

S. CAVAZZA (\*)

REGIONALIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DEL TRASPORTO  
SOLIDO IN SOSPENSIONE DEI CORSI D'ACQUA  
TRA IL MAGRA E L'OMBRONE (\*\*)

**Riassunto** — La memoria si propone una stima del trasporto solido dei corsi d'acqua toscani tra il Magra e l'Ombrone.

Rifacendosi a precedenti ricerche dell'Autore, con appropriata analisi regressiva viene messa a punto una relazione tra il trasporto solido in sospensione dei corsi d'acqua, la erodibilità dei bacini, la superficie arativa degli stessi e la precipitazione annua media.

La qualità dei risultati consente di estendere il calcolo a tutti gli altri bacini toscani e di quantizzare l'apporto di materiale fornito in sospensione al litorale.

Alcune stime del rapporto tra trasporto in sospensione e trasporto di fondo, avvalorate da precedenti prove sperimentali sul Magra, consente una stima dell'apporto terrigeno globale al litorale preso in considerazione.

**Abstract** — *Geomorphological regionalization of sediment river transport between Magra and Ombrone River (Tuscany).* The report proposes an evaluation of the solid transport of the rivers between the Magra and the Ombrone rivers.

Starting from previous researches of the Author, is defined by regressive analysis an expression relating the river transport sediment in suspension, the erodibility of the soil, the crop land surface in the basin and the annual rainfall.

By means of this expression the annual amount of the sediment transport in suspension to the coast is evaluated, and also the total amount including bed load transport is estimated.

**Key words** — Coastal recharge, River sediment transport, Tuscany.

---

(\*) Professore Associato di Idrologia - Istituto di Idraulica della Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa.

(\*\*) Ricerca eseguita nell'ambito del Progetto Speciale del CNR per la conservazione del Suolo - Gruppo Conservazione dei litorali.

## 1. APPROCCIO METODOLOGICO

È ben noto che il principale meccanismo che realizza l'apporto di materiale terrigeno ai litorali è rappresentato dal trasporto solido dei corsi d'acqua.

L'entità di tale apporto è in genere deducibile solo orientativamente in base a osservazioni indirette sul modellamento dei tronchi prefociali dei corsi d'acqua e dei litorali. Nella generalità dei casi è invece impossibile una sua corretta valutazione quantitativa, in quanto solo su un numero modestissimo di corsi d'acqua vengono effettuate misure del trasporto solido in sospensione, e praticamente del tutto inesistenti sono le misure del trasporto di fondo.

Mentre è possibile definire una certa gradualità di variazione delle condizioni di trasporto in sospensione tra le sezioni di misura torbiometrica e la foce, è ben noto che le condizioni di moto del trasporto di fondo, e le relative quantità di materiale consegnate alla foce, sono invece radicalmente differenti nei vari tronchi dello stesso corso d'acqua, e segnatamente nel tronco prefociale, ove divengono determinanti le condizioni meteomarine (CAVAZZA, 1977).

Da tutte queste circostanze deriva una persistente difficoltà nel valutare l'apporto terrigeno lungo i litorali.

A ciò si è ripetutamente ovviato ricorrendo a stime orientative, basate in genere sulla analisi dei dati torbiometrici disponibili per qualche corso d'acqua in sezioni più o meno lontane dalla foce, e sul trasferimento dei dati a scala regionale mediante criteri comparativi di tipo geomorfologico con i bacini degli altri corsi d'acqua. La individuazione di alcuni indici fisiografici ha consentito in questi casi l'applicazione dell'analisi regressiva per giungere a valutazioni quantitative dell'apporto terrigeno ai litorali.

La presente ricerca riprende tale metodologia, applicandola al versante appenninico tributario del litorale toscano tra il fiume Magra e il fiume Ombrone: i valori dell'apporto terrigeno da trasporto in sospensione, ottenuti mediante relazioni multiregressive a due ed a tre variabili indipendenti messe a punto per quei versanti, sono stati poi confrontati con i risultati ottenuti con altre note espressioni di impiego più generale proposte da vari Autori, giungendo ad una valutazione ponderale delle frazioni granulometriche più basse del trasporto solido in arrivo a quel tronco di litorale.

Per la stima ponderale dell'intero trasporto solido al litorale sarebbero da aggiungere al trasporto in sospensione le quantità di mate-

riale solido trasportate sul fondo, le quali, come noto, sono di difficile valutazione sperimentale e di incerta stima indiretta mediante le numerose formule sul trasporto di fondo.

Nel caso specifico alcune valutazioni sperimentali disponibili si rife- riscono al fiume Magra, sul cui tronco prefociale sono stati effettuati negli ultimi anni approfonditi rilievi e misure sperimentali (CAVAZZA, 1977; CAVAZZA e PREGLIASCO, 1981).

Vale la pena di ricordare in proposito che secondo alcuni Autori (STRAHLER, 1965; COOKE e DOORNKAMP, 1974) il trasporto di fondo è in linea di massima uguale a quello in sospensione nei corsi d'acqua in climi aridi e semiaridi, ma si riduce sino a un decimo nei climi umidi, in accordo con i processi di erosione nei grandi sistemi bioclimatici.

Secondo MADDOCK e BORLAND (1951), sulla base di una indagine estesa a vari corsi d'acqua dei vari continenti, nel caso di trasporto al fondo di materiale avente lo stesso peso specifico di quello in sospensione, il trasporto di fondo costituirebbe il 10-20% del totale; per trasporto torbido debole, composto dallo stesso tipo di materiale del fondo, il trasporto al fondo salirebbe al 50% del totale; nel caso infine di trasporto torbido con meno del 25% di sabbia e fondo alveo in roccia e ghiaie, il trasporto di fondo sarebbe solo il 5-10% del totale (PARDE, 1954).

Per quanto concerne più in particolare i corsi d'acqua, GAZZOLO e BASSI (1960), sulla base di numerose esperienze su corsi d'acqua emiliani romagnoli e marchigiani, indicano un trasporto di fondo eguale o persino superiore a quello in sospensione per i bacini con formazioni litologiche compatte, mentre nelle formazioni incoerenti argillose stimano il trasporto di fondo tra il 50% ed il 15% di quello in sospensione. Le già citate ricerche sperimentali sul tronco prefociale del fiume Magra hanno confermato, pur in presenza di formazioni geologiche non particolarmente incoerenti e con buona copertura vegetale, valori estremamente bassi del trasporto di fondo rispetto a quello in sospensione, talché il trasporto di fondo rappresenta solo l'8%-11% del trasporto solido alla foce (CAVAZZA e PREGLIASCO, 1981).

## 2. AREA DI STUDIO E DATI UTILIZZATI

L'entroterra del litorale preso in considerazione si spinge sino al crinale appenninico da Passo Cento Croci sino al M. Fumaiolo, scendendo poi lungo lo spartiacque con il bacino del Tevere sino al M. Amiata e poi al mare (Fig. 1).

TABELLA 1 - Elementi caratteristici dei bacini per i quali sono noti i valori del trasporto in sospensione

Corso d'acqua	Stazione di misura	Periodo di osservazione		Bacino sot- teso (Km <sup>2</sup> )	Altitudine ( m s.m.)			Acclivi media d bacin (%)
		dal - al	totale anni		max	med	min	
Magra	Calamazza	1957-70	14	939	1904	612	45	13
Chiana	Ponte ferroviario	1938-42;54-71	23	1272	1056	409	230	6
Arno	Subbiano	1958-71	14	738	1657	720	250	18
Arno	S. Giovanni alla Vena	1936-42;54-71	25	8186	1657	330	7	10
Orcia	Staz.FS M.te Amiata	1953-71	19	580	1148	445	160	12
Ombrone	Sasso d'Ombrone	1953-71	19	2657	1734	346	55	11

Tale territorio copre in totale 20.000 Km<sup>2</sup>, costituiti in gran parte dai versanti montuosi e collinari dei bacini imbriferi di importanti corsi d'acqua, tra i quali vanno ricordati i fiumi Magra, Serchio, Arno, Cecina, Cornia, Pecora, Bruna e Ombrone. Vanno ricordate inoltre alcune ampie aree pianeggianti, che si alternano a tratti di coste alte dalla piana apuo-versiliese sino alla piana dell'Ombrone, o che si inoltrano nell'entroterra, in particolar modo lungo la valle dell'Arno e nella Val di Chiana.

In tutta la regione i dati del trasporto solido in sospensione sono disponibili per le seguenti stazioni di misura e per gli anni indicati nella Tabella 1.

— Magra Calamazza:	Bacino sotteso: Km	939
— Chiana al ponte F.S.:	Bacino sotteso: Km	1272
— Arno a Subbiano:	Bacino sotteso: Km	738
— Arno a Nave di Rosano:	Bacino sotteso: Km	4083
— Arno a S. Giovanni alla Vena:	Bacino sotteso: Km	8186
— Orcia a stazione M. Amiata:	Bacino sotteso: Km	580
— Ombrone a Sasso d'Ombrone:	Bacino sotteso: Km	2657

Tali dati sono reperibili negli Annali Idrologici - 2<sup>a</sup> parte - del Servizio Idrografico.

Lunghezza asta fluviale  (Km)	Grado di erodibilità dei terreni (% del bacino)			Utilizzazione del suolo (% del bacino)		Deflusso medio annuo (*)		Afflusso medio annuo (*) (mm)	Numero medio annuo di piogge giorn. 20 mm
	erodi- bile	semiero- dibile	poco erodi- bile	boschiva	arabile	liquido (mm)	solido il sospens. (t/km <sup>2</sup> )		
60	15,3	27,0	57,7	56,0	16,3	1364	517	1763	11
44	40,6	30,8	6,8	18,0	56,3	213	317	845	8
39	27,4	18,1	36,7	58,3	27,4	806	402	1296	12
204	35,9	17,5	30,9	33,7	42,7	381	247	1038	13
39	63,4	27,7	8,9	15,3	52,7	249	1430	832	11
88	41,4	49,2	9,4	42,6	42,4	323	708	924	12

(\*) Valori aggiornati al 1970

Le caratteristiche geologiche dei bacini, e in particolare l'attitudine alla erodibilità delle formazioni litologiche affioranti, sono state desunte dalla cartografia geologica a vario dettaglio esistente per la zona, riferendosi per la classazione delle erodibilità, alla bibliografia esistente (GAZZOLO BASSI, 1961). Vale qui la pena sottolineare, con numerosi Autori (CICCACCI et Alii, 1981), la soggettività di valutazione della erodibilità delle formazioni litologiche affioranti, la quale porta in genere a definire poche ma ampie classi di erodibilità, con evidenti incertezze di classazione ai limiti di classe e senza la possibilità di quantizzarne l'entità della erodibilità stessa.

Si è creduto comunque opportuno adottare anche nel nostro caso la tecnica della classazione in quanto generalmente accettata nella valutazione di qualità naturalistiche biologiche ed ambientali, ma sovente impiegata anche nel calcolo numerico per procedure di prima approssimazione, risultando la sua utilità e la sua attitudine ad individuare la distribuzione dei dati classati tanto maggiore quanto minore è l'ampiezza della classe rispetto a quella globale dei dati e quanto minore è l'errore di assegnazione del singolo dato alla rispettiva classe.

Nel caso della assegnazione delle formazioni litologiche a varie classi di erodibilità non sembra tanto il criterio della classazione in sé a levare oggettività all'operazione quanto la incertezza dell'effettiva reat-

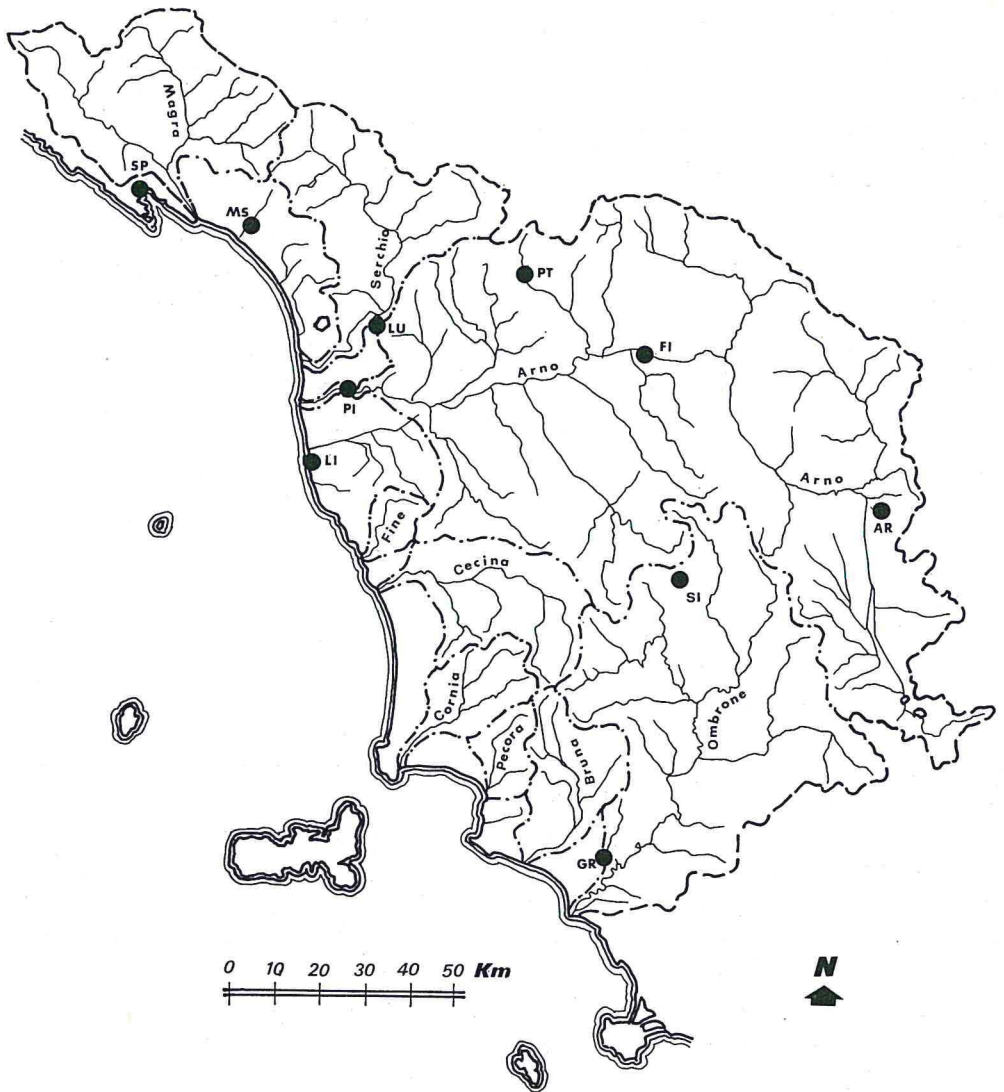


Fig. 1 - Versante appenninico tributario del litorale toscano tra la foce del F. Magra e quella del F. Ombrone.

tività nelle formazioni agli agenti della erosione e la insufficienza di dati sperimentali sull'effettiva erosione (espressa in termini di erosione specifica annua o di calo di denudamento) cui esse sono sottoposte a seguito dell'azione degli agenti della erosione a sua volta espressa in termini di erosività o di altri indici parametrici.

Va inoltre osservato che spesso la suddivisione in classi di erodibilità (bassa, media, alta) induce erroneamente a immaginare l'entità della relativa erosione crescente in progressione aritmetica, mentre invece, come ben noto da numerose ricerche sperimentali, in quelle classi la quantità di erosione cresce in progressione decisamente maggiore.

Le osservazioni del MUSGRAVE (1954), secondo cui l'ammontare relativo della erosione assume i valori 0,001 per la foresta folta, 1 per i prati, 10 per gli erbai, 100 per i seminativi, portarono quindi lo scrivente, in una sua ormai lontana analisi della erosione in alcuni bacini calabro lucani (CAVAZZA, 1961) a considerare, come parametro caratterizzante l'erodibilità del suolo, la sola aliquota dei terreni arabili, destinati a colture arboree o erbacee, trascurando con ciò l'erosione dei terreni a copertura pascoliva e boschiva.

Da quella analisi risultò in particolare un legame molto stretto tra superfici erodibili e superfici arabili, con coefficiente di correlazione 0,92: ne consegue che una conferma generalizzata di tale legame, in molti casi già verificato, consente di sostituire la prima di tali grandezze con la seconda, la quale si presta ad una quantizzazione oggettiva, invece ancora imponibile per la erodibilità.

Nella ricerca che si illustra, la superficie arabile dei singoli bacini è stata desunta dai dati comunali della utilizzazione del suolo, pubblicati per il censimento dell'agricoltura del 1970 (ISTAT, 1973).

Per i comuni ricadenti in più bacini imbriferi la ripartizione fra di essi dei terreni arabili è stata fatta in base alla carta della utilizzazione del suolo in scala 1:200.000 (CNR - 1956/68).

### 3. RELAZIONI A DUE E TRE VARIABILI INDIPENDENTI

Nella analisi innanzi citata, riguardante il trasporto in sospensione di alcuni corsi d'acqua calabro lucani, lo scrivente aveva rilevato una correlazione altamente significativa esistente tra il deflusso torbido specifico medio annuo  $T_b$ , la percentuale dei terreni erodibili esistenti nel bacino  $T_e$ , e la percentuale dei terreni arabili nel bacino stesso  $T_a$ .

La regressione tra tali variabili, affetta da coefficienti di correlazione  $r = 0,96$  era data dalla espressione (CAVAZZA, 1961):

$$1g T_b = 1,5989 + 1,0800 1g T_e - 0,0958 1g T_a \quad (1)$$

L'introduzione della variabile  $T_a$  soddisfa l'esigenza di tenere con-

to delle condizioni colturali dei terreni agrari, ed in particolare della maggiore erodibilità di quei terreni che, a parità di caratteristiche geopedologiche e morfologiche, sono soggetti a periodiche lavorazioni agricole che ne diminuiscono la difesa dagli agenti dell'erosione idrica. I terreni arabili si identificano in tal senso con i terreni utilizzati per colture arboree ed erbacee, con esclusione dei pascoli e, a maggior ragione, dei prati e dei boschi.

Il forte condizionamento esercitato dal tipo di uso del suolo sulla erosione dei versanti, e quindi sul trasporto solido dei corsi d'acqua, è del resto evidenziato dalla persistente presenza di tale parametro nelle formule per il calcolo della erosione sui versanti.

Basta ricordare a tale proposito la formula proposta dal MUSGRAVE nel lontano 1947:

$$St = SE Rc i^{1,35} L^{0,35} P_{30}^{1,75} \quad (2)$$

in cui:

St = perdita specifica di suolo

Se = erosività del suolo

Rc = fattore della copertura vegetale

i = acclività dei versanti

L = lunghezza dei versanti

P<sub>30</sub> = pioggia massima con durata di 30 min e frequenza biennale

Molto più recente è la ben nota Equazione Universale della Erosione (WISCHMEIR e SMITH, 1965)

$$A = R.K.L.S.C.P. \quad (3)$$

in cui

A = perdita di terreno per erosione

K = indice della erosività della pioggia

L = lunghezza dei versanti

S = acclività dei versanti

C = fattore delle attività colturali (copertura vegetale, lavorazioni agricole, rotazione, produttività)

P = indice degli interventi sistematorii in atto.

Nel caso dei bacini toscani presi in esame la semplice applicazione della espressione (1) non ha fornito una buona concordanza con i dati sperimentali, il che era prevedibile rappresentando essa una relazione funzionale che riflette nei suoi coefficienti una differente realtà regionale, e che un particolare pone la variabile Tb funzione di due so-



le variabili indipendenti che descrivono i caratteri di erodibilità del bacino ma non quelli della erosività degli agenti climatici (HUDSON, 1973).

La stessa espressione (1), calcolata per i bacini tributari del litorale toscano con i dati della tabella 1, ha fornito valori dei coefficienti alquanto differenti rispetto a quelli validi per i bacini calabro-lucani, specie per quanto riguarda l'influenza di Ta. L'espressione così calcolata per i bacini toscani è risultata infatti

$$1g Tb = 3,1838 + 5,6278 Te - 5,8934 Ta \quad (r = 0,99) \quad (4)$$

ed i valori calcolati di Tb si discostano non molto da quelli reali (figura 2).

Per una generalizzazione della espressione e per tenere conto del ruolo esercitato sulla erosione dalla erosività degli agenti atmosferici, è apparso opportuno prendere in considerazione una nuova variabile, che nei climi temperati a prevalente erosione idrica si individua in un indice della precipitazione.

Va osservato che l'azione erosiva delle precipitazioni dipende non solo dalla loro quantità, ma anche dalla loro distribuzione stagionale per le concomitanze che esse possono avere con le differenti condizioni stagionali di erodibilità del terreno, della copertura vegetale e delle pratiche colturali, e, infine, della intensità delle singole precipitazioni.

Ad indicatori di tali caratteristiche pluviometriche numerosi Autori hanno proposto vari indici.

Si possono ricordare tra questi:

- il valore  $P_{30}$  della precipitazione massima con durata di 30 minuti e tempo di ritorno di 2 anni, proposto da vari Autori;
- il fattore P della equazione di WISCHMEIR e SMITH (1965), data dalla espressione

$$P = \Sigma E P'_{30/10}{}^5$$

in cui.

E = energia cinetica della singola precipitazione

$P'_{30}$  = precipitazione massima annuale con durata di 30 minuti

- il coefficiente di aggressività climatica introdotto dal FOURNIER (1949)

$$K = p^2/P$$

in cui:

p = massimo totale mensile di pioggia nell'anno

P = totale annuo di pioggia

— l'indice pluviometrico

$$n = P\sigma$$

in cui P ha il significato precedente e  $\sigma$  è lo scarto quadratico medio delle precipitazioni mensili (CICCACCI, FREDI e LUPIA-PALMIERI, 1977).

Dalla struttura di tali indici si riconosce che ciascuno di essi evidenzia in maniera predominante l'uno o l'altro degli aspetti caratterizzanti l'erosività delle precipitazioni, per cui solo un indice ben più complesso e laborioso da calcolare sembra essere in grado di rappresentare fedelmente l'erosività.

Ad avvalorare tale sensazione sono i risultati talvolta non sempre incoraggianti ottenuti adottando di volta in volta i citati indici: per quanto riguarda i corsi d'acqua italiani si ricorda in tal senso la modesta rappresentatività degli indici K e n evidenziata dalla approfondita indagine condotta da CICCACCI, FREDI e LUPIA-PALMIERI (1977).

Rimandando pertanto ad ulteriori indagini la individuazione dell'indice più rappresentativo, nel presente lavoro tale indice è stato posto pari al totale annuo P delle precipitazioni, così come si può facilmente desumere dagli Annuali Idrologici.

Con l'introduzione di tale nuova variabile l'espressione della regressione che lega  $T_b$  alle variabili indipendenti  $T_e$ ,  $T_a$  e P, è risultata per i bacini del litorale toscano la seguente:

$$1g T_b = 19,0980 + 4,8581 1g T_e - 7,7404 1g T_a - 3,9127 1g P \quad (5)$$

Essa è affetta da un coefficiente di correlazione multiplo 0,992 ed i valori  $T_b$  con essa calcolati per i corsi d'acqua esaminati concordano in maniera soddisfacente con quelli sperimentali (Fig. 2).

L'introduzione, sia pur non affinata, di indici sia della erodibilità dei suoli che della erosività degli agenti climatici, leva in una certa misura all'espressione (5) la limitazione dell'uso alla regione per la quale è stata definita, prospettandone una certa applicabilità anche ad altre aree geografiche.

Avendo ad esempio applicato tale espressione ai bacini calabro-lucani per i quali era risultata valida l'espressione (1) a due parametri, si è visto che con l'espressione a 3 parametri si ottengono valori di  $T_b$  mai differenti più del 17% rispetto ai valori osservati.

Un confronto tra i valori di  $T_b$  calcolati con (5) per i corsi d'acqua del litorale toscano, e quelli che si ottengono applicando altre formule di applicazione più generale proposte da vari Autori, è infine riportato nella Fig. 2.

Un primo confronto è stato fatto con l'espressione fornita da GAZZOLO e BASSI (1966) per il calcolo del deflusso volumico specifico medio annuo dei corsi d'acqua italiani, e con la carta della erodibilità dei terreni tracciata dagli stessi Autori.

Altri confronti sono stati eseguiti con le espressioni proposte da MANER e BARNES (1953) e da GLYMPH, HEINEMANN e KOHLER (1961), in quanto ormai classiche nella storia delle ricerche sulla erosione.

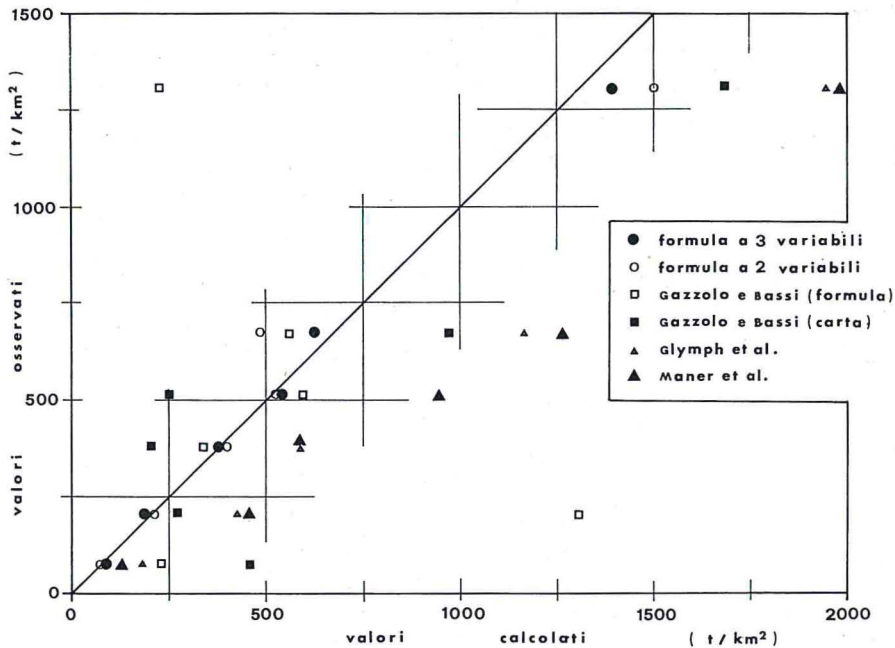


Fig. 2 - Deflusso solido in sospensione specifico medio annuo dei bacini tributari del litorale toscano: confronto tra valori sperimentali e valori ottenuti da metodi indiretti di calcolo.

Dalla Fig. 2 risulta evidente la scarsa attendibilità dei risultati forniti da tali formule, le quali, pur se di uso diffuso, risentono certamente delle caratteristiche regionali dei dati sperimentali e non contengono variabili in grado di adeguare la funzione della erosione, e del conseguente trasporto solido, a condizioni geomorfologiche e idrologiche comunque differenti e generalizzabili.

## 4. STIMA DELL'APPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE AL LITORALE TIRRENICO

Accertata la validità della funzione (5) a tre variabili per il calcolo parametrico del trasporto in sospensione nei corsi d'acqua, si è proceduto alla sua applicazione per tutto il versante appenninico tributario del litorale toscano tra le foci del Magra e dell'Ombrone.

La regionalizzazione ha comportato il trasferimento di informazioni dalle sezioni di misura torbiometrica (tabella 1) alle foci di relativi corsi d'acqua, con verifiche di congruità sul bilancio solido dei tronchi d'alveo intermedi, e la ricerca dei valori delle variabili per gli altri bacini e per le aree litoranee tra di essi esistenti.

Per questi nuovi bacini ed aree intermedie i valori delle variabili sono riportati nella tabella 2.

TABELLA 2 - Trasporto solido in sospensione medio annuo in arrivo al litorale toscano

Bacino	Superficie del bacino	Superficie arabile	Superficie erodibile	Afflusso medio annuo	Trasporto solido in sospensione specifico	Trasporto in sospensione Bacini principali	solido in al litorale Aree intermedie
	Km <sup>2</sup>	%	%	mm	t/km <sup>2</sup> .anno	10 <sup>3</sup> .t/anno	10 <sup>3</sup> .t/anno
Magra	1693,9	17,0	15,3	1822,8	374,4	632,00	224,84
Serchio	1408,2	31,8	15,8	1450,0	270,0	23,07	6,66
Arno	8228,1	42,7	35,9	1016,7	185,4	1524,00	47,13
Fine	171,4	64,3	67,6	922,4	246,2	42,20	0,51
Cecina	905,2	33,4	23,5	943,7	211,3	191,30	64,47
Cornia	358,2	36,7	29,7	950,5	311,5	111,30	2,95
Pecora	99,7	43,9	34,8	853,8	254,2	25,38	11,02
Bruna	561,7	32,0	31,8	914,4	168,2	94,40	5,50
Ombrone	3495,7	44,2	43,3	899,8	586,9	2050,00	
TOTALI						4693,65	363,08
							5056,73

L'applicazione della (5) ha fornito i valori di Tb che si attribuiscono a questi bacini e da essi si è risaliti ai valori medi annui dell'apporto solido trasportato in sospensione da ciascun bacino e poi dall'intero entroterra appenninico al litorale.

Per tutti i corsi d'acqua per i quali erano noti valori del trasporto in sospensione in sezioni lontane dalla foce, il trasporto specifico alla foce è risultato inferiore a quello osservato a monte, in accordo con i meccanismi della evoluzione morfologica degli alvei.

I valori dell'apporto terrigeno alle foci riflettono inoltre in maniera evidente le caratteristiche di erodibilità e subordinatamente di copertura vegetale dei bacini, ed evidenziano in particolare il notevole apporto solido dell'Ombrone sia in termini assoluti ( $2050 \cdot 10^3\text{t/anno}$ ) che in rapporto all'apporto degli altri bacini, ivi compreso il ben più ampio bacino dell'Arno ( $1854 \cdot 10^3\text{t/anno}$ ).

Nel complesso del litorale esaminato il materiale trasportato alle foci in sospensione è risultato per l'anno medio di  $5057 \times 10^3\text{t/anno}$ , pari ad un apporto terrigeno di sedimenti a granulometria fine di  $23 \cdot 10^3\text{t/anno}$  per ciascuno dei 220 km del litorale. Volendo avanzare una stima del tutto intuitiva sull'apporto solido totale al litorale studiato, tenute presenti le caratteristiche litologiche dei bacini tributari e le esperienze specifiche svolte in questi anni sul fiume Magra (CAVAZZA e PREGLIASCO, 1981), anche in assenza degli effetti che nei trascorsi decenni sono stati causati dalle massicce estrazioni di ghiaie e sabbie dai maggiori alvei fluviali, in base alle generiche indicazioni fornite dalla letteratura già in precedenza ricordata si può ipotizzare che il trasporto di fondo rappresenti circa 20%-30% del trasporto solido totale.

Da tale ipotesi discende che l'apporto terrigeno al litorale toscano tra il Magra e l'Ombrone si aggirerebbe tra le  $6,3 \cdot 10^6$  e le  $7,2 \cdot 10^6\text{t/anno}$ , con un apporto specifico medio di  $31,10^3\text{t/anno}$  per ogni km del litorale considerato.

#### BIBLIOGRAFIA CITATA

- CAVAZZA (1961) - Sulla erodibilità dei terreni di alcuni bacini calabro lucani. *Atti XVIII Congr. Geogr. Ital.*, Trieste 285-304.
- CAVAZZA (1977) - I criteri di stima dell'apporto terrigeno alla foce dei corsi d'acqua e il caso del fiume Magra. *Atti Conv. Riequil. Costa tra Magra e Marina di Massa*, Massa, 123-133.
- CAVAZZA S., MERLISENNA P., PIAGGI P. (1977) - Variazioni morfologiche del tronco terminale del fiume Magra nel quindicennio 1958-1973. *Atti Conv. Riequil. Costa tra Magra e Marina di Massa*, Massa, 135-155.
- CAVAZZA S., PREGLIASCO P. (1981) - Sulle modificazioni dell'apporto terrigeno alla foce del fiume Magra causate dall'uomo. *CNR. Prog. Fin. Conserv. Suolo*, Publ. 152 Dinam. Litorali.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA-PALMIERI E. (1977) - Rapporti fra trasporto solido e parametri climatici e geomorfici in alcuni bacini idrografici italiani. *Atti Conv. Mis. Trasp. Sol. Fondo. CNR. Prog. Fin. Cons. Suolo*, Firenze, c. 4.1-c. 4.16.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA-PALMIERI E., PUGLIESE F. (1981) - Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, **99** (1980), 455-516.

- CNR (1956-68) - Carta della utilizzazione del suolo d'Italia. *Centro St. Geogr. Econ. CNR* - TCI, n. 26 fogli.
- COOKER R.U., DOORNKAMP J.C. (1974) - Geomorphology in Environmental Management. *Clarendon Press*, Oxford, pp. 413.
- FOURNIER F. (1949) - Les facteurs climatiques de l'érosion du sol. *Ass. Geogr. Franc. Bull.*, **203**, 97-103.
- GAZZOLO T., BASSI G. (1960) - Contribution à l'étude du degré d'érosion des sols constituant les bassins versants des cours d'eau italiens. *Atti Ass. Gen. AIHS, Helsinki*, **53**, 112-134.
- GAZZOLO T., BASSI G. (1963) - Le transport solide en suspension dans les bassins versants des cours d'eau italiens. *Ass. Int. Hydr. Sc., Ass. Gen. Berkeley*, **65**, 203-230.
- GLYMPH L.M. (1954) - Studies of sediment yields from watersheds. *Ass. Int. Hydr. Sc. Ass. di Roma*, **36** (1), 178-191.
- GLYMPH L.M., HEINEMANN H.G., KOHLER V.O. (1951) - Studio non pubblicato del U.S. Soil Conserv. Serv. Lincoln, Nebraska, pp. 48.
- HUDSON N. (1971) - Soil conservation. *BT Batsford Ltd*, Londra, pp. 320.
- ISTAT (1973) - 2° Censimento generale dell'agricoltura. Dati sulle caratteristiche strutturali delle aziende. *Fascicoli Provinc. del vol. II*, Roma.
- MANER S.B., BARNES L.H. (1953) - Suggested criteria for estimating gross sheet erosion and sediment delivery rates for the Blackland Prairies. *Probl. Area. Soil. Cons. U.S. Soil Cons. Serv. Fort. Wirth*, Texas.
- MUSGRAVE G.W. (1947) - The quantitative evaluation of factors in water erosion. A first approximation. *Journ. Soil. Wat. Conserv.*, **2**, 133-138.
- MUSGRAVE G.W. (1954) - Estimating land erosion-sheet erosion. *Ass. Int. Hydr. Sc., Ass. Gen. Roma*, (1), 207-215.
- PARDE M. (1954) - Sur les érosions superficielles, les transports solides et les remblaiements effectués par les eaux courantes. *Ass. Int. Hydr. Sc., Ass. Gen. Roma*, **36** (1), 194-206.
- STRAHLER A.N. (1965) - The earth sciences. *Harpes Row Publ.*, New York, pp. 681.
- WISCHMEIR W.H., SMITH D.D. (1965) - Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. *Agric. Handb. 282, Agric. Res. Serv. U.S. Dep. Agric. Washington*, 210 pp.

(ms. pres. il 17 settembre 1984; ult. bozze il 20 ottobre 1984)