

GIOVANNI BATTISTA PELLEGRINI (*)

VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELL'EROSIONE DI UN BACINO IDROGRAFICO MEDIANTE L'ANALISI TRIDIMENSIONALE DEL RILIEVO (**)

ABSTRACT: PELLEGRINI G. B., *Quantitative evaluation of erosion in a drainage basin by means of three-dimensional relief analysis* (IT ISSN 0084-8948, 1983).

The aim of this work is to describe a research method allowing indirect quantitative evaluation of river erosion in a drainage basin, in the interval from the late Glacial to today.

In order to quantify erosion effects, the author measured the volume of solid material brought down from the basin by the waterways from the beginning of the post-glacial erosive phase.

In order to do this, he compared the current topographic surface as taken from existing maps (scale 1 : 10 000) and from that of the late Würm regarding the last withdrawal phases of the Pleistocene glaciers. The late Glacial surface was reconstructed by means of morphological correlations based on specific field surveys aimed at identifying the strips of the old surfaces and recognizing the post-Würm river forms. The volume between these two topographical surfaces corresponds to that of the material brought down by the waterways during the long period considered. Comparison between the two surfaces was carried out using computer-based reading techniques and spatial analysis.

The value obtained, 680-730 m³/km²/year, expresses the mean total erosion from the late Glacial to today, in a basin essentially composed of clayey rocks. In spite of the unusual time dimension, this value is not far removed from those already reported in the specialized literature.

RIASSUNTO: PELLEGRINI G. B., *Valutazione quantitativa dell'erosione in un bacino idrografico mediante l'analisi tridimensionale del rilievo* (IT ISSN 0084-8948, 1983).

Lo scopo di questo lavoro è quello di descrivere un metodo di ricerca per giungere ad una valutazione quantitativa indiretta dell'erosione dei corsi d'acqua di un bacino idrografico, nel periodo di tempo che va dal Tardoglaciale würmiano ad oggi.

Per quantificare gli effetti dei processi erosivi si è misurato il volume del materiale solido che i corsi d'acqua hanno asportato dal bacino dall'inizio della fase erosiva postglaciale.

A tal fine si sono messe a confronto la superficie topografica attuale, ricavata dalle carte esistenti alla scala 1 : 10 000 e quella del Tardoglaciale würmiano, relativa alle ultime fasi di ritiro dei ghiacciai pleistocenici. La superficie tardoglaciale è stata ricostruita mediante correlazioni morfologiche basate su indagini specifiche di campagna volte ad individuare i lembi della antica superficie e a riconoscere le forme fluviali di genesi postwürmiana. Il volume compreso fra queste due superfici topografiche corrisponde a quello del materiale asportato dai corsi d'acqua durante il lungo periodo considerato. Il confronto fra le due superfici è stato realizzato utilizzando tecniche di lettura e di analisi spaziale che oggi ci consente l'uso del calcolatore elettronico.

Il valore ottenuto, di 680-730 m³/km² per anno, esprime l'erosione media globale dal Tardoglaciale ad oggi in un bacino

costituito essenzialmente da rocce argillose. Malgrado l'insolita dimensione temporale, questo valore non si discosta di molto da quelli già espressi nella letteratura scientifica specializzata.

TERMINI CHIAVE: Dinamica geomorfologica, erosione fluviale, trasporto solido, analisi tridimensionale del rilievo.

INTRODUZIONE

La valutazione quantitativa dell'erosione in un bacino idrografico rappresenta uno dei parametri più significativi per lo studio della intensità dei processi che ne determinano l'evoluzione geomorfologica.

La misura del volume del materiale solido che i corsi d'acqua hanno asportato da un bacino, permette di quantificare in modo concreto gli effetti dei processi erosivi avvenuti in un dato periodo d'osservazione e di portare un contributo non solo scientifico ma anche pratico allo studio applicato del territorio. In questa direzione si è sviluppata una buona parte delle recenti ricerche geomorfologiche e idrologiche che hanno avuto come oggetto l'erosione e la misura del trasporto solido dei bacini fluviali italiani (CNR, 1977; IAHS, 1981).

I risultati finora raggiunti sono tuttavia ancora insoddisfacenti soprattutto a causa della brevità dei periodi di osservazione e delle difficoltà di poter valutare correttamente il trasporto solido. Per sopperire alla indisponibilità dei dati idrometeorologici molti ricercatori, in Italia, hanno iniziato una serie di ricerche sistematiche basate sull'analisi geomorfologica quantitativa, alcune finalizzate soprattutto alla individuazione di parametri correlabili ai fenomeni di trasporto solido (GOVI, 1978), altre alla caratterizzazione dei bacini idrografici e alla valutazione dell'entità della loro erosione (CICACCI, FREDI & LUPA PALMIERI, 1977; 1979; CICACCI, FREDI, LUPA PALMIERI & PUGLIESE, 1981) (1).

(*) Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova.

(**) Lavoro eseguito con il contributo finanziario del CNR (Contratto n. 80.01264.87), integrato con un contributo del MPI.

(1) Per un quadro completo di questo problema si veda inoltre la relazione di LUPA PALMIERI E., presentata al 23° Congresso Geografico Italiano, a Catania, nel Maggio 1983.

Difficoltà di misura si sono riscontrate anche nel bacino sperimentale del T. Valda dove, da circa un decennio, si eseguono sistematicamente osservazioni idrologiche e geomorfologiche per lo studio dei processi in atto sui versanti e lungo i corsi d'acqua. I primi risultati di queste ricerche hanno messo in evidenza le modalità di evoluzione del bacino (GERLACH & PELLEGRINI, 1973) e le caratteristiche delle piene durante gli eventi meteorologici eccezionali (D'ALPAOS & RINALDO, 1979). La valutazione quantitativa dell'erosione globale del bacino resta comunque lo scopo finale della ricerca che ci si propone di raggiungere sia sperimentalmente, nell'arco di un adeguato periodo di osservazione, sia per via indiretta mediante considerazioni di carattere geomorfologico e morfometrico.

Nel presente lavoro viene illustrato questo secondo metodo di ricerca, realizzato utilizzando le tecniche di

lettura e di analisi spaziale della superficie topografica, che oggi ci consente l'uso del calcolatore elettronico (2).

METODOLOGIA PROPOSTA

Per giungere ad una valutazione quantitativa indiretta dell'erosione dei corsi d'acqua del bacino del T. Valda (fig. 1) si sono messe a confronto la superficie topografica attuale, ricavata dalle carte esistenti alla scala 1 : 10 000, e quella del Tardoglaciale würmiano relativa alle ultime fasi di ritiro dei ghiacciai pleistocenici, quando le acque correnti, in concomitanza ad una intensa azione periglacia-

(2) L'esecuzione dei programmi di calcolo è stata curata dal dr. Secco G., del Laboratorio di Informatica del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova.

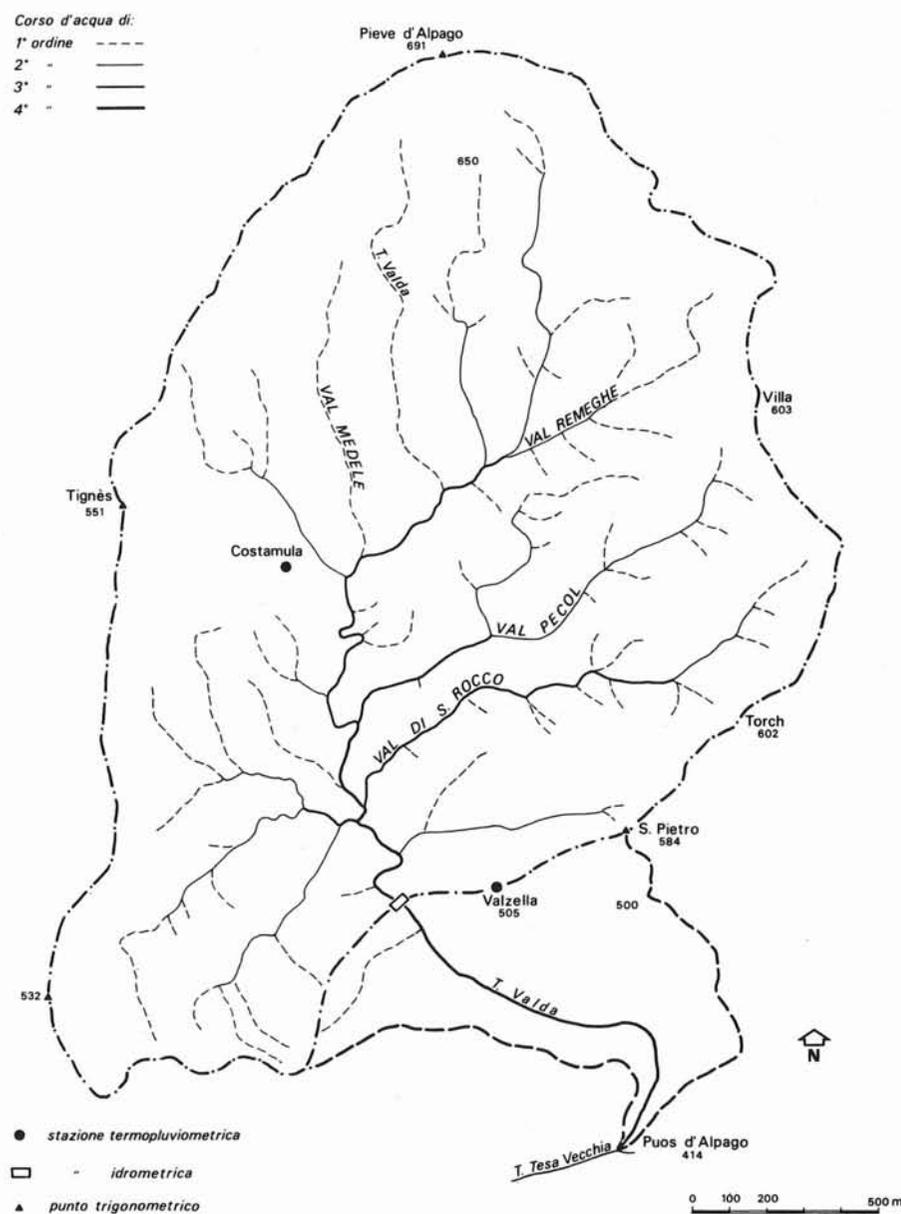


FIG. 1 - Rete idrografica del bacino del T. Valda distinta secondo l'ordine gerarchico dei corsi d'acqua. Sono indicate le stazioni dove vengono eseguite le osservazioni meteorologiche e idrologiche.

ziale di rimaneggiamento dei depositi morenici, iniziarono la loro azione erosiva e impostarono la rete idrografica attuale. La quantità di materiale che è stata asportata dai corsi d'acqua nello spazio di tempo intercorso dall'instaurarsi dei primi processi d'erosione torrentizia ad oggi è espressa dal volume compreso fra queste due superfici topografiche.

La superficie tardoglaciale è stata ricostruita il più dettagliatamente possibile mediante correlazioni morfologiche basate su indagini specifiche di campagna volte ad individuare i lembi dell'antica superficie e a riconoscere le forme fluviali di genesi postwürmiana. Per questi motivi tale superficie non può essere assimilata ad una semplice superficie di « inviluppo », nella maniera in cui la definisce HOWARD (1973) e la utilizza GOVI (1978).

La superficie attuale è il risultato dei processi di erosione e di sedimentazione che hanno agito e che agiscono nel bacino.

Il materiale che è caduto dai versanti ed è rimasto in loco, o che è stato trascinato dalle acque correnti verso valle, ma che non è stato ancora trasportato oltre la chiusura del bacino, ove sono stati installati l'idrometrografo e la stazione torbidometrica, non viene considerato in questo tipo di valutazione. La superficie topografica attuale del bacino, per il modo con cui si definisce, tiene infatti già conto della presenza di questi materiali. Sarà invece conteggiato come materiale non eroso, e quindi valutato positivamente, quello che si è accumulato all'interno del bacino al di sopra della superficie tardoglaciale.

Utilizzando questo criterio di valutazione è indifferente, nell'ambito del bilancio globale dell'erosione avvenuta dal Tardoglaciale ad oggi, conoscere la natura e l'intensità dei processi erosivi che hanno operato in un periodo tanto lungo e in condizioni climatiche e vegetazionali certamente mutevoli.

Il valore volumetrico ottenuto corrisponderà a quello del materiale che è stato asportato dall'insieme dei processi esogeni, e che è uscito dal bacino per azione dei corsi d'acqua durante il lungo periodo considerato. Il risultato raggiunto con tale procedimento è tanto più aderente alla realtà quanto più precise sono le possibilità di definire esattamente le due superfici topografiche che si mettono a confronto. A tal fine è indispensabile disporre di una buona cartografia di base e di conoscere perfettamente le varie fasi di evoluzione morfologica del territorio da esaminare.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE DEL BACINO DEL T. VALDA

Per poter ricostruire la superficie topografica che esisteva nel Tardoglaciale si è eseguito un rilevamento geomorfologico di dettaglio e si sono costruite quelle carte morfometriche che permettono di realizzare una corretta analisi fisica del territorio (PELLEGRINI, 1975; PELLEGRINI & SECCO, 1979). I dati morfometrici ricavabili da tali carte sono infatti indispensabili per questo tipo di valutazione quantitativa.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

Il bacino idrografico del T. Valda si trova nelle Prealpi dell'Alpago, in provincia di Belluno. La superficie del bacino è di 4,109 km², ma si riduce a 3,594 km² se si considera l'area a monte della stazione idrometrica, posta a quota 434 m. Il punto più elevato corrisponde al centro abitato di Pieve d'Alpago, situato a 690 m. Il bacino si è modellato ai piedi di un esteso versante regolarizzato su un lembo di un antico fondovalle del Piave (BRÜCKNER, 1909), posto a quote variabili fra i 600 e i 500 metri.

Questa superficie, più volte modellata dai ghiacciai pleistocenici, risulta dovunque ricoperta da una coltre di spessore variabile di depositi morenici. L'azione esaratrice ha conferito al substrato roccioso un andamento irregolare, leggermente ondulato, e ha operato una profonda escavazione valliva nella parte bassa del bacino.

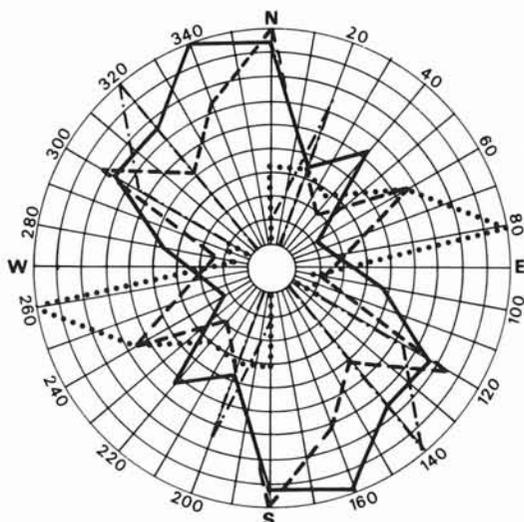
Quando il ghiacciaio plavense si ritirò definitivamente dal bacino dell'Alpago ed in particolare dall'area ora interessata dal bacino del Valda, i processi di soliflusso periglaciale e le acque dilavanti ebbero modo di rimaneggiare e di ridistribuire i depositi glaciali, conferendo localmente ad essi, nella parte prossima alla superficie, una disposizione ordinata⁽³⁾. Questa superficie tardoglaciale si sviluppava quindi senza particolari irregolarità, con pendenze dolci e versanti rivolti concentricamente verso un unico canale di scarico, già allargato e sovraescavato da un ramo del ghiacciaio plavense würmiano, diretto verso Vittorio Veneto.

Attualmente questa superficie è caratterizzata dalla presenza di numerosi corsi d'acqua che l'hanno profondamente incisa, con modalità ed intensità diverse, durante il lungo periodo che va dal Tardoglaciale würmiano ad oggi. Sul fondo delle numerose vallecicole del bacino non si trovano depositi glaciali in posto e in base alle risultanze dell'analisi geomorfologica del territorio, si può sostenere che qui l'incisione fluviale, se si esclude il canale di scarico principale nel suo tratto terminale, è totalmente postwürmiana. È importante definire, con la maggior precisione consentita, quando ebbe inizio la fase di erosione torrentizia, ovvero l'età della superficie tardoglaciale. Mancando indicazioni cronologiche assolute si è cercato di collocare tale data entro un intervallo di tempo il più possibile breve. Il VENZO (1977), che più di altri autori cercò di correlare fra loro i vari dati cronologici disponibili, individuò nell'interstadio temperato-caldo e secco, tardoglaciale di Bölling (13 300-12 350 B. P.) il periodo in cui nelle valli prealpine i ghiacciai si sarebbero ritirati molto a monte delle « Marocche ».

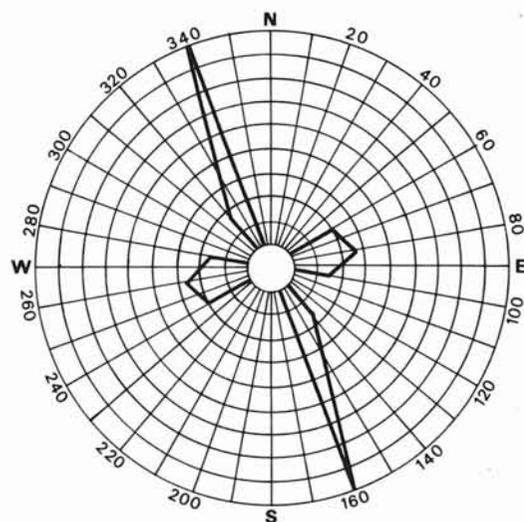
Fra quest'ultime citò espressamente le « marocche » di Fadalto nell'Alpago. In aggiunta a questo dato si può affermare che 11 180 ± 100 anni B. P., il riempimento

⁽³⁾ Il PANIZZA, che nel 1979 si occupò della morfologia dell'Alpago, interpretò tali depositi come elementi di un ampio « glacia » d'accumulo, che nel Tardoglaciale würmiano avrebbe caratterizzato l'intero bacino dell'Alpago (MANTOVANI, PANIZZA, SEMENZA & PIACENTE, 1979).

- 1° ordine
- 2° -
- 3° -
- - - - 4° -



a)



b)

FIG. 2 - Diagramma degli orientamenti dei corsi d'acqua distinti in ordine gerarchico (a) per un confronto con il diagramma delle direzioni dei sistemi principali di frattura (b). Esiste una netta corrispondenza fra la direzione dei corsi d'acqua di 1° e 2° ordine e quella del sistema principale di fratture. I corsi d'acqua del 3° ordine hanno invece una direzione normale ai primi due ordini e corrispondente a quella del secondo sistema di fratture individuato nel bacino.

alluvionale del fondo delle valli principali nel vicino Vallone Bellunese era già avvenuto, come attesta l'età di alcuni tronchi subfossili trovati nei banchi ghiaiosi di superficie nel terrazzo principale di Ponte nelle Alpi (PELLEGRINI & ZAMBRANO, 1979). È certo allora che in corrispondenza a tale data anche nel bacino del Valda era iniziato il riempimento del fondovalle e che quindi l'erosione fluviale era già avviata da molto tempo.

Per quanto riguarda le caratteristiche del substrato roccioso, è opportuno sottolineare la sua natura argillosa. Si tratta essenzialmente di marne ed argille scagliose dell'Elveziano (?), disposte a formare una sinclinale con fianchi debolmente inclinati verso il nucleo, che corrisponde alla parte centrale del bacino.

La rete idrografica è strettamente influenzata nella sua forma dalla natura e dalla struttura delle formazioni rocciose; l'andamento delle valli corrisponde infatti alla direzione dei sistemi principali di frattura che interessano il bacino (fig. 2).

I processi morfologici più attivi si riscontrano sui ripidi versanti delle valli fluviali e sul fondovalle attuale, dove si sviluppa una intensa azione erosiva in profondità. Sui lembi poco inclinati della superficie tardoglaciale, specie dove l'acclività è inferiore ai 10°, i processi erosivi sono invece di modesta entità. I fenomeni morfologici più frequenti sui versanti sono le frane, anche di grandi proporzioni. Il dilavamento è attivo specialmente sui pendii privi di vegetazione. La gran parte della superficie subpianeggiante è adibita a colture permanenti, mentre sui versanti ripidi delle valli la coltura prevalente è quella forestale con essenze atte al consolidamento del terreno.

SCHEDA DEL BACINO

(I dati si riferiscono all'area a monte della sezione di chiusura)

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1) Area planimetrica proiettata | $A_1 = 3,594 \text{ km}^2$ |
| 2) Area reale | $A_2 = 3,638 \text{ km}^2$ |
| 3) Pendenza media dei versanti | $P_m = 14,98 \%$ |
| 4) Altezza media | $H = 553,5 \text{ m}$ |
| Quota massima | $h_{\max} = 690 \text{ m}$ |
| Quota minima | $h_{\min} = 434 \text{ m}$ |
| 5) Lunghezza totale reale della rete idrografica | $L_r = 23,425 \text{ km}$ |
| Lunghezza totale proiett. della rete idrografica | $L_p = 22,867 \text{ km}$ |
| 6) Densità di drenaggio | $D = 6,363 \text{ km/km}^2$ |
| 7) Lunghezza del ramo principale (proiettata) | $l_p = 3,855 \text{ km}$ |
| Lunghezza del ramo principale (reale) | $l_r = 3,862 \text{ km}$ |
| 8) Pendenza media della rete idrografica | $P = 16,14 \%$ |
| Pendenza media della idrografia di: | |
| 1° ordine | $P_1 = 21,59 \%$ |
| 2° ordine | $P_2 = 13,39 \%$ |
| 3° ordine | $P_3 = 6,22 \%$ |
| 4° ordine | $P_4 = 2,24 \%$ |

Questi dati morfometrici aggiunti a quelli ricavabili dalle carte delle pendenze, dell'energia del rilievo e dalla carta geomorfologica, sono sufficienti per descrivere in ogni suo aspetto il rilievo del bacino. A completamento di tutto ciò presentiamo anche la *curva ipsografica* (fig. 3), ricavata dalla stessa carta topografica di base, mediante l'uso del calcolatore e del plotter ad esso collegato.

Dai dati forniti dalla curva ipsografica è possibile ricavare anche il *coefficiente di massività relativa* (PEGUY, 1942; MERLIN, 1965), che è dato dal rapporto fra l'altezza media relativa (119 m) e l'altezza massima relativa (256 m) del bacino. Tale coefficiente ($\frac{119}{256} = 0,464$), inversamente proporzionale all'aereazione del bacino (DE MARTONNE, 1940; CLARKE, 1966), esprime il grado di dissezione del rilievo, che nel bacino del Valda è oggi di poco inferiore a 1/2 ⁽⁴⁾.

CARATTERISTICHE CLIMATICHE ED IDROLOGICHE

Nei primi paragrafi è già stato sottolineato come in questo tipo di valutazione globale dell'erosione, la conoscenza delle condizioni climatiche ed idrologiche attuali sia di modesta importanza, in quanto lo scopo del lavoro non è quello di evidenziare le fasi di sviluppo dell'erosione o l'intensità odierna di tale fenomeno, quanto misurarne l'entità complessiva. È utile comunque riassumere seppur schematicamente le caratteristiche sia climatiche che idrologiche dell'area considerata soprattutto per favorire un eventuale confronto dei dati qui ottenuti con quelli di altre zone aventi simili parametri fisici.

DATI CLIMATICI ESSENZIALI

Facendo riferimento alla stazione meteorologica di Belluno (400 m) per quanto riguarda le temperature (periodo di osservazione 1926-1970) e a quella di S. Croce del Lago (409 m), posta a breve distanza dal bacino idrografico, per quanto riguarda le precipitazioni (periodo di osservazione 1921-1972), si hanno i seguenti valori:

- temperatura media annua = 11,10 °C;
- temperature medie mensili comprese fra i -0,4 °C (Gennaio) e i 21,10 °C (Luglio);
- escursioni termiche medie mensili comprese fra i 7,9 °C (Gennaio) e gli 11,60 °C (Luglio);
- precipitazioni medie annue: 1 613 mm;
- precipitazioni medie mensili comprese fra i 69 mm (Gennaio) e i 213 mm (Novembre) - 171 mm (Giugno).

⁽⁴⁾ Tali indici hanno oggi un valore puramente orientativo; infatti con l'analisi spaziale del rilievo ottenuta con il calcolatore si è in grado di sezionare l'intero bacino in esame in ogni suo settore ed indicare per esso indici morfologici molto più significativi. È opportuno comunque considerare anche tali indici perché possono essere utili per eventuali raffronti con i dati di ricerche eseguite nel passato.

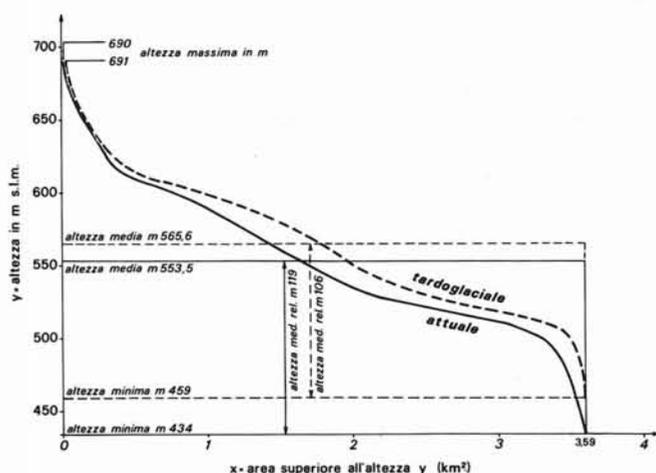


FIG. 3 - Curve ipsografiche del bacino riferite alle superfici tardoglaciale ed attuale.

Si tratta di un clima temperato sub-continentale, di transizione fra il tipo continentale alpino ed il tipo sub-mediterraneo, con precipitazioni abbondanti nella tarda primavera ed in autunno, scarse nei mesi invernali.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL T. VALDA

Le ricerche idrologiche finora condotte nel bacino sono state indirizzate soprattutto verso lo studio della dinamica delle piene, per il particolare interesse che tale fenomeno idraulico presentava nel bacino. Il Torrente Valda ha una portata di magra generalmente molto modesta, dell'ordine di 50 l/s, ma che può diventare straordinariamente grande (30 m³/s) durante gli eventi meteorici eccezionali, come si verificò nel Novembre 1966 e nel Giugno 1972. Non si dispone per il momento di osservazioni idrologiche sufficientemente lunghe per poter caratterizzare esattamente il regime del torrente; si può tuttavia affermare che l'andamento delle portate è strettamente connesso al regime delle precipitazioni. Si hanno pertanto piene notevoli in primavera ed in autunno e magre prolungate in inverno ed in estate inoltrata. Il coefficiente di deflusso si è rilevato però estremamente variabile durante i vari episodi di piena considerati. Pur essendo il bacino del Valda costituito interamente da rocce prevalentemente argillose, è frequente il caso che piogge anche intense, giunte dopo un lungo periodo di siccità, diano luogo a deflussi superficiali modesti, con un coefficiente di deflusso totale dell'ordine di 0,1. D'altra parte le piene che seguono periodi di precipitazioni continue, presentano valori del coefficiente di deflusso totale molto prossimo all'unità (D'ALPAOS & RINALDO, 1979).

Da due anni sono iniziate anche le misure di portata torbida, ma i dati disponibili sono ancora poco significativi, essendo il periodo di osservazione troppo breve.

VALUTAZIONE DELL'EROSIONE GLOBALE DEL BACINO COL METODO DEL CONFRONTO DELLE SUPERFICI TOPOGRAFICHE

Per poter misurare col calcolatore il volume dello spazio compreso fra la superficie tardoglaciale e quella odierna si devono innanzi tutto acquisire dalla carta topografica tutti quei dati che renderanno possibile la ricostruzione fedele mediante isolinee, delle due superfici in esame.

SUPERFICIE ATTUALE

Partendo dalla carta topografica del bacino alla scala 1 : 10 000, nella quale sono chiaramente distinguibili le diverse forme e tipi del rilievo, è stata eseguita la digitalizzazione delle isoipse, discretizzando opportunamente i punti rappresentativi di ogni curva di livello. Le coordinate bipolari di tali punti sono state quindi appoggiate al reticolato chilometrico U.T.M., che in tal modo diventa il sistema di riferimento delle operazioni successive.

Utilizzando il lavoro già eseguito in una precedente ricerca (PELLEGRINI & SECCO, 1979) si è ricavata una

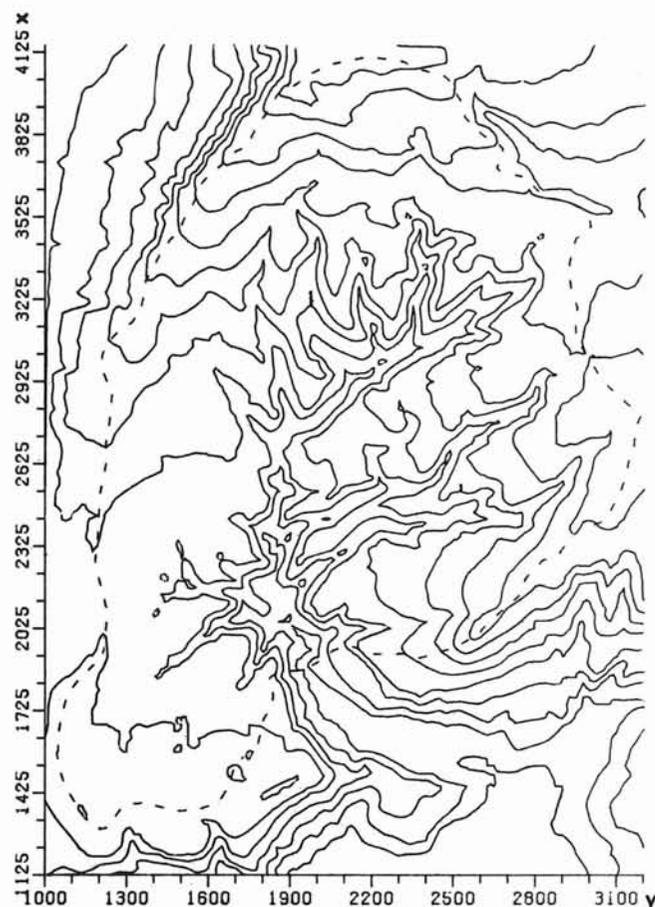


FIG. 4 - Superficie topografica attuale del bacino, espressa mediante isoipse con equidistanza di 20 m. La linea tratteggiata indica il limite del bacino considerato. Le coordinate x e y sono espresse in m.

griglia delle quote a maglie quadrate avente i lati paralleli al reticolato chilometrico e che ricopre tutta l'area studiata.

Il bacino è risultato così suddiviso in 10 648 maglie quadrate di 25 m di lato, essendo 122 le linee della griglia orientate nel senso dei paralleli e 89 quelle orientate nel senso dei meridiani. La griglia quotata finale rappresenta il modello matematico a maglie quadrate del bacino, mediante il quale è possibile ricostruire fedelmente con curve di livello la superficie attuale (fig. 4).

SUPERFICIE TARDOGLACIALE

Per ogni linea della griglia della superficie attuale si è visualizzato, mediante strumento videografico, il profilo che essa sottende, eseguendo così 211 profili altimetrici del bacino attuale. Ognuno di questi profili è stato modificato in modo da ricostruire l'andamento del rilievo esistente prima che si incidessero le odierne valli fluviali. Questa ricostruzione è consistita nel correlare fra loro gli elementi morfologici individuati dai profili stessi e dalle osservazioni geomorfologiche di campagna. Si sono per esempio collegati fra loro i lembi dell'antica superficie, quando questi, situati a quote simili, presentavano depositi e forme della stessa natura, composizione e spessore (depositi glaciali, fluvio-glaciali, torrentizi, ecc.) sui versanti opposti delle valli (fig. 5).

La ricostruzione della superficie tardoglaciale non ha presentato particolari problemi di correlazione nella parte medio-alta del bacino, dove sono nettamente distinguibili le forme fluviali da quelle tardoglaciali.

Nel tratto prossimo allo sbocco nel piano del torrente, là dove la valle si allarga notevolmente ed il fondovalle non è più in roccia, ma ricoperto da detriti di frana o da alluvioni, è stato invece necessario eseguire due sondaggi geoelettrici⁽⁵⁾ per poter individuare l'andamento della valle prima del riempimento alluvionale postglaciale. Si è trovato l'antico fondovalle in roccia ad una profondità di circa 90 metri, quota che si è considerata come valida anche per i profili altimetrici utilizzati per la ricostruzione dell'antica superficie (vedi profilo n. 7 di fig. 5).

L'insieme dei profili così ottenuti costituisce la griglia quotata del bacino tardoglaciale. Tale superficie topografica è esprimibile anche mediante curve di livello (fig. 6).

CONFRONTO FRA LA SUPERFICIE TARDOGLACIALE E QUELLA ATTUALE, PER UNA VALUTAZIONE DELL'EROSIONE

Mettere a confronto le due superfici significa valutare lo spazio compreso fra le stesse, il che equivale a misurare il volume del materiale asportato nell'intervallo

⁽⁵⁾ I sondaggi geoelettrici e la loro interpretazione sono stati eseguiti da ZAMBRANO R., nell'ambito di una precedente ricerca svolta in collaborazione con lo scrivente (PELLEGRINI & ZAMBRANO, 1979).

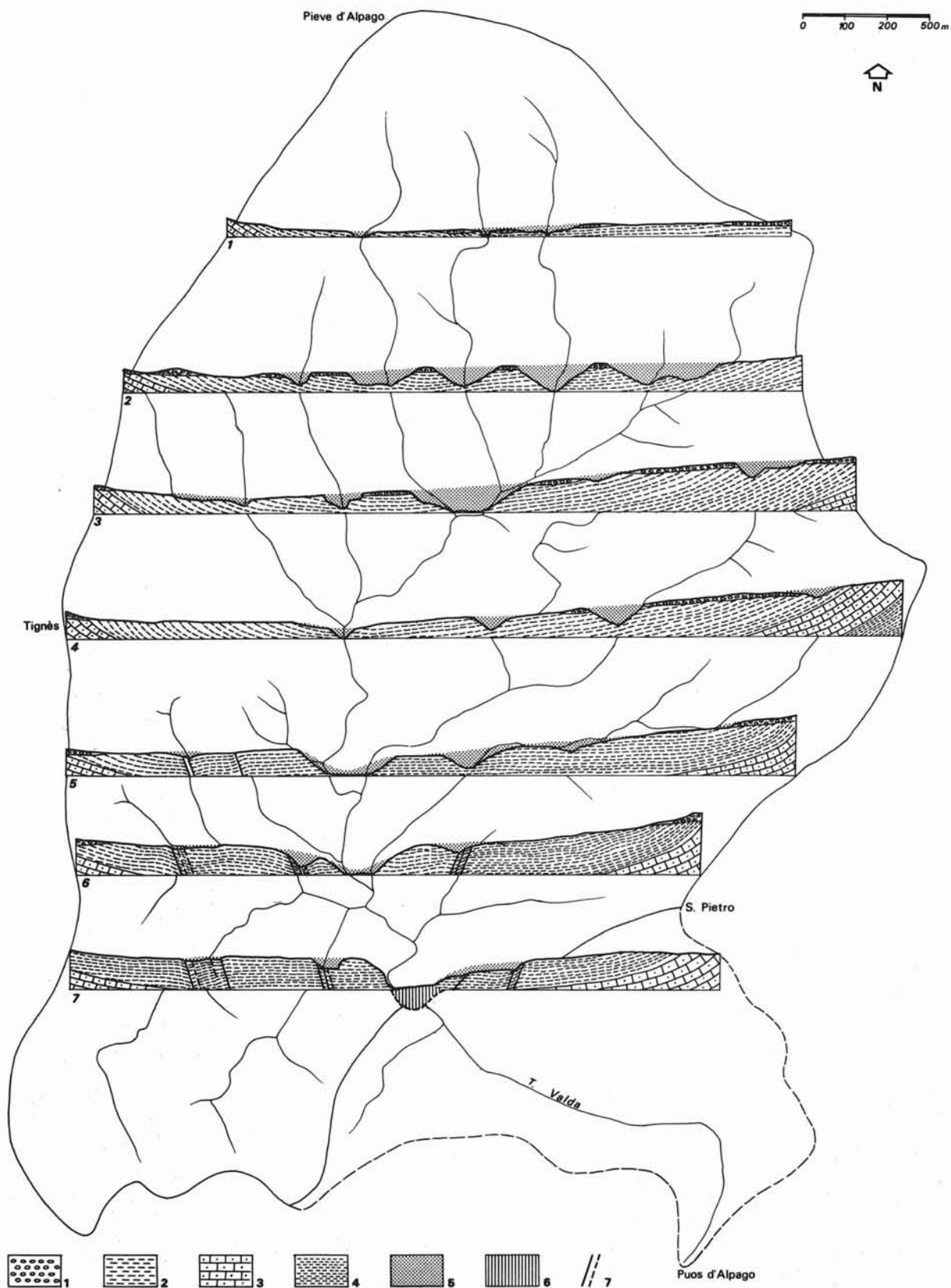


FIG. 5 - Esempi di profili seriali, trasversali alla valle principale, utilizzati per la ricostruzione della superficie tardoglaciale. La parte centrale del profilo n. 7 è stata ricavata mediante indagini geoelettriche. 1) depositi glaciali, localmente rimaneggiati, würmiani e/o tardowürmiani; 2) argille e marne (Elveziano sup. ?); 3) arenarie sabbiose (Elveziano inf.); 4) marne e argille (Langhiano); 5) materiali asportati per erosione torrentizia postglaciale; 6) materiali accumulatisi sulla superficie tardoglaciale; 7) faglie e/o fratture.

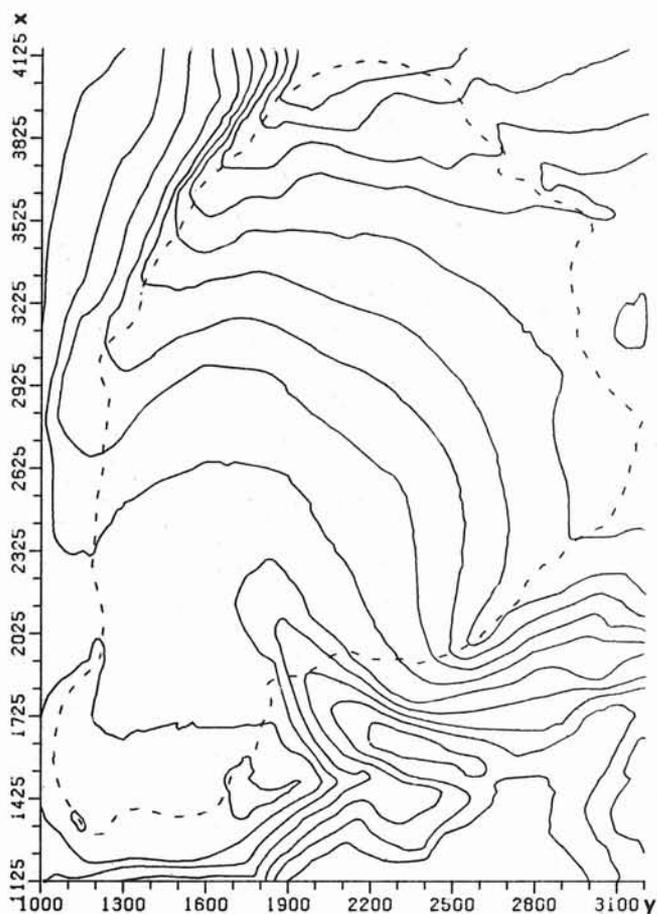


FIG. 6 - Superficie topografica tardoglaciale del bacino, espressa mediante isoipse con equidistanza di 20 m. La linea tratteggiata indica il limite del bacino attuale. Le coordinate x e y sono espresse in m.

di tempo intercorso fra le due fasi di evoluzione morfologica considerate (figg. 7 e 8).

Tale misura risulta estremamente agevole da eseguirsi con il calcolatore trattandosi di moltiplicare il valore dell'area di ogni maglia per la corrispondente differenza di altezza media fra le due superfici reali considerate. Naturalmente questa operazione va ripetuta per ogni singolo elemento della griglia quadrata, vale a dire per 10 648 volte. Nel computo finale bisogna considerare che la superficie più antica non si trova sempre a quote superiori rispetto a quella attuale. Le due superfici infatti si intersecano nel tratto terminale del bacino. Qui, come si è detto, la superficie tardoglaciale è sepolta sotto una copertura di detriti di frane e di alluvioni post-glaciali, per cui i volumi compresi fra le due superfici vanno, in questo caso, calcolati algebricamente. Questo materiale detritico non è stato infatti portato fuori dal bacino, ma ha subito erosione e deposizione durante il periodo considerato.

Il volume ottenuto con questo criterio di confronto è pari a 32 530 000 m³, che possiamo attribuire al materiale solido eroso dal bacino idrografico del Valda, avente una superficie reale, a monte della stazione idrometrica,

di 3,638 km². Le aree del bacino interessate dall'erosione sono rappresentate nella fig. 9, che indica, mediante isolinee di 20 m, gli spessori dei materiali asportati in ogni singolo luogo.

Tenuto conto che il substrato roccioso è interamente costituito da rocce argillose (6) possiamo ritenere che tale trasporto sia avvenuto prevalentemente in sospensione, ad opera delle acque incanalate.

Dividendo il volume di 32 530 000 m³ per la superficie del bacino, si può trovare un valore paragonabile per significato a quello del deflusso torbido. Il dato ottenuto è di circa 9 milioni di m³/km² che possiamo attribuire alla erosione torrentizia del periodo considerato.

Come abbiamo visto il periodo intercorso dall'inizio del modellamento fluviale può essere considerato oscillare fra i 13 300 e i 12 350 anni, ciò che ci permette di attribuire al bacino un trasporto solido unitario medio annuo variabile fra i 680 e i 730 m³/km² con un indice di denudazione globale pari a 0,680-0,730 mm/anno.

Non potendo confrontare per ora questi valori trovati per via indiretta con i valori medi sperimentali del bacino, facciamo questo confronto con i valori medi di deflusso torbido individuati per i bacini italiani aventi caratteristiche litologiche, morfometriche e climatiche simili a quelle del bacino del Valda. Secondo GAZZOLO & BASSI (1964) si possono indicare, seppure in via del tutto orientativa, i seguenti valori di trasporto in sospensione annui:

— 1030 m³/km² per anno, per bacini costituiti da rocce erodibili e con precipitazioni medie annue di mm 1600;

— 1150 m³/km² per anno, per bacini costituiti da rocce molto erodibili, con pendenza media del bacino del 15 %;

— da 600 a 1200 m³/km² per anno (con valore medio di 900 m³/km² per anno) per bacini con rocce decisamente erodibili, come possono essere considerate le argille e le marne del bacino del torrente Valda.

È utile considerare, in questa analisi comparativa, anche le misure dirette eseguite dai ricercatori polacchi (GIL, 1974-1976) in bacini sperimentali impostati sul flysch dei Carpazi. L'entità dell'erosione attuale determinata mediante misure dei materiali trasportati in sospensione e per trascinamento in quei corsi d'acqua, raggiunge il valore di 510 m³/km² per anno. Per corsi d'acqua di regioni vicine all'Alpago abbiamo un dato di portata solida relativo al Torrente Cismon. Presso lo sbarramento artificiale di Ponte Serra è stato calcolato un valore di 370 m³, arrotondato a 400 m³/km² per anno, che si riferisce al periodo di osservazione 1909-1919 (FORTI, 1920). Il valore da noi calcolato è di poco superiore a questi due ultimi dati.

(6) L'esatta composizione delle marne e delle argille del bacino si può ricavare dal lavoro di CHIORBOLI & LENZI (1981) dove risultano prevalere i fillosilicati 65 % rispetto ai minerali non argillosi. Fra i minerali argillosi predomina l'illite (50-35 %) o la smectite (40-60 %).

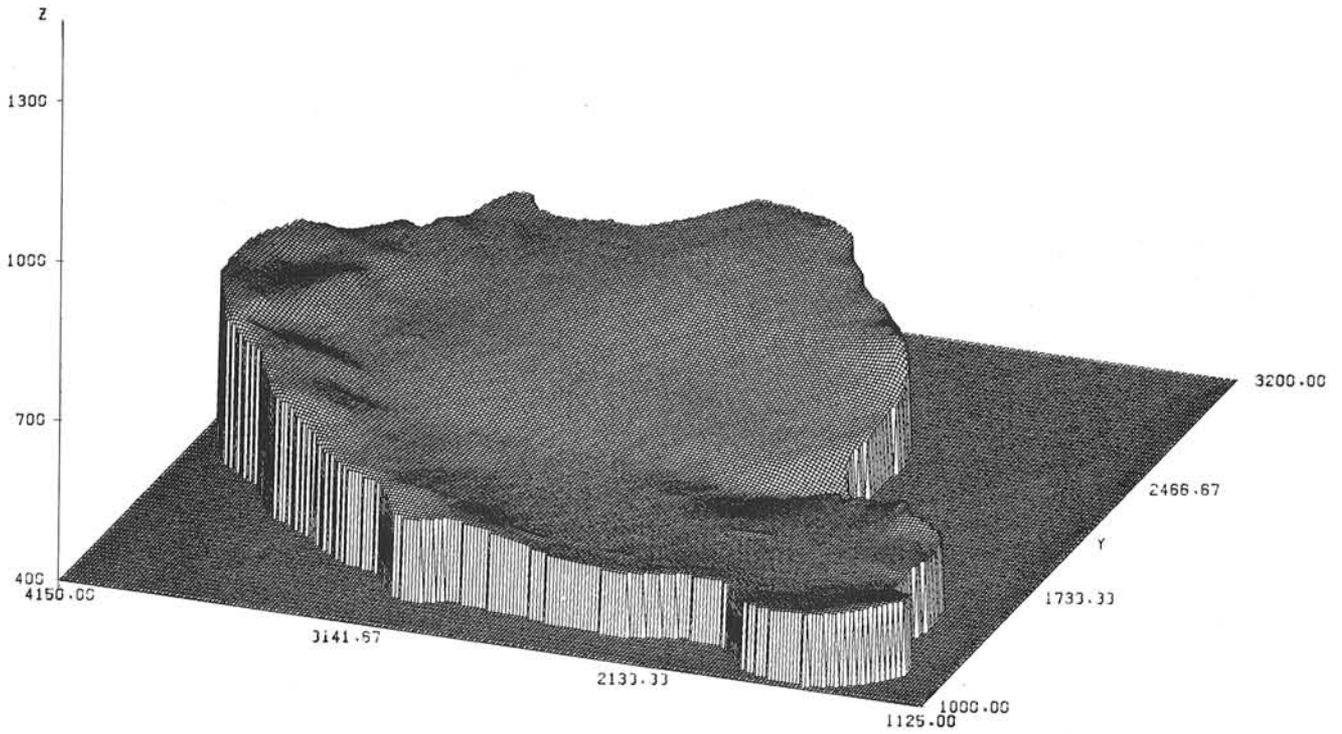


Fig. 7 - Modello della superficie topografica tardoglaciale dell'area corrispondente al bacino attuale. Le coordinate x, y e z sono espresse in m.

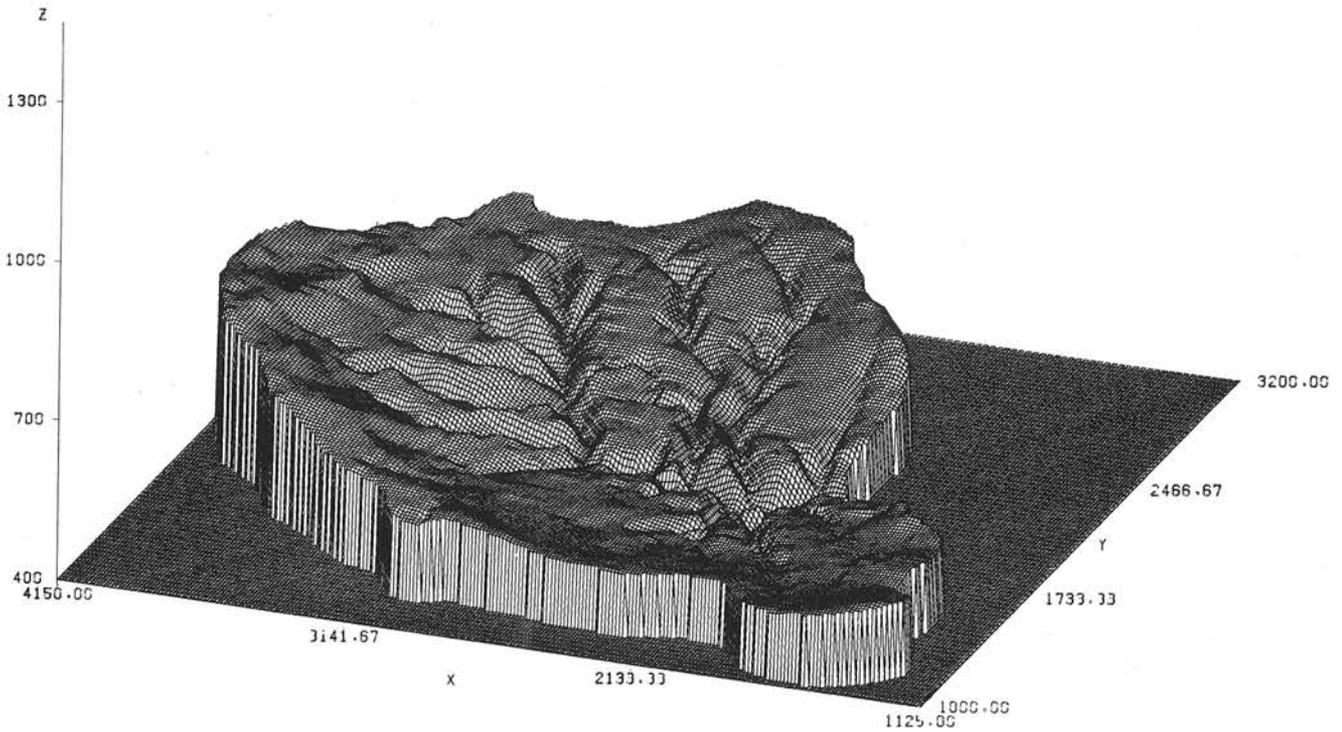


Fig. 8 - Modello della superficie topografica attuale del bacino. Le coordinate x, y e z sono espresse in m.

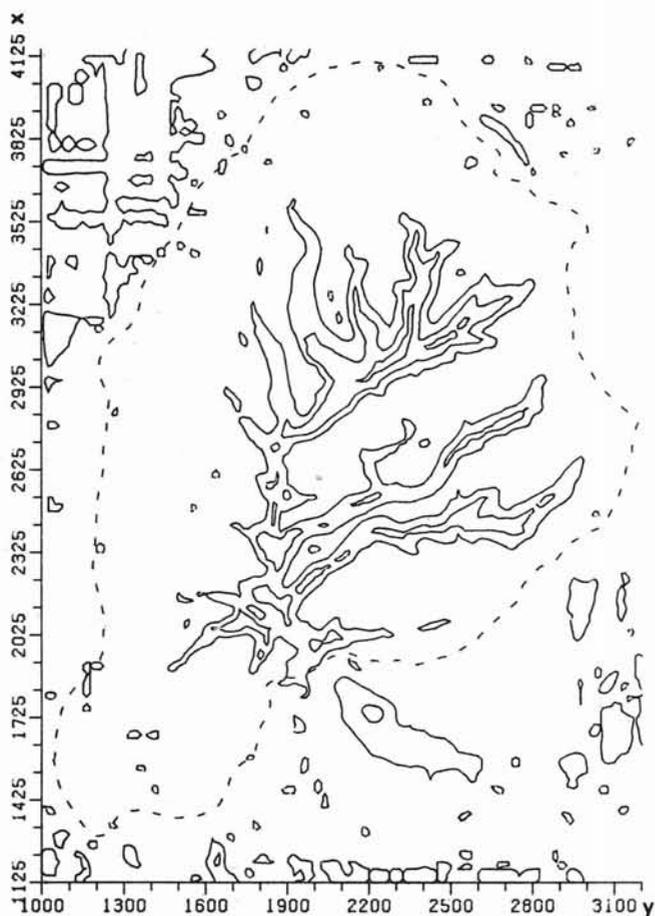


Fig. 9 - Spessori del materiale asportato dal bacino per erosione fluviale dal Tardoglaciale ad oggi, espressi mediante isolinee con equidistanza di 20 m. La linea tratteggiata indica il limite del bacino considerato. Le coordinate x e y sono espresse in m.

Si deve però considerare che la valutazione dell'erosione ottenuta per via indiretta nel Valda tiene conto di tutto il materiale che è uscito per erosione fluviale dal bacino, anche di quello che sfugge ai metodi di misura di trasporto solido tradizionali.

CONCLUSIONI

I valori ottenuti in questa indagine portano un contributo alla valutazione globale dell'erosione di un bacino idrografico dal Tardoglaciale ad oggi. Il valore di trasporto solido globale medio di $680-730 \text{ m}^3/\text{km}^2$ per anno, ottenuto con metodo di ricerca indiretto, va considerato sicuramente con una certa cautela, essendo sempre molti i fattori che sfuggono ad un controllo diretto, ma esso assume un significato più preciso se lo si inserisce nel contesto morfologico del bacino dell'Alpago. Si deve ricordare che questa regione, ed in particolare il bacino del Torrente Valda, è interessata da chiari indizi di Neotettonica, riconosciuti anche per il periodo dal Tardoglaciale ad oggi, e che l'ordine di grandezza dell'indice di denudazione trovato si avvicina molto a quello ($0,5-1 \text{ mm}/\text{anno}$) di altre nostre regioni alpine, dove la

velocità di sollevamento presenterebbe un analogo tasso di incremento.

Si è ritenuto utile percorrere nuove strade per definire i valori della denudazione, specialmente per un bacino che, pur situato in ambiente prealpino, presenta caratteristiche fisiografiche simili a quelle di tanti bacini appenninici.

Anche il periodo considerato, dal Tardoglaciale ad oggi, è senza dubbio insolito rispetto a quello normalmente preso in esame nelle ricerche sperimentali. Questa dimensione temporale consente tuttavia di calcolare valori medi globali dell'erosione che non si discostano di molto da quelli già espressi nella letteratura specializzata.

L'utilizzo del calcolatore dimostra che si possono seguire, come già avviene in altri Paesi, nuove importanti vie di ricerca per la Geomorfologia quantitativa. Resta comunque indispensabile affiancare tali ricerche a quelle sperimentali di campagna che, seppur spesso più lunghe, costose e faticose, hanno il pregio di confermare la bontà dei risultati acquisiti per via indiretta. È per questo che nel bacino del Torrente Valda stiamo continuando le nostre ricerche sperimentali nell'intento di ottenere dati attendibili del trasporto solido, per poter valutare più compiutamente l'entità dell'erosione.

BIBLIOGRAFIA

- BRÜCKNER E. (1909) - *Die venezianischen Gletscher*. In: «PENCK A. & BRÜCKNER E., *Die Alpen in Eiszeitalter*, 3, 954-1042, Tauchnitz, Lipsia».
- CASTIGLIONI G. B. (1979) - *Geomorfologia*, UTET, Torino, 1-436.
- CHIORBOLI S. & LENZI G. (1981) - *Studio mineralogico delle argille della conca d'Alpago*. Geol. Appl. Idr., 16, 35-71.
- CHORLEY B. J. (1972) - *Spatial analysis in Geomorphology*, Methuen & Co. Ltd., London, 1-393.
- CICACCI S., FREDI P. & LUPA PALMIERI E. (1977) - *Rapporti fra trasporto solido e parametri climatici e geomorfici in alcuni bacini idrografici italiani*. In «CNR, *Misura del trasporto solido al fondo nei corsi d'acqua: problemi per una modellistica matematica*. Progetto Finalizzato Conservazione Suolo, Firenze 13-14 Ottobre 1977, C-4.1 - C-4.16».
- CICACCI S., FREDI P. & LUPA PALMIERI E. (1979) - *Quantitative expression of climatic and geomorphic factors affecting erosional processes: indirect determination of the amount of erosion in drainage basins in Italy. An approach*. Polish-Italian Seminary: «*Superficial mass movements in mountain regions*», Szymbark, 76-89.
- CICACCI S., FREDI P., LUPA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1981) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 99, 455-516.
- CLARKE J. I. (1966) - *Morphometry from maps*. In: «DURY G. H., *Essays in Geomorphology*, Heinemann, London, 235-274».
- CNR (1977) - *Misura del trasporto solido al fondo nei corsi d'acqua: problemi per una modellistica matematica*. CNR, Progetto Finalizzato Conservazione Suolo, Firenze 13-14 Ottobre 1977, 1-220.
- CNR & IAHS (1981) - *Erosion and sediment transport measurement, Poster-Session*, Atti del Symposium, Firenze 22-26 Giugno 1981, 1-313.
- D'ALPAOS L. & RINALDO A. (1979) - *Un criterio per la stima degli effetti di non linearità e di varianza in un modello di generazione delle piene*. Studi Ricerche Ist. Idr. Univ. Padova, 321, 1-17.

- DE MARTONNE E. (1940) - *Interprétation géographique de l'hypsométrie française*. C. R. Hebd. Sean. Acad. Sc., 211, 426-428.
- FORTI A. (1920) - *I laghi serbatoio artificiali e l'insidia solida*. Ann. Cons. Sup. Acque, 1, 1-46.
- GAZZOLO T. & BASSI G. (1964) - *Relazione tra i fattori del processo di ablazione ed il trasporto solido in sospensione nei corsi d'acqua italiani*. Min. Lav. Pubbl. Gior. Gen. Civ., 6, 377-395.
- GERLACH T. & PELLEGRINI G. B. (1973) - *Sui processi morfogenetici in atto in un piccolo bacino idrografico delle Prealpi Venete. Inizio di uno studio sperimentale e sue finalità*. Atti Mem. Acc. Patav. Sc. Lett. Arti, 2, 85, 153-172.
- GIL E. (1974) - *An attempt to determine the size of washing in the Bystrzanka catchment basin near Szymbark*. Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica, 8, 105-114.
- GIL E. (1976) - *Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w Rejonie Szymbarku*. Dokum. Geograf., 2, 1-65.
- GOVI M. (1978) - *Analisi morfometriche applicate allo studio di piccoli bacini. Problemi di erodibilità e di trasporto solido*. Atti Seminario: « Simulazione idrologica dei bacini imbriferi », Padova 14-18 Febbraio 1977, 47-65.
- HOWARD A. D. (1973) - *Modified contour - generalization procedures as applied to the S. Lucia Range, California*. Geol. Soc. Ann. Bull., 84, 3415-3427.
- IAHS (1981) - *Erosion and sediment transport measurement*. Atti Symposium, Firenze 22-26 Giugno 1981, 1-527.
- LUPIA PALMIERI E. (1983) - *Il problema della valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Atti 23° Congr. Geogr. It., Catania 9-13 Maggio 1983.
- MANTOVANI F., PANIZZA M., SEMENZA E. & PIACENTE S. (1976) - *L'Alpago (Prealpi bellunesi). Geologia. Geomorfologia, nivopluiometria*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 1589-1656.
- MERLIN P. (1965) - *A propos des méthodes de morphométrie*. Acta Geographica, 56, 2597-2607.
- PÉGUY CH. P. (1942) - *Principes de morphométrie alpine*. Rev. Géogr. Alp., 30, 453-486.
- PELLEGRINI G. B. (1975) - *Carta geomorfologica del bacino del Torrente Valda (Prealpi dell'Alpago) (scala 1 : 10 000)*, L.A.C., Firenze.
- PELLEGRINI G. B. (1979) - *Geomorphological field experiments in the Italian Alps*. Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica, 13, 81-95.
- PELLEGRINI G. B. & ZAMBRANO R. (1979) - *Il corso del Piave a Ponte nelle Alpi nel Quaternario*. Studi Trent. Sc. Nat., 56, 69-100.
- PELLEGRINI G. B. & SECCO G. (1979) - *Carte morfometriche a grande scala per l'analisi fisica del territorio. Loro costruzione e utilizzazione*. Atti Convegno: « Cartografia tematica », Catania 13-15 Settembre 1979, 379-390.
- VENZO S. (1977) - *I depositi quaternari e del Neogene superiore nella bassa valle del Piave da Quero al Montello e del Paleopiave nella valle del Soligo (Treviso)*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 30, 1-64.