A. Mocchiutti, G. Peressi

ASPETTI GEOMORFOLOGICI DERIVATI DALLO SVUOTAMENTO DEL LAGO DI SAURIS

GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS DERIVED FROM THE DRAINAGE OF THE SAURIS LAKE

Riassunto breve - In seguito allo svuotamento del bacino artificiale del lago di La Maina-Sauris (Friuli), si sono eseguiti una serie di rilevamenti geomorfologici e sedimentologici speditivi. I depositi, in prevalenza sabbie e limi, facilmente asportabili permettono una rapida evoluzione delle aste drenanti interne al bacino che originano interessanti e particolari morfologie. Si conferma inoltre il basso tasso di sedimentazione ed una relativa stabilità dei versanti.

Parole chiave: Geomorfologia, Invaso, Sedimentazione.

Abstract - A set of geomorphological and sedimentary expeditious surveys of the artificial basin of the La Maina lake (NE Italy) have been collected after the basin has been emptied out. Deposited materials, mainly sands and muds, easily removable allow a fast evolution of the stream channel inside the basin which originate interesting and particular morphologies. The present study confirms furthermore the low sedimentary rate and a relative stability of the slopes.

Key words: Geomorfology, Reservoir, Sediments.

1. Introduzione

La presente nota esamina alcuni interessanti fenomeni geomorfologici rilevati in seguito all'operazione di svuotamento del lago di La Maina (Sauris) effettuata al fine di compiere dei controlli statici sulle strutture dell'imponente diga in esercizio dal 1947. È la prima volta che verifiche di tale tipo vengono eseguite, in precedenza controlli erano stati effettuati tramite lo svuotamento solo parziale dell'invaso.

L'operazione è stata portata a termine nel mese di marzo 1992 ed il giorno 23 dello stesso mese il livello dell'acqua ha raggiunto la quota minima di svaso (m 896,5), più di 80 metri sotto quella di esercizio (foto 1-2). Nella stessa settimana si sono effettuate le uscite volte a catalogare e descrivere i vari fenomeni instauratisi.

GAMFSNU 14 (1992)

L'abbassamento del lago, e quindi del livello di base artificiale creatosi, ha infatti costretto il torrente Lumiei e gli altri immissari secondari ad incidere la serie di sedimenti fini deposti in quasi mezzo secolo sul fondo del bacino idrico. Si è determinata così una rapidissima evoluzione morfologica del corso d'acqua comparabile, in qualche misura, con quella ben più lenta che si registra per i fiumi nelle pianure alluvionali.

Accanto a queste considerazioni si sono poi notati dei fenomeni secondari connessi con la diminuizione del carico idrostatico sui sedimenti (polle sorgive, movimenti di versante, etc...) ed altri legati all'azione degli agenti atmosferici (formazione di suoli poligonali, erosione selettiva ad opera del vento) (fig.1).

Infine è stato possibile compiere alcune valutazioni, purtroppo solo qualitative, sullo stato di riempimento del bacino ed effettuare alcune considerazioni sulle modalità di deposizione dei sedimenti.

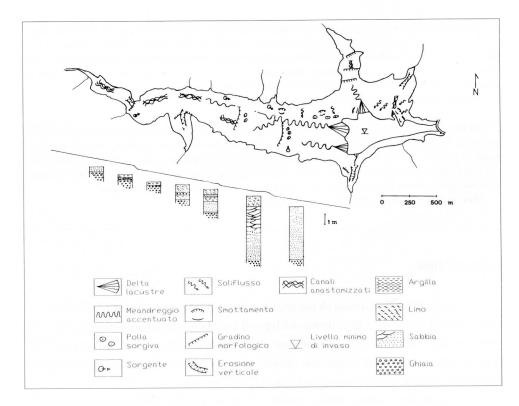


Fig. 1 - Carta geomorfologica e stratigrafica schematica del bacino lacustre di La Maina Sauris (periodo Marzo-Aprile 1992).

- Schematic geomorphological and stratigraphical map of the lake basin of La Maina Sauris (period March-April 1992).

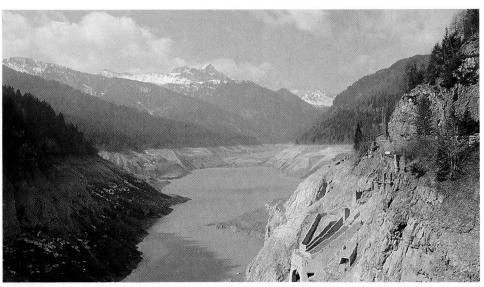


Foto 1 - Vista del lago dalla diga de La Maina di Sauris nei giorni di massimo svaso (-80 metri sul livello di esercizio).

- View of the lake from the La Maina dam in Sauris in the days of maximun drying up (-80 meters with respect to the level of exercise).



Foto 2 - Le vecchie malghe di La Maina riemerse durante la fase di svuotamento. Sullo sfondo il paese attuale.

- The old of La Maina emerged when the lake was emptied out. In the bachground the village nowadays.

GAMFSNU 14 (1992)

2. Presupposti tecnici e geologici

Il serbatoio di Sauris, creato nel 1947 in seguito allo sbarramento del torrente Lumiei, è il più importante del sistema occidentale di impianti costruito per utilizzare, dal punto di vista idroelettrico, le acque del bacino del Tagliamento.

Il suo scopo è la regolazione stagionale del livello idrico degli invasi ad esso collegati. La portata derivata dal serbatoio viene infatti utilizzata nella sottostante centrale di Ampezzo e da questa, tramite una galleria di gronda, immessa nel lago artificiale dell'Ambiesta (o Verzegnis). Questo bacino ha invece funzione di modulazione giornaliera delle acque che alimentano la centrale di Somplago e vengono poi sacricate nel lago di Cavazzo (o dei Tre Comuni). Da qui si dirama una galleria lunga m 3445 e un canale lungo m 615 che le immette infine nel torrente Leale, affluente di destra del Tagliamento.

La capacità del serbatoio di Sauris è pari a circa 70.000.000 mc e drena una superficie di 138,4 kmq dei quali 59 direttamente sottesi mentre i rimanenti fanno parte del bacino dell'alto Tagliamento e di quello del torrente Novarza le cui acque vengono captate e convogliate attraverso condotte nel lago stesso.

Il livello dell'invaso varia da un massimo di 980 metri slm ad una quota minima di 905 metri slm. Nel periodo da settembre a febbraio il lago si abbassa regolarmente di oltre trenta metri causa il maggior sfruttamento. I criteri di regolazione della produzione idroelettrica prevedono poi il reinvaso del serbatoio a partire dalla morbida primaverile che normalmente si manifesta nella prima decade di aprile.

Varia è la natura delle rocce che ricadono all'interno del bacino direttamente sotteso al serbatoio, si passa dalla potente massa di calcari di scogliera del Ladinico che caratterizzano la sezione di imposta della diga, ai terreni stratigraficamente meno omogenei della parte più a monte costituiti da arenarie e calcari marnosi del Raibliano e da dolomie cariate e calcari a *Bellerophon* del Permiano. Dal punto di vista strutturale la zona è interessata da grandi sovrascorrimenti che hanno portato il complesso stratigrafico formato da Dolomie cariate e dal Werfen a ricoprire le serie più recenti del Raibliano.

3. Evoluzione dei processi geomorfici sul fondo del bacino

Quando il livello di base, costituito dalla tavola d'acqua del lago, ha cominciato ad abbassarsi, ha avuto parallelamente inizio l'attività erosiva del torrente Lumiei sui materiali sedimentati sul fondo dell'invaso (foto 3). Questi sono costituiti da sabbie, limi e argille alternati in strati di potenza variabile a seconda della loro distanza dalle sponde e dagli apporti dei rii immissari.



Foto 3 - Fondo del bacino lacustre. Si noti il taglio di meandro provocato dal rio Lumiei.

- The bottom of the basin. On the right side it is evident the meander cutoff originated by the Lumiei stream.



Foto 4 - Un meandro creato per prevalente erosione laterale dal rio Lumiei all'interno dei depositi fini di fondo lago.

- Meander created for mainly lateral erosion by the Lumiei stream inside the fine-grained deposits of the bottom of the lake bed.

GAMFSNU 14 (1992)

Le modalità di deposizione di questi sedimenti saranno oggetto di un capitolo successivo, l'interesse del presente è invece descrivere come è avvenuta l'evoluzione del corso d'acqua facendo un parallelo con quella di un fiume in piana alluvionale. I punti di contatto fra i due fenomeni, soprattutto per alcuni aspetti, sono infatti molto evidenti.

Le sezioni trasversali dell'alveo inciso dal torrente sul fondo del lago evidenziano, lungo tutto il percorso, dei terrazzi. Questi, indici dei successivi approfondimenti, si impostano prevalentemente in corrispondenza delle variazioni litologiche. Anche le erosioni laterali o di sponda sono diffuse (foto 4).

Il corso d'acqua, finita la fase di esclusiva erosione, comincia a meandreggiare. Questo avviene più che per un avvicinamento al profilo di equilibrio o per una diminuita energia, in seguito all'incontro con terreni che richiedono una maggiore energia di fondo per essere asportati (ghiaie). Il meandreggio è molto sviluppato e pronunciato soprattutto verso l'ultimo tratto del percorso ed un confronto morfologico e visivo richiama un immediato parallelo con il tratto E di un fiume.

È probabile che il fenomeno si sia instaurato quando il livello del lago ha raggiunto una quota prossima a quella che risulterà essere poi il livello minimo in seguito alla diminuita velocità di abbassamento della tavola d'acqua.

Una differenza fondamentale rispetto a quello che si verifica nei corsi d'acqua maggiori è però la mancanza, in questo tratto, di sedimentazione in alveo (se si esclude la parte interna dei meandri). La rapidissima evoluzione che si è verificata, permessa dalla natura dei sedimenti e dall'azione erosiva del corso d'acqua, ha lasciato come testimonianza bellissime morfologie di taglio di meandro.

Dopo la fase di meandreggio il fiume si allarga formando un delta che occupa buona parte del fondo del bacino. I canali distributori sono numerosissimi e tali da creare una coltre continua di depositi, in prevalenza sabbiosi. L'angolo formato nell'apice dai canali che si aprono a ventaglio è di circa 30 gradi (foto 5).

4. Attività morfologica della corrente d'acqua

Il rio Lumiei incide sia sedimenti che possiamo definire frizionali (sabbie e ghiaie) che sedimenti coesivi (silt e argille che nella parte medio-bassa del bacino presentano un certo grado di sovraconsolidazione). Per i primi l'erodibilità è principalmente legata alle forze di attrito, mentre per i secondi sono più importanti le forze di coesione.

Il limite fra suoli frizionali e coesivi non è netto, risulta inoltre difficile determinare il valore della velocità critica di erosione per i terreni coesivi. Mentre è ormai assodato che le sabbie fini sciolte sono i sedimenti più facili da erodere, la velocità richiesta per iniziare il trasporto del silt e dell'argilla è certamente più elevata. Il suo valore dipende però da una serie di fattori il cui peso è difficile da stimare. Questi si possono sintetizzare nelle caratteristiche fisico-chimiche dell'argilla (che dipendono largamente dal tipo di materiale che prevale nella frazione colloidale), nella porosità ed infine nel grado di consolidazione. Maggiore è il grado di consolidazione, minore è la porosità e più aumenta il valore della velocità critica.

Le nostre argille sovraconsolidate, per essere erose, richiederebbero così valori elevatissimi di velocità. Tali limiti, con ogni probabilità, non sono stati raggiunti nel torrente. La loro erosione è quindi attribuibile a qualche altro fattore che ha portato una riduzione del valore della velocità critica.

Questo può essere ricercato nell'azione abrasiva delle particelle più grossolane (soprattutto sabbie) che l'acqua corrente porta con sè lungo il fondo. Altro fattore può essere individuato nel contenuto in acqua molto elevato delle argille.



Foto 5 - Il conoide del rio Lumiei visto da NE. Si notino le dimensioni, l'estensione, l'angolo apicale e la serie di polle sorgive con diametro metrico disposte parallelamente al versante. L'alto grado di erodibilità dei sedimenti sul fondo del lago ha permesso un loro rapido trasporto verso la parte centrale del bacino.

- The cone of the Lumiei stream wiew from NE. One can see the dimension, the estension, the apical angle and the series of springs with metric diameter placed parallel to the slope. The high degree of erodibility of the sediments on the bottom of the lake has allowed a fast migration towards the central part of the basin.

Il fatto che i sedimenti di base del rio non vengano incisi dalla corrente, la quale conserva pur sempre una certa capacità erosiva, trova giustificazione nel fatto che parte del materiale in sospensione si deposita riempiendo lo spazio fra i granuli e ciotoli del fondo. Questo provoca una diminuizione della rugosità e un aumento della resistenza all'erosione rendendo così più stabile il fondo stesso.

Il risultato è un aumento della capacità critica di erosione. La corrente non è comunque satura di materiale e la sua capacità di erosione viene esplicata lateralmente dando origine alla rapida evoluzione dei meandri con costante smantellamento dei depositi di sponda.

5. Morfologie connesse con la diminuizione della pressione idrostatica

Alla diminuizione della pressione idrostatica sono direttamente legati alcuni morfotipi che si rinvengono sul fondo dell'invaso. Si tratta di vulcanelli a forma circolare del diametro medio di cm 30 e altezza massima di cm 10 isolati o in gruppo, costituiti da sabbia



Foto 6 - Polle sorgive inattive di dimensioni decimetriche sulla superficie di depositi fini situati a metà circa dell'asse maggiore del bacino lacustre.

- Inactive springs of decimetric dimensions on the surface of fine grained deposits placed more or less midway along the principal axis of the lake bed.

e silt eiettati da un ben definito cratere centrale. Si creano in seguito all'estrusione di piccoli dicchi che "forano" gli strati superficiali impermeabili. Questi costituiscono il tappo che ostacola la rapida dispersione della sovrappressione interstiziale dell'acqua presente nei livelli sabbiosi sottostanti e generata in seguito alla diminuizione del livello del lago. Questa sovrapressione produce inoltre una sorta di liquefazione di questi terreni sciolti, si forma così una miscela che, una volta trovata la via di uscita, risale eliminando in tal modo l'eccesso di pressione e provocando lievi cedimenti superficiali (foto 6). La concentrazione maggiore di questi fenomeni la si riscontra sul fondo dell'invaso nella parte centrale e terminale del bacino emerso. Qui la colonna d'acqua era alta una sessantina di metri.

Fenomeni simili si ritrovano anche in zone, come in prossimità dei delta del Rio Plottempoch e del Rio Poch, dove gli strati argillosi impermeabili ricoprono sedimenti più grossolani come ghiaie e ghiaie sabbiose.

In queste zone, oltre ad esserci un minore dislivello tra la superficie e il fondale del lago, non c'è stata ovviamente formazione di vulcanelli ma al ritiro dell'acqua da queste zone scaturivano in alcuni punti dei veri e propri zampilli tipici di falda in pressione.

Polle sorgive del diametro di alcuni metri sono invece le pozze rilevate a metà della lunghezza dell'invaso e allineate secondo la direzione del versante. La loro genesi è dovuta alla falda presente sui versanti che, incontrando gli strati impermeabili che ricoprono in parte anche i fianchi dell'invaso, viene "catturata" dagli stessi per poi fuoriuscire in corrispondenza di zone di debolezza. Questo fenomeno si registra soprattutto in sponda sinistra, in tutto il bacino però si hanno delle sorgenti che creano dei rigagnoli incassati nei sedimenti e la cui origine è imputabile alla venuta a giorno della falda presente nel paleoalveo del torrente Lumiei ora ricoperto dai sedimenti fini impermeabili.

6. Movimenti gravitativi e azione degli agenti atmosferici

La scomparsa della colonna d'acqua che produceva anche sui fianchi dell'invaso una certa pressione, è certamente una delle cause scatenanti i frequenti movimenti di versante. Questi interessano quasi esclusivamente i livelli più fini limoso-argillosi i quali possono, eventualmente, costituire la superficie di scivolamento per i terreni a granulometria maggiore (ghiaie e sabbie) come si è notato in corrispondenza del Rio Plottenpoch.

Se il movimento avviene in terreni fini la superfici di distacco presenta la classica forma subcircolare con un raggio medio che non supera i 5 metri, sulla superficie di scivolamento sono presenti a volte delle strie che indicano la direzione di movimento. In alcuni casi, a monte della nicchia di distacco, si sono osservate delle fratture di trazione la cui apertura non supera i 10 centimetri e con sviluppo parallelo alla linea di coronamento.

È da considerare che tutti questi terreni, essendosi depositati sotto una pressione maggiore rispetto a quella presente una volta svuotato il bacino, saranno dei materiali sovraconsolidati.

La caratteristica di questi materiali è quella di avere una maggiore resistenza al taglio, ma anche un andamento della curva sforzi-deformazioni di tipo rammollente con rottura tanto più fragile quanto più elevato è il grado di sovraconsolidazione. Questa è la causa di morfologie così ben definite.

Fra i movimenti gravitativi è da ricordare il "soil creep" cioè l'aumento progressivo delle deformazioni plastiche sotto un carico costante (in questo caso la forza di gravità) che determina la formazione di cordoni disposti parallelamente al versante. Vi sono anche cordoni con direzione pari al verso di massima pendenza del versante la cui genesi va ricercata probabilmente nel fenomeno del "rigonfiamento" (foto 7).

Anche gli agenti atmosferici hanno agito in qualche misura sulla morfologia. L'eva-

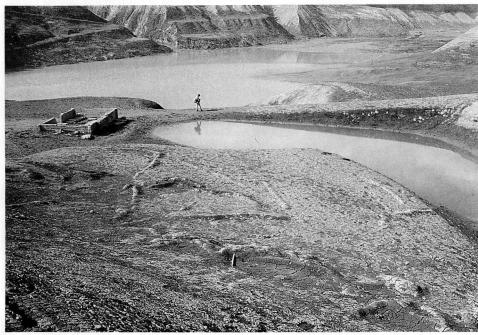


Foto 7 - Una delle malghe sommerse in località La Maina. Si può notare come i sedimenti fini impermeabili consentano il permanere di pozze a mezza costa. In primo piano sono visibili alcuni rigonfiamenti lungo il versante causati da movimenti gravitativi dei depositi fini lacustri.

- One of "malghe" subemerged near La Maina. Fine-grained waterproof sediments allow some pool to remain midway along the cost. In the foreground some swelling along the cost caused by gravitational moviments of the fine-grained lake deposits.

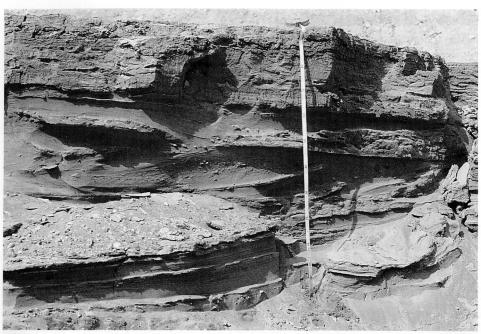


Foto 8 - Tipica sezione dei sedimenti deposti sul fondo del lago di La Maina Sauris posti in evidenza dall'erosione fluviale ed eolica. La foto si riferisce al tratto poco a valle della confluenza con il rio Scalotta. Si notino le alternanze di sabbie e limi sabbiosi e/o argillosi a stratificazione incrociata concava.

- Typical section of the sediments deposited on the bottom of the La Maina lake evidentiated by the fluvial and wind erosion. This potograph refers to a region just downstream the confluence with the Scalotta stream. One can see the alternation of sands and sandy and/or clayey muds with concave crossed stratigraphy.

porazione ha infatti provocato il disseccamento degli strati superficiali con formazione di suoli poligonali, o "mud cracks", le cui caratteristiche sono funzione della litologia dei terreni stessi. Anche l'erosione selettiva del vento ha lasciato tracce, sulle sponde incise dall'acqua si sono formati degli straterelli aggettanti i quali evidenziano a volte la laminazione incrociata (foto 8).

7. Modalità di deposizione dei sedimenti

È stato possibile effettuare in corrispondenza dell'incisione provocata dal corso d'acqua un rilievo speditivo delle litologie sedimentate e formulare così alcune ipotesi sulle modalità di deposizione e una valutazione qualitativa del grado di interramento del bacino.

Innanzitutto bisogna affermare che la deposizione è grandemente influenzata dalla

variazione del livello del lago. Come già ricordato, da settembre a febbraio questo si abbassa regolarmente di oltre una trentina di metri.

Il condizionamento che tale fenomeno determina è evidentissimo in corrispondenza dei rii immissari. Questi hanno creato infatti dei delta in ghiaia con due scarpate poste proprio in corrispondenza dei livelli di sfruttamento dell'invaso.

Nel rio Poch queste hanno un'altezza di circa 10 metri, l'inclinazione degli strati superiori è di circa 8 gradi, mentre quelli di prodelta immergono con un angolo di 28 gradi (foto 9).

Di soli tre metri è l'altezza della fronte del delta del rio Lumiei poichè la deposizione avviene in parte nella zona sempre emersa ampia e sub orizzontale presente a monte. I rii laterali invece hanno tutti pendenza elevata ed i materiali ghiaioso-sabbiosi sono dispersi anche oltre il livello di minimo svaso estivo.

Interessanti considerazioni si possono fare anche sull'interramento del bacino. L'incisione dei sedimenti lacustri si blocca infatti su di un livello ghiaioso continuo che, co-



Foto 9 - Depositi grossolani stratificati e costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie con assetto inclinato lungo il delta del rio Poch.

- Thick, coarse-grained stratified deposits mainly consituted by gravels and sands with inclined arrangement along the delta of the Poch stream.

me già detto, costituiva probabilmente le alluvioni del fondo valle prima della costruzione della diga.

Si può vedere così come lo spessore dei materiali sedimentati aumenti man mano che ci si avvicina alla diga per arrivare, nelle parti sempre sommerse, sull'ordine dei 5 metri. L'interramento si può considerare comunque modesto (foto 10).

L'aumento dei sedimenti al di sotto del livello di minimo sfruttamento invernale (943 metri), è dovuto anche alla formazione della barra di foce come testimoniato dalla leggera contropendenza e dalla stratificazione incrociata concava dei sedimenti sabbiosi che formano la struttura stessa. La maggior parte di questi depositi deriva dal trasporto e sedimentazione dei materiali, erosi, al calare del livello del lago, dal fondo del bacino dove si erano accumulati durante il periodo estivo e primaverile.

Nei rii laterali, a causa della pendenza elevata e la peggior selezione granulometri-



Foto 10 - Interno di uno dei numerosi meandri scavati dal rio Lumiei nei depositi lacustri in prossimità del delta. In questa foto sono ben visibili la potenza dei sedimenti frammisti a numerosi resti vegetali fluitati e la rapida evoluzione per erosione verticale e laterale subita dall'asta di fondo valle.

Inside view of one of the many meanders digged by Lumiei stream in the lake deposits near
the delta region. The power of sediments incorporating vegetal remains brought by flood
and the fast evolution for vertical and lateral erosion suffered by the stream channel
downhill are visible.

ca, la barra di foce non si forma. In seguito alle violenti pioggie avvenute nei primi giorni di aprile, e alla reimmissione dell'acqua proveniente dalla condotta dell'alto Tagliamento, è stata effettuata una ulteriore ricognizione nell'invaso, ormai in via di riempimento, la quale ha aggiunto altre interessanti osservazioni.

I sedimenti fini presenti sul fondo del lago sono stati ampiamente asportati dall'elevatissima energia della corrente, è venuto così alla luce il substrato ghiaioso. I materiali si ridepositeranno quindi in prossimità della diga creando strati di notevole spessore. La presenza dello scarico di fondo, costituito da un condotto in galleria del diametro di 4,20 metri e con soglia posta a quota 887 metri, permette però l'eliminazione di parte di questi sedimenti.

Un'ultima considerazione va effettuata sulle sottili stratificazioni ritmiche piano-parallele, assimilabili a varve, che si sono rilevate nei depositi fini. Si tratta di un'alternanza millimetrica o centimetrica di silt e silt sabbioso che riflette il succedersi di episodi di "piena" e di "magra".

All'interno di queste ritmiti si è notata della sostanza oleosa la cui origine va ricercata nell'instaurarsi del processo di riduzione su sedimenti argillosi ricchi di materia organica. Questi si depositano in gran parte durante il periodo autunnale ed invernale. La sostanza organica presente nell'acqua deriva dalla lisciviazione dei suoli e dall'attività planctonica. I sedimenti trovano poi nelle parti più profonde del lago le condizioni di acque stagnanti e assenza di ossigeno ideali per lo sviluppo del processo di riduzione.

Manoscritto pervenuto il 04.VIII.1992.

Ringraziamenti

Si ringrazia il chiar.mo prof. Franco Vaia per la lettura critica del testo ed il personale dell'ENEL per la disponibilità dimostrataci.

Bibliografia

CASTIGLIONI G.B., 1979 - Geomorfologia. UTET, pp. 436, Torino.

Dramis F. & Gentilini B., 1976 - La frequenza areale del drenaggio ed il suo impiego nella valutazione quantitativa dell'erosione lineare di superfici con caratteristiche omogeneee. *Mem. Soc. Geo. It*, 14: 337-349, Roma.

DRI G. & ROBASSI V., 1980 - Obbiettivo lago. Comunità Montana del Gemonese, Udine.

FAIRBRIDGE R.W., 1968 - The encyclopedia of geomorphology. *Dowen Hutchinson & Ross*, Stroudsburg.

Gregory K.J. & Walling D.E., 1973 - Drainage basin form and processs, a geomorphological approch. *Arnold*, pp. 456, London.

- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P., 1964 Process in geomorphology. *Freeman*, pp. 522, San Francisco.
- Mosetti F., 1983 Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia. *Quad. E.T.P. Friuli V.G.*, pp. 295, Udine.
- PANIZZA M., 1972 Schema di legenda per carte geomorfologiche di dettaglio. *Boll. Soc. Geol. It.*, 92: 303-306, Roma.

RICCI LUCCHI F., 1980 - Sedimentologia, vol. III. CLUEB, pp. 545, Bologna.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

⁻ Dott. Andrea Mocchiutti Via Natisone 8, I-33100 UDINE

Dott. Gabriele Peressi Istituto di Geodesia e Geofisica dell'Università degli Studi Via dell'Università 7, I-34100 TRIESTE