

# Approccio multidisciplinare per lo studio di spostamenti cosismici su piani di faglia: un esempio di applicazione (Colfiorito (MC))

G. Scalella (1) & R. Di Francesco (2)

(1) Regione Marche, Autorità di Bacino Regionale, Ancona (Italy)

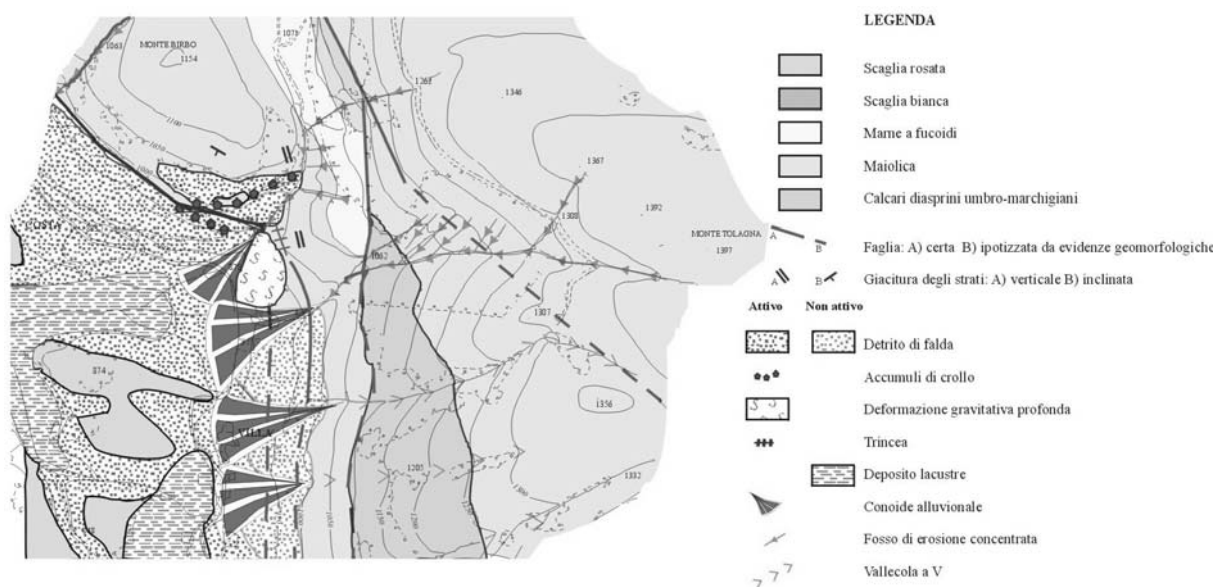
(2) GEO&GEO Instruments, Teramo (Italy); [www.geoandgeo.com](http://www.geoandgeo.com)

## Introduzione

I danni osservati in occasione della sequenza sismica Umbria-Marche del 1997 hanno ulteriormente evidenziato la funzione che i principi ed i metodi della Geomorfologia Sismica e dell'Ingegneria Geotecnica rivestono nell'interpretazione degli effetti indotti dal sisma e nel successivo trasferimento delle conoscenze acquisite nelle scelte progettuali e normative post-terremoto. La conoscenza delle caratteristiche del moto vibratorio del terreno in superficie a seguito di un evento sismico è di fondamentale importanza per la comprensione del comportamento ambientale in condizioni di sollecitazioni sismiche. Com'è noto tali caratteristiche, in condizioni di free-field, sono il risultato di un insieme di fenomeni molto complessi che possono essere raggruppati in tre categorie fondamentali: 1 meccanismo di sorgente; 2 - propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito; 3 - risposta sismica locale.

Lo studio dei processi di generazione e propagazione porta alla definizione di un moto sismico di ingresso al sito, altresì definito come "segnale di ingresso". L'insieme delle modifiche apportate al moto sismico di ingresso dalle particolari caratteristiche del sito costituisce il problema della "risposta sismica locale". L'esistenza di numerose misure di moto vibratorio sia in superficie che in profondità, effettuate in occasione di diversi terremoti in tutto il mondo, hanno consentito di valutare come il "Fattore di Amplificazione Dinamica", espressione generale della "risposta sismica locale" possa raggiungere valori molto elevati e variabili.

L'estrapolazione di tali considerazioni all'area analizzata ha consentito di valutare la mobilitazione cosismica di una falda detritica adagiata su un piano di faglia sulla quale è stato osservato un gradino topografico con rigetto verticale medio di 21 centimetri. Al fine di ottenere un modello fisico compatibile, è stata eseguita un'analisi geomorfologica di dettaglio del sito, successivamente tarata da una prospezione geofisica tipo sismica a rifrazione e riflessione. La formulazione del problema è stata infine completata con analisi numeriche sia alle differenze finite che ad elementi finiti, ottenendo un quadro clinico di riferimento convergente con fenomeni di mobilitazione della falda detritica giacente sul piano di faglia.



**Fig. 1** – Carta geologico-geomorfologica schematica dell'area (Scala 1: 10.000 circa)  
Costruzione del modello fisico del problema

Considerate la complessità e la finalità del lavoro di ricerca e la scelta/necessità di ricorrere ad analisi mediante modelli numerici, è stato necessario ricostruire preliminarmente il modello fisico del versante, in termini di geometria e meccanica del problema. Tale procedura ha richiesto l'esecuzione di un rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio, finalizzato allo studio del sistema di fratturazione del sottosuolo, della dinamica del versante ed alla progettazione di una corretta campagna di prospezioni geofisiche. In questa zona risulta particolarmente evidente la relazione tra sismicità e risposta del terreno in termini di effetti superficiali. Sul versante meridionale di M. Birbo (Comune di Serravalle di Chienti (MC)), affiorano i calcari micritici della Formazione della Maiolica i cui strati sono generalmente disposti a traversopoggio con un'inclinazione di circa 35°. Un piano di faglia immergente verso sud interrompe la continuità del pendio con un piano in roccia inclinato di 55° su cui poggia una coltre detritica di spessore variabile fino a circa 30 m nella parte a valle che ricopre la Formazione della Scaglia rossa. I dati acquisiti dalle prospezioni sismiche (sia in sismica a rifrazione che a riflessione High-Resolution) hanno evidenziato, in profondità, una zona di alterazione al passaggio tra la massa detritica e il substrato roccioso. L'interpretazione finale del profilo ha consentito di dimostrare la presenza di più sistemi di fratture e di faglie all'incirca parallele a quelle misurabili in affioramento. Essi consentono, con buona approssimazione, di sostenere l'ipotesi che l'intero bacino è interessato da una serie di sistemi di frattura e faglie dirette che hanno dislocato i fianchi occidentali delle anticlinali con rigetti progressivi la cui evoluzione è stata costantemente controllata dalle interazioni tra evoluzione geomorfologica e tettonica. Tutte le indagini sono state infine sintetizzate e utilizzate come base per la costruzione dei modelli numerici.

#### Analisi numeriche

##### *Analisi con il metodo delle differenze finite*

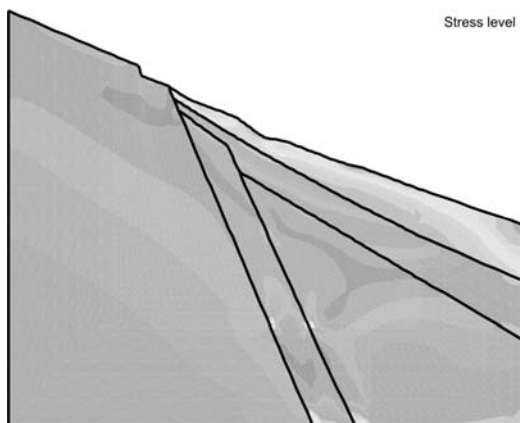
La modellazione della sezione di riferimento è stata effettuata con il metodo alle differenze finite, basato su di uno schema di calcolo "Lagrangiano" e modellando i terreni con criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Dall'analisi dei diagrammi ottenuti si deduce che l'intensa fratturazione osservata poco a monte del piano di faglia e del deposito in oggetto non sarebbe da interpretare come una conseguenza diretta degli eventi sismici dell'autunno '97, ma come fratture di trazione tipiche delle zone a monte delle nicchie di distacco di molti fenomeni gravitativi (Scalella *et alii*, 1998).

##### *Analisi con il metodo degli elementi finiti*

Nella formulazione del problema agli elementi finiti tutti i terreni sono stati invece modellati come un mezzo elastico non lineare-perfettamente plastico, caratterizzato dalla superficie di snervamento di Drucker-Prager e da una regola di flusso deviatorico ( $\psi = 0$ ), con criterio di rottura (Nova R., 2002):

$$\sigma_1'^2 + \sigma_2'^2 - \sigma_1'\sigma_2' - \sigma_1'\sigma_3' - \sigma_2'\sigma_3' - \left[ \mu(\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3') + k \right]^2 = 0$$

che consente, con una appropriata scelta dei parametri  $\mu$  e  $k$ , di superare i punti di singolarità matematica propri del criterio di Mohr-Coulomb. La formulazione della non-linearità è stata risolta mediante l'adozione dello schema iterativo di Newton-Raphson modificato, il quale consente un onere computazionale minore.



**Fig. 2** – Stress level dell'area analizzata in condizioni di sollecitazione sismica  
Anche tale analisi, con particolare riferimento allo "stress level" di cui alla fig. 2, ha ulteriormente

dimostrato come in condizioni sismiche lo stato di sollecitazione sia tale da destabilizzare la massa detritica e produrre un rigetto topografico convergente con i dati rilevati.

### Conclusioni

I rilievi e le analisi geomorfologiche hanno evidenziato l'esistenza di un detrito di versante riattivato in condizioni di sollecitazione sismiche. L'esecuzione di prospezioni sismiche sia a rifrazione che a riflessione hanno consentito di definire il modello fisico del problema. Le analisi numeriche condotte sia con il metodo delle differenze finite con gli elementi finiti hanno confermato le ipotesi di lavoro, attribuendo il rigetto topografico di 21 cm alla riattivazione cosismica del detrito di versante.

Monitoraggi periodici del pendio hanno poi messo in evidenza come l'ulteriore ampliamento di dette fratture osservati in seguito alle intense precipitazioni di fine estate-inizio autunno '98 siano a conferma del carattere prettamente "gravitativo" delle stesse. Una condizione di elevata instabilità è peraltro confermata dai parametri geometrici e sedimentologici rilevati lungo il versante: l'angolo di circa 45° del pendio risulterebbe infatti troppo elevato in relazione a quello d'attrito del materiale (35°-37°), pur aumentato da un moderato grado di cementazione. Lo stesso sistema di fratturazione, estremamente diffuso, con direzioni prevalenti N130-N140 e N80-N-110, concorrerebbe, insieme alla giacitura degli strati, alla formazione di potenziali cunei di scorrimento.

### Bibliografia

AA.VV.,: 1997: Ingegneria sismica. Patron editore

AA.VV.,: 1998: Ingegneria sismica. Patron editore

AA.VV., 2000: Natural Hazards on built-up areas. Intensive course, Camerino, september 25th – 30th

Boschi E., Cocco M.: 1997: Studi preliminari sulla sequenza sismica dell'Appennino Umbro-Marchigiano del settembre-ottobre 1997. Pubblicazione Istituto Nazionale di Geofisica n. 593

Nova R. 2002. Fondamenti di meccanica delle terre, The McGraw-Hill Companies srl (Italy).

Scalella G.; 2000: Analisi geomorfologiche in aree interessate da neotettonica (Appennino Umbro-Marchigiano e fascia periadriatica). Università di Perugia Tesi di Dottorato inedita.

Tondi E., Cello G. & Mazzoli S., 1997 - Strutture sismogenetiche in Appennino centrale: potenziale sismico, analisi frattale e processi di crescita. Il Quaternario, 10, (2)