

Matrici per la valutazione dei livelli di rischio in debris flow

Giulio Ciaravino¹, Luca Ciaravino², Giuseppe Grimaldi³, Gerardo Lombardi³, Nicola Maddaloni³, Crescenzo Minotta³, Luigi Stefano Sorvino³

¹ Autore corrispondente. Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale Girolamo Ippolito, via Claudio 21 – 80125 Napoli, fax: 081-5938936. Università degli Studi di Napoli Federico II, e-mail: giulio.ciaravino@unina.it.

² Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale Girolamo Ippolito, Università degli Studi di Napoli Federico II, e-mail: lciaravi@unina.it.

³ Autorità di Bacino Destra Sele, Regione Campania, e-mail: segretario.generale@abds.it

Matrixes for evaluation of risk level in debris flow

ABSTRACT: The study of the phenomenon of debris flow, still faraway from conclusion, evolves toward techniques and mathematical models more and more sophisticated and sometimes characterized by a certain complexity from the applicative point of view. In the practice, especially in the technical-administrative field, simple tools are needed for immediate application with the following aims: identification of territorial areas under risk; evaluation of suitable works for risk mitigation; definition of alert systems for the civil protection. The present paper analyzes particular matrixes that, even if characterized by intrinsic limitation, easily allow, by means of the assessment of a reduced number of simplified parameters, an evaluation of the levels of risk and of attention in the phenomena of slope instability concerning single Reference Territorial Unities (UTR). Finally the importance of the instrumental monitoring of the UTR has been pointed out with the aims of civil protection planning.

Key terms: debris flow; risk matrixes; attention threshold; slope monitoring.

Termini chiave: debris flow; matrici di rischio; soglia di attenzione; monitoraggio dei versanti.

Riassunto

Lo studio del fenomeno del debris flow, ancora lontano dall'essere concluso, evolve verso tecniche e modellazioni matematiche sempre più sofisticate ed a volte di una certa complessità dal punto di vista applicativo.

Nella pratica, specialmente nel campo tecnico-amministrativo, si richiedono strumenti semplici e di immediata applicazione ai fini: dell'individuazione delle zone territoriali a rischio; della valutazione di opportuni interventi di mitigazione del rischio; della definizione di sistemi di allarme per la protezione civile.

Nel presente lavoro si sono analizzate particolari matrici che, pur nella loro intrinseca limitatezza, consentono una agevole valutazione, attraverso la stima di un contenuto numero di parametri semplificati, dei livelli di rischio e di attenzione nei fenomeni di mobilitazione dei versanti riguardanti singole Unità Territoriali di Riferimento (UTR).

Si è evidenziata, infine, l'importanza del monitoraggio strumentale delle UTR ai fini dei piani di protezione civile.

Introduzione

A partire dai primi studi realmente sistematici di scuola giapponese (Takahashi, 1977, 1991) ed americana

(Jenkins, Savage, 1983; Johnson, Jackson, 1987), i fenomeni di debris flow hanno attirato sempre più l'attenzione di ricercatori, tecnici ed anche amministratori pubblici a causa dell'accresciuta frequenza e pericolosità con cui essi si sono presentati in questi ultimi anni.

L'incremento di tale frequenza e pericolosità è in parte dovuto a possibili modificazioni delle intensità degli eventi estremi (cambiamenti climatici) ma, soprattutto, è legato alle modificazioni dell'equilibrio idrogeologico ed ambientale dovute ad interventi antropici sul territorio (quali disboscamenti, modificazioni topografiche, alterazioni delle reti di drenaggio, mancata sorveglianza e manutenzione del territorio).

La penuria e l'elevato costo delle aree edificabili ed, a volte, la mancanza di strumenti urbanistici ha spinto (o per pura ignoranza, o per deprecabile incompetenza tecnica, o per colpevole speculazione edilizia) ad un uso indiscriminato del territorio portando insediamenti, sia residenziali, sia produttivi, sia a volte pubblici, in zone ad elevata pericolosità idrogeologica.

Pertanto tali insediamenti, atteso l'accadimento improvviso ed il cinematismo estremamente rapido che caratterizza i fenomeni di debris flow, risultano sottoposti ad elevato rischio ed, in effetti, i non lontani eventi disastrosi verificatisi in Campania nel maggio 1998 hanno dato un drammatico esempio delle conseguenze che è

possibile attendersi da tale rischio.

Il complesso studio delle colate rapide (sia detritiche che fangose), lontano dall'essere concluso, si muove sostanzialmente su due ampie direttrici.

La prima tende a determinare le proprietà reologiche e le leggi dinamiche dei debris flow che consentano di approfondire, attraverso opportune modellazioni matematiche, i problemi di moto (e di arresto) e progettuali legati ad opere di contenimento e/o governo dei volumi mobilitati (Seminara, Tubino, 1993; Tubino, Lanzoni, 1994; Di Silvio, Gregoretti, 1997; Iverson, 1997; Armanini et al., 2000, 2001, 2002).

La seconda direttrice vede impegnati i ricercatori alla definizione di criteri che consentano la individuazione delle condizioni critiche per le quali si produca l'innescio del fenomeno di debris flow (Celico et al., 1986; Montgomery, Dietrich, 1994; Sirangelo, Versace, 1996; Dietrich, Montgomery, 1998; Rossi, Chirico, 1998; Iverson et al., 2000; Dietrich et al., 2001; Mancini et al., 2002; Rosso, 2002; Guadagno, Revellino, 2005).

La ricordata complessità dei fenomeni fisici in gioco comportano l'adozione di schemi e modelli sempre più sofisticati sia nel campo dinamico che previsionale.

Per contro le Pubbliche Amministrazioni sono interessate a strumenti semplici e di immediata applicabilità tecnica e normativa che consentano:

- l'individuazione di zone territoriali a rischio (reale e potenziale);
- la determinazione di normative tecniche per la valutazione e progettazione di interventi (strutturali e non strutturali) di mitigazione del rischio;
- l'elaborazione di sistemi di allarme finalizzati ai piani di protezione civile.

In tal caso uno strumento di notevole semplicità ed immediatezza per l'inquadramento dei livelli di rischio è rappresentato dalla elaborazione di opportune matrici che pur nei loro intrinseci limiti possono rappresentare un utile ausilio nell'attività di indirizzo e coordinamento.

Considerazioni sulle matrici di valutazione del rischio

Il parametro rischio, di norma, si identifica nel valore del danno che può verificarsi in elementi contraddistinti da una data vulnerabilità in corrispondenza del verificarsi di un evento di data pericolosità.

La stima del rischio è pertanto una valutazione non assoluta ma relativa, essendo legata alla natura dei vari elementi in gioco ed alla loro vulnerabilità, nonché al particolare evento ed alla sua pericolosità.

E' necessario, quindi, individuare una gerarchia tra gli elementi che consenta di individuare una scala di priorità nelle varie concorrenziali possibili stime.

Di norma la gerarchizzazione si basa sul riconosciuto valore primario rappresentato dalla vita umana e, pertanto,

le matrici di stima del rischio vengono costruite sulla interazione tra il grado di pericolosità P e la vulnerabilità degli elementi esposti antropici E (e subordinatamente degli elementi ambientali).

Si individuano, quindi, i diversi gradi di pericolosità P, di vulnerabilità degli elementi antropici E per ottenere il grado di rischio R. In particolare si possono individuare i seguenti crescenti quattro gradi (moderato, medio, elevato, molto elevato) di pericolosità P per le individuabili UTR (Unità Territoriali di Riferimento omogenee per caratteri morfologici e litologici per i processi di versante) (Regione Campania, 2002):

- P1, versanti caratterizzati da fattori predisponenti a fenomeni evolutivi di intensità bassa, di intensità media inattivi (conoide detritico fangosa inattiva), od a fenomeni di intensità media/elevata e bassa magnitudo (volume mobilitato molto limitato);
- P2, versanti caratterizzati da fattori predisponenti a fenomeni evolutivi di intensità media, di intensità elevata ma magnitudo media;
- P3, versanti caratterizzati da fattori predisponenti a fenomeni evolutivi di intensità e magnitudo elevate, colata rapida di fango inattiva, colata lenta attiva, zona di alimentazione colate lente, zona di alimentazione colamenti lenti, colamenti quiescenti, colata lenta, zona di alimentazione di colate rapide in terreni prevalentemente argillosi, colata rapida in terreni prevalentemente marnoso-argillosi;
- P4, versanti caratterizzati da colate rapide di fango, colate rapide di fango quiescenti, zone di alimentazione delle colate rapide di fango.

La magnitudo M (grado di severità dell'evento) dei processi gravitativi è legata al volume mobilizzabile W ed alla velocità V di tale massa :

$$M = f (W , V) .$$

La magnitudo, in sostanza, è riconducibile agli spessori delle coltri dei versanti, a possibili pendenze limiti ed all'energia cinetica delle masse mobilizzabili. La stima di tali parametri è legata alla conoscenza delle caratteristiche peculiari del bacino e del reticolo idrografico ed, in genere, è eseguita attraverso criteri semi-empirici.

Nel caso più generale, nel quale il fenomeno di instabilità può interessare una superficie di bacino che va oltre la superficie della sola rete idrografica, il volume W mobilizzabile è stimabile approssimativamente mediante la relazione (Seminara, Tubino, 1993) :

$$W = G_s \cdot W_s \cdot S$$

dove S è la superficie (Km²) del bacino, G_s è un coefficiente correttivo di contributo solido specifico del bacino (variabile da 0.5, per S=10Km², a 3.0, per S=0.1Km²) e W_s è il volume specifico mobilizzabile per unità di superficie (variabile tra 30.000 e 100.000 m³/Km² in funzione delle caratteristiche geologiche delle coltri di

copertura dei versanti).

Nel caso di colata rapida di fango la velocità V può essere stimata in prima approssimazione (Takahashi, 1991) con la relazione di Manning :

$$V = K^{3/5} \cdot (Q/B)^{2/5}$$

con

$$K = N_M^{-1} \cdot (\sin\theta)^{1/2}$$

e

$$Q = Q_T \cdot C^* / (C^* - C_\infty)$$

nelle quali N_M è il coefficiente di Manning (con valori sperimentali compresi tra 0.05 e 0.10 s/m^{1/3}), θ è la pendenza del tronco di trasporto, Q è la portata totale della colata, Q_T è la portata liquida, C^* e C_∞ sono rispettivamente la concentrazione volumetrica di massimo impaccamento della fase solida e la concentrazione volumetrica di equilibrio della fase solida (in moto uniforme), B è la larghezza del tronco di trasporto.

La vulnerabilità degli elementi esposti E viene generalmente classificata attraverso i seguenti criteri:

- E1, patrimonio ambientale in sostanziale assenza di infrastrutture ed attività antropiche;
- E2, case sparse, infrastrutture a rete e vie di comunicazione (autostrade, strade statali, provinciali e comunali);
- E3, nuclei abitati, aree con insediamenti produttivi ed impianti tecnologici di rilievo;
- E4, agglomerati urbani principali e beni culturali di interesse.

La matrice di valutazione del Rischio, costruita a partire dai su riportati gradi di pericolosità P ed elementi vulnerabili E , è rappresentata in Tab. 1.

Tabella 1. Matrice di valutazione del rischio
Matrix of risk evaluation

	P 1	P 2	P 3	P 4
E 1	R 1	R 1	R 2	R 2
E 2	R 1	R 2	R 3	R 3
E 3	R 2	R 2	R 3	R 4
E 4	R 2	R 3	R 4	R 4

Nella matrice si riconoscono i seguenti livelli di rischio R :

- R1 (rischio moderato), territori in cui il danno antropico atteso è nullo, come sostanzialmente quello sociale, e dove il danno ambientale ed economico è modesto; in tali zone possono essere attesi solo fenomeni di intensità e magnitudo di modesta entità;
- R2 (rischio medio), territori in cui il danno antropico

atteso è sempre nullo dove, però, sono possibili modesti danni agli edifici (che non ne pregiudicano l'agibilità), alle infrastrutture a rete e viarie (che non ne pregiudicano la funzionalità) ed al patrimonio ambientale (che non interrompano le attività economiche); in tali zone possono verificarsi fenomeni a bassa intensità che mobilitano anche notevoli volumie fenomeni ad intensità e magnitudo media;

- R3 (rischio elevato), territori in cui sono possibili danni alle persone (senza però perdite di vite umane), agli edifici (con inagibilità), alle infrastrutture (con riduzione della funzionalità), interruzione delle attività socio-economiche e danni ambientali rilevanti; in tali zone possono essere attesi eventi di intensità elevata e magnitudo media;
- R4 (rischio molto elevato), territori in cui sono possibili perdite di vite umane, danni gravi agli edifici (anche con crolli), alle infrastrutture (con perdita della funzionalità), al patrimonio ambientale, con distruzione di attività socio-economiche; in tali zone possono essere attesi eventi di intensità e magnitudo elevata e molto elevata (colate rapide di fango).

In effetti, ad un'analogia matrice di definizione dei livelli di rischio R si può giungere associando alla vulnerabilità degli elementi esposti E un indice di danno potenziale atteso E_D definito nelle quattro seguenti classi:

- E_D1 , danno potenziale basso;
- E_D2 , danno potenziale medio;
- E_D3 , danno potenziale alto;
- E_D4 , danno potenziale altissimo.

E' evidente che la matrice risponde alla primaria esigenza consistente nel poter suddividere il territorio in zone a diverso grado di rischio ai fini tecnico-amministrativi (per esempio per l'aggiornamento degli strumenti urbanistici).

In tal senso l'individuazione delle zone a diverso rischio rappresenta una necessaria propedeutica fase di atti di indirizzo e programmazione che possono riguardare sia attività urbanistiche e/o produttive, sia la previsione di opere di mitigazione del rischio stesso.

In buona sostanza si possono programmare interventi che, diminuendo la pericolosità P e/o la vulnerabilità degli elementi esposti E , ovvero il danno potenziale atteso E_D , determinino la mitigazione del rischio R .

I possibili interventi di mitigazione del rischio possono essere suddivisi in interventi strutturali ed interventi non strutturali; questi ultimi sono sostanzialmente interventi di tipo amministrativo tendenti a regolamentare destinazione d'uso dei territori e/o attivare strumenti di monitoraggio e prevenzione (di cui si dirà più avanti).

Gli interventi strutturali possono a loro volta essere suddivisi in interventi di protezione attiva (atti ad incidere sulla genesi dei fenomeni di mobilitazione dei versanti diminuendo o eliminando la magnitudo del debris flow)

ed interventi di protezione passiva (atti a contenere e/o governare le masse mobilizzate).

Nel primo tipo di interventi possono essere comprese:

- le opere di stabilizzazione e sagomatura dei versanti;
- le opere di piantumazione ed ingegneria naturalistica;
- le opere di irregimentazione, sistemazione e stabilizzazione della rete idrografica superficiale;
- le opere di stabilizzazione del versantetramite drenaggi (superficiali e/o profondi).

Nel secondo tipo possono essere comprese:

- le opere di contenimento ed accumulodelle masse mobilitate;
- le opere di governo e di deviazione del flusso di colata.

Tenendo conto della diversa natura di tali due tipologie di interventi è possibile ipotizzare, da un canto, di mettere in relazione gli interventi strutturali attivi con la magnitudo M dell'evento per ottenere una valutazione/mitigazione del grado di pericolosità P e, dall'altro, di mettere in relazione gli interventi strutturali passivi con la stessa magnitudo M per ottenere una valutazione/mitigazione del grado del danno atteso E_D (ovvero della vulnerabilità degli elementi esposti E).

In altre parole si lega, in via semplificativa, la pericolosità P alla esecuzione di opere finalizzate a mitigare la mobilità dei versanti, mentre si lega il danno atteso E_D (ovvero la vulnerabilità E) alla esecuzione di opere finalizzate ad impedire l'impatto sugli elementi antropici. Si ottengono pertanto, nel caso si operino degli interventi che tendano a immobilizzare o contenere i flussi detritici, due matrici di notevole immediatezza riportate in Tab. 2 e Tab. 3.

Tabella 2. Matrice di valutazione di mitigazione di pericolosità
Matrix of hazard mitigation evaluation

	M_S1	M_S2	M_S3	M_S4
$I_A 1$	P 1	P 1	P 2	P 2
$I_A 2$	P 1	P 2	P 3	P 3
$I_A 3$	P 2	P 3	P 3	P 4
$I_A 4$	P 2	P 3	P 4	P 4

Nelle due matrici la magnitudo M , nell'ipotesisemplificativa proposta denominata M_S , è posta in funzione della superficie S del bacino (quindi del solo volume mobilitabile W) e cioè si propone: M_S1 per $S < 10^4 m^2$; M_S2 per $10^4 m^2 \leq S < 10^5 m^2$; M_S3 per $10^5 m^2 \leq S < 10^6 m^2$; M_S4 per $S \geq 10^6 m^2$.

Nella matrice di Tab. 2 l'indicatore degli interventi strutturali attivi I_A viene posto in funzione dellarealizzazione delle quattro tipologie di opere su riportate (opportunamente gerarchizzateper ogni singola UTR) e pertanto, sempre in via semplificativa, in funzione

del semplice rapporto percentuale r_A tra le opere di mitigazione effettivamente eseguite e/o programmate e quelle necessarie per la completa stabilizzazione del versante della UTR (ad esempio se viene prevista l'esecuzione di tutte le tipologie necessarie alla completa stabilizzazione del versante è $r_A=1$; se viene prevista l'esecuzione, invece, di solo alcune delle tipologie necessarie alla completa stabilizzazione è $r_A < 1$).

Si propone pertanto: I_A1 per $r_A=1$; I_A2 per $1 < r_A < 0.50$; I_A3 per $0.50 \leq r_A < 0.25$; I_A4 per $r_A \leq 0.25$.

Nella matrice di Tab. 3 gli interventi strutturali passivi I_P vengono codificati in funzione del rapporto percentuale r_P tra il volume w_P che si prevede di contenere e/o governare con le opere di mitigazione ed il volumemobilizzabile W .

Si propone in tal caso: I_P1 se $r_P=1$; I_P2 se $1 < r_P \leq 0.75$; I_P3 se $0.75 < r_P \leq 0.50$; I_P4 se $r_P \leq 0.50$.

Tabella 3. Matrice di valutazione di danno degli elementi esposti
Matrix of damage evaluation of exposed elements

	M_S1	M_S2	M_S3	M_S4
$I_P 1$	$E_D 1$	$E_D 1$	$E_D 2$	$E_D 2$
$I_P 2$	$E_D 1$	$E_D 2$	$E_D 3$	$E_D 3$
$I_P 3$	$E_D 2$	$E_D 3$	$E_D 3$	$E_D 4$
$I_P 4$	$E_D 2$	$E_D 3$	$E_D 4$	$E_D 4$

Tali due ultime matrici, pur nella loro intrinseca limitatezza, consentono agevoli preliminari raffronti (con un test semplice e per quanto possibile oggettivo) tra le varie ipotesi di lavoro riguardanti la mitigazione del rischio e pertanto possono supportare l'azione tecnico-amministrativa riguardante: la realizzazione del programma degli interventi; l'analisi socio-economica degli investimenti necessari alla difesa del territorio; la definizione, quindi, di atti di indirizzo e coordinamento.

Matrici di valutazione di soglia di attenzione

Come si è avuto modo di ricordare, una terza azione tecnico-amministrativa è rappresentata dall'elaborazione di sistemi di allarme, preventivi al verificarsi dei fenomeni di colata, finalizzati ai piani di protezione civile.

Diversi metodoprevisionali che cercano di supportare tale azione sono stati proposti negli ultimi anni; i più innovativi e forieri di interessanti risultatiappaiono i metodi che legano i modelli di stabilità del terreno con i modelli di infiltrazione e trasporto delle acque (Montgomery, Dietrich, 1994; Dietrich et al., 2001).

Un modello di stabilità del pendio in genere si basa sulla validità della legge di Mohr-Coulomb che definisce la resistenza a taglio τ del terreno :

$$\tau = c_t + (\sigma - p_w) \cdot \tan \Phi$$

dove c_e è la coesione effettiva del terreno, σ è lo sforzo normale, p_w è la pressione interstiziale dell'acqua, Φ è l'angolo di attrito interno.

Trascurando (a favore di sicurezza) c_e la precedente relazione si può scrivere (Rosso, 2002) :

$$(\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos\theta) \cdot \sin\theta = (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2\theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2\theta) \cdot \tan\Phi$$

dove ρ_s e ρ_w sono rispettivamente la densità del terreno e dell'acqua, g è l'accelerazione di gravità, z è la quota della coltre di terreno, θ è la pendenza del versante, h è il livello della falda acquifera (con riferimento a z).

Ricavando dall'ultima relazione il rapporto h/z :

$$h/z = (\rho_s / \rho_w) \cdot (1 - \tan\theta / \tan\Phi)$$

vengono evidenziate condizioni di instabilità anche nel caso di terreno non saturo.

In particolare la stabilità dipende dal livello di falda quando $(1 - \rho_w / \rho_s) \tan\Phi < \tan\theta < \tan\Phi$:

- la coltre è stabile se $(1 - \rho_w / \rho_s) \tan\Phi < \tan\theta < \tan\Phi$ e $h/z < (1 - \tan\theta / \tan\Phi) \cdot \rho_s / \rho_w$;
- la coltre è instabile se $(1 - \rho_w / \rho_s) \tan\Phi < \tan\theta < \tan\Phi$ e $h/z > (1 - \tan\theta / \tan\Phi) \cdot \rho_s / \rho_w$.

Si può anche notare che i processi di mobilitazione si innescano quando le piogge causano appesantimenti della parte superficiale della coltre del versante e l'infiltrazione determina pressioni neutrali che annullano le forze di coesione e d'attrito.

Appare utile in via presuntiva, pertanto, la determinazione di una matrice per la valutazione di una soglia di attenzione A (ancora suddivisa in quattro campi, da moderata a molto elevata) legata ad un parametro di severità dell'evento meteorico H, funzione della intensità di pioggia, ed ad un parametro F di stato e proprietà del terreno, funzione del rapporto h/z .

Tali parametri vanno tarati su ogni singola UTR (con caratterizzazione della geometria e delle proprietà idrologiche del terreno) e ciò richiede naturalmente approfondimenti specifici.

Procedendo, peraltro, ancora in via semplificativa (tenendo conto dei valori che frequentemente si verificano negli eventi che innescano fenomeni di mobilitazione nei versanti dei bacini del Mediterraneo), nella matrice riportata in Tab. 4, si può ipotizzare di assegnare al parametro H i valori H1, H2, H3 e H4 rispettivamente al raggiungimento di una soglia di intensità di pioggia pari 10, 20, 50, 100 mm/ora (Mancini et al., 2002).

Al più complesso parametro F si possono assegnare, presuntivamente, i valori: F1 corrispondente al rapporto $h/z < 0.25$; F2 corrispondente ad $0.25 \leq h/z < 0.50$; F3 corrispondente ad $0.50 \leq h/z < 0.75$; F4 corrispondente ad $h/z \geq 0.75$.

L'uso di tale matrice è complementare alla installazione sulla singola UTR di strumentazioni di monitoraggio (pluviometri e piezometri) necessari (insieme con la

caratterizzazione della geometria e delle proprietà idrologiche del terreno) per la taratura dei parametri H ed F e per la corrispondente definizione delle soglie di attenzione dei piani di protezione civile.

L'utilità e la necessità dell'uso di strumentazioni di monitoraggio su versanti in condizioni limite è sottolineata dai risultati ottenuti in una campagna di rilievi piezometrici e pluviometrici, durata circa cinque anni, effettuata su un versante in frana stabilizzato tramite drenaggi (Ciaravino, Fenelli, 1992).

L'analisi delle misure effettuate in tale caso ha messo in evidenza, tra l'altro, la notevole rapidità di risalita dei livelli d'acqua nei piezometri dopo gli eventi meteorici (circostanza particolare e significativa ai fini della stabilità che può sfuggire a modelli predittivi).

Tabella 4. Matrice di valutazione della soglia di attenzione
Matrix of attention threshold evaluation

	H 1	H 2	H 3	H 4
F 1	A 1	A 1	A 2	A 3
F 2	A 1	A 2	A 3	A 3
F 3	A 2	A 3	A 3	A 4
F 4	A 3	A 3	A 4	A 4

Tale fenomeno può essere, in genere determinato dalla presenza di fratture sotterranee esistenti o che si possono aprire senza segni esteriori nel versante; esse se pur apparentemente chiuse in superficie costituiscono in profondità vie preferenziali per il movimento dell'acqua nel sottosuolo e, quindi, essere causa di una instabilità che solo opportune strumentazioni possono evidenziare preventivamente.

Conclusioni

Lo studio sistematico del debris flow ha permesso negli ultimi anni di chiarire buona parte degli aspetti di base di tale complesso fenomeno ma, nel contempo, va definendosi attraverso modelli matematici complessi.

Un approccio metodologico semplificato ha consentito di proporre uno strumento sintetico, di importanza pratica nel campo tecnico-amministrativo, rappresentato da matrici di uso più immediato.

La caratteristica principale di tali matrici semplificate è costituita dalla esiguità dei parametri in gioco e, quindi, da una pregevole agilità in fase applicativa.

L'analisi effettuata sulle matrici ha messo in evidenza che tale strumento è comunque di non trascurabile ausilio per:

- suddividere il territorio in zone a diverso grado di rischio ai fini tecnico-amministrativi;
- programmare interventi di mitigazione del rischio attraverso semplici test valutativi di tipo

- sostanzialmente oggettivo;
- determinare il volume economico-finanziario degli investimenti necessari alla difesa del territorio;
 - realizzare atti di indirizzo e coordinamento;
 - supportare sistemi di attenzione con test e strumentazioni interpretabili in tempi compatibili con

un'azione di allarme.

L'analisi di alcune misure sperimentali in situ ha evidenziato, in effetti, l'importanza di legare tali matrici a monitoraggi strumentali delle UTR ai fini di una concreta definizione di specifici piani di protezione civile.

Bibliografia

- Armanini, A., Fraccarollo, L., Guarino, L., Martino, R., Bin, Y., 2000. Experimental analysis of the general features of uniform debris-flow over a loose bed. In: Wieczorek, G.F., Naeser, D., 2000 Eds, Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Armanini, A., Larcher, M., Fraccarollo, L., Papa, M., 2001. Considerazioni sulla dinamica delle colate di fango e sulle opere per il loro controllo. Atti del Convegno Forum per il rischio idrogeologico in Campania: Fenomeni di colata lavica di fango nel maggio '98, Napoli 22 giugno.
- Armanini, A., Dalri', C., Fraccarollo, L., Larcher, M., Zorzin, E., 2002. Osservazioni sulla reologia di colate di fango non omogeneo. 28° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza 16-19 settembre.
- Celico, P., Guadagno, F.M., Vallario, A., 1986. Proposta di un modello interpretativo per lo studio delle frane nei terreni piroclastici. *Geologia applicata e idrogeologia*, 21, Bari.
- Ciaravino, G., Fenelli, G.B., 1992. Analisi tramite osservazioni e rilievi di falda di un intervento di stabilizzazione di un corpo viario effettuato con drenaggi. 23° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Firenze 31 agosto - 4 settembre.
- Dietrich, W.E., Bellugi, D., Real De Asua, 2001. Validation of the shallow landslide model. Shalstab, for forest management. In: Wigmosta, M.S., Burges, S.J., 2001 Eds, Land Use and Watersheds: Human influence on hydrology and geomorphology in urban and forest areas, Amer. Geoph. Union, Water Science and Application, 2, 195-227.
- Dietrich, W.E., Montgomery, D.R., 1998. Shalstab: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential. Gradually varied debris flow along a slope. NCASI Technical Report, 29, February.
- Di Silvio, G., Gregoretti, C., 1997. Gradually varied debris flow along a slope. Proceedings of First International Conference On Debris Flow: Hazards, Mitigation, ASCE, San Francisco.
- Guadagno, F.M., Revellino, P., 2005. Debris avalanches and debris flows of the Campania Region (southern Italy). In: Jakob, M., Hungr, O., 2005 Eds, Debris-Flow Hazards and Related Phenomena. Praxis, Springer Berlin Heidelberg.
- Iverson, R.M., 1997. The physics of debris flow. *Review of Geophysics* 35 (3): 245-296.
- Iverson, R.M., Denlinger, R.P., La Husen, R.G., Logan M., 2000. Two-phase debris-flow across 3-D terrain: Model prediction and experimental test. In: Wieczorek, G.F., Naeser, D., 2000 Eds, Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Jenkins, J., Savane, S.B., 1983. A theory for rapid flow of identical, smooth, nearly elastic, spherical particles. *J. Fluid Mech*, Vol.130, 186-202.
- Johnson, P.C., Jackson, R., 1987. Frictional-collisional constitutive relations for granular materials with application to plane shearing. *J. Fluid Mech*, Vol.176, 67-93.
- Mancini, M., Rabuffetti, D., Rosso, R., 2002. Sensibilità delle soglie pluviometriche d'innesco degli scivolamenti superficiali di suolo alle proprietà idrologiche del suolo e alla geometria del versante. Scritti in onore di Lucio Tagliatela, Napoli 24 maggio.
- Montgomery, D.R., Dietrich, W.E., 1998. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resour. Res.*, 30, 1153-1171.
- Regione Campania - Autorità di Bacino Destra Sele, 2002. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico. Rapporto finale, Napoli.
- Rossi, F., Chirico, G.B., 1998. Definizione delle soglie pluviometriche di allarme. Dipartimento di Protezione Civile, GNDCI - Unità Operativa - Università di Salerno Sub Unità di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.
- Rosso, R., 2002. Sulla valutazione dei fattori idrologici e geomorfici di innesco delle frane superficiali nei bacini montani. 28° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza 16-19 settembre.
- Seminara, G., Tubino, M., 1993. Debris flow: meccanica, controllo e previsione. Monografia del G.N.D.C.I.
- Sirangelo, B., Versace, P., 1996. A real time forecasting model for landslides triggered by rainfall. *Meccanica*, 31, 73-85.
- Takahashi, T., 1977. A mechanism of occurrence of mud-debris flow and their characteristics in motion. *Disaster Prevention Institute Annals*, 21, B-2.
- Takahashi, T., 1991 Eds. Debris-flow. IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam.
- Tubino, M., Lanzoni, S., 1994. Rheology of debris flow: experimental observations and modelling problems. *Excerpta*, vol.7, CUEN, Napoli, 210-236.