia, non ha un grande interesse generale nei riguardi della sedimentazione negli invasi.

Fondamentale, anche se è difficile determinarne la misura, appare invece, la influenza esercitata dai numerosi fattori sul trasporto in sospensione.

Tra questi ultimi, notevole importanza è stata attribuita (O' BRIEN, 1933, VANONI, 1946, BRUSH, HAU-WONG Ho e SINGAMSETTI, 1962) alla diffusione del materiale in sospensione in regime turbolento.

Occorre ricordare, al riguardo, che lo scambio di elementi tra due zone, di differente velocità, di una corrente, comporta l'aumento di velocità nello strato più lento e la diminuzione in quello più veloce. I fattori che maggiormente influiscono sulla diffusione della concentrazione c , possono essere rappresentati dalla variazione di questa al passaggio da uno strato all'altro, e da un coefficiente ϵ (delle stesse dimensioni della viscosità cinematica) dipendente dalla velocità locale e dalla cosiddetta « lunghezza di mescolamento » (SUPINO, 1965).

Cioè:

$$C_w = \frac{dc}{dx} \quad [2]$$

in cui C_w rappresenta il trasporto solido da uno strato a quello superiore per unità di tempo e di volume.

Dalla equazione [2] si desume che a quota x vi è equilibrio tra le particelle che cadono per gravità e quelle portate verso l'alto per le azioni idrauliche di sostentamento (3) dovute al moto turbolento.

(2) Indicata frequentemente (SUPINO ed altri) anche come *tensione di trascinamento* o *tensione tangenziale* alla parete o contorno (in gr/cm^2).

(3) La forza media di sostentamento è direttamente proporzionale all'area della sezione retta della particella, al quadrato della velocità locale ad una certa distanza dal fondo, al peso specifico dell'acqua limpida ed inversamente proporzionale all'accelerazione di gravità.

Se con c_a si indica la concentrazione ad un livello di riferimento a , c è la concentrazione a ciascuna quota y sul letto del corso d'acqua, y_o è la profondità del deflusso nel corso d'acqua, si avrà che la relazione generale della distribuzione del materiale in sospensione è data da:

$$\frac{c}{c_a} = \left[\frac{y_o - y}{y_o - a} \frac{a}{y} \right]^z \quad [3]$$

L'esponente z è una misura dipendente, appunto, dalla distribuzione verticale del sedimento in sospensione.

Esso è costituito da:

$$z = \frac{v_t}{k \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}} \quad [4]$$

in cui v_t è la velocità terminale di caduta delle particelle, k è una costante sperimentale di VON KÁRMÁN, relativa al mescolamento (mixing) in regime turbolento (per acque limpide = 0,4), $\sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ (che può essere espressa da $\sqrt{gh_o i}$) è un

parametro indicato come *velocità di scorrimento* (shear velocity); τ è la tensione di trascinamento, o tensione tangenziale al contorno e ρ è la densità della massa fluida.

Secondo KRUMBEIN e PETTIJOHN, 1938, per particelle sferiche, la velocità di deposito v_s (in cm/s) è così espressa:

$$v_s = \sqrt{(s-1) \frac{4}{3} \frac{gD}{C_r}} \quad [5]$$

in cui: s = gravità specifica delle particelle del sedimento rispetto al fluido;

D = diametro della particelle, in cm;

g = accelerazione di gravità in cm/s^2 ;

C_r = coefficiente di resistenza dipendente dal numero di Reynolds, con valore di circa 0,5.

Detta velocità v_s , secondo le esperienze di BRUSH, HAU-WONG HO e SINGAMSETTI, 1962, subisce una marcata riduzione, a causa delle oscillazioni del fluido, quando il diametro delle particelle è al disopra del campo di STOKES (4).

Inoltre, la diffusione delle particelle del sedimento è più rapida per le particelle più piccole, rispetto a quelle più grandi.

La concentrazione c di una portata torbida (BOGARDI, 1961) è data da:

$$c = d Q^m \quad [6]$$

in cui Q è la portata, d e m sono due coefficienti empirici relativi agli aspetti idrologici del bacino imbrifero.

L'equazione della curva della portata torbida Q_s viene, anch'essa espressa, da diversi AA., nella seguente forma:

$$Q_s = K Q_l^a \quad [7]$$

dove K è una costante empirica, Q_l è la portata liquida e a un coefficiente angolare della retta ottenuta su un piano logaritmico (5).

(4) Com'è noto, per particelle, supposte sferiche, di diametro equivalente $d_e \leq 0,1$ mm, la velocità di caduta, in assenza, di movimenti vorticosi, è determinabile con la formula:

$$v = \frac{k g (p-\delta) r^2}{9,08 \eta}$$

da cui:
$$d_e = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,08 \eta \cdot H}{k g (p-\delta) \cdot t}}$$

dove: v = velocità di caduta in cm/s; k = gravità apparente (per i più comuni costituenti il materiale di sedimentazione, varia tra 1,5 e 2,2, per i terreni viene quasi sempre assunto il valore di 2); g = accelerazione di gravità, in dine; p = peso specifico della particelle; δ = peso specifico dell'acqua; r = raggio della particelle, in mm; 9,08 = costante legata alla forma sferica delle particelle; η = coefficiente di viscosità dell'acqua, in g/s-cm²; H = altezza di caduta delle particelle, in cm; t = tempo di caduta della particelle, in secondi.

(5) Per esempio, per Q_s in T/s e Q_l in m³/s, vengono indicati i seguenti valori di K e di a , rispettivamente: $14,08 \times 10^{-6}$ e 2,45 per il Cuyahoga River nell'Ohio (WITZING, 1944) e $9,69 \times 10^{-6}$ e 3,056 per il fiume Agri alla stazione di misura di Tarangelo in Lucania (CAPOZZA, 1963).

Sempre in tema di trasporto del materiale in sospensione, non si può non ricordare l'importanza della configurazione dell'alveo del corso d'acqua nei riguardi del regime della corrente, così come mostrano numerosi studi, tra i quali, quelli di RITTENHOUSE, 1940, HORTON, 1945, FRIEDKIN, 1945, LEOPOLD e MADDOK, 1953, BROOK, 1955, SHULITS, 1955, STRAHLER, 1958, MILLER, 1959.

D'altro canto, la forma dell'alveo dipende anche dalle caratteristiche del materiale litografico che costituisce le sponde. SCHUMM, 1960, ha trovato una relazione generale che indica la forma dell'alveo in relazione, appunto, al materiale che costituisce il suo perimetro:

$$F = 255 M^{-1,08} \quad [8]$$

in cui F è la forma dell'alveo espressa dal rapporto larghezza-profondità; M è la media ponderata della percentuale di sabbia e di argilla nelle sponde.

Più genericamente: se b = larghezza media dell'alveo, a = altezza media della corrente, Q = portata; v = velocità media della corrente, si ha (per la teoria del trasporto a regime):

$$b = \sqrt{F_b Q/F_s} \quad [9]$$

$$a = \sqrt[3]{F_s Q/F_b^2} \quad [10]$$

in cui: F_b (fattore di fondo) = V^2/a e F_s (fattore di sponda) = V^3/b .

3. — LA SEDIMENTAZIONE NEGLI INVASI

La conoscenza del processo della *sedimentazione in un invaso*, nei riguardi della *distribuzione dei sedimenti*, richiede il preventivo esame delle seguenti condizioni, ritenute le più importanti:

— capacità dell'invaso a trattenere i sedimenti (*trap efficiency*);

— rapporto volume-peso dei depositi;

— esistenza di eventuali « correnti di torbidità »;

— eventuali effetti delle opere di sbarramento sui deflussi a monte ed a valle di esse.

Per quanto riguarda la capacità di trattenuta dei sedimenti da parte dell'invaso è da evidenziare che essa tende a crescere con il diminuire dell'afflusso annuo del bacino imbrifero, rispetto alla capacità dell'invaso a cui il bacino stesso è sotteso. Una correlazione tra detta capacità di trattenuta, espressa come efficienza in valore percentuale, ed il rapporto tra la capacità d'invaso e l'afflusso annuo è stata trovata da BRUNE 1953, per medi e grandi invasi (fig. 1).

Ricerche sono state compiute anche per piccoli invasi (MOORE, WOOD e RENFRO, 1960), i risultati, tuttavia, appaiono ancora incerti soprattutto per gli invasi soggetti a relativi lunghi periodi di asciutta.

Per la determinazione in sito del rapporto volume-peso dei depositi, oggi è molto diffuso l'impiego di raggi gamma provenienti da sorgenti di Radio 226 (Mc HENRY, 1962, HEINEMANN, 1962).

Più in generale tale valutazione viene effettuata attraverso l'esame granulometrico dei sedimenti, integrato da alcuni parametri, in prevalenza di quelli relativi alla potenza dello strato dei depositi e la frequenza con cui questi vengono a contatto con l'atmosfera.

Per la determinazione del peso specifico apparente e quindi del grado di compattazione delle torbide vengono suggerite alcune relazioni empiriche tra il peso specifico apparente all'inizio della sedimentazione, il tempo ed alcune costanti dipendenti dalla granulometria e dal regime dell'invaso (frequenza di sommersione dei depositi, profondità di questi sotto il livello idrico dell'invaso, ecc.).

Circa la *distribuzione dei sedimenti nell'invaso*, appare definito ormai che quasi sempre la sedimentazione è prevalente lungo l'asse longitudinale dell'invaso stesso. Inoltre, il deposito può avvenire a tutte le quote del fondo lago e non, come si era indotti a credere, alle quote più basse. A parte i noti fenomeni di *depositi deltizi*, sembra interessante rilevare l'importanza addotta alle *correnti di densità*, o forse meglio, *correnti di torbidità* (COTECCHIA, 1960).

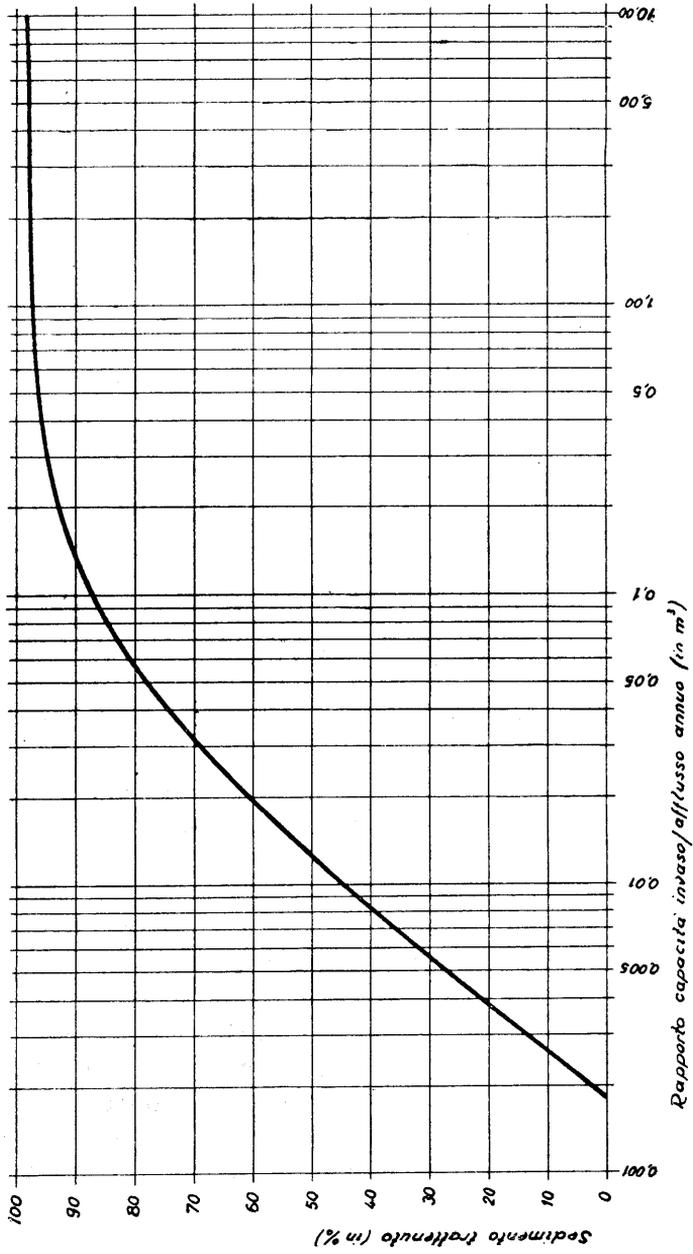


Fig 1 - Efficienza della capacità di trattenere il sedimento in relazione al rapporto capacità/afflusso annuo. (Curva mediana per intesi normali; da G.M. Brune, 1953)

Trattasi dell'importante processo di sedimentazione che si verifica quando la corrente, con una certa velocità e contenuto di sedimento in sospensione e quindi con una certa densità, arriva nel lago le cui acque, relativamente in quiete, hanno una densità minore, per effetto della loro avvenuta chiarificazione.

A parte i depositi deltizi del materiale grossolano che avvengono all'incile del lago, la corrente con il materiale più fino, secondo il COTECCHIA, può dar luogo, appunto, ad una corrente di torbidità, e proseguire quindi il suo moto nella parte superiore dello specchio liquido, ovvero, immergersi per unirsi ad uno strato di pari densità e quindi proseguire fino a quando per effetto della diluizione non raggiunge la densità media delle acque del lago, oppure, detta corrente, si immerge sotto l'acqua in quiete e raggiunge il fondo-lago.

Naturalmente, il trasporto e la sedimentazione possono essere influenzati dalle opere trasversali eseguite lungo il corso d'acqua. Cioè, così come le opere di difesa e conservazione del suolo possono influire, spesso in modo determinante, sulla erosione idrica superficiale, le opere idrauliche lungo i corsi d'acqua, eseguite per la loro regimazione, o per la realizzazione, appunto, di serbatoi artificiali, possono influire sulla meccanica del trasporto del materiale sia per trascinamento e sia in sospensione, e possono, altresì, modificare i termini del problema della sedimentazione.

Il problema generale è quindi complesso, dovendo considerare gli aspetti agricoli e geomorfologici del bacino imbrifero, la morfologia fluviale e tenere conto delle mutevoli condizioni, nel tempo, delle opere avanti indicate.

4. — PRINCIPALI FATTORI CHE INFLUENZANO LA PRODUZIONE DEI SEDIMENTI

Si indica come *produzione di sedimento* S_p quella parte dell'erosione totale S_e , al netto del materiale depositatosi sulla superficie del suolo a seguito di riduzione della pendenza o, comunque, della velocità di ruscellamento, che compie l'intero percorso dalla zona di produzione alla superficie o alla sezione di misura torbimetrica. La *produzione specifica* o *trasporto torbido specifico*, invece, rappresenta il rapporto tra la produzione S_p ,

come avanti detto, e l'area del bacino A ; essa viene espressa, solitamente, in T/Ha e in T/km² per anno. Il *grado di sedimentazione* S_d di un bacino è dato dal rapporto tra la produzione di sedimento e l'erosione totale; tale quoziente si usa esprimerlo in %, ossia:

$$S_d = \frac{S_p}{S_t} \times 100 \quad [11]$$

Per un valore dell'erosione totale S_t costante, e determinato in base ai noti parametri (6), i principali fattori che possono influenzare la produzione di sedimento S_p e quindi il quoziente S_d , sono, in generale:

- a) l'ampiezza del bacino imbrifero;
- b) la pendenza del corso d'acqua principale e dei suoi affluenti di diverso ordine;
- c) la forma del bacino imbrifero;
- d) l'efficienza della capacità di trattenuta del sedimento da parte dell'invaso (*trap efficiency*);
- e) il rapporto afflusso annuo / superficie dell'invaso alla massima quota;
- f) la densità della rete idraulica per unità di superficie del bacino imbrifero;
- g) il rapporto di biforcazione, tra i numeri degli ordini crescenti degli affluenti, o indice di confluenza.

E' però da rilevare che detti fattori sono quasi sempre interdipendenti tra di loro anche se l'influenza di uno può prevalere sugli altri.

Così, per esempio, i primi due, a) e b), esercitano una influenza globale la cui misura è proporzionalmente superiore a quella esercitata dagli ultimi cinque fattori avanti elencati.

Inoltre, non è da trascurare la circostanza che il loro isolamento, agli effetti della determinazione della misura della influenza da ciascuno di essi esercitata, appare quanto mai

(6) Vedasi: N. MATARRESE, 1966 — *L'erosione idrica superficiale e l'analisi dei fattori che la determinano*.

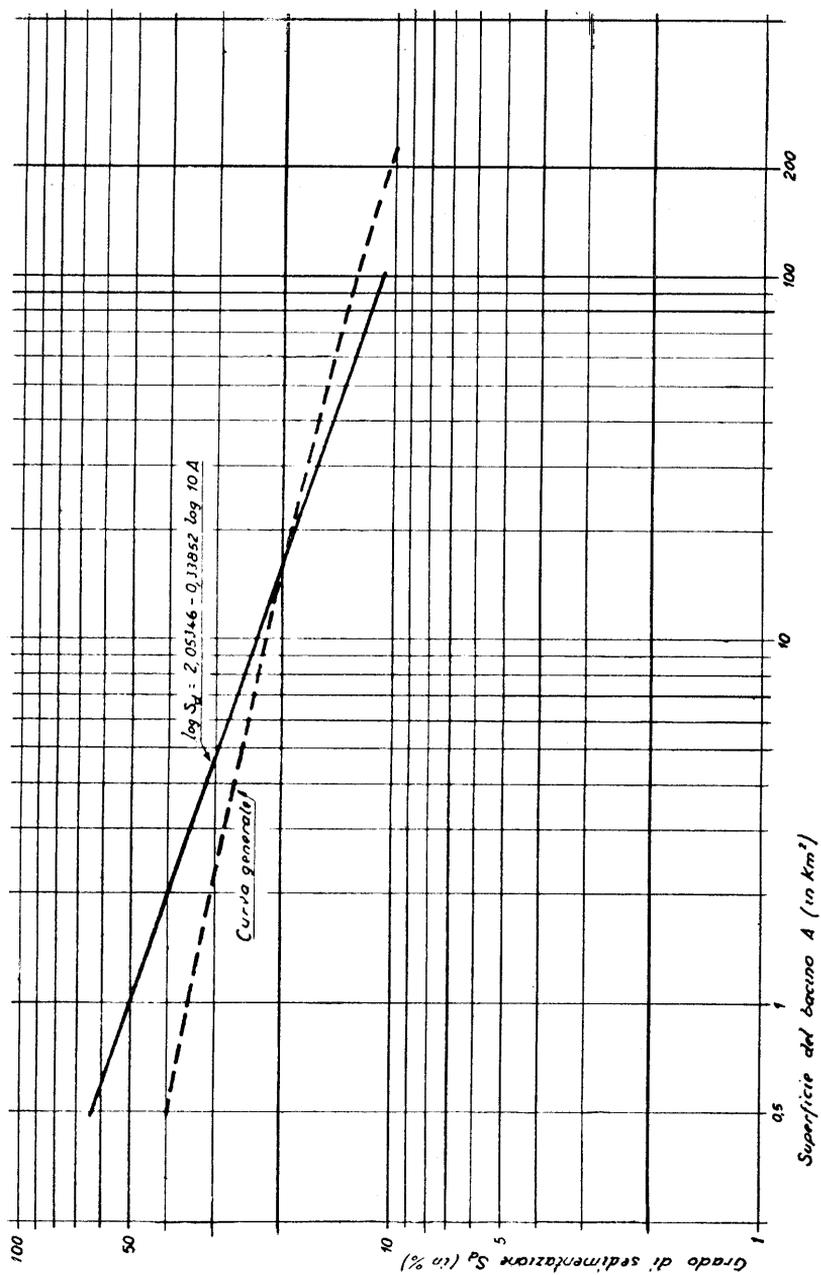


Fig 2 - Relazione tra grado di sedimentazione S_d e ampiezza del bacino A

complessa e di difficile realizzazione, per cui le relazioni semplici che sono state proposte, delle quali di seguito se ne riportano le più significative, vanno valutate con la massima prudenza e solo come parametri del tutto orientativi.

4. a — Ampiezza del bacino imbrifero

Dall'analisi di circa un centinaio di dati relativi agli studi compiuti da MANER e BARNES (1953) nel territorio di Blankland Prairie nel Texas, da GOTTSCHALK e BRUNE (1950) nel Missouri Basin Loess Hills, e su altri territori dell'USA, è stata ricavata (ROEHL, 1962) una curva (indicata come « curva generale » nella fig. 2), la quale mostra la tendenza decrescente del grado di sedimentazione S_d con il crescere dell'ampiezza del bacino imbrifero A . Viene anche indicato che il valore di S_d è inversamente proporzionale alla potenza n (pari ad un valore di circa 0,2) dell'ampiezza del bacino A . La suddetta curva potrebbe ricondursi, quindi, ad una relazione del tipo:

$$S_d = K \cdot A^{-n} \quad [12]$$

con K costante, che nella predetta curva, dovrebbe aggirarsi intorno a 53.

In particolare, dai dati ottenuti su 15 invasi della zona della Carolina del nord e del sud e della Georgia, è stata ottenuta (ROEHL, 1962) la seguente correlazione (con coefficiente $r = -0,721$):

$$\log S_d = 2,05346 - 0,33852 \log 10 A \quad [13]$$

con S_d in % e A in km^2 .

Di questa relazione, nella fig. 2 se ne riporta la relativa retta per valori di A compresi tra i 50 ed i 10.000 ettari.

La relazione [13], come si può rilevare, fornisce valori di S_d che agli estremi limiti del suo campo di validità tendono a discostarsi dalla « curva generale », soprattutto man mano che l'ampiezza del bacino tende verso valori molto piccoli.

Tuttavia, l'andamento di cui alle precedenti relazioni è ulteriormente confermata dai risultati delle misure effettuate su ben 1096 invasi USA (VEN TE CHOW, 1964) riassunti nella seguente tabella:

| Ampiezza del bacino imbrifero km ² | Misure effettuate N. | Media annua del tra- sporto solido depositatosi negli invasi m ³ /km ² |
|---|----------------------------|---|
| < 26 | 650 | 18,10 |
| 26 ÷ 260 | 205 | 9,05 |
| 260 ÷ 2600 | 123 | 4,81 |
| > 2600 | 118 | 2,38 |

4. b — Pendenza

La portata solida in sospensione q_s (in m³/s per metro di perimetro bagnato p) trasportata da un corso d'acqua di raggio medio r (in m), è direttamente proporzionale alla pendenza i , secondo la seguente relazione (CONTI, 1930, 1931, 1932, ARREDI, 1947):

$$q_s^{2/3} = \frac{1}{f_1} (f_2 r i - 1) \quad [14]$$

in cui f_1 è una costante che si può assumere = 742,6

$$\text{ed } f_2 = \frac{23,95}{d} \frac{0,0727 + d \cdot 10^3}{2,693 + d \cdot 10^3}$$

per d (in m) = diametro (supposto costante), delle particelle del materiale.

Pertanto, la pendenza di equilibrio, per R , torbidità, = $\frac{q_s}{q}$

(dove q = portata liquida) e per χ coefficiente di CHEZY, è data da (GHERARDELLI, 1955):

$$i^{2/3} = \frac{\chi^{2/3}}{f_2} \left(f_1 R^{2/3} + \frac{1}{q^{2/3}} \right) \quad [15]$$

Nel caso specifico della sedimentazione in un invaso e non

nell'alveo di un corso d'acqua, è stato trovato (MANER, 1958) che la migliore relazione semplice, capace di seguire le variazioni di S_d (in %), è data da:

$$\log S_d = 2,94259 - 0,82362 \text{ colog. } i_a \quad [16]$$

dove:

$i_a = R/L$; $R =$ alla differenza (in m) tra la quota del bacino lungo il suo perimetro e la quota media del letto del torrente alla sezione di misura;

$L =$ lunghezza (in m) del torrente principale misurata secondo una linea pressochè parallela a questo, dal limite superiore del bacino alla sezione di misura.

Successivamente, tale relazione è stata leggermente modificata (ROEHL, 1962) perchè è stato ritenuto più esatto misurare non già solo il corso d'acqua principale, bensì la lunghezza media di ciascun ordine di affluenti, ottenuta dal rapporto tra la lunghezza totale di ciascun ordine ed il numero degli affluenti compresi nel relativo ordine. L medio è stato ottenuto, perciò, dalla somma delle medie di ciascun ordine.

La [16] è stata, quindi, così proposta:

$$\log S_d = 2,88753 - 0,83291 \text{ colog. } i_a \quad [17]$$

con i_a calcolata con i criteri sopra esposti.

Quest'ultima relazione ha dato, per i 15 gradi di libertà alla quale si riferisce, un coefficiente di correlazione $r = 0,867$. Nella fig. 3 è riportata una rappresentazione grafica.

5. — METODI DI MISURA INDIRETTA DELLA PRODUZIONE DI SEDIMENTI

A parte i *rilievi batimetrici* (7), tendenti a fornire periodicamente misure per il calcolo diretto del materiale depositato nell'invaso, in generale la misura preventiva della probabile

(7) E' appena il caso di evidenziare le difficoltà, soprattutto per i laghi pieni, nell'impiego del tradizionale metodo topografico; difficoltà che sembrano molto ridotte con l'adozione del metodo ecografico (COTECCHIA, 1962 TONINI, 1962).

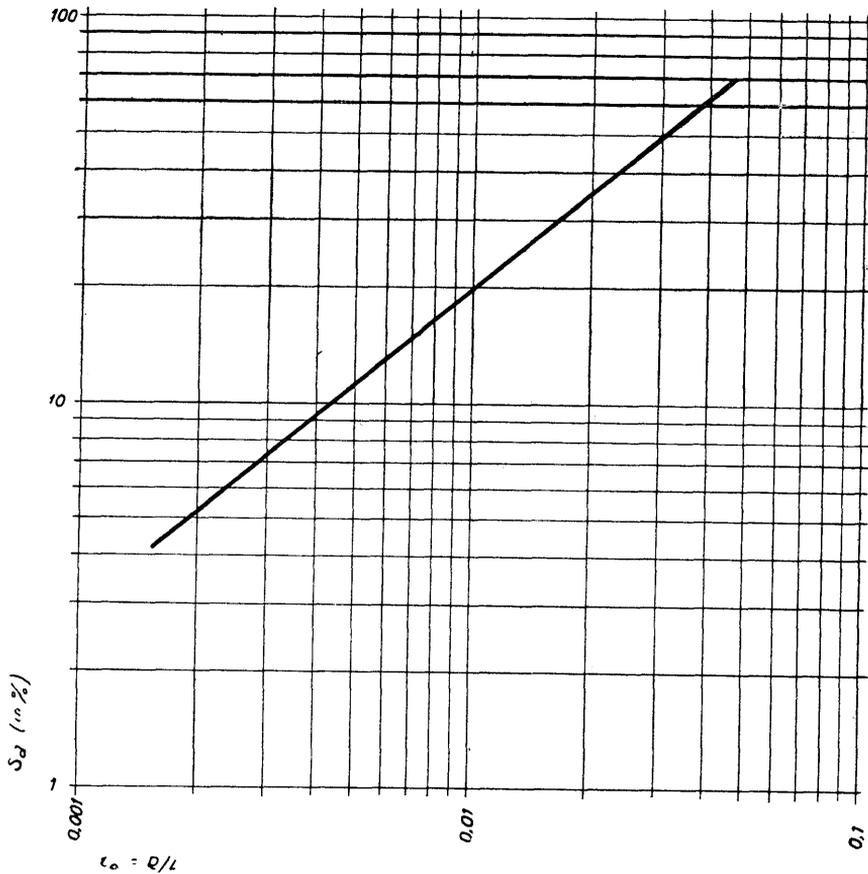


Fig. 3 - Relazione tra le variazioni di S_d con quelle di $v_0 = R/L$

produzione di sedimento in un invaso che si intende realizzare, può avvenire attraverso:

a) la misura diretta del trasporto torbido con l'installazione di apposite stazioni torbimetriche disposte sul corso di acqua;

b) l'impiego di dati già disponibili, relativi a bacini imbriferi analoghi a quello oggetto di studio;

c) calcolo della erosione nel bacino imbrifero e determinazione della parte di questa che annualmente può immettersi e depositarsi nello invaso.

Il metodo di cui al precedente punto a) è senza dubbio il più sicuro quando si dispone dei dati torbimetrici subito a monte ed a valle dell'invaso.

Purtroppo, però, l'ubicazione di qualche stazione torbimetrica lungo un corso d'acqua importante difficilmente permette di estendere la validità dei dati in esse raccolti a tutto il bacino imbrifero sotteso, in particolar modo ai singoli sub-bacini, che sono, poi, di maggiore produzione specifica di sedimenti.

Per tale motivo si ricorre, sempre più frequentemente, alla installazione di nuove stazioni nei punti più interessati allo studio del progetto dell'invaso; in questo caso però il periodo di osservazioni preliminari è quasi sempre limitato a qualche anno, con conseguente insufficienza di dati.

Per quanto riguarda, poi, l'adozione di dati torbimetrici rilevati per altri bacini analoghi, vi è da rilevare che sussistono le medesime, se non maggiori, perplessità indicate per le stazioni torbimetriche. Ciò perché le difficoltà sia del reperimento di tali dati e sia della determinazione dell'analogicità dei bacini imbriferi rendono molto difficile l'applicazione concreta di tale metodo.

D'altro canto la indicatività dei dati sulla sedimentazione ed il loro inevitabile non elevato grado di approssimazione, ha indotto numerosi studiosi a cercare delle relazioni quantitative tra i vari fattori che la determinano, in modo da ottenere formule capaci di dare delle indicazioni preventive indirette sul presunto valore della sedimentazione stessa.

Sia che detta indicazione venga espressa in unità di peso o di volume di sedimento per unità di superficie imbrifera, sia che venga espressa in % dell'erosione annua, sia, infine, che venga indicata come valore percentuale della capacità d'invaso perduta annualmente, o dopo T_n anni, per effetto del deposito di sedimento, quasi tutte le formule prendono in considerazione i fattori di base precedentemente indicati.

GOTTSCHALK e BRUNE (1950), MANER e BARNES (1953), GLYPH (1954), WOODBURN (1955), ANDERSON (1957), MANER (1958), STALL e BARTELLI (1959), SPRABERRY, et al. (1960), ACKERMANN e CORINTH (1962), ROEHL (1962), ancora GOTTSCHALK (1964) ed altri hanno elaborato delle formule empiriche o semiempiriche la cui validità, per ambienti diversi da quelli a cui si riferiscono i dati di base, è ancora da accertare.

Per quanto il loro impiego non sembra possa essere generalizzato ai bacini imbriferi italiani, per l'importante motivo avanti accennato a proposito dell'analogicità, appare tuttavia interessante esaminarne le più significative, soprattutto sotto il profilo metodologico.

5. a — *Formule di Woodburn R.* (1955)

Nelle due relazioni proposte, la prima, seguendo il metodo presentato da GOTTSCHALK nel 1950 (8), si basa sui seguenti fattori: ampiezza del bacino imbrifero, erosione annua, età dell'invaso, capacità specifica dell'invaso.

Dai dati ottenuti dai 23 invasi studiati, relativi a piccoli bacini imbriferi (con superficie compresa tra i 3 e i 250 ettari) del Nord Mississippi, è stata determinata la seguente relazione (trasformata):

$$S_d = \frac{A^{0,8957} S_t^{0,8573} C_s^{0,3423} T_n^{0,6573}}{4,057} \quad [18]$$

in cui:

S_d è la quantità di materiale sedimentato in Ton.;

A è la superficie del bacino imbrifero in Ha;

S_t è la quantità di materiale eroso, in T/Ha per anno;

C_s è il rapporto capacità d'invaso-superficie del bacino, in m^3 /Ha;

T_n l'età dell'invaso, in anni.

Detta formula fu sottoposta, da parte dello stesso A., ad alcune verifiche su casi ritenuti tipici, ossia su bacini di 40, 121, 243 e 404 ettari, con erosione totale di 134,5 T/Ha, con invasi dell'età di 10 anni aventi una capacità specifica C_s di 1233 m^3 .

La seconda relazione proposta non tiene conto del fattore C_s :

$$S_d = 2,492 A^{0,9151} S_t^{0,8303} T_n^{0,7329} \quad [19]$$

Questa formula è senza dubbio meno completa della prece-

(8) La relazione indicata da GOTTSCHALK e BRUNE era: $\log. S_d = 0,7664 \log. 100A + 0,7867 \log. T_n + 1,0545 \log. S_t + 0,3701 \log. C_s - 2,9127$; essa si riferiva a situazioni con S_t molto bassa.

dente, anche se nelle condizioni in cui è stata verificata (Goose Creek) ha dato valori dell'ordine di grandezza di quelli desunti dalla [18].

5. b — *Formule di Ackermann W. C. e Corinth R. L. (1962)*

Trattasi di equazioni empiriche ottenute dalla correlazione multipla tra la quantità di sedimenti depositatasi negli invasi S_d (in T/Ha) ed i seguenti fattori: erosione totale S_t ; efficienza della capacità di trattenuta del sedimento da parte dell'invaso (trap efficiency); forma del bacino imbrifero, pendenza del corso d'acqua principale.

L'analisi di regressione dei relativi dati si riferisce a 105 invasi dell'Illinois (USA) della capacità variabile tra 370.000 e 75.242.280 m³ ed a bacini imbriferi di superficie compresa tra 2.330 e 234.550 ettari.

In sostanza, gli AA. considerano, oltre all'erosione S_t (in T/Ha):

- l'efficienza della capacità di trattenuta del sedimento da parte dell'invaso, T_s (in %);
- l'afflusso annuo alla diga A_f (in m³);
- la capacità d'invaso C (in m³);
- il rapporto $D: A_f/a$ (a = superficie dell'invaso in Ha, moltiplicata x 1 metro);
- la pendenza media degli affluenti di 1° ordine, meno quella degli affluenti di 2° ordine, i , in m/km;
- il diametro equivalente d_e (in km) del bacino imbrifero, ossia il diametro di un cerchio la cui area è uguale a quella del bacino imbrifero;
- il rapporto F tra la lunghezza del tributario principale ed il diametro equivalente d_e .

Da cui:

$$S_d = 0,043 S_t T_s \frac{D^{1/3} (5,28 i)^{1/2}}{F^{3/4}} \quad [20]$$

Per la determinazione del valore di T_s viene suggerito di avvalersi della curva di BRUNE in cui detto valore è posto in relazione al rapporto tra la capacità dell'invaso e l'afflusso annuo (fig. 1).

Gli stessi AA. propongono una seconda formula indicata nel caso in cui manchi, o sia di difficile determinazione, il fattore F .

Con il medesimo significato dei simboli avanti indicati, essa è:

$$S_d = 0,0088 S_i T_s D^{1/2} (5,28 i)^{3/4} \quad [21]$$

In effetti, questa seconda espressione sembra meglio adattarsi alle caratteristiche topografiche dei piccoli bacini.

La [20], infatti, dà valori piuttosto elevati, in confronto alle altre; essa sembra che non abbia sufficiente validità per bacini imbriferi inferiori ai 650 ettari.

5.c — *Formule di Roehl J. W. (1962)*

Traggono origine dall'analisi preliminare di numerosi fattori, soprattutto di ordine morfologico, studiati per determinare l'influenza di ciascun tipo di erosione come produzione di sedimento nei riguardi di 371 opere per la regolazione delle piene progettate in diversi Stati del sud-est degli USA. La superficie dei singoli bacini imbriferi è variata tra 142 e 7.460 ettari, con una superficie complessiva, interessata a detto studio preliminare, di circa km^2 4.455.

In particolare sono stati considerati:

- il dislivello R tra la quota media del perimetro del bacino imbrifero e la quota del letto del suo corso d'acqua principale, alla sezione di misura, (in m);
- l'area del bacino A , in Ha;
- l'ordine degli affluenti (secondo STAHLER, 1957);
- la lunghezza media L di ciascun ordine di affluenti;
- la media ponderata del rapporto di biforcazione BR tra i numeri, per ordine crescente, degli affluenti (secondo SCHUMM);
- il rapporto $i_a = R/L$, in metri;
- densità specifica degli affluenti (in m/Ha).

Dai dati ottenuti su 15 invasi (tab. I), l'A. ha proposte alcune relazioni semplici tra S_d (in % dell'erosione totale) e, rispettivamente, A , L e $i_a = R/L$.

La correlazione multipla tra S_d , A e i_a ha dato un coefficiente $R = 0,883$; essa è stata desunta dalla elaborazione dei dati della tab. I con la seguente espressione:

$$\log. S_d = 2,82687 - 0,26 \log. 10 A - 0,531 \text{ colog. } i_a \quad [22]$$

TAB. I

Dati relativi ai 15 invasi del sud est USA (da ROEHL, 1962)

| Denominazione dell'invaso | Bacino imbrifero km ² | Lungh. affluenti km | $i_a = R/L$ | BR | Sedimentazione S_d % |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------|------|---------------------------|
| Apex | 5,70 | 3,204 | 0,00572 | 4,61 | 17,2 |
| High Point | 161,48 | 18,145 | 0,00417 | 4,13 | 11,9 |
| University (N.C.) | 78,54 | 6,730 | 0,01451 | 4,05 | 20,5 |
| Roxboro | 19,49 | 6,279 | 0,01116 | 4,51 | 12,7 |
| Burlington | 272,16 | 21,220 | 0,00302 | 4,76 | 3,7 |
| Chester | 41,26 | 9,386 | 0,00926 | 4,11 | 12,9 |
| Lancaster | 24,21 | 9,112 | 0,00669 | 4,46 | 10,2 |
| Cannon | 45,88 | 4,089 | 0,01568 | 4,60 | 17,9 |
| Concord | 11,76 | 2,238 | 0,02446 | 4,45 | 28,6 |
| Lexington (N.C.) | 17,26 | 11,415 | 0,00601 | 4,92 | 12,6 |
| Issaqueena | 35,92 | 10,223 | 0,01238 | 4,72 | 14,9 |
| Michie | 432,08 | 35,661 | 0,00440 | 4,00 | 9,2 |
| Carrol Lake | 17,88 | 3,896 | 0,01838 | 3,28 | 59,4 |
| Temple Reservoir | 1,58 | 1,626 | 0,03580 | 4,92 | 55,0 |
| Lake Brandt | 190,25 | 18,869 | 0,00396 | 3,98 | 8,5 |

Considerando anche il fattore biforcazione, BR , l'A. ha ottenuto una migliore correlazione multipla ($R = 0,961$). La relativa formula è così espressa:

$$\log. S_d = 4,59574 - 0,23043 \log. 10 A - 0,51022 \text{ colog. } i_a - 2,78594 \log. BR \quad [23]$$

5.d — *Formula di Gottschalk per piccoli bacini* (1964)

Riferendosi a 18 piccoli invasi del Sud Dakota (VEN TE CHOW, 1964), GOTTSCHALK ha proposto questa nuova relazione empirica (trasformata):

$$S_d = 0,0522 C + 8,22 A + 330,68 T_n - 2.216,95 \quad [24]$$

in cui:

S_d = m³ di sedimento totale accumulatisi nell'invaso;

C = capacità dell'invaso in m³;

A = superficie netta del bacino imbrifero in Ha;

T_n = età dell'invaso, in anni.

Come si può rilevare, la relazione [24] considera l'erosione S_t uguale per qualsiasi bacino, comprendendola nel coefficiente connesso alla superficie del bacino A .

Ciò pone delle forti limitazioni alla generalizzazione delle validità di detta formula fuori dei casi esaminati dall'A., pur riconoscendo in essa una estrema semplicità per la facilissima determinazione delle variabili in essa considerate.

Inoltre, a parità di C e di A , l'accrescimento annuo dipende solo dal coefficiente 330,68, valore piuttosto modesto rispetto ai coefficienti di C e A ; perciò il valore accumulato di S_d nel tempo T_n risulterà piuttosto appiattito, con conseguente eccesso nei valori iniziali di T_n e difetto in quelli finali.

6. — CONCLUSIONI

Dalle relazioni innanzi indicate e dalle altre esaminate (GLYMPH, 1954, STALL e BARTELLI, 1959) si rileva che l'attuale metodologia seguita nella *determinazione preventiva della sedimentazione*, può essere distinta nelle seguenti tre tendenze fondamentali:

a) un gruppo di relazioni indica detta sedimentazione secondo la quantità annua (in Ton per Ha di bacino imbrifero) di materiale depositatosi sul fondo lago (GOTTSCHALK e BRUNE, GLYMPH, ACKERMANN e CORINTH);

b) altri (MANER, ROEHL, ecc.) valutano la sedimentazione annua come un valore percentuale della erosione annua, espressa, com'è noto, in unità di peso per unità di superficie imbrifera;

c) un terzo gruppo, infine, (WOODBURN, GOTTSCHALK) considera più valida la determinazione della sedimentazione totale (in peso o in volume) accumulata nell'invaso dopo T_n anni dalla costruzione dello sbarramento.

Nel merito sembra dover fare le seguenti considerazioni:

— con formule basate sul criterio (a), la misura della sedimentazione risulta essere sostanzialmente costante nel tempo. se per costante si assume la quantità di materiale eroso dal bacino imbrifero, mentre, invece, secondo alcuni, la sedimentazione, soprattutto in conseguenza del cumularsi del materiale nell'invaso, subirebbe una lieve ma costante diminuzione nel tempo, anche se, a nostro parere, tale lieve riduzione quasi sempre si verifica già nella erosione;

Di contro, esse offrono la possibilità di determinare la quantità di sedimento sin dal primo anno di invaso;

— le formule relative al precedente punto (b), in concreto, non si differenziano da quelle precedenti se non nella diversa valutazione data ai fattori della sedimentazione e nella esclusione dalle relazioni stesse del valore S_t della erosione;

— le formule basate sul metodologia di cui al punto (c), invece, tengono conto del fattore di riduzione della sedimentazione nell'invaso, riduzione peraltro trascurabile, ma offrono una validità solo dopo un certo numero di anni dal primo invaso.

Infatti, i valori risultanti per i primi anni appaiono sproporzionati in eccesso rispetto a quelli ottenuti con altri metodi. La loro comparabilità con questi ultimi valori sembra possa essere significativa intorno agli 8 ÷ 10 anni di età dell'invaso.

In definitiva, dei più importanti tentativi finora noti sulla determinazione indiretta della sedimentazione, le relazioni elaborate da ACKERMANN e CORINTH e da ROEHL, appaiono le più complete.

Pur tenendo presente il valore indicativo e approssimativo dei risultati che da esse si possono ottenere in ambienti diversi da quelli a cui si riferiscono i dati di base, si è del parere che il loro impiego entro i limiti considerati, può offrire, nella carenza dei dati torbimetrici, un contributo per una migliore conoscenza della perdita di capacità d'invaso nei bacini soggetti a notevole erosione idrica.

RIASSUNTO

La produzione di sedimento è funzione della erosione totale e di alcune caratteristiche fisiche (principalmente quelle morfologiche, idrauliche e agronomiche) del bacino imbrifero a cui essa si riferisce.

Nota la misura della erosione idrica annua, è possibile determinare, sia pure con una certa approssimazione, il grado di sedimentazione, attraverso l'impiego di relazioni esistenti tra detto grado ed alcuni parametri legati alle caratteristiche del bacino imbrifero.

Tra le relazioni quantitative più significative sono da indicare quelle di ACKERMANN e CORINTH e quelle di ROEHL, trovate a seguito di analisi di numerosi dati riferentisi a molti invasi degli USA.

Talune delle relazioni quantitative semplici suggerite, appaiono, tuttavia, abbisognevole di ulteriore verifica nell'ambito delle condizioni dei bacini italiani, soprattutto di quelli a notevole produzione di sedimento e relativi a piccoli e medi invasi.

Ciò nonostante, è da ritenere che l'attuale metodologia seguita per la misura indiretta della sedimentazione possa offrire un utile contributo alla necessità di conoscere preventivamente il probabile andamento nel tempo della perdita di capacità di invaso, soprattutto di quelli stagionali. Conoscenza, particolarmente indispensabile per definire il campo di validità del diagramma delle disponibilità di acqua utilizzabili per scopi irrigui.

S U M M A R Y

The sedimentation in reservoirs and some methodologic aspects for its indirect measurement.

The sediment yield is function to the gross erosion and to some physical (mainly morphological, hydraulic, and agronomical) characteristics of the watershed which it is related to.

Where the measurement of the yearly water erosion is known, it is possible to determine approximately the sedimentation-delivery ratio through interactions existing between such a degree and some parameters related to the watershed characteristics.

Among the most important quantitative interactions, ACHERMANN'S, CORINTH'S and ROEHL'S formulas, which were found through the analysis of numerous data relative to many reservoirs in the United States of America, are to be mentioned.

However, some of the simple relationship suggested need a further verification in the limits of the conditions in which the Italian watersheds are found, particularly those having a remarkable yield of sediment and the medium and small-sized reservoirs as well.

Notwithstanding this, the methodology followed for the indirect measurement of the sedimentation seems to offer in the future a useful contribution to the preventive knowledge of the probable state of the storage capacity loss, with particular reference to the seasonal water reservoirs.

Such a knowledge is essential to define the validity field of the diagram relative to the availability of waters for irrigating purposes.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ACKERMANN W. C., CORINTH R. L., 1962 - *An empirical equation for reservoir sedimentation*. Ass. Int. d'hydrologie Scient. - pubbl., 59 - Gentbrugge, pagg. 359-366.
- 2) AUTORI VARI, 1952 - *Atti del convegno sulla difesa del suolo*. Milano, 16-19 aprile 1952. Suppl. a «La ricerca scientifica» Anno 22°, n. 4, pagg. 316.
- 3) BARNETT A. P., ROGERS S. J., HOLLADAY J. N., DOOLEY A. E., 1965 - *Soil erodibility factors for selected soil in Georgia and South Carolina*. Trans. ASAE, Vol. 8, n. 3, pagg. 393-395.
- 4) BLENCH T., 1962 - *Quantitative interrelation of erosion and river regime by regime theory methods*. Pubbl. n. 59 de l'Ass. Inter. d'hydrologie, Scient. pagg. 273-282.
- 5) BOCK P., 1962 - *Photomicroscopy of flow in boundary layer*. Pubbl. n. 59 de l'Ass. Inter. d'Hydrologie Scient. pagg. 67-82.
- 6) BOGARDI J., 1961 - *Some aspects of the application of the theory of sedimentation trasportation to engineering problems*. J. Geophys. Res. 66, pagg. 3337-3346.
- 7) BROWING G. M., 1947 - *A method for estimating soil management requirements*. Iowa Agr. Exp. Sta. J. paper J. 1488 (unpublished).
- 8) BRUNE G., 1953 - *Trap efficiency of resevoir*. Trans. AGU, vol. 34, n. 3, pagg. 407-418.
- 9) BRUSH L. M., HAU-WONG HO, SINGAMSETTI S. R., 1962 - *A study of sediment in suspension*. Pubbl. n. 59 de l'Ass. Intern. d'Hydrologie Scient. pagg. 293-310.
- 10) BUBENZER G. D., MEYER L. D., MONKE E. J., 1966 - *Effect of particle roughness on soil erosion by surface runoff*. Trans. ASAE, vol. 9, n. 4, pagg. 562-564.
- 11) CAVAZZA S., 1962 - *Sur l'évaluation des phenomenes d'érosion des sols collinaires pliocéniques de la Calabre*. Ass. Int. d'Hydrologie Scientifique - pubbl. n. 59 Gentbrugge - pagg. 161-172.
- 12) CHENG-LUNG CHEN, VAUGHEN E. HANSEN, 1966 - *Theory and characteristics of overland flow*. Trans. ASAE, vol. 9, n. 1, pagg. 20-26.
- 13) CONTI L., 1930 - *Il trasporto solido nei corsi d'acqua*. Annali dei Lavori Pubblici, fasc. IV.
- 14) COTECCHIA V., 1959 - *Studi di geologia e geologia tecnica in Irpinia per la costruzione di un lago artificiale sul Torrente Osento*. Geotecnica.
- 15) COTECCHIA V., 1960 - *La sedimentazione in taluni laghi artificiali dell'Italia meridionale e fondamenti teorici e sperimentali per lo studio*

- del fenomeno. Relazione su ricerche e studi promossi dall'ANIDEL, parte II, estr. pagg. 19.
- 16) COTECCHIA V., LONOCE R., 1962 - *Le déragement hydro-geologique dans les vallées du torrent de Venosa et de Arcidiaconata et la sedimentation dans le lac artificiel de Abate Alonia*. Ass. Int. d'Hydrologie Scient. pubbl. n. 59 - Gentbrugge, pagg. 367-390.
 - 17) COTECCHIA V., 1963 - *Osservazioni sulla geomorfologia della valle del fiume Bradano e sulla sedimentazione nel lago artificiale di S. Giuliano*. L'Energia elettrica, vol. XL, n. 7, estr. pagg. 17.
 - 18) DE MARCHI G., 1948 - *Nozioni di idraulica con particolare riguardo ai problemi delle bonifiche e delle irrigazioni*. Ediz. agricole, Bologna, pagg. 264.
 - 19) DE MARCHI G., 1964 - *Idraulica*. Vol. 1, parte I, rist. II ed., Milano pagg. 205.
 - 20) DOTY C. W., CARTER C. E., 1965 - *Rates and particle-size distributions of soil erosion from unit source areas*. Trans. ASAE, Vol. 8, n. 3, pagg. 309-311.
 - 21) DU BOYS P., 1879 - *Etudes du régime du Rhone et l'action exercée par les eaux sur un lit à fond de graviers affouillable*. Ann. Ponts et Chaussées, ser. 5, vol. 18, pagg. 141-195.
 - 22) EAKIN H. M., 1936 - *Silting of reservoir*. U.S.D.A., Technical Bull, n. 524.
 - 23) GIANDOTTI M., 1947 - *Problemi della montagna. - L'utilizzazione delle acque*. Atti del Congr. Naz. della montagna e del bosco - Firenze - Accademia dei Georgofili, pagg. 209-216.
 - 24) GIUDICI P., 1954 - *Influenza della copertura vegetale sui deflussi liquidi*. Ist. Sperim. Studio e Difesa del suolo - Firenze.
 - 25) GLASS L. J., SMERDON E. T., 1967 - *Effect of rainfall on the velocity profile in shallow-channel flow*. Trans. ASAE, vol. 10, n. 3, pagg. 330-332, 336.
 - 26) GLYMPH L. M., 1954 - *Studies of sediment yields from watersheds*. Tenth Gen. Ass., IUGG, Roma.
 - 27) GOTTSCHALK L. C., BRUNE G. M., 1950 - *Sediment design criteria for the Missouri Basin Loess Hills*. SCS TP-98 US Soil Conservation Service. Milwaukee, Wisconsin, October, 1950.
 - 28) GUGGINO PICONE E., 1961 - *Sui contributi di piena da piccoli bacini*. Ist. Idraulica agraria - Catania - Parte I, pagg. 47, Parte II, pagg. 80.
 - 29) HEINEMANN H. G., 1962 - *Using the gamma probe to determine the volume-weight of reservoir sediment*. Pubbl. n. 59 de l'Ass. intern. d'Hydrologie Scient., pagg. 410-423.
 - 30) INDRI E., 1941 - *Il problema del trasporto solido e i risultati di recenti ricerche*. L'Energia elettrica, vol. XVIII.
 - 31) INDRI E., 1955 - *Ricerche sperimentali sulla velocità di caduta di corpi solidi in acqua entro un ambiente finito*. L'Energia elettrica - giugno 1955.
 - 32) KENNETH M. K., 1966 - *Hydraulic predictions of downstream flood*. Trans. ASAE, vol. 9, n. 3, pagg. 347-351.
 - 33) KRUCER W. E., BASSET D. L., 1965 - *Unstead flow water over a porous bed having constant infiltration*. Trans. ASAE, vol. 8, n. 1 pagg. 60-62.

- 35) LABAYE G., 1948 - *Notes sur le debit solide des cours d'eau*. Mémoires et Travaux de la S.H.F., n. special A, pagg. 600-625.
- 35) MANER S., 1958 - *Factors aspecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area*. Trans. AGU, vol. 39, n. 4, pagg. 669-675.
- 36) MATARRESE N., 1966 - *L'erosione idrica superficiale e l'analisi dei fattori che la determinano*. Annali della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari, vol. XX, pagg. 56.
- 37) MEYER PETER, 1949 - *Quelques problèmes concernant le charrage des matieres solides dans les rivières alpines et subalpines*. Mémoires et Travaux de la S.H.F., n. special B, 2 éme formule.
- 38) MILLER C. R., BOWIE A. J., 1965 - *Sediment sampling: instrumentation and techniques*. Trans. ASAE, vol. 8, n. 2 pagg. 267-270, 274.
- 39) PASSERINI G., 1947 - *La difesa del suolo e l'utilizzazione delle acque in montagna*. Atti del Congr. Naz. della montagna e del bosco, Firenze, Accademia dei Georgofili, pagg. 223-236.
- 40) PASSERINI G., 1950 - *Le basi scientifiche della difesa del suolo italiano*. Estr. da «Monti e boschi», n. 10-11, pagg. 9.
- 41) PELLEGRINO GROSSI, PANICUCCI M. - *Primi risultati di ricerche sperimentali sull'idrologia dei piccoli bacini*. Ist. Sper. per lo studio e la difesa del suolo, Firenze, pag. 16.
- 42) RÉMÉNIÉRAS G., 1965 - *L'hydrologie de l'ingénieur*. Eyrolles, Paris, II ediz., pagg. 456.
- 43) ROSA G., 1964 - *Prima indagine sull'interrimento dei laghetti collinari in Sardegna*. Estr. da «Studi Sassaresi», sez. III - Annali della Facoltà di Agraria dell'Università di Sassari - vol. XI, pagg. 26.
- 44) ROEHL J. W., 1962 - *Sediment source areas, delivery ratios and influencing morfological factors*. Ass. Int. d'Hydrologie Scient. pubbl. n. 59. Gentbrugge, pagg. 202-213.
- 45) ROUSE H., 1938 - *Fluid mechanic for hydraulic engineers*. Mac Graw, New York, pagg. 339.
- 46) SCHWAB G. O., FREVERT R. K., BARNES K. K., EDMINSTER T. W., 1964 - *Elementary soil and water engineering*. Wiley and Sons, New York, pagg. 253.
- 47) SENSIDONI F., 1934 - *Il trasporto solido nei corsi d'acqua italiani*. Fasc. I - Alto Bacino del Savio - Pubbl. n. 15 del Servizio Idrografico del Ministero LL. PP.
- 48) SMERDON E. T., 1964 - *Effect of rainfall on critical tractive forces in channels with shallow flow*. Trans. ASAE, vol. 7, n. 4, pagg. 287-290.
- 50) SUPINO G., 1965 - *Le reti idrauliche*. II Ed., Bologna, pagg. 806.
- 51) TONINI D., 1962 - *Apport solides au réservoir de Barcis*. Pubbl. n. 59 dell'Ass. intern. d'Hydrologie Scient. pagg. 392-409.
- 52) VAN DOREN C. A., BARTELLI L. J., 1956 - *A method of forecasting soil loss*. Agr. Eng., vol. 37, n. 5, pagg. 335-341.
- 53) VANONI V. A., 1946 - *Trasportation of suspended sediment by water*. Trans. ASAE, 111: 67 - 133.
- 54) VANONI V. A., BROOKS N. H., 1957 - *Laboratory studies of the roughness and suspended load of alluvial streams*. U.S. Army C.E. Missouri River Division Sediment series, Rep. n. 11.

- 55) VEN TE CHOW, 1964 - *Handbook of applied Hydrology*. Mc Graw - Hill Company - New York - pagg. 1418.
- 56) VISENTINI M., 1953 - *Ricerche sperimentali sulle torbide portate in sospensione dal fiume Po*. Annali dei Lavori Pubblici, fasc. 8, 1935.
- 57) VISENTINI M., 1939 - *L'interrimento dei serbatoi, sua importanza, mezzi per diminuirlo e impedirlo*. L'Energia elettrica, giugno 1939.
- 58) VISENTINI M., 1939 - *Depositi alluvionali nei serbatoi italiani e trasporto solido fluviale*. L'Energia elettrica n. 10.
- 59) WISCHMEIER W. H., 1962 - *Storms and soil conservation*. Journal of soil and water conservation. Iowa, vol. 17, n. 2, pagg. 55-58.
- 60) WITZIGMAN F. S., 1962 - *Automatic sediment sampling equipment and rapid analysis methods*. Ass. Int. d'Hydrologie Scient, pubbl. n. 59, Gentbrugge, pagg. 327-335.
- 61) ZOLI L., 1954 - *Il dissesto idrogeologico della montagna meridionale*. Atti del II Conv. tecnico - Cassa per il Mezzogiorno, Cosenza.