

BREVIARIO DEI RAPPORTI FRA GEOMORFOLOGIA E NEOTETTONICA*

M. Panizza

Dip. Scienze della Terra, Università di Modena

ABSTRACT - *Compendium of the relationships between Geomorphology and Neotectonics* - Il Quaternario/Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1997, 267-272 - The various types of morphoneotectonic investigations, which can be carried out for the identification of active tectonic structures, are briefly described. Investigations are subdivided into: regional scale studies that, starting from the general analysis of a given territory, proceed to the identification of a particular tectonic element; paleoseismology investigations that, starting from a particular landform, trace the type of seismicity of the whole region; studies on geomorphic indices, which from the analysis of specific subjects at a regional scale, aim to syntheses of general validity.

Parole chiave: Geomorfologia, neotettonica, paleosismologia, indici geomorfici
Key-words: Geomorphology, neotectonics, paleoseismology, geomorphic index

1. PREMESSA

Partendo dai concetti più generali dei rapporti fra la Geomorfologia e il Rischio sismico, le ricerche geomorfologiche in questo settore possono essere suddivise in (Panizza, 1988, 1991, 1996): - a) indagini morfoneotettoniche per l'individuazione di strutture tettoniche attive; - b) analisi geomorfologiche su situazioni che possono amplificare o attenuare la suscettibilità sismica.

Qui di seguito verrà trattato il primo dei casi suddetti.

Come è noto, la Morfoneotettonica studia i rapporti fra le forme del terreno e i movimenti tettonici recenti e attuali. Questi studi vengono affrontati secondo diversi approcci, che possono essere suddivisi nel modo seguente:

- studi a scala regionale
- indagini di paleosismologia
- ricerche su indici geomorfici.

2. MORFONEOTETTONICA A SCALA REGIONALE

Tali studi si basano sul concetto che, se i movimenti tettonici hanno determinato modificazioni della superficie della Terra, queste, generalmente e a parità di altre condizioni, appaiono tanto più marcate ed evidenti quanto più il movimento è stato recente. L'identificazione delle suddette modificazioni, perciò, può far risalire ai movimenti neotettonici. Inoltre, poiché i movimenti tettonici non sono degli episodi singoli e isolati nel tempo, ma fanno parte di un periodo più o meno lungo di attività diastrofica, dall'identificazione delle citate modificazioni si può valutare l'eventualità che i fenomeni neotettonici, che le hanno prodotte, possano continuare in un futuro più o meno prossimo.

Un altro concetto da tener presente riguarda i rapporti fra Morfoneotettonica e Morfoselezione (Panizza &

Piacente, 1978): la seconda può essere considerata "inversamente proporzionale" alla prima; ovvero quanto più questa è recente e intensa, tanto meno la selezione morfologica ha avuto tempo per svilupparsi. Per esempio, in una scarpata di faglia recente le differenziazioni selettive su tipi litologici diversi sono in genere poco marcate; al contrario avviene su scarpate non soggette a sollecitazioni neotettoniche.

Bisogna considerare inoltre che quanto più i movimenti sono stati recenti, tanto meno possono abbracciare grossi eventi tettonici, come per esempio tutta una fase orogenetica, ma soltanto una parte di essa: perciò le eventuali modificazioni morfologiche a loro riconducibili non possono che essere delle forme particolari del rilievo. Pertanto la scala delle indagini morfoneotettoniche non è quella delle grandi unità strutturali della Terra, come le geotessiture o le maggiori morfostutture (nel senso di Gerasimov, 1946), se non per un inquadramento regionale degli eventi, bensì di quelle più particolari, come le morfostutture minori e le morfosculture.

Con riferimento a quest'ultima considerazione, infine, è da tener presente che le morfosculture possono avere un'origine non tettonica, o comunque essere state modificate dalla morfoselezione, dalle condizioni climatiche, dagli interventi antropici etc. e quindi può essere difficile individuarne l'eventuale significato neotettonico. In altri termini negli studi di morfoneotettonica è essenziale tener presente la possibile convergenza geomorfologica di morfosculture eterogenetiche (Panizza & Piacente, 1976).

Studi di Morfoneotettonica a scala regionale sono stati condotti in Italia nell'ambito della stesura della Carta Neotettonica d'Italia (C.N.R., 1983) e per indagini neotettoniche di base e applicate (cf. per esempio: Panizza & Castaldini, 1987). Esse generalmente si articolano nelle seguenti fasi, con gradi di dettaglio via via maggiori:

- Ricerca bibliografica: raccolta, elaborazione e

(*)Relazione ad invito - *Invited paper*

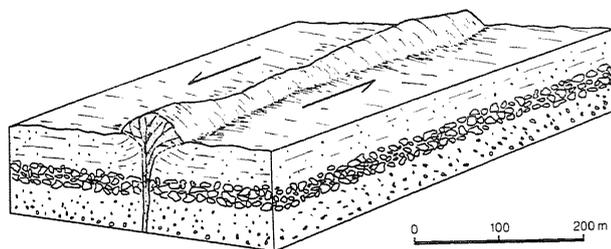


Fig. 3 - Schizzo di dosso di faglia lineare legato al movimento orizzontale di una faglia regionale.

Fault linear ridge associated with the horizontal movement of a regional fault.

– spostamenti di masse rocciose o detritiche lungo versanti.

Le scarpate di faglia prodotte da eventi sismici sono di vario tipo e dipendono sia dal meccanismo di rottura della struttura sismogenetica, che dalle caratteristiche geomorfologiche del terreno (cf. Serva *et al.*, 1987). Descrizioni esaurienti delle varie tipologie sono state riportate, fra gli altri, da Richter (1958), Bonilla & Buchanan (1970), Allen (1975) e Deng & Zhang (1984). Alcuni esempi sono illustrati nelle Figure 1 e 2 e si riferiscono a due eventi sismici recenti in Italia (Bollettinari & Panizza, 1981) e negli Stati Uniti (Lubetkin & Clark, 1988).

Comunque per una trattazione dettagliata dell'argomento si rimanda al già citato lavoro di Serva *et al.* (1987).

Tra le forme complesse legate a neotettonica si possono citare i "dossi di faglia lineari", determinati da piccole disgiunzioni di superficie, legate al movimento orizzontale di una faglia di estensione regionale (Figg. 3, 4 e 5) (Diederix *et al.*, 1987; Castaldini & Panizza, 1988). Queste efflorescenze morfologiche allungate sono tipiche di uno stile tettonico compressivo e si producono lungo una faglia trascorrente.

La "liquefazione" di sedimenti dà origine ai cosiddetti "vulcanelli di sabbia", che si manifestano in occasione di scosse sismiche (Seed & Idriss, 1967). Alcuni esempi in Italia sono stati segnalati per i terremoti nel Belice del 1968 (Bosi *et al.*, 1973) e nel Friuli del 1976 (Cavallin *et al.*, 1977). Questi ultimi autori hanno avuto modo di verificare il meccanismo del fenomeno: sedimenti medio-fini, saturi d'acqua, alla profondità di pochi metri, in seguito a scosse sismiche subiscono incrementi temporanei della pressione neutra e, se questa è superiore alla pressione di contenimento dei sedimenti, possono essere spinti in superficie e

dar luogo alle forme in questione. Questi fenomeni possono manifestarsi lungo fenditure nel terreno o abbracciare un'area di qualche metro quadrato; non sono generalmente riconducibili a fenomeni di fagliazione di superficie.

Spostamenti gravitativi di masse lungo versanti, in conseguenza di scosse sismiche, sono abbondantemente documentati da notizie storiche e materiale bibliografico: in effetti i terremoti possono essere considerati come le cause più importanti dei movimenti franosi. Numerosi studiosi hanno indagato sui rapporti fra sismi e frane (per esempio Plafker *et al.*, 1971; Nilsen & Brabb, 1975; Solonenko, 1977 e via via molti altri). Più in particolare



Fig. 4 - Dosso di faglia lineare presso Piedras (Tolima, Colombia) (Foto M.Panizza, 1987).

Fault linear ridge near Piedras (Tolima, Colombia) (Photo M.Panizza, 1987).

Keefer (1984) ha preso in esame quaranta terremoti storici di ogni parte del mondo, proprio con lo scopo di definire i rapporti fra scosse sismiche, frane indotte e materiale coinvolto. Analoghi studi sono stati svolti da Cotecchia (1987).

In Italia anche i recenti terremoti del Friuli e dell'Irpinia hanno causato movimenti di massa di vario tipo, dalla caduta di detriti, alle frane di vario tipo (Fig. 6), alla riattivazione di paleofrane etc. (vedi ad esempio: Govi & Sorzana, 1977; Carrara *et al.*, 1986). Per una sintesi su questo tema si veda Castaldini (1996) e gli Atti della sessione "Seismicity and Landslides", nell'ambito del 16° Simposio Internazionale "Landslides" (cf. Bell, 1992).

Fra gli effetti dinamici di un sisma si fa menzione alla cosiddetta "tavola vibrante" (Tazieff, 1960; Demangeot, 1973), per cui la propagazione laterale delle vibrazioni sismiche trasporterebbe il materiale di frana lontano dalla scarpata di distacco, oltre il limite di riposo teorico dei detriti in situazione non sismica. A questo fenomeno si potrebbero far risalire i Lavini di Marco, gruppo di frane oloceniche della Val d'Adige (Trento), oggetto di studio di numerosi autori (cf. Orombelli & Sauro, 1988);



Fig. 1 - Faglia di superficie presso San Gregorio Magno (Salerno, Italia), prodottasi in occasione del terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980. (Foto M.Panizza, 1980).

Surface fault near San Gregorio Magno (Salerno, Italy), which formed during the November 23rd 1980 Irpinia earthquake. (Photo M.Panizza, 1980).

interpretazione dei dati bibliografici che indicano o fanno presumere l'esistenza di dislocazioni neotettoniche.

– Interpretazione di immagini da satellite: identificazione e censimento dei lineamenti di origine naturale, loro selezione in chiave neotettonica, caratterizzazione morfologica e rappresentazione cartografica.

Fig. 2 - Scarpata di faglia nella Owens Valley, presso la U.S. 395 Road, prodottasi in occasione del terremoto della California orientale nel 1872 (Foto M.Panizza, 1993).

Scarp fault in the Owens Valley near the U.S. 395 Road, which formed during the 1872 eastern California earthquake (Photo M.Panizza, 1993).



– Fotoaereointerpretazione: censimento, selezione e rappresentazione cartografica degli indizi geomorfologici di neotettonica e dei lineamenti a essi associati.

– Rilevamento sul terreno: verifica delle ipotesi neotettoniche e precisazioni geometriche, geologiche e geomorfologiche delle eventuali faglie.

Sulla base di queste ricerche si dovrà giungere a una definizione, suddivisione e ubicazione cartografica di lineamenti in chiave neotettonica (cf. Carraro *et al.*, 1978; Panizza & Castaldini, 1987; Castaldini *et al.*, 1988; Panizza, 1988).

Dalle indagini morfoneotettoniche suddette, attraverso una selezione, una interpretazione e a luoghi una interpolazione dei dati, si potrà ricavare una carta di sintesi neotettonica a carattere regionale.

3. PALEOSISMOLOGIA

Per paleosismologia si intende lo studio della sismicità di un'area attraverso l'individuazione e la datazione di segni geologici lasciati dai terremoti (cf. Serva *et al.*, 1987). Con un procedimento concettualmente e metodologicamente inverso di quello attuato per gli studi a scala regionale, ove dal generale (un dato territorio) si procede verso il particolare (il lineamento neotettonico), per le indagini paleosismologiche invece si parte da una forma sismica/neotettonica per risalire alla sismicità di una regione, ovvero dal particolare al generale.

Dal punto di vista geomorfologico, gli aspetti particolari del rilievo da prendere in considerazione possono essere compresi nei tipi seguenti:

- scarpate di faglie di superficie,
- forme complesse legate a faglie attive,
- "liquefazione di sedimenti",

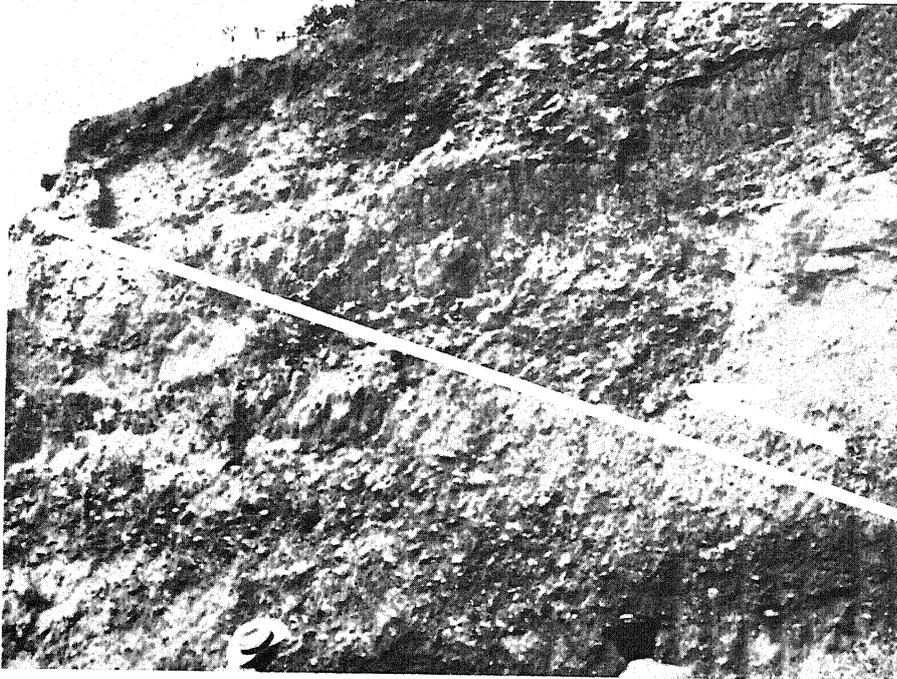


Fig. 5 - Sezione trasversale di un dosso di faglia lineare presso Piedras (Tolima, Colombia): è evidenziata una piccola faglia inversa facente parte dell'efflorescenza morfologica. (Foto M.Panizza, 1987).

Cross section of a fault linear ridge near Piedras (Tolima, Colombia): a small reverse fault belonging to the morphological outcrop is pointed out. (Photo M.Panizza, 1987).

alcuni enormi massi si trovano in posizione distale rispetto all'area teorica di caduta legata alla sola componente gravitativa. Val qui la pena di ricordare la citazione di Dante nella Divina Commedia con l'attribuzione del fenomeno "...a tremuoto...".

4. INDICI GEOMORFICI

Le ricerche di questo tipo si differenziano da quelle precedentemente descritte perché restano sempre a scala regionale, analizzano temi specifici e mirano a sintesi di carattere generale. Fra i vari indici geomorfici, che possono portare a deduzioni di carattere neotettonico, qui verranno presi in considerazione i seguenti:

- entità della denudazione,
- correlazione di superfici terrazzate,
- tipologia del reticolo idrografico.

Il problema dei rapporti fra l'entità della denudazione di

una regione e la velocità di un suo sollevamento tettonico è stato affrontato in modo specifico da Wegmann (1957). Egli propose due gruppi di metodologie di analisi: da un lato dei metodi "differenziali", basati sulla misura del tasso di erosione annuo, e dall'altro un metodo "integrale", che prende in considerazione la quantità del materiale eroso durante un periodo determinato. I risultati delle ricerche fino ad oggi compiute appaiono difficilmente valutabili in termini neotettonici e ciò per vari motivi: l'ordine di grandezza e di durata dei due fenomeni può essere diverso e perciò non consentire una loro commensurabilità; è difficile isolare l'aspetto neotettonico da eventuali interferenze di tipo eustatico e/o isostatico; non è agevole "pesare" l'influenza neotettonica nei confronti di altre cause dell'erosione, come i fattori litologici, le condizioni climatiche e i vari agenti del modellamento, ivi compreso l'uomo. I moderni metodi di analisi e di sintesi, come le

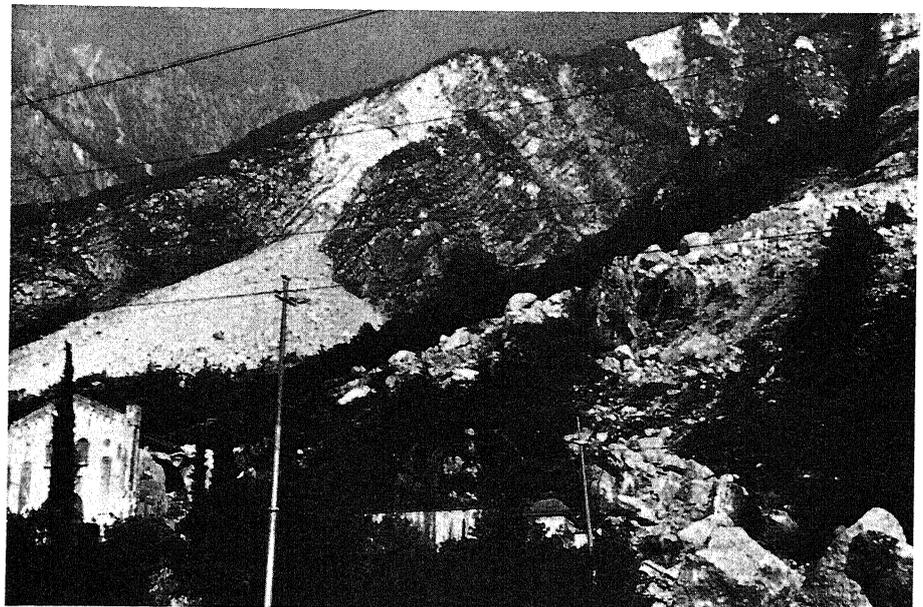


Fig. 6 - Frane causate dal terremoto del Friuli del 1976 in rocce calcareo-dolomitiche presso Portis (Udine, Italia) (Foto M.Panizza, 1976).

Landslides induced by the Friuli 1976 earthquake in calcareous-dolomitic rocks near Portis (Udine, Italy) (Photo M.Panizza, 1976).

misure di precisione tramite GPS, l'elaborazione dei dati al computer, la costruzione di modelli validi e l'informatica geografica (GIS) dovrebbero permettere di raggiungere deduzioni più soddisfacenti.

Lo studio e la correlazione delle superfici terrazzate di una regione possono portare a deduzioni di carattere neotettonico, attraverso la ricostruzione di loro eventuali deformazioni, sia in termini disgiuntivi (faglie), che differenziali (basculamenti). Tali ricerche hanno avuto sviluppo in varie parti del mondo e risulterebbe arduo compiere una rassegna esauriente, che d'altronde non rientra nelle finalità di questa nota; fra di esse val la pena di ricordare quelle condotte in Giappone (per esempio: Ota & Yoshikawa, 1978; Ota, 1986) e in Italia (per esempio nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica: CNR, 1978, 1979, 1980, 1982). Una recente sintesi è stata compiuta da Keller *et al.* (1996).

Un altro aspetto morfologico, al quale è stato fatto riferimento per alcune deduzioni di carattere neotettonico, concerne la tipologia del reticolo idrografico: per esempio quelli asimmetrici, angolati o rettilinei possono in certi casi indicare la presenza di sollevamenti differenziali o di sistemi di dislocazioni. Si veda a questo proposito la messa a punto di Schumm (1986) e i lavori dei numerosi autori che si sono occupati dell'argomento (cf. Morisawa & Hack, 1985). A titolo di esempio si può citare un recente lavoro di Cox (1994), nel quale viene proposta una tecnica di analisi della simmetria di un bacino di drenaggio, che permette di quantificare la principale direzione di migrazione per tutti i corsi d'acqua di un certo ordine e grandezza e di distinguere se la migrazione sia dovuta a processi fluviali o a forze esterne.

LAVORI CITATI

- Allen C.R., 1975 - *Geological criteria for evaluating seismicity*. Geol. Soc. Amer. Bull., **86**, 1041-1057.
- Bell B.H. (Ed.), 1992 - *Landslides*. Proc. 6th Int. Symp. on Landslides, Christchurch, 10-14/2/1992. Balkema, Rotterdam, 3 vol., 1495 pp.
- Bollettinari G. & Panizza M., 1981 - *Una "faglia di superficie" presso S.Gregorio Magno in occasione del sisma del 23-XI-1980 in Irpinia*. Rend. Soc. Geol. It., **4**, 135-136.
- Bonilla M.G. & Buchanan J.M., 1970 - *Interim report on worldwide historic surface faulting*. U.S. Geol. Surv., Open-File Report, 32 pp., Menlo Park.
- Bosi C., Cavallo R. & Francaviglia V., 1973 - *Aspetti geologici e geologico-tecnici del terremoto della valle del Belice del 1968*. Mem. Soc. Geol. Ital., **12**, 81-130.
- Carrara A., Agnesi V., Macaluso T., Monteleone S. & Pipitone G., 1986 - *Slope movements induced by the southern Italy earthquake of November 1980*. In: Cotecchia V. (Ed.), *Engineering geology problems in seismic areas*. Proc. Int. Symp. IAEG, Bari, 13-19/4/1986, **2**, 237-250.
- Castaldini D., 1996 - *Earthquake-triggered mass movements*. In: Panizza M., *Environmental Geomorphology*. Elsevier, Amsterdam, 180-187.
- Castaldini D. & Panizza M., 1988 - *Morfoneotettonica del lago Baikal e della Tunka Valley (URSS)*. Geogr. Fis. Din. Quat., Suppl., **1**, 247-249.
- Cavallin A., Martinis B. & Sfondrini G., 1977 - *Effetti geologici del terremoto: fenditure nel terreno e "vulcanelli" di sabbia*. In: Martinis B. (Ed.), *Studio geologico dell'area maggiormente colpita dal terremoto friulano del 1986*. Riv. Ital. Pal. Strat., **83**, 369-393.
- C.N.R., 1978-1982 - *Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*. P.F. Geodinamica, Pubbl. 155, 251, 356 e 506, Giannini, Napoli.
- C.N.R., 1983 - *Neotectonic Map of Italy*. P.F. Geodinamica, Roma.
- Cotecchia V., 1987 - *Earthquake-prone environments*. In: Anderson M.G. & Richards K.S. (Ed.), *Slope stability*, Wiley & S., New York, 287-330.
- Cox R.T., 1994 - *Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment*. Geol. Soc. Amer. Bull., **106**, 571-581.
- Demangeot J., 1973 - *Néotectonique et dépôts quaternaires dans l'Apennin*. Quad. Accad. Naz. Lincei, **183**, 215-232.
- Deng Q. & Zhang P., 1984 - *Research on the geometry of shear fracture zones*. J. Geophys. Res., **89**, 5699-5710.
- Diederix H., Gómez H., Khobzi J. & Singer A., 1987 - *Indicios neotectonicos de la falla de Ibagué en el sector Ibagué-Piedras, Departamento del Tolima, Colombia*. Rev. CIAF, Colombia, **11**(2), 242-252.
- Gerasimov I.P., 1946 - *Experience with geomorphological interpretation of the general scheme of geological structure of URSS*. Probl. Fizich. Geogr., **12**, 89-115.
- Govi M. & Sorzana P.F., 1977 - *Effetti geologici del terremoto: frane*. In: Martinis B. (Ed.), *Studio geologico dell'area maggiormente colpita dal terremoto friulano del 1986*. Riv. It. Pal. Strat., **83**, 329-368.
- Keefer D.K., 1984 - *Landslides caused by earthquakes*. Geol. Soc. Amer. Bull., **95**, 406-421.
- Keller E.A., Sanz de Galdeano C. & Chacòn J., 1996 - *Active tectonics, geomorphology and paleoseismicity: some basic concepts*. Proc. VI Congr. Nac. y Conf. Intern. Geol. Amb. y Orden. Terr., Granada, 22-25/4/96, 327-339.
- Lubetkin L.K. & Clark M.M., 1988 - *Late Quaternary activity along the Lone Pine fault, eastern California*. Geol. Soc. Amer. Bull., **100**, 755-766.
- Morisawa M. & Hack J.T. (Ed.), 1985 - *Tectonic Geomorphology*. Allen & Unwin, Boston, 390 pp.
- Nilsen T.H. & Brabb E.E., 1975 - *Landslides*. In: Borchardt R.D. (Ed.), *Studies for seismic zonation of the San Francisco bay region*. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 941-A, 75-87.
- Ota Y., 1986 - *Marine terraces as reference surfaces in late Quaternary tectonics studies: examples from the Pacific Rim*. In: Reilly W.I. & Harford B. (Ed.), *Recent crustal movements of the Pacific region*. N.Z. Royal Soc. Bull., **24**, 357-375.
- Ota Y & Yoshikawa T., 1978 - *Regional characteristics and their geodynamic implications of late Quaternary tectonic movement deduced from deformed*

- former shorelines in Japan. *J. Phys. Earth*, **26**, Suppl., 379-389.
- Panizza M., 1988 - *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d'Impatto Ambientale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 342 pp.
- Panizza M., 1991 - *Geomorphology and seismic risk*. *Earth Sci. Reviews*, **31**, 11-20.
- Panizza M., 1996 - *Environmental Geomorphology*. Elsevier, Amsterdam, 268 pp.
- Panizza M., Castaldini D. et al., 1987 - *Neotectonic research in applied geomorphological studies*. *Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd.* **63**, 173-211.
- Panizza M. & Piacente S., 1976 - *Convergenza geomorfologica di morfosculture eterogenetiche*. *Gr. St. Quat. Pad. Quad.*, **3**, 39-44.
- Panizza M. & Piacente S., 1978 - *Rapporti fra Geomorfologia e Neotettonica. Messa a punto concettuale*. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, **1**, 25-27.
- Plafker G., Ericksen G.E. & Fernandez Concha J., 1971 - *Geological aspects of the May 31, 1970, Perù earthquake*. *Seism. Soc. Amer. Bull.*, **61**(3), 543-578.
- Richter C.F., 1958 - *Elementary Seismology*. Freeman & Co., San Francisco, 768 pp.
- Schumm S.A., 1986 - *Alluvial river response to active tectonics*. In: Wallace R.E. (Ed.), *Studies in Geophysics: active tectonics*. Nat. Acad. Press, Washington D.C., 80-94.
- Serva L., Sylos Labini S. & Vittori E., 1987 - *Paleoisologia, rassegna ragionata dello stato dell'arte*. *Geol. Romana*, **26**, 389-412.
- Solonenko V.P., 1977 - *Landslides and collapses in seismic zones and their prediction*. *IAEG Bull.*, **15**, 4-8.
- Tazieff H., 1960 - *A propos de la signification tectonique des importants glissements de terrain provoqués par le grand séisme du Chili de mai 1960*. *C.R. Acad. Sc. Paris*, **251**, 2204-2206.
- Wegmann E., 1957 - *Tectonique vivante. Dénudation et phénomènes connexes*. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, **1**(1), 3-15.

Testo definitivo ricevuto il: 5. 6. 1997

Final text received: June 5, 1997