

SEBASTIANO VITTORINI (*)

LA DIMINUIZIONE DEL TRASPORTO TORBIDO NEI FIUMI ITALIANI TRA IL PERIODO PREBELLICO E QUELLO ATTUALE

Abstract: VITTORINI S., *The decrease of suspended loads in Italian rivers, between pre-war period and the present one.* (IT ISSN 0391-9838, 1991).

An introduction about the decrease of rainfall and runoff of Italian rivers and the possibility to apply the Fournier's method to find the unit river transport sediments in suspension in Italy have been debated.

Many pluviometrical stations, set out uniformly in Italy, were used to apply the Fournier's pluviometrical coefficient (p^2/P). The linear correlation between p^2/P and t/km^2 for the river transport sediment in suspension stations, present in Italy until 1944, has been also computed and applied to the pluviometrical stations. So a map which illustrates the classes of river transport sediment in suspension has been constructed and, with a planimeter, the total one calculated, so the average erosion index has been also estimated.

The same procedure has been applied to the post-war period, until 1973, and a considerable decrease (about 40%) of the total river transport sediment in suspension has been remarked.

KEY WORDS: Fournier's pluviometrical coefficient, river transport sediment in suspension, erosion index, Italy.

Riassunto: VITTORINI S., *La diminuzione del trasporto torbido nei fiumi italiani, tra il periodo prebellico e quello attuale.* (IT ISSN 0391-9838, 1991).

Dopo una premessa sulla diminuzione degli afflussi e dei deflussi nei corsi d'acqua italiani, viene discussa la fattibilità del metodo di Fournier per trovare, in modo indiretto, il deflusso torbido unitario anche in Italia.

Vengono così prese in considerazione 588 stazioni pluviometriche, distribuite uniformemente sul territorio nazionale, per le quali si calcola il coefficiente pluviometrico di Fournier (p^2/P). Si calcola quindi la correlazione lineare tra t/km^2 e p^2/P per le stazioni torbiometriche esistenti in Italia a tutto il 1944 e si applica alle 588 stazioni pluviometriche. Viene così costruita una cartina illustrante le classi del deflusso torbido unitario ricavato nelle singole stazioni pluviometriche. Mediante planimetrazione, viene calcolato il deflusso torbido totale del periodo, dal quale si ricavano poi il deflusso torbido unitario medio e l'indice di denudazione media in Italia.

Lo stesso procedimento si applica al periodo postbellico, fino al 1973 e si nota, nel confronto fra i due periodi, una sensibile flessione del deflusso torbido globale, che si aggira intorno al 40%.

TERMINI CHIAVE: Coefficiente pluviometrico di Fournier, deflusso torbido unitario, indice di denudazione, Italia.

(*) *Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, CNR, Pisa.*

È ormai accertato da numerosi fatti, quali ad esempio, l'arretramento delle spiagge e l'abbassamento degli alvei dei corsi d'acqua e confermato altresì dagli stessi Annali Idrologici, che le portate torbide dei corsi d'acqua italiani sono in diminuzione a partire dagli anni '50. A tale proposito è opportuno far rilevare che «la valutazione dell'erosione del suolo e quindi del materiale solido trasportato dai corsi d'acqua alla loro foce è l'elemento più importante nella determinazione delle entrate del bilancio sedimentario di un litorale» (MORETTI, 1985). «Una parte non rilevante dell'erosione delle coste può essere imputata all'innalzamento del livello marino, ma nel corso degli ultimi 6000 anni circa le variazioni del livello del mare sono state piuttosto modeste anche se, in alcuni casi, si è sommato l'effetto della subsidenza delle pianure costiere. Di fatto oggi, su gran parte dei litorali sabbiosi di tutto il mondo, la materia prima scarseggia, non solo per motivi a lungo termine, ma soprattutto a causa dei vari interventi antropici e in particolare delle escavazioni che i corsi d'acqua stanno subendo ormai da molti decenni» (BARTOLINI, 1985).

Le cause dei fenomeni accennati all'inizio potrebbero essere ricercate perciò nelle attività condotte dall'uomo nei bacini idrografici e nell'alveo dei fiumi (ROSSETTI, 1978; CAVAZZA, 1979; AUTORI VARI, 1979; TAZIOLI, 1982). Tali attività, attraverso lavori di sistemazione agraria e idraulico-forestale, hanno provocato notevoli modificazioni del suolo e della circolazione idrica superficiale (non bisogna dimenticare che contemporaneamente si è verificato un massiccio esodo dai campi, in particolare dalle aree montane). Tutto ciò ha senza dubbio influito sull'erosione e quindi sul trasporto torbido, il quale inoltre è in parte controllato direttamente dalle opere di imbrigliamento e dagli invasi artificiali, sorti numerosi in questi ultimi anni, che trattengono una parte delle torbide. A proposito di quest'ultimo termine, in questa ricerca appare spesso la dizione «trasporto torbido» poiché i dati del trasporto solido dei corsi d'acqua sono tratti dagli Annali Idrologici, in cui si fa riferimento solo al trasporto in sospensione. Tuttavia, com'è noto, con portate liquide superiori ad un certo valore, che varia da fiume a fiume, si verifica, nella parte termi-

nale dei corsi d'acqua, anche il trasporto di sabbia, come si vedrà appresso.

L'abbandono dei campi, per quanto possa sembrare paradossale, in un certo qual modo, contrasta l'erosione; infatti, come si può osservare dalla tabella 1 (BENNET, 1939), la massima erosione si verifica nei terreni coltivati a graminacee e a maggese, nei quali si pratica l'aratura (tab. 1).

TABELLA 1 - Coefficiente di deflusso e perdite di suolo su terreni sottoposti a diversa utilizzazione agraria e soggetti ad una quantità media di precipitazioni annue di 927 mm (BENNET, 1939)

	Coefficiente di deflusso	Erosione t/acro
Bosco	0,12	0,0
Prati	6,5	0,4
Rotazione	16,9	11,4
Maggese scoperto	48,8	69,0
Monocoltura (graminacee)	41,5	73,2

Il terreno smosso dall'aratro si presta assai bene al dilavamento ed all'erosione incanalata; l'abbandono delle pratiche agricole determina pertanto, da questo punto di vista, una maggiore difesa del suolo, anche perché, al posto delle colture menzionate, si impiantano spesso prati permanenti, sui quali si esercita un basso grado di erosione. A confermare quanto detto, vale un esempio ricavato dall'esperienza personale. La mia attività di ricerca sull'erosione nelle argille plioceniche della Val d'Era è iniziata nel 1963. In quegli anni l'esodo dalle campagne, in quella zona, era iniziato da poco e persisteva ancora una certa attività agricola. Iniziò allora un'intensa attività erosiva e i calanchi, già presenti, ebbero uno sviluppo notevole, come pure le colate di fango che si formavano puntualmente dopo ogni pioggia. L'erosione in massa, in poche parole, si impostava su terreni ancora freschi di aratura e continuò, con ritmo sostenuto, per alcuni anni (VITTORINI, 1971), decrescendo poi progressivamente. Nel 1990 perciò, prima della ripresa delle abbondanti precipitazioni degli ultimissimi anni, l'aspetto della valle era cambiato: i calanchi si erano cicatrizzati ed erano coperti da una spessa cotica erbosa e da cespugli, mentre le colate di fango erano diventate rarissime. Solo dall'inizio del 1991, alla ripresa di forti precipitazioni, dopo un lungo periodo di siccità, ho potuto notare un ritorno dell'erosione in massa, anche se circoscritta a colate di fango.

Ciò che ho descritto per la Val d'Era potrebbe essere allargato a tutta la penisola; infatti i dati statistici mostrerebbero che, dagli anni '30 ad oggi, è avvenuto un sensibile cambiamento nell'utilizzazione del suolo, poiché la superficie dei seminativi è sensibilmente diminuita, mentre è aumentata quella dei prati e pascoli permanenti (ISTAT, anni vari). Nel complesso perciò, stando alle stime di Bennet, l'erosione, in questi ultimi anni, dovrebbe essere divenuta meno intensa.

	Seminativi (graminacee) ha	Prati e pascoli permanenti ha	Boschi ha
1936	12.946.731	4.731.755	5.552.386
1987	8.959.472	4.951.550	6.735.185

Come prima probabile conseguenza dell'insieme degli interventi menzionati, si è verificata la flessione dei deflussi liquidi dei corsi d'acqua italiani, rilevata dai vari Uffici Idrografici. Calcoli effettuati, ad esempio, sulle portate del Po a Pontelagoscuro, dell'Arno a S. Giovanni alla Vena e del Tevere a Roma provano (tab. 2) che, insieme ai deflussi liquidi sono diminuiti anche gli afflussi, ma che questi ultimi si sono ridotti con un tasso minore, per cui si può ritenere che una parte della flessione dei deflussi sia dovuta a cause esterne a fattori climatici.

TABELLA 2 - Variazione degli afflussi e dei deflussi del Po, dell'Arno e del Tevere, dall'inizio delle osservazioni al 1973. Equazioni delle rette di correlazione tra il tempo (A), gli afflussi (P) e i deflussi (D)

Po a Pontelagoscuro 1918-1973	P = 1504,3 - 0,2056 A (-0,2 mm/anno)	D = 3934,6 - 1,6787 A (-1,64 mm/anno)
Arno a S. Giovanni 1924-1973	P = 4491,13 - 1,7799 A (-1,76 mm/anno)	D = 6076,07 - 2,9242 A (-2,86 mm/anno)
Tevere a Roma 1921-1973	P = 1472,3 - 0,2244 A (-0,21 mm/anno)	D = 1740,21 - 0,6662 A (-0,64 mm/anno)

La diminuzione delle portate liquide menzionata nei tre fiumi campione, ma constatata in molti altri corsi d'acqua, fa presumere che il fenomeno riscontrato sia rappresentativo di una situazione generale da cui dipende, almeno in parte, un minor trasporto torbido. Perciò, per una migliore messa a punto del problema, è opportuno verificare l'occorrenza di variazioni del numero delle portate al di sopra di una certa soglia, per cogliere modificazioni della loro capacità di trasporto. Infatti, secondo BENDINI (1969), esiste una stretta relazione tra l'entità delle portate liquide e il trasporto torbido. L'A. afferma che «solo poche grosse piene sono sufficienti a trasportare quasi tutto il deflusso torbido annuale»; per l'Arno infatti i 2/3 di tutto il materiale in sospensione, che è costituito in buona parte anche da sabbia, è da attribuirsi in media ad una durata di 12 giorni e appena 1/3 ai rimanenti 353 giorni. Ciò è confermato da quanto rilevato da RUGGIERO (1948), secondo cui il valore di 120 m³/s rappresenterebbe la portata minima necessaria per un trasporto consistente di sabbia da parte delle correnti dell'Arno. Si è sperimentato poi (MANCINI, 1956) che la frazione sabbiosa delle torbide di questo fiume è di appena il 4,44%, con una portata di 84 m³/s, mentre con 560 m³ tale frazione raggiunge ben il 45,3%. Sembra importante a questo proposito conoscere l'andamento delle portate giornaliere almeno per l'Arno, dall'inizio delle osservazioni fino al 1973, per rendersi conto della varia-

TABELLA 3 - Numero dei casi con portate medie giornaliere (medie annue), suddivise per classi di portata e per periodi di osservazione per l'Arno a S. Giovanni alla Vena

Classi di portata m ³ /s	1936-42	1951-57	1958-63	1964-68	1969-73	Media ponderata 1936-73
120-300	69,0	44,0	88,7	76,8	60,0	66,9
301-500	18,4	12,7	16,2	14,2	9,8	14,5
501-1000	14,7	6,0	7,8	3,8	0,8	7,2
> 1000	2,0	0,7	1,2	0,8	—	1,0

zione della capacità di trasporto di questo fiume ed eventualmente compiere un'estrapolazione, del tutto qualitativa, agli altri corsi d'acqua le cui portate hanno subito una flessione nel corso del tempo. Dalla tabella 3 appare chiaro che le portate comprese tra 120 e 300 m³ si mantengono quasi inalterate, cui consegue un modesto trasporto di sabbia, mentre è assai significativa la diminuzione di quelle superiori ai 300 m³/s. In particolare, nell'ultimo quinquennio, l'Arno ha prodotto in media all'anno appena 0,8 portate superiori a 500 m³, che è un valore indicativo di un congruo trasporto di sabbia, mentre sono assenti portate superiori ai 1000 m³. Ciò significa che la capacità di trasporto torbido di questo fiume si è notevolmente ridotta. A S. Giovanni alla Vena, calcoli eseguiti sui dati rilevati tra il 1954 (anno di ripresa delle misure nel dopoguerra) e il 1973, mostrano pertanto una sensibile diminuzione del trasporto torbido, poiché si è passati mediamente, secondo i risultati di una regressione lineare, da circa 200 a circa 152 t/km²/anno in 20 anni. Per il Po si è passati da 316 t/km² nel 1956 a 138 nel 1970, con un tasso medio di diminuzione di circa 12 t/hm²/anno. Per il Tevere, dal 1949 al 1969 (nel 1970 è entrato in funzione il lago di Corbara, presso Orvieto, il più grande invaso del bacino di questo fiume) che ha captato la maggior parte delle torbide, la diminuzione del deflusso torbido è notevole ed il tasso si ag-

TABELLA 4 - Equazioni delle rette di regressione tra il tempo e il deflusso torbido unitario del Po, dell'Arno e del Tevere

Po a Pontelagoscuro 1956-73	$t/\text{km}^2 = 25241,5 - 12,7429 A$
Arno a S. Giovanni 1954-73	$t/\text{km}^2 = 5144,0 - 2,5278 A$
Tevere a Roma 1949-69	$t/\text{km}^2 = 18141,4 - 9,1519 A$

gira intorno a 8,7 t/km²/anno (tab. 4). Per il Savio a S. Vittore la situazione è ancora più drammatica poiché, in base alla seguente equazione:

$$t/\text{km}^2 = 166575,0 - 84,1364 A$$

(in cui A rappresenta gli anni) si può calcolare che si è passati mediamente da 2509 t/km²/anno nel 1950 alle 826 del 1970.

A questo punto sorge il dubbio che la diminuzione dei deflussi non possa rappresentare da sola la flessione così notevole del trasporto torbido; è legittimo allora pensare che l'attività antropica debba avere avuto una non piccola influenza. Si fa notare, ad esempio, che sin dagli anni '50 la superficie sottoposta a comprensori di bonifica nel bacino dell'Arno era di 261.000 ha, pari al 31,7% dell'intero bacino. Tali comprensori sono in massima parte di bonifica montana, in cui si attua il rinsaldamento delle pendici franose, l'imbrigliamento e la regimazione delle acque (TADDEI, 1957). Queste opere possono influire solo in parte però sulla diminuzione delle torbide, poiché non sono a carattere integrale e non coprono tutta l'area del bacino, per cui l'erosione continua la sua azione demolitrice e l'apporto di inerti al fiume continua, sia pure in maniera più limitata. Rimane perciò un altro motivo, oltre a quelli citati all'inizio, che concordemente è il più importante nel ridurre il trasporto solido; esso è rappresentato dalle estrazioni di sabbia dagli alvei. A questo proposito ROSSETTI (1978) afferma che la «progressiva diminuzione del deflusso solido, qual'è stata accertata dai dati rilevati nelle stazioni di misura ancora in funzione dopo gli anni '60, non è da attribuire alle conseguenze di azioni relative al fenomeno naturale dell'erosione dei bacini idrografici, ma alla pratica di indiscriminati interventi antropici sulla struttura fisica degli alvei fluviali». Infatti si può constatare che l'attività estrattiva dagli alvei ha avuto un notevole incremento nel tempo, tanto è vero che, mentre nel 1955 la quantità di inerti estratti in Italia ammontava a circa 7 milioni di tonnellate, nel 1971 essa era più che decuplicata, passando a 78 milioni di tonnellate (MINISTERO IND. COMM. ARTIG., 1956, 1973). Naturalmente si tratta di cifre in difetto, poiché sfuggono a queste stime i dati di molte estrazioni abusive, per cui non è azzardato supporre che l'ammontare della quantità degli inerti estratti sia in realtà molto maggiore di quanto ufficialmente ammesso. Infatti benché non si disponga di dati complessivi, gli studi compiuti su alcuni corsi d'acqua toscani (BARTOLINI, 1985) inducono a ritenere che il volume degli inerti scavati dagli alvei fluviali e dalle spiagge, nell'ultimo trentennio, sia dello stesso ordine di grandezza del deflusso solido complessivo dei corsi d'acqua che alimentano il litorale toscano. Inoltre, nelle sole provincie di Bologna, Ravenna, Forlì e Pesaro, le estrazioni di sabbia sono passate da 1.293.000 t nel 1957 a circa 8 milioni nel 1971 (AUTORI VARI, 1979).

Per tentare di fare un confronto dei bilanci generali del trasporto torbido in Italia, tra due periodi diversi, qual è l'intento di questa ricerca, ho creduto opportuno ricorrere a un metodo indiretto. Esso tuttavia tiene conto lo stesso dei dati del trasporto torbido misurati nei fiumi italiani, sul quale gravitano tutti i fattori (naturali e antropici) delineati precedentemente. Mi riferisco a quello sperimentato da FOURNIER (1960), che, servendosi dei deflussi torbidi unitari annui di molti corsi d'acqua di tutti i continenti, si è avvalso di un fattore climatico (p^2/P), per giungere alla distribuzione dei deflussi torbidi unitari del globo. Il clima infatti, secondo l'A., al contrario della natura del suolo e della vegetazione, ad esempio, che esercitano un'azione locale, presenta un'omogeneità spaziale da consentire il confronto tra regione e regione. Egli mise a punto il coefficiente pluviometrico p^2/P , in cui p sono le precipitazioni del mese più piovoso e P le piogge annue di una stazione pluviometrica o degli afflussi di un bacino idrografico. Trovò poi che tale rapporto è in stretta correlazione con il deflusso torbido unitario; è bastato perciò calcolare l'equazione della retta di correlazione tra i due parametri relativi a bacini sottesi da stazioni torbiometriche e applicarla poi alle stazioni pluviometriche che, com'è noto, sono molto più numerose.

Alcune riserve sono state mosse a questo metodo e, in particolare, che esso si avvale del solo fattore climatico e a tale proposito sono molto puntuali quelle della scuola romana (CICCACCI & *alii*, 1977; CICCACCI & *alii*, 1979). Ma esso tuttavia, che già offre risultati molto convincenti a scala planetaria, rappresenta, cosa da non sottovalutare, un metodo di facile e rapida attuazione. Rimangono valide comunque le riserve relative alla sua utilizzazione a scala più grande, ma, come si dirà meglio in seguito, in questa ricerca si vuol cogliere non tanto il valore assoluto del fenomeno, quanto cercare di valutare il tasso di diminuzione del trasporto torbido dei corsi d'acqua italiani, tra il periodo prebellico e quello attuale. In questi ultimi infatti l'uso del territorio e le caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua italiani sono variati notevolmente.

Secondo FOURNIER, allora, il deflusso torbido unitario medio dell'Europa ammontava a $84 \text{ t/km}^2/\text{anno}$ e, tenendo conto di una densità delle torbide essiccate pari a $1,4 \text{ g/cm}^3$, ne derivava un volume di $60 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{anno}$, cui corrispondeva un indice di denudazione media di $0,06 \text{ mm}$ l'anno. L'Italia, in questo contesto, nella carta pubblicata, peraltro a piccola scala (1:71.000.000), è compresa nella classe di $60\text{-}600 \text{ t/km}^2/\text{anno}$, valore chiaramente molto indeterminato. Questa indeterminazione, secondo il mio parere, dipende dalla valutazione che FOURNIER ha fatto della situazione idrografica del nostro paese. Infatti per lui i bacini idrografici italiani sono di piccole dimensioni e differiscono dai grandi bacini anche per la presenza massiccia del rilievo. I bacini italiani sarebbero quindi di natura montana, con corsi d'acqua a carattere torrentizio. Per questi motivi essi presentano una forte pendenza e i fenomeni di erosione hanno caratteristiche particolari: l'asportazione dei prodotti di alterazione delle rocce avviene rapidamente e vi predominano movimenti in massa, come scol-

amenti, frane, ecc. E conclude: «Tous ces facteurs n'apparaissent pas dans notre étude. Les relations trouvées ne sont donc pas applicables à ce milieu et les aberrances constatées ne sont nullement étonnantes».

Ma, scorrendo le pagine del volume di questo Autore, si può constatare che egli ha considerato nel suo studio pochissime stazioni torbiometriche italiane ed è probabile che le sue critiche si basino più su dei preconcetti (FOURNIER, 1960, p. 162) che su calcoli eseguiti in maniera sistematica nel nostro territorio (p. 163). Infatti la correlazione lineare tra t/km^2 e p^2/P da me trovata per le stazioni torbiometriche italiane, prese in considerazione da FOURNIER, risulta addirittura negativa:

$$t/\text{km}^2 = 1931 - 19,7 p^2/P \quad r = -0,58$$

non si può escludere pertanto che, utilizzando tutte le stazioni torbiometriche funzionanti in Italia, il suo metodo, applicato in senso planetario, non possa esser valido anche per il nostro paese.

È opportuno, per motivi legati al rilievo e che perciò ci interessano da vicino, accennare al fatto che Fournier elaborò il «coefficiente orografico» ($H \cdot \text{tg } \alpha$), che compare, quale parametro, in una equazione che avrebbe potuto risolvere da sola i vari casi presentatisi nell'elaborare i valori torbiometrici e climatologici di località diverse tra loro. Tale equazione, secondo alcuni Autori, rappresenterebbe il più completo approccio del metodo di Fournier per ottenere i dati del trasporto torbido per i bacini privi di stazioni torbiometriche (CICCACCI & *alii*, 1980). Egli constatò infatti che il suo metodo poteva essere applicato validamente solo utilizzando correlazioni diverse tra t/km^2 e p^2/P , a seconda di quattro ambienti principali da lui individuati:

a rilievo poco accentuato
a rilievo accentuato
umido e subumido
arido e semiarido

L'equazione in questione:

$$E = 2,65 \log \frac{p^2}{P} + 0,46 H \cdot \text{tg } \alpha - 1,56$$

tuttavia, secondo l'Autore *était d'un emploi difficile car elle nécessitait le calcul de $\frac{p^2}{P}$ et $H \cdot \text{tg } \alpha$ pour la totalité des bassins fluviaux du globe, ce qui constitue un travail considérable pour lequel d'ailleurs bien des données manqueraient*. Tale equazione perciò non fu presa in considerazione, poiché FOURNIER ritenne sufficiente fare intervenire il solo coefficiente $\frac{p^2}{P}$, tenendo conto però delle quattro situazioni sopra elencate (FOURNIER, 1960, p. 184).

Nell'ambito di questa ricerca, avrei dovuto orientarmi verso la correlazione di tipo «A», che si riferisce ad ambienti a rilievo poco accentuato, con coefficiente p^2/P minore di 20 (FOURNIER, 1960, p. 137). Ma il coefficiente orografico dei bacini da me considerati è risultato invece piuttosto basso, pari a 2,2, abbondantemente al di sotto della soglia del valore 6 che è stato stabilito come limite

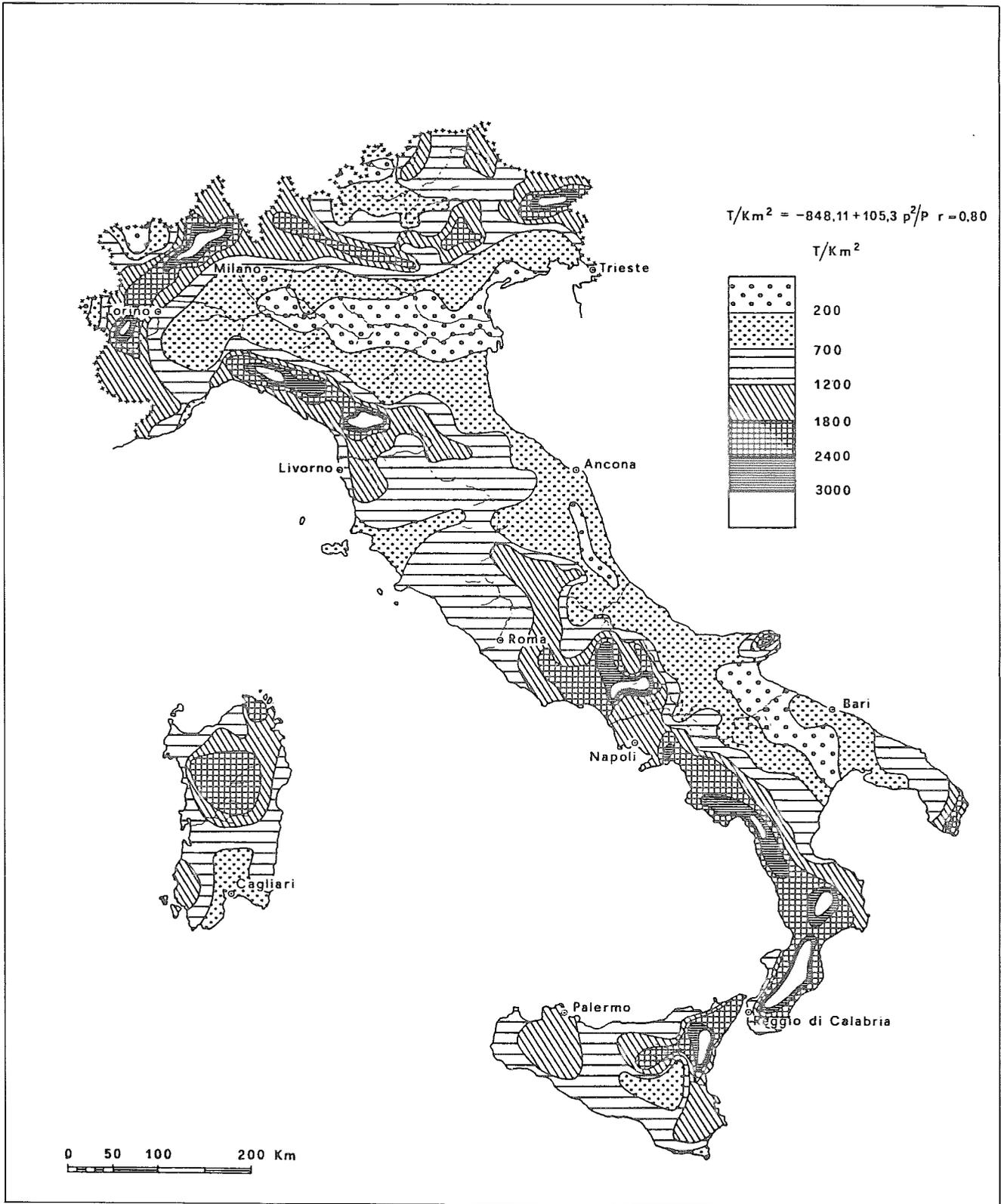


Fig. 1 - Distribuzione del deflusso torbido unitario medio in Italia, dall'inizio delle osservazioni fino al 1943-44.

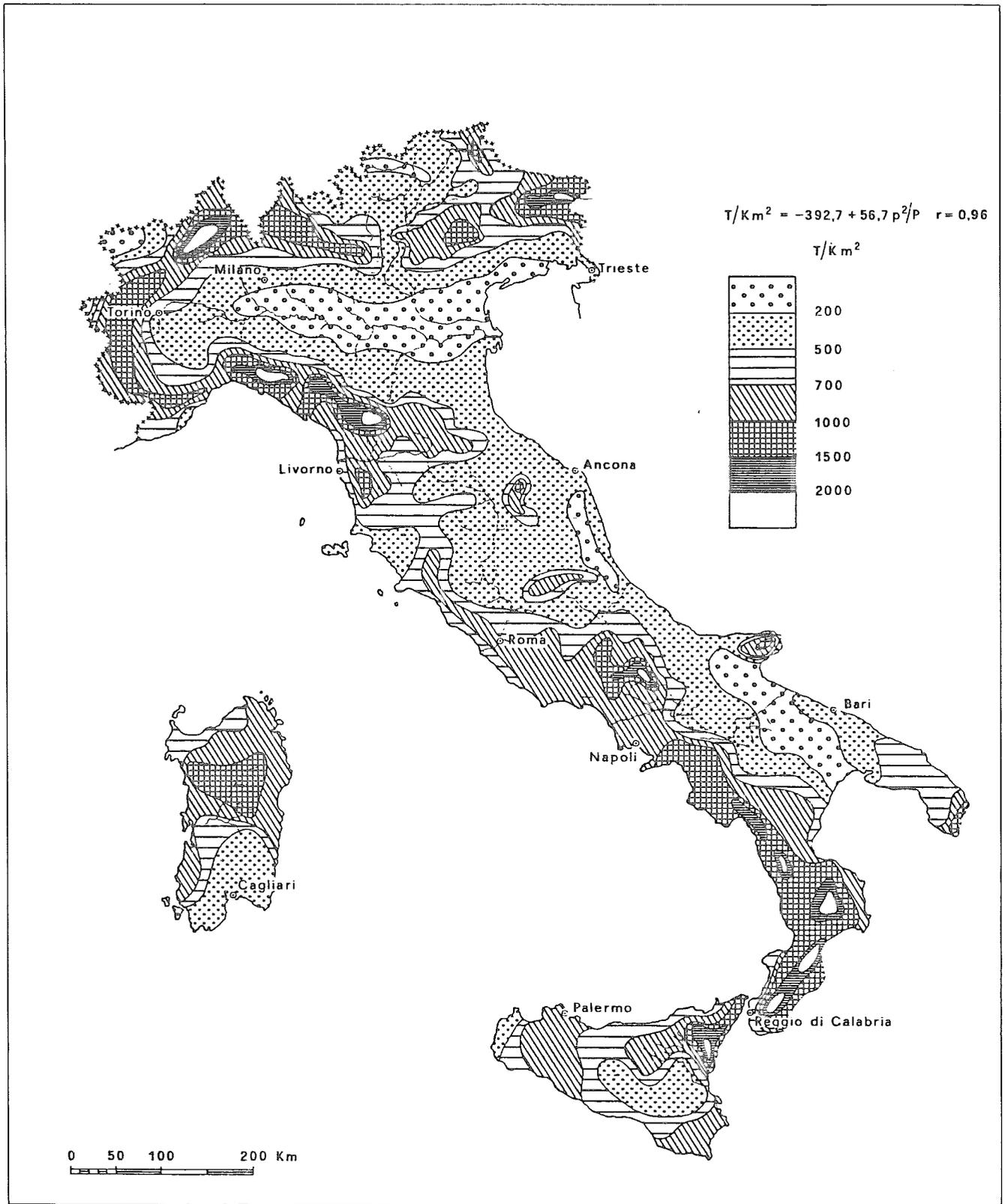


FIG. 2 - Distribuzione del deflusso torbido unitario medio in Italia, dalla ripresa delle osservazioni, dopo il periodo bellico, fino al 1973.

tra i bacini a rilievo poco accentuato e quelli a rilievo accentuato. Avrei dovuto comunque adoperare una equazione ricavata su scala mondiale, che forse non sarebbe stata adatta alle condizioni italiane. Ho perciò adottato, sulla base dei dati a disposizione, le equazioni che risultavano dalla correlazione tra i valori di t/km^2 e p^2/P , relativi al territorio italiano, trovando coefficienti di correlazione dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti da FOURNIER. È anche possibile che tali equazioni non corrispondano pienamente alle caratteristiche della penisola, ma voglio sottolineare che questa ricerca di propone non tanto di entrare nel merito di singoli bacini, né di produrre carte dettagliate a grande scala, ma di confrontare, con le stesse procedure di calcolo, il deflusso torbido unitario complessivo di due periodi diversi: quello che giunge fino al 1943-44, quando furono interrotte le misure torbiometriche, a causa degli eventi bellici, con quello che inizia dalla ripresa delle osservazioni fino al 1973, fin quando è stato possibile trovare dei dati pubblicati. Tale confronto potrebbe essere utile, secondo il mio parere, anche a prescindere dal valore intrinseco dei risultati, per valutare la *variazione* del deflusso torbido in Italia in conseguenza della cementificazione, dell'urbanizzazione e delle opere idrauliche.

In primo luogo ho calcolato i coefficienti di FOURNIER per 588 stazioni pluviometriche, uniformemente distribuite sul territorio nazionale, relativamente al trentennio 1921-1950, riportandone i risultati su di una base cartografica ai 2.000.000. Ho poi calcolato lo stesso coefficiente per gli afflussi di 40 stazioni torbiometriche a me note a tutto il 1944, quando i prelievi degli inerti dei fiumi erano ancora di scarsa importanza quantitativa e l'esodo dai campi non era ancora cominciato. La correlazione tra i deflussi torbidi unitari dei bacini idrografici con i coefficienti pluviometrici ad essi relativi è espressa dalla seguente equazione:

$$t/km^2 = -848,11 + 105,3 p^2/P \quad r = 0,80$$

Mi è stato perciò agevole, applicando l'equazione ai coefficienti pluviometrici delle 588 stazioni pluviometriche, costruire una carta del deflusso torbido unitario (fig. 1). Da essa si rileva che i massimi valori del parametro t/km^2 sono concentrati in zone dove l'aggressività climatica (p^2/P) è maggiore, cioè dove la ripartizione più ineguale delle precipitazioni si coniuga a piogge copiose. Questa combinazione si verifica nelle regioni montuose, in quelle più esposte all'arrivo delle masse d'aria umida del terzo e del quarto quadrante (Appennino occidentale) e in quelle regioni dove, per il regime pluviometrico che le caratterizza, le piogge sono concentrate in alcuni mesi dell'anno, come accade nell'Italia meridionale.

Planimetrando le aree relative alle varie classi del deflusso torbido unitario e sommando, è risultato che l'apporto torbiometrico di tutti i corsi d'acqua italiani ammonterebbe, complessivamente, a 309.899.000 t annue. Calcolando poi la media ponderata, ho ottenuto il deflusso torbido unitario per tutto il territorio nazionale, che è pari a 1033 $t/km^2/anno$, valore superiore a quello indicato da FOURNIER, ma quest'ultimo potrebbe esser frutto di un'e-

strapolazione, dato che, per l'Autore, come s'è detto, le stazioni italiane non erano affidabili.

Attribuendo alle torbide la stessa densità applicata da FOURNIER (1,4 g/cm^3), si ottengono 737,9 $m/km^2/anno$, da cui si ricava un indice di denudazione media di 0,738 $mm/anno$. Tuttavia tale entità dipende dal valore che si attribuisce alla densità delle torbide, che varia da autore ad autore. GABERT (1960) propose il valore di 2,2 riferendosi però ai depositi quaternari della Pianura Padana; PINNA (1962) quello di 2,5; ARTINI (1959) il valore di 2,6 e GIANDOTTI (1959), infine, quello di 2,7 g/cm^3 . In base a tali stime, l'indice medio di denudazione per l'Italia potrebbe variare da 0,73; 0,48; 0,42; 0,41 a 0,39 $mm/anno$. Questi valori risultano superiori a quelli calcolati da FOURNIER e da altri autori, ma mettono in evidenza che nel nostro paese si verifica effettivamente una forte erosione. Ciò dipende essenzialmente dalla natura del terreno e dalla presenza di una superficie montuosa particolarmente estesa; la Pianura Padana ad esempio mostra un deflusso torbido unitario molto basso.

Per poter confrontare i dati del primo periodo con quelli del secondo, ho consultato gli Annali Idrologici del 1973, constatando, con disappunto, che moltissime stazioni torbiometriche avevano cessato di funzionare. Infatti la rete di idrotorbiometri, che aveva avuto un promettente sviluppo negli anni '30 e una difficoltosa ripresa nel dopoguerra, si è andata rarefacendo tra gli anni '50 e '60, proprio nel pieno della massiccia attività estrattiva degli inerti dagli alvei. Sono così rimaste attive solo pochissime delle vecchie stazioni. In compenso, in alcune regioni ne sono sorte delle altre, senza compensare però il numero di quelle prima esistenti, pertanto il numero delle stazioni torbiometriche del secondo periodo è risultato inferiore a quello del primo.

Malgrado ciò ho applicato la stessa procedura, ottenendo la relazione:

$$t/km^2 = -392,7 + 56,7 p^2/P \quad r = 0,96$$

dalla cui applicazione si ricava un trasporto torbido complessivo di 193.236.250 t, planimetrando le classi del trasporto torbido unitario presenti nella cartina di fig. 2. Esso risulta pari a 460 $t/km^2/anno$, cui corrisponde un indice di denudazione di 0,46 $mm/anno$, oppure, adottando i vari valori di densità prima considerati, di 0,24; 0,21 e di 0,20 $mm/anno$, che sono nettamente inferiori a quelli ottenuti con i dati del periodo prebellico. Facendo un confronto con altre indagini sull'erosione in Italia, sia pure eseguite con altri metodi, si riscontra analogamente un decremento del deflusso torbido nel tempo. Ad esempio, l'indice di denudazione trovato da GAZZOLO & BASSI (1966) e quello calcolato da LUPA PALMIERI (1983), che sono stati ottenuti ad una distanza di circa venti anni, sono rispettivamente di 0,15 e di 0,099 $mm/anno$, pur adottando, nelle due ricerche, lo stesso peso specifico (2,7) ed un analogo metodo, basato prevalentemente sui dati torbiometrici dei corsi d'acqua italiani. Tale divario confermerebbe la diminuzione del trasporto torbido che si è verificato dagli anni '50 in poi.

La differenza del trasporto torbido globale tra i due periodi considerati in questa ricerca risulta notevole e sarebbe di circa 116 milioni di tonnellate di torbide; si è avuta cioè una flessione di circa il 40% in una trentina di anni. Considerando pure il diverso numero di stazioni torbometriche ed anche la loro diversa ubicazione nei due periodi, tale differenza risulta considerevole. E, ammettendo pure una sovrastima dovuta al metodo, il rapporto dovrebbe rimanere identico, per cui è pensabile che, qualunque metodo si adotti, la flessione del trasporto torbido in Italia dovrebbe avvicinarsi al 40% dal periodo prebellico ad oggi. Ad esempio la diminuzione del deflusso torbido unitario del Po a Pontelagoscuro è stata del 33%, quella dell'Arno a S. Giovanni alla Vena del 46% e del Tevere a Roma del 52%.

BIBLIOGRAFIA

- ARTINI E. (1959) - *Le Rocce*, Hoepli, Milano, terza ediz., p. 510.
- AUTORI VARI (1979) - *Le spiagge in Romagna*, Progetto finalizzato Conservazione del Suolo, Sottoprogetto Dinamica dei Litorali, CNR, quaderno n° 1, capitolo II: *I fattori della dinamica dei litorali*, Bologna, Lo Scarabeo, 15-49.
- BARTOLINI C. (1985) - *Elementi di dinamica dei litorali*, in PRANZINI E. (a cura), *La gestione delle aree costiere*, Ediz. delle Autonomie, 25, 23-38.
- BENDINI C. (1969) - *Il porto turistico e peschereccio di Marina di Pisa*, Boll. degli Ing. del Collegio degli Ing. di Firenze e Toscana, 7, 7-28.
- BENNET H.H. (1939) - *Soil Conservation*, Nuova York, Mc Graw Hill, 133-195.
- CAVAZZA S. (1979) - *Condizionamenti naturali ed antropici all'apporto terrigeno dei corsi d'acqua ai litorali*, Progetto Finalizzato Conservazione del Suolo, Sottoprogetto Dinamica dei Litorali, CNR, «Le spiagge in Romagna», quaderno n° 2, Bologna, Lo Scarabeo, 21-26.
- CICCACCI S., FREDI P. & LUPA PALMIERI E. (1977) - *Rapporti fra trasporto torbido e parametri climatici e geomorfici in alcuni bacini idrografici italiani*. Atti Conv. «Misura del trasporto solido al fondo nei corsi d'acqua: problemi per una modellistica matematica», CNR, C 4.1 - C 4.16, Firenze.
- CICCACCI S., FREDI P. & LUPA PALMIERI E. (1979) - *Quantitative expression of climatic and geomorphic factors affecting erosional processes: indirect determination on the amount of erosion in drainage basins in Italy. An approach*. Polish-italian seminar «Superficial mass-movement in mountain regions», 76-89, Warszawa.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1981) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa dei reticoli idrografici alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 99 (1980), 455-516.
- FOURNIER F. (1960) - *Climat et érosion*, Presses Univ. de France, Paris.
- GABERT P. (1960) - *Une tentative d'évaluation du travail de l'érosion sur les massifs montagneux qui dominent la plaine du Po*, Rev. de Géogr. Alp., 48, 593-605.
- GAZZOLO T. & BASSI G. (1966 a) - *Contributo di studio del grado di erodibilità dei terreni costituenti i bacini montani dei corsi d'acqua italiani*, MIN. LL.PP., Memorie e Studi Idrografici, pubbl. n° 2, Vol. IV (nuova serie), Edigraf, Roma, 73-88.
- GAZZOLO T. & BASSI G. (1966 b) - *Relazione fra i fattori del processo d'ablazione e il trasporto solido in sospensione nei corsi d'acqua italiani*, MIN. LL.PP., Memorie e Studi Idrografici, pubbl. n° 2, Vol. IV (nuova serie), Edigraf, Roma.
- GIANDOTTI M. (1959) - *Erosione del suolo nella Penisola Italiana per effetto delle acque correnti, in relazione alla bonifica ed al ripascimento delle spiagge*, L'Energia Elettrica.
- ISTAT (1947) - *Annuario Statistico dell'Agricoltura Italiana*, Roma.
- ISTAT (1990) - *Statistiche dell'Agricoltura, Zootecnia e Mezzi di Produzione*, anno 1987, Annuario 35.
- LUPA PALMIERI E. (1983) - *Il problema della valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*, Atti XXIII Congr. Geogr. It., Catania, maggio 1983, Vol. II, Tomo I, 143-176.
- MANCINI F. (1956) - *Torbide dell'Arno a Firenze nel 1954*. Riv. di Sc. Nat., Natura, 47, Milano, 3-23.
- MIN. IND. COMM. ARTIG., Direzione Gen. delle Miniere, *Relazione del Servizio Minerario e Statistica delle Industrie Estrattive in Italia* (anni diversi), Parte I, Bardi, Roma.
- MIN. LL.PP., SERVIZIO IDROGRAFICO, *Annali Idrologici*, parte II, anni diversi.
- MIN. LL.PP., SERVIZIO IDROGRAFICO, *Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921-50*, Pubbl. n° 24 del Servizio, fascicoli vari.
- MORETTI S. (1985) - *Uso del suolo e processi erosivi nei bacini idrografici*, in PRANZINI E. (a cura), *La gestione delle aree costiere*, Edizioni delle Autonomie, 25, 23-38.
- NEBOIT R. (1983) - *L'homme et l'érosion*, Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Clermond-Ferrand II, nouvelle serie, fascicule 17.
- PINNA M. (1962) - *Lo studio del trasporto solido dei corsi d'acqua nel quadro delle ricerche sull'erosione del suolo*, Atti XVIII Congr. Geogr. It., Trieste, aprile 1961, Vol. I, 149-168.
- RAPETTI F. & VITTORINI S. (1979) - *Il deflusso liquido e torbido del T. Roglio (bacino dell'Arno) relativi al 1977, in relazione ai processi di erosione nelle argille plioceniche*, Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Ser. A, 86, 65-76.
- ROSSETTI G. (1978) - *La degradazione litologica nei bacini idrografici ed il trasporto solido nelle vie d'acqua naturali*, Istit. di Geol. dell'Univ. di Parma, Centro Grafico dell'Univ. di Parma, 3-68.
- RUGGIERO C. (1948) - *Relazione Idraulica*, in COMUNE DI PISA, *Le possibilità di ripascimento del Litorale di Marina*, Relazione della Commissione presieduta dal Prof. Ing. C. Ruggiero, Pisa, 25-54.
- TAZIOLI G.S. (1982) - *Trasporto solido e fenomeni erosivi*, Prog. Final. Conserv. del Suolo, CNR, Atti del Convegno, Roma, 9-10 giugno 1982, 129-136.
- VITTORINI S. (1971) - *La degradazione in un campo sperimentale nelle argille plioceniche della Val d'Era (Toscana) e i suoi riflessi morfogenetici*, Riv. Geogr. It., 78, 3-30.