

9. PROGRESSIONE DEL LAVORO DI VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA'

Più in dettaglio, possiamo individuare i seguenti momenti nella progressione del lavoro di valutazione della pericolosità:

- Perimetrazione delle aree in frana;
- Definizione delle caratteristiche del movimento (tipo, velocità, volumi e/o spessori);
- Stima della frequenza probabile del fenomeno (probabilità di ricorrenza),
- Applicazione di matrici di incrocio dei dati (velocità/volume del dissesto e intensità/frequenza probabile) ed definizione dei livelli di pericolosità

10.1 Perimetrazione delle aree in frana e definizione delle caratteristiche del movimento

Questa parte del lavoro si basa su osservazioni e considerazioni di tipo geomorfologico.

Ad ogni fenomeno franoso individuato vengono attribuiti, oltre ad una tipologia ed uno stato di attività, anche una stima del valore dell'intensità attesa, utilizzando delle classi abbastanza ampie, per rendere il più univoca e obiettiva possibile la loro scelta, ma anche sufficientemente rappresentative per poter permettere una distinzione tra fenomeni aventi caratteristiche di pericolosità diverse (ad esempio un crollo da uno scivolamento superficiale).

L'intensità è stata valutata a partire dalla stima della velocità e della severità geometrica del movimento franoso atteso.

Per quanto riguarda la velocità si è già accennato alla classificazione utilizzata, illustrata in Tabella 1.0, tale classificazione si compone di tre classi: movimenti a cinematica lenta e intensità debole, ovvero scivolamenti rotazionali e planari, colamenti, frane complesse, espansioni laterali; movimenti a cinematica rapida e intensità media, ovvero colate di terra e di detrito; movimenti a cinematica veloce e intensità forte, ovvero crolli, ribaltamenti, scivolamenti in roccia e colate detritiche.

Intensità (I)	Tipo	Velocità	Sigla
Debole	scivolamenti s.l.	<1m/anno	v1
Media	colate	1m/anno+1m/ora	v2
Forte	crolli/ribaltamenti	>1m/ora	v3

Tab. 1.0 – Classi di intensità per i fenomeni franosi, basata sulla velocità di spostamento.

Nel caso in esame possiamo assumere come valore d'intensità (Media/forte) con sigla **v2**.

La severità geometrica di un determinato movimento franoso è stata determinata in maniera differente per tre diverse categorie di frana: gli scivolamenti senso lato, le colate di detrito e/o terra ed i crolli/ribaltamenti. Mentre per i primi ed i secondi la severità è stata stimata sulla base del volume del materiale spostato (Tabella 2.0 e Tabella 3.0), nel caso dei crolli o ribaltamenti si è proceduto ad una valutazione delle dimensioni dei blocchi caduti o potenzialmente movimentabili (Tabella 4.0).

Intensità (I)	Volume	Sigla
Molto debole	< 50.000 m ³	SG1
Debole	50.000+200.000 m ³	SG2
Media	200.000+500.000 m ³	SG3
Forte	500.000+1.000.000 m ³	SG4
Molto forte	> 1.000.000 m ³	SG5

Tab. 2.0 – Scala di intensità delle frane (scivolamenti s.l.) basata sul volume della massa spostata (Fell, 1984 modificata).

Intensità (I)	Volume	Sigla
Molto debole	< 5.000 m ³	SG1
Debole	5.000-10.000 m ³	SG2
Media	10.000-50.000 m ³	SG3
Forte	50.000+200.000 m ³	SG4
Molto forte	> 200.000m ³	SG5

Tab. 3.0 – Scala di intensità delle frane (colate di detrito e/o terra) basata sul volume della materiale spostato.

Intensità (I)	Diametro dei blocchi	Sigla
Molto debole	< 0,5 m	SG1
Debole	0,5+2 m	SG2
Media	2+5m	SG3
Forte	5+10 m	SG4
Molto forte	> 10 m	SG5

Tab. 4.0 – Scala di intensità delle frane (crolli e ribaltamenti) basata sul diametro dei blocchi caduti o potenzialmente movimentabili (Heinimann et al., 1988 modificato).

Nell'area in esame possiamo assumere come valore d'intensità (Media/forte) con sigla **SG1**.

10.2 Stima della frequenza probabile del fenomeno

Per valutare la pericolosità l'informazione fondamentale è quella sulla probabilità di accadimento dell'evento pericoloso, ovvero la conoscenza del periodo di ritorno, cioè il tempo medio atteso tra due eventi consecutivi di intensità simile, espresso in anni. E' questo il fattore a maggior criticità dell'intero processo di analisi. Su un singolo movimento franoso è possibile, almeno in teoria, stabilire la probabilità di occorrenza sulla base dell'analisi statistica dei tempi di ritorno dei fattori innescanti, come ad esempio nel caso di una frana attivata da un evento meteorico o da un sisma.

La valutazione della frequenza del fenomeno è stata quindi effettuata principalmente su base geomorfologica, con valutazioni supportate da ricognizioni sul terreno e dall'analisi di foto aeree, ortofoto e immagini da satellite di anni diversi. Laddove disponibili, sono state utilizzate anche le informazioni derivanti da dati di sondaggio e prove geognostiche eseguite nell'area, e da dati di bibliografia e ricerche storiche.

Sono state identificate cinque macroclassi di frequenza (Tabella 5.0), in conformità con quanto stabilito dal metodo di riferimento (Heinimann et al., 1998).

<i>Frequenza (F)</i>	<i>Tempo di ritorno</i>	<i>Stato attività</i>	<i>Sigla</i>
Inattive o episodiche a bassissima frequenza	>500 anni	Frane inattive	Tr1
Episodiche a bassa frequenza	100+500 anni	Frane quiescenti	Tr2
Episodiche a media frequenza	30+100 anni	Frane quiescenti	Tr3
Episodiche ad alta frequenza	1+30 anni	Frane quiescenti	Tr4
Frequenza molto alta (attive)	<1 anno	Frane attive	Tr5

Tab. 5.0 – Classi di frequenza dei movimenti franosi (Heinimann ed al., 1988; Flageollet 1996 modificata).

I limiti delle classi sono stati scelti sulla base degli studi di Flageollet (1996) sullo stato di attività dei movimenti franosi.

Nel caso in esame possiamo assumere come valore d'intensità con sigla Tr5.

10. APPLICAZIONE DI MATRICI DI INCROCIO DEI DATI ED DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI PERICOLOSITÀ.

11.1 Definizione dei livelli di pericolosità

La pericolosità (H) è definita come una funzione della frequenza (F) di un evento franoso e della sua intensità (I):

$$H=f(F;I)$$

Contrariamente ad altri fenomeni naturali, come i terremoti, non esiste in letteratura un metodo unico per valutare l'intensità di un movimento franoso.

Il metodo svizzero, così come altri metodi (Cardinali et al., 2002; Hungr, 1997) considera l'intensità (I) come una misura del potere distruttivo della frana e quindi la definiscono come funzione della severità geometrica (sg) e della velocità attese (v): $I=f(sg;v)$.

$I=f(sg; v)$		VELOCITÀ (v)		
		CROLLI (v3)	COLATE (v2)	SCIVOLAMENTI (v1)
SEVERITÀ GEOMETRICA (sg)	< 0,5 m	Molto leggera		
	0,5+2 m	Leggera		
	2+5m	Moderata		
	5+10 m	Elevata		
	> 10 m	Molto elevata		
	<5.000 m ³		Molto leggera	Molto leggera
	50.00-10.000 m ³		Leggera	Molto leggera
	10.000-50.000 m ³		Moderata	Molto leggera
	50.000+200.000 m ³		Elevata	Leggera
	200.000+500.000 m ³		Molto elevata	Moderata
	500.000+1.000.000 m ³		Molto elevata	Elevata
	> 1.000.000 m ³		Molto elevata	Molto elevata

Tab. 6.0 – Intensità di una frana sulla base della velocità attesa e del volume di materiale movimentato. Per le frane tipo crollo è stata utilizzata la dimensione dei blocchi (da Cardinal et al. 2002, modificata).

L'utilizzo della velocità combinata con la severità geometrica, senza suddivisione tipologica, avrebbe condotto ad una sottostima dei livelli di pericolosità per fenomeni lenti, come scorrimenti, colamenti e grandi frane complesse, rispetto a frane da crolli e alle colate detritiche.

L'intensità è stata così definita, per ogni corpo franoso, e suddivisa in cinque classi attraverso l'uso della matrice di correlazione illustrata in Tabella 6.0. Per una frana di un certo volume si avranno intensità

maggiori nel caso di movimenti più veloci, come nel caso di una colata detritica rispetto ad uno scivolamento. La pericolosità dei movimenti franosi è stata quindi valutata combinando i valori di Intensità con quelli di Frequenza, attraverso la Tabella 7.0, derivata dal lavoro di Heinimann et al. (1998) e suddivisa in quattro classi:

Heinimann et al. (1998)	PAI Regione Abruzzo
P1 Pericolosità scarsa	P0
P2 Pericolosità media	P1 Pericolosità media
P3 Pericolosità elevata	P2 Pericolosità elevata
P4 Pericolosità molto elevata	P3 Pericolosità molto elevata

H=f(F;I)		FREQUENZA (F)				
		Attive	Tr 1÷30	Tr 30÷100	Tr 100÷500	Tr > 500
I N T E N S I T A' (I)	Molto elevata	P4	P4	P4	P3	P2
	Elevata	P4	P4	P3	P2	P2
	Moderata	P4	P3	P2	P2	P1
	Leggera	P4	P3	P2	P1	P1
	Molto leggera	P4	P2	P2	P1	
	Prob/yr	1	0,03	0,01	0,002	<0,002

Tab. 7.0 – Matrice di interazione utilizzata per la valutazione della pericolosità da frana (Heinimann, 1998 modificata).
Prob/yr = probabilità annua che si verifichi una frana.

L'ultima riga della tabella riporta il valore indicativo, calcolato secondo la formula (1), della probabilità (Pr) che una certa frana si metta in movimento in un certo periodo t di riferimento, probabilità legata al tempo di ritorno T dell'evento considerato.

$$Pr = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

Una frana attiva, ancorché di limitata estensione ovvero di debole intensità, ha comunque un impatto sul territorio e l'area da essa interessata deve essere messa in sicurezza prima di poter essere utilizzata,

ovvero può essere scientemente lasciata evolvere secondo le sue tendenze naturali impedendo usi continuati e/o stanziali da parte dell'uomo.

11.2 Possibili scenari evolutivi del dissesto, distanze di propagazione, di retrogressione e di espansione laterale.

Definita la distribuzione spaziale e i livelli di pericolosità delle frane cartografate, restano da definire i possibili scenari evolutivi del dissesto, ossia le distanze di propagazione, di retrogressione e di espansione laterale.

Sono stati quindi delimitati degli "areali di pericolosità", comprendenti il movimento franoso e le relative aree di espansione prevedibili sulla base dei dati raccolti sul terreno e da analisi foto interpretativa. Le aree di possibile evoluzione sono state definite secondo criteri geomorfologici e non puramente geometrici, quindi variano da frana a frana, secondo la tipologia e lo stile di attività.

Nel caso di frane a cinematica lenta, per le quali è riconoscibile la corona di distacco, il perimetro del deposito è stato esteso verso monte fino alla corona stessa, provvedendo ad allargarlo ulteriormente nel caso fossero presenti indicatori di retrogressione del movimento, mentre verso valle le aree di possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze (20m).

Nel caso di movimenti rapidi, come colate detritiche, gli areali di pericolosità sono stati estesi agli impluvi di ordine inferiore, andando ad includere l'area sorgente e l'area di deposizione.

Infine, per le frane come crolli e ribaltamenti le aree di evoluzione comprendono le pareti rocciose acclivi presenti al di sopra dei depositi, nonché le parti di versante percorse dal materiale crollato prima di fermarsi. Verso valle le aree di propagazione sono state delimitate prevalentemente sulla base di considerazioni morfologiche (cambi di pendenza) e vegetazionali (presenza di alberi d'alto fusto che possano frenare il rotolamento dei massi caduti).

11.3 Fattori di instabilità

Sebbene i movimenti franosi siano spesso innescati da un singolo evento, come una pioggia intensa o un sisma, è anche vero che essi sono strettamente legati alla concomitanza di alcuni fattori, come acclività, litologia ecc., che rendono un versante più o meno suscettibile al dissesto.

Per l'applicazione della metodologia prescelta sono stati utilizzati questi ultimi fattori di instabilità, detti anche predisponenti.

La selezione dei fattori di instabilità che presentano una stretta correlazione con i movimenti di versante richiede una conoscenza a priori delle cause delle frane nell'area di studio.

Sulla base del lavoro di campagna sono state quindi scelte 8 variabili indipendenti, che riflettono le condizioni esistenti prima del movimento franoso. E' importante porre estrema attenzione nella scelta di fattori che non risultino condizionati dall'evento.

Data Layers	Provenienza dato
Litologia	Carta geologica scala 1:10.000
Rapporto pendenza dei versanti-giacitura degli strati	Lavoro sul terreno e analisi DEM
Distanza dai lineamenti tettonici	Lavoro sul terreno e analisi DEM
Acclività dei versanti	Derivato dal DEM
Convessità e Concavità	Derivato dal DEM
Indice Topografico (TI)	Derivato dal DEM
Distanza dagli impluvi	Derivato dal DEM
Densità di drenaggio	Derivato dal DEM

Litologia. La litologia è comunemente considerata il fattore più importante per la stabilità dei versanti; per questo motivo è stata utilizzata in tutti gli studi proposti in letteratura sull'argomento della pericolosità da frana. In effetti, è ragionevole aspettarsi che le proprietà meccaniche dei materiali costituenti i versanti, come permeabilità e resistenza al taglio, siano controllati dal tipo di litologia.

Rapporto pendenza dei versanti-giacitura degli strati. Un altro importante fattore, che condiziona la stabilità dei versanti è rappresentato dalla disposizione geometrica delle superfici di strato in rapporto alla configurazione del versante. A parità di caratteristiche litologiche e di acclività, un versante risulta più stabile se è presente un assetto degli strati a "*reggipoggio*" o se gli strati immergono come il pendio, ma con pendenza maggiore (situazione di "*contropoggio*"). La situazione più sfavorevole, per la stabilità di un versante, si ha nel caso di stratificazione a "*franapoggio*". (Clerici et al. nel 1993 e successivamente ripreso da Nardi (1996).

La combinazione dell'inclinazione dei versanti, dell'orientamento dei versanti, dell'immersione degli strati e dell'inclinazione degli strati ha permesso di individuare le diverse situazioni che possono avere un'influenza, positiva o negativa, sulla stabilità dei versanti.

Le misure di strato sono state ricavate in parte dal lavoro sul terreno e in parte dalle cartografie geologiche reperite. Se chiamiamo α la pendenza del versante (*slope*), β la differenza tra la direzione del versante (esposizione o *aspect*) e la direzione dell'immersione degli strati e γ la differenza tra la pendenza del versante α e l'inclinazione degli strati d , abbiamo:

- Rocce non stratificate.
- Rocce con stratificazione orizzontale: d compreso tra 0 e 5 gradi.
- Rocce con stratificazione verticale: d compreso tra 85 e 90 gradi.
- Rocce con stratificazione che immerge in direzione opposta al versante: $\beta > 90^\circ$.
- Rocce con stratificazione che immerge come il versante, con pendenza del versante maggiore di quella degli strati: $\beta < 90^\circ$ e $\gamma > 0^\circ$.
- Rocce con stratificazione che immerge come il versante, con pendenza del versante minore di quella degli strati: $\beta < 90^\circ$ e $\gamma < 0^\circ$.

Distanza dai lineamenti tettonici. La distanza dai lineamenti tettonici controlla il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, condizionandone quindi le caratteristiche meccaniche e favorendo l'infiltrazione d'acqua in profondità. I principali lineamenti tettonici dell'area (sovrascorrimenti, faglie dirette, inverse e trascorrenti) sono stati ricavati dalla cartografia geologica esistente ed integrati dal lavoro sul terreno e dall'analisi di foto aeree e immagini satellitari.

Acclività dei versanti (*slope*). L'acclività dei versanti è stata calcolata in maniera automatica dal DEM dell'area di studio. L'importanza di questo parametro è spesso sopravvalutata; infatti, la pendenza che misuriamo in corrispondenza di una frana, non è un buon indicatore della pendenza prima del movimento. Per cercare di ovviare a questo limite, l'acclività all'interno dei corpi di frana è stata stimata calcolando la pendenza media in un "*buffer*" di 25 metri intorno alla zona di rottura di ogni frana.

Indice Topografico (TI). L'indice topografico, conosciuto anche come *Wetness index* ovvero *Topographic wetness index* (TWI), è un attributo secondario della topografia, in quanto derivato da due attributi primari. Infatti la formula (Beven e Kirkby, 1979) per calcolare il TI è la seguente:

$$TI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right)$$

Dove A_s (area contribuente ovvero *specific catchment area*) è l'area di versante che concentra il flusso d'acqua nella cella (*pixel*) sulla quale viene eseguito il calcolo, diviso per la spaziatura della griglia di calcolo e β è la pendenza del versante misurata in gradi.

Distanza dagli impluvi. Molto spesso le frane avvengono nelle vicinanze dei corsi d'acqua; i processi di erosione al piede dei versanti o di corpi di frana relitti creano situazioni destabilizzanti che possono condurre al collasso. Inoltre, i terrazzi fluviali, composti da materiali alluvionali come sabbie e ghiaie, possono essere soggetti al franamento durante eventi meteorici intensi. Per questi motivi, la vicinanza ai corsi d'acqua, e più in generale agli impluvi, è considerato un importante fattore nella caratterizzazione della suscettività al dissesto.

Densità di drenaggio. Il reticolo idrografico, è stato utilizzato anche per calcolare la densità di drenaggio dell'area di studio. Rispetto alla distanza dai corsi d'acqua, la densità di drenaggio fornisce informazioni di tipo diverso; infatti, la prima, come abbiamo visto, individua zone che possono essere influenzate dall'azione erosiva al piede dei versanti, mentre la seconda consente di ottenere indicazioni sulle proprietà idrogeologiche delle rocce affioranti.

11.4 Elementi a rischio e vulnerabilità

Il Rischio. Una stima del rischio connesso ad un evento pericoloso richiede la conoscenza sia della probabilità che si verifichi l'evento sia del tipo di conseguenze. Per analizzare le conseguenze di un fenomeno franoso abbiamo bisogno di identificare gli elementi a rischio e la vulnerabilità di tali elementi, cioè il grado di perdita atteso per un dato elemento soggetto ad un movimento franoso avente una determinata intensità. Rispetto ad un fenomeno franoso gli elementi a rischio sono rappresentati dalle persone che vivono, lavorano o passano tempo nell'area interessata dalla frana, dalle proprietà, dalle vie di comunicazione, dai servizi come le linee elettriche, telefoniche e gli acquedotti, dai mezzi in transito sulle strade, dall'insieme delle attività economiche e dai beni ambientali (Canuti e Casagli, 1996).

Nel presente studio, sono state prese in considerazione le persone, le vie di comunicazione, gli insediamenti abitativi e le attività economiche.

Codice	Sigla	Elemento
222	CA	Aree urbanizzate con alta densità abitativa (centri abitati)
1	NA	Aree urbanizzate con bassa densità abitativa (nuclei abitati)
4, 205	CS	Case sparse
0,215	AE	Attività economiche (serre, allevamenti di animali, capannoni)
1	VP	Viabilità principale
1	VS	Viabilità secondaria
103	VM	Viabilità minore (strade campestri, interpoderali)

- **Centro abitato:** aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità, caratterizzato dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici, costituenti la condizione autonoma di una forma di vita sociale, e generalmente determinanti un luogo di raccolta ove sogliono concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini per ragioni di culto, istruzione, affari, approvvigionamento e simili, in modo da manifestare l'esistenza di una forma di vita sociale coordinata dal centro stesso.
- **Nucleo abitato:** località abitata, priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato, costituita da un gruppo di case contigue o vicine, con almeno cinque famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzi, aie, piccoli orti, piccoli incolti esimili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse.

Per quanto riguarda le persone, queste sono state considerate a rischio in connessione con la presenza delle strutture e delle infrastrutture. Ad esempio, in un'area urbanizzata con alta densità di popolazione, il numero di persone a rischio sarà ovviamente maggiore rispetto ad una zona con case sparse; per quanto riguarda le strade, si è considerato che lungo una strada principale, come può essere una statale o una provinciale, avremo una presenza maggiore di persone rispetto ad una strada di campagna (Cardinali et al., 2002).

La Vulnerabilità. Diversamente da altri fenomeni naturali, come le alluvioni o i terremoti, è molto difficile stabilire la vulnerabilità nei confronti di una frana a causa dell'ampia varietà dei processi franosi (Leroi, 1996). Dobbiamo considerare che la vulnerabilità è diversa per elementi a rischio diversi (Fell, 1994), si deve valutare la probabilità che una persona sia nell'edificio coinvolto in una frana o che un'auto passi nel momento in cui cade un masso (Glade et al., 2005); vanno presi in considerazione i diversi tempi di reazione

di categorie di persone come bambini, anziani o malati rispetto alla popolazione adulta e sana (Liu et al., 2002), ed infine andrebbero considerati gli effetti di sistemi di allarme che possono favorire la capacità di fuga (Smith, 2004).

Per semplificare le cose, in molti lavori la vulnerabilità viene cautelativamente posta uguale a uno, vale a dire si ipotizza la distruzione completa del bene a rischio; ma questo è solo il peggiore degli scenari possibili e spesso anche il meno realistico.

Malgrado i limiti e le complessità delle problematiche, spesso irrisolvibili, è economicamente e politicamente necessario arrivare ad una stima, anche sommaria, della vulnerabilità, includendola nel processo di valutazione del rischio da frana (Glade et al., 2005). Un primo passo per integrare la vulnerabilità è stato quello di stabilire delle classi di danno potenziale.

Il danno potenziale, funzione della vulnerabilità, è indipendente dalla probabilità di occorrenza del fenomeno, ovvero dalla pericolosità, ed esprime l'aliquota del valore dell'elemento a rischio che può venire compromessa in seguito al verificarsi del fenomeno franoso.

Quindi, per stimare la vulnerabilità, si è proceduto a verificare le relazioni esistenti tra l'intensità della frana e i danni attesi, attraverso una tabella di correlazione che consente di assegnare ad ogni elemento a rischio (edifici, persone, strade ecc.) uno specifico grado di danneggiamento in relazione all'intensità (Tabella 6.0 al tipo di fenomeno franoso ($V=f(E;I)$)).

L'approccio, di tipo qualitativo, prevede di distinguere in quattro differenti categorie di danno le conseguenze di un determinato movimento franoso:

- **Danni trascurabili (T):** presenza di fessure capillari nell'intonaco delle case o sul manto stradale; la funzionalità e la stabilità del bene non sono compromesse. Questa tipologia di lesioni può essere causata anche da altri processi, quali essiccamento dell'intonaco, vibrazioni o assestamenti e cedimenti strutturali.
- **Danni moderati (M):** presenza di fessurazioni centimetriche sulle mura esterne degli edifici, le lesioni possono interessare anche i rivestimenti rigidi delle finestre o delle porte; la stabilità non è compromessa ed i danni possono essere riparati velocemente, le riparazioni non sono urgenti.

- **Danni funzionali (F):** deformazioni importanti, fessure largamente aperte sulle strutture portanti, porte e finestre inutilizzabili. La funzionalità e la stabilità delle strade risultano compromesse. Le riparazioni sono indispensabili e costose, sono opportuni provvedimenti di evacuazione.
- **Danni strutturali (S):** distruzione parziale o totale del bene, cedimento di pavimenti, disarticolazione delle pareti, brecce nei muri. E' necessario evacuare immediatamente gli edifici e provvedere al puntellamento e transennamento delle strutture. Può rendersi necessaria la demolizione, in quanto non economicamente vantaggiosi eventuali interventi di ripristino. La viabilità è interrotta.

Per quanto riguarda la popolazione, il danno atteso è stato suddiviso in:

- **Danni diretti:** nel caso in cui siano previsti morti e/o feriti.
- **Danni indiretti:** nel caso in cui si prevedano effetti negativi di tipo socioeconomico: (limitazioni allo stile di vita, impossibilità a raggiungere il luogo di lavoro, le scuole o gli ospedali).
- **Sfollati:** perdita temporanea o permanente delle abitazioni.

La matrice (Tabella 8.0) è stata preparata a partire dai principi enunciati negli studi di Leone (1996), Michael-Leiba (1996), Wong et al. (1997), Fell (2000), Iovine e Parise (2002) e Cardinali et al. (2002) e sulla base dell'esperienza derivante da eventi precedenti e dall'osservazione di campagna.

V=f(E;l)			ELEMENTI A RISCHIO (E)									
			Edifici e attività economiche				Viabilità			Persone		
			CA	NA	CS	AE	VP	VS	VM	Diretti	Indiretti	Sfollati
I N T E N S I T À (l)	Molto elevata	cr	S	S	S	S	S	S	S	SI	SI	SI
		co	S	S	S	S	S	S	S	SI	SI	SI
		sc	S	S	S	S	S	S	S	SI	SI	SI
	Elevata	cr	S	S	S	S	S	S	S	SI	SI	SI
		co	S	S	S	S	S	S	S	SI	SI	SI
		sc	F	F	F	F	F	F	S	NO	SI	SI
	Moderata	cr	F	F	F	S	F	F	S	SI	SI	SI
		co	F	F	F	S	F	F	S	SI	SI	SI
		sc	M	M	M	M	M	M	M	NO	NO	NO
	Leggera	cr	M	M	M	F	M	M	M	SI	SI	NO
		co	M	M	M	F	F	F	S	SI	SI	NO
		sc	T	T	T	M	T	T	M	NO	NO	NO
Molto leggera	cr	T	T	T	T	T	T	M	SI	NO	NO	
	co	T	T	T	T	M	M	F	SI	NO	NO	
	sc	T	T	T	T	T	T	T	NO	NO	NO	

Tab. 8.0 – Vulnerabilità dei diversi elementi a rischio in relazione al tipo di danno atteso. T=danno trascurabile; M=danno moderato; F=danno funzionale; S=danno strutturale; cr=crolli, co=colate; sc=scivolamenti s.l. (modificata da Cardinali et al., 2002; Leone et al., 1996).

Dall'esame della Tabella 8.0 si osserva come le frane a cinematismo veloce abbiano sempre un'influenza diretta sulla popolazione; infatti, anche la caduta di un masso di piccole dimensioni potrebbe avere conseguenze gravi, se, cadendo su una strada, colpisse un'auto di passaggio. Le frane più lente, invece, fanno sentire i loro effetti diretti solo in occasione di grandi movimenti che spostino ingenti quantitativi di materiale. Comunque, in presenza di sistemi di allarme, su frane monitorate "in tempo reale", è possibile evitare conseguenze dirette sulla popolazione, anche nelle situazioni di intensità maggiore.

Per gli edifici e le infrastrutture la situazione non cambia, sono sempre i movimenti veloci a creare le peggiori condizioni di danneggiamento, anche in virtù del fatto che i movimenti lenti possono invece essere affrontati con una serie di lavori di rinforzo e restauro durante il movimento stesso. In particolare, sulle strade, i movimenti tipo colata detritica sono stati sempre correlati ad un danneggiamento almeno moderato, poiché occupando la carreggiata con il materiale spostato possono impedire la circolazione dei veicoli.

Il Danno atteso. In Tabella 9.0 sono riportati i valori di vulnerabilità degli elementi a rischio (edifici, strade e popolazione), desunti dalla letteratura e corretti sulla base delle notizie storiche di eventi precedenti accaduti nell'area in esame. Per quanto riguarda le proprietà, la vulnerabilità è stata valutata sulla base del danno atteso (trascurabile, moderato, funzionale o strutturale) ed il valore riportato, variabile tra 0 (nessun danno) e 1 (perdita totale del bene), è la porzione del bene che risulta danneggiato.

Le persone invece, potendosi muovere, mostrano una vulnerabilità diversa nei confronti di tipologie differenti di frane; così sono stati proposti tre diversi valori di vulnerabilità per ognuna delle frane tipo (crolli/ribaltamenti, colate detritiche, scivolamenti s.l.); tali valori indicano la probabilità che un essere umano (l'elemento a rischio) perda la vita.

		EDIFICI	STRADE	FRANE	PERSONE DENTRO EDIFICI	PERSONE IN AUTO
D A N N O	S	0,8-1	0,8-1	cr	0,8-1	0,8-1
				co	0,8-1	0,8-1
				sc	0,7-1	0,7-1
	F	0,5-0,8	0,6-0,9	cr	0,3	0,5
				co	0,4	0,6
				sc	0,2	0,1
	M	0,2-0,4	0,3-0,6	cr	0,05	0,3
				co	0,2	0,4
				sc	0,01	0,001
	T	0,01-0,1	0,01-0,1	cr	0,01	0,05
				co	0,02	0,1
				sc	0,001	0,0001

Tab. 9.0 – Valore numerico della vulnerabilità di vari elementi a rischio. T=danno trascurabile; M=danno moderato; F=danno funzionale; S=danno strutturale; cr=crolli; co=colate; sc=scivolamenti.

Si notano immediatamente tre aspetti tipici: in primo luogo, viene confermato il fatto che la vulnerabilità nei confronti di frane aventi cinematismi veloci è sempre molto più alta rispetto agli scivolamenti lenti, che solo nel caso di danni strutturali possono causare morti e/o feriti; in secondo luogo a parità di tipo di danno, una persona in auto è meno protetta rispetto ad una che si trova in casa, potendosi ritrovare travolta da una colata detritica oppure colpita da massi in caduta da una scarpata; un ultimo aspetto riguarda ancora le strade che, a parità di classe di danno, presentano una vulnerabilità maggiore rispetto agli edifici, perché, oltre ad essere direttamente danneggiate possono essere invase da materiale e quindi rese inutilizzabili, con elevati costi per il ripristino della viabilità. Un'ultima osservazione deve essere svolta

a proposito del fatto che i movimenti tipo colata detritica, potendo invadere i primi piani degli edifici, risultano, eccetto il caso della classe S, in una classe di vulnerabilità, nei confronti delle persone, maggiore rispetto ai crolli di uguale classe di danno.

11.5 Valutazione e stima del rischio

Dopo aver identificato le minacce potenziali (i movimenti franosi) e gli elementi a rischio, nonché l'entità dei danni attesi, si è passati alla determinazione della loro interazione, cioè del rischio, ultimo passo della fase di analisi del medesimo. Nel presente studio si è fatto riferimento al rischio specifico (R) definito come il grado di perdita attesa quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale, funzione della pericolosità (H) e della vulnerabilità (V) : $R_s=f(H;V)$.

Per prima cosa gli elementi a rischio individuati in precedenza sono stati accorpati in classi di valore economico e sociale:

- E4 = centri abitati.
- **E3** = nuclei abitati, attività economiche, viabilità principale.
- E2 = case sparse, viabilità secondaria.
- E1 = viabilità minore (strade campestri, interpoderali ecc.)

Quindi si è provveduto a stabilire alcune regole per effettuare la stima del rischio specifico, cercando di stabilire quali sono i livelli di rischio socialmente accettabili (valutazione del rischio). Anche se è molto difficile stabilire a priori una soglia di rischio accettabile, sono state individuate quattro classi di rischio riconducibili alle seguenti definizioni riportate nel D.P.C.M. 29/9/98 che esprimono le conseguenze attese a seguito del manifestarsi dei dissesti:

- **Rischio molto elevato (R4):** è possibile la perdita di vite umane e/o il ferimento delle persone, danni gravi a edifici e infrastrutture, sfollati e senza tetto, distruzione delle attività socio-economiche; rischio non socialmente tollerabile.
- **Rischio elevato (R3):** problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali a edifici e infrastrutture con conseguente inagibilità, sfollati e senzatetto, interruzione di attività economiche; rischio non socialmente tollerabile.

- **Rischio medio (R2):** danni minori agli edifici e alle infrastrutture; l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche non risultano pregiudicate; rischio socialmente tollerabile.
- **Rischio moderato (R1):** danni economici e sociali marginali.

Il rischio è essenzialmente il prodotto matematico della probabilità di accadimento di un certo fenomeno pericoloso, degli elementi a rischio e delle conseguenze dell'evento.

$$R_s = P(F) \times E_s \times V = P_i \times V$$

dove:

R_s = rischio

$P(F)$ = probabilità che il fenomeno franoso avvenga

E_s = esposizione al rischio

V = vulnerabilità

P_i = probabilità di impatto = $P(F) \times E_s$

Per assegnare ad ogni tipo di bene il livello di rischio specifico, così come definito sopra, è stata preparata una tabella (Tabella 10.0) che mette in relazione la pericolosità e la vulnerabilità ovvero il danneggiamento atteso.

Per ognuna delle 4 categorie di elemento a rischio sono state prese in considerazione le 4 classi di danno, così da ottenere 16 diverse situazioni di danno. Queste sono state poi incrociate con le 4 classi di pericolosità: il risultato finale sono 64 categorie di rischio, o meglio 62 poiché in 2 casi (caselle in grigio, barrate), per le assunzioni fatte, gli incroci non si possono verificare. Infatti una frana P1, cioè avente pericolosità moderata, per come sono state concepite le tabelle di correlazione (Tabella 7.0 e Tabella 8.0) non potrà causare danni strutturali ad un elemento a rischio E4, cioè ad un centro abitato; la stessa considerazione vale per le frane P3 e gli elementi a rischio E1.

$R_s=f(H;V)$			PERICOLOSITA' (H)			
			P4	P3	P2	P1
V U L N E R A B I L I T A' (V)	Danno Strutturale	E4	R4	R4	R3	
		E3	R4	R3	R2	R2
		E2	R4	R2	R1	R1
		E1	R2	R1	R1	R1
	Danno Funzionale	E4	R4	R4	R3	R2
		E3	R4	R3	R2	R1
		E2	R3	R2	R1	R1
		E1	R2	R1	R1	R1
	Danno Moderato	E4	R4	R3	R2	R1
		E3	R3	R3	R1	R1
		E2	R2	R2	R1	R1
		E1	R1	R1	R1	R1
	Danno Trascurabile	E4	R3	R3	R2	R1
		E3	R2	R2	R1	R1
		E2	R1	R1	R1	R1
		E1	R1		R1	R1

Tab. 10.0 – Definizioni delle classi di rischio sulla base della pericolosità e della vulnerabilità.

La tabella proposta, pur mostrando i limiti derivanti da un approccio qualitativo, illustra in maniera semplice ed esaustiva tutte le condizioni di rischio che si possono verificare nell'area in esame, fornendo un valido strumento per la valutazione delle situazioni che manifestano un'urgenza meritevole di interventi prioritari.

Per ognuna delle 4 categorie di elemento a rischio sono state prese in considerazione le 4 classi di danno, così da ottenere 16 diverse situazioni di danno. Queste sono state poi incrociate con le 4 classi di pericolosità: il risultato finale sono 64 categorie di rischio, o meglio 62 poiché in 2 casi (caselle in grigio, barrate), per le assunzioni fatte, gli incroci non si possono verificare. Infatti una frana P1, cioè avente pericolosità moderata, per come sono state concepite le tabelle di correlazione (Tabella 7.0 e Tabella 8.0) non potrà causare danni strutturali ad un elemento a rischio E4, cioè ad un centro abitato; la stessa considerazione vale per le frane P3 e gli elementi a rischio E1.

La tabella proposta, pur mostrando i limiti derivanti da un approccio qualitativo, illustra in maniera semplice ed esaustiva tutte le condizioni di rischio che si possono verificare nell'area in esame, fornendo un valido strumento per la valutazione delle situazioni che manifestano un'urgenza meritevole di interventi prioritari.

11. CONCLUSIONI E PROPOSTA DI INSERIMENTO DI NUOVE AREE CLASSIFICATE PERICOLOSE

Dall'analisi dell'area 2 si ricava una pericolosità definita pari a Pericolosità molto elevata P3 e un rischio definitivo pari a Rischio elevato (R3).

Ortona, 26/02/2015

I TECNICI

Dott.ssa Geol. Angela Faraone

Dott. Geol. Massimo Mangifesta

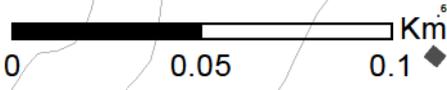


NOT TO SCALE



Classi di Rischio

-  R1 - Rischio Moderato
-  R2 - Rischio Medio
-  R3 - Rischio Elevato
-  R4 - Rischio Molto Elevato



0

0.05

0.1

Km



NOT TO SCALE



Classi di Pericolosità

-  P1 - Pericolosità Moderata
-  P2 - Pericolosità Elevata
-  P3 - Pericolosità Molto Elevata

