

VULNERABILITÀ DI SISTEMI A RETE DA RISCHIO FRANA

Anna BARETTO (*), Roberto PASSALACQUA (**)

(*) DISEG – Università di Genova, Via Montallegro 1, 16145 GE, 0103532960, baretto@diseg.unige.it

(**) DISEG – Università di Genova, Via Montallegro 1, 16145 GE, 0103532938, passalacqua@diseg.unige.it

Sommario

L'analisi di stabilità di un pendio è solitamente condotta a livello locale, trattando il fenomeno "frana" come un accadimento puntuale che impatta su una porzione limitata di territorio, poiché quest'ultimo è inteso come un insieme di singole unità a se stanti. In questo lavoro, invece, l'utilizzo di un GIS permette di studiare l'effetto dei cinematismi di versante sul territorio, questo inteso come sistema: un insieme di elementi puntuali (edifici residenziali, scuole, impianti sportivi, caserme, ospedali, *etc.*) connessi da infrastrutture lineari e ramificate (le reti stradale, elettrica, fognaria, idrica, del gas, delle telecomunicazioni, *etc.*). L'impatto di una frana, dunque, non è valutato solo in termini di danno fisico del singolo elemento colpito, bensì è esteso alle sue ripercussioni sul funzionamento delle cosiddette *lifelines* (reti elettrica, gas, fognaria e idrica), con riferimento al caso studio della Val di Vara ($\approx 500 \text{ km}^2$ - SP).

Abstract

In current practice, slope stability analyses are carried out within a well defined area. In fact, this kind of phenomenon is mostly considered as a local one, thus, the usual need is to assess if a specific building or, more generally, a single structure/infrastructure is menaced. In this paper is outlined a different approach, which aims to recognize and quantify the risk due to landslides upon the so called *lifelines* (electric power, gas, waste and potable water grids), at a territorial level. The GIS platform is the best suited tool in order to deal with such spatially distributed elements at risk; the main GIS benefits come from the items' georeferentiation and the capability to intersecate open/closed polygons with points, lines or polylines. It is also shown how is possible to develop and implement specific procedures to quantify and locate the level of vulnerability for these lifelines, spreaded over the whole *Val di Vara* ($\approx 500 \text{ km}^2$ – Province of *La Spezia* – eastern *Liguria*).

Il rischio geomorfologico

Il rischio è l'entità del danno atteso in una data area ed in un certo intervallo di tempo, in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso. Nello specifico di questo studio ci si riferisce al rischio geomorfologico come definito dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra, in occasione della stesura del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) ed in conformità alle disposizioni della Legge n° 267 del 3/8/1998. Il rischio geomorfologico è diviso in quattro classi d'intensità (R4: molto elevato - R3: elevato - R2: medio - R1: moderato), determinate in base alla matrice di rischio riportata in Fig.1: la matrice interseca la pericolosità geomorfologica ricavabile dalle Carte delle Franosità Reale (P4: *molto elevata*, frane attive ed aree di pertinenza - P3: *elevata*, frane quiescenti e aree di pertinenza - P2: *media*, frane inattive ed aree di pertinenza, coltri detritiche assimilabili, aree interessate da deformazioni gravitative profonde di versante, detrito di falda, depositi morenici, coni detritici ed alluvionali, aree interessate da ruscellamento diffuso) col valore socio-economico del bene a rischio, detta esposizione (E4: centri abitati, aree industriali maggiori, autostrade, ferrovie - E3: aree industriali minori, viabilità "strategica", acquedotti, fognature, metanodotti, oleodotti principali, emergenze storico-ambientali e manufatti di pregio - E2: case sparse, viabilità,

acquedotti, fognature, metanodotti, oleodotti minori, elettrodotti principali - E1: viabilità minore ed aree di pregio ambientale).

Il PAI del Fiume Magra, fornendo un database completo ed esauriente della franosità reale dell'area campione, ha permesso di realizzare col supporto informatico di un sistema GIS una serie di schede riassuntive per ogni Comune dell'area campione: tipo di fenomeno (CL: Crollo - CR: Soliflusso - DF: Colamento - SS: Frana superficiale - DGPV: Deformazione Gravitativa Profonda di Versante - FC: Frana Complessa - SC: frana per Scorrimento o Scivolamento; alle ultime due è associato l'attributo P: Planare o R: Rotazionale), stato di attività, materiale interessato, estensione areale e perimetrale. Infine, sempre basandosi sui dati forniti dal PAI, integrati dal censimento ISTAT 2002, si è corredata ogni scheda di un grafico che rappresenta la dinamicità della popolazione comunale negli ultimi vent'anni.

		pericolosità		
		P4	P3	P2
esposizione	rischio			
	E4	R4	R4	R3
	E3	R4	R3	R2
	E2	R3	R2	R1
	E1	R2	R1	R1

Figura 1 - Definizione del livello di rischio geomorfologico

Le schede di valutazione della vulnerabilità fisica

Per vulnerabilità s'intende il grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi a rischio, risultante dal verificarsi di un fenomeno di instabilità di una data intensità, espresso in scala percentuale (dallo 0%, nessuna perdita, al 100%, perdita totale); con l'attributo "fisica" ci si riferisce alla vulnerabilità degli elementi costruttivi strutturali o tecnologici.

I dati necessari alla valutazione della vulnerabilità fisica delle *lifelines* sono stati ricavati dalle specifiche tecniche disponibili in letteratura, dalle normative e disposizioni in materia, da quanto messo a disposizione dagli enti interessati (GRTN ed ENEL per la rete elettrica; SNAM e ACAM per la rete gas; ACAM, Provincia di La Spezia ed Acquedotto De Ferrari-Galliera per la rete idrica; ACAM e Provincia di La Spezia per la rete fognaria) e dalle informazioni raccolte da responsabili di settore ed addetti alle reti.

Si sono realizzate due diverse schede di valutazione della vulnerabilità fisica: la "Scheda di valutazione della Vulnerabilità Fisica per Campi Specifici" e la "Scheda di valutazione della Vulnerabilità Fisica Pesata". I parametri contenuti nelle due schede sono gli stessi, ma il loro diverso trattamento permette di realizzare scenari di vulnerabilità di significato differente.

La scheda per campi specifici si compone di una serie di campi che rappresentano un parametro costitutivo\strutturale fondamentale di un macroelemento della rete, associato al rischio geomorfologico della zona in cui il macroelemento è posizionato. La risposta affermativa alla condizione di stato attiva il passaggio ai campi che formano il macroelemento; la risposta negativa, al contrario, implica che l'elemento in questione non è interessato da alcun fenomeno franoso in atto e, quindi, il calcolo del punteggio non viene condotto.

Al parametro caratteristico di ogni campo vengono associati degli attributi significativi ai fini della valutazione di vulnerabilità: maggiore è il danno atteso nel caso il parametro in questione sia soggetto a un fenomeno di rischio frana, maggiore sarà il punteggio raccolto nell'omonima colonna. Il punteggio totale del campo è quello del parametro più quello assegnato all'evento scatenante, ossia il grado di rischio geomorfologico (R4→4 punti, ecc.).

A proposito dei valori numerici adottati per i punteggi, la loro scelta è aperta ed adattabile a qualunque esigenza di cambiamento da parte degli eventuali utilizzatori, dal momento che non esiste un limite superiore per il punteggio assegnato, così come per il numero di attributi relativi a ciascun parametro. Si potrebbe, ad esempio, decidere di condurre un'analisi in termini di pericolosità descritta da dieci classi con punteggi da 0 a 1, senza che la metodologia di lavoro perda

il proprio significato.

Nella scheda per campi specifici i singoli campi, pur rappresentando gli elementi salienti della rete, risultano tra loro indipendenti. Questa scelta porta ad una lettura orizzontale delle schede, ossia – una volta estesa l'analisi a livello territoriale – ad un giudizio di vulnerabilità non della totalità della rete bensì dei suoi singoli macroelementi.

A causa dei limiti di spazio, presentiamo in questa sede solo la scheda relativa alla rete elettrica che, sulla base delle conoscenze scientifiche acquisite e delle indicazioni ottenute dai gestori e tecnici di rete, è stata disaggregata in cinque macroelementi fondamentali (si veda Fig.2):

- **RETE ELETTRICA.** È il macroelemento rappresentativo della rete nella sua globalità; si compone di un unico campo il cui parametro è la gerarchia della rete, definita da tre attributi (bassa, media ed alta tensione) che sottintendono differenze organizzative, economiche, strutturali, costitutive, nonché differente tipologia e quantità di utenza servita. I punteggi sono stati assegnati non tanto in termini di vulnerabilità quanto di gravità delle conseguenze sulla rete stessa e sull'indotto in caso di danneggiamento.
- **TRALICCIO O PALO.** Un eventuale fenomeno franoso non va ad interessare direttamente l'elemento lineare di rete (il conduttore), essendo esso sospeso, ma il suo corrispettivo puntuale, il traliccio o il palo di sostegno. Da qui la necessità d'introdurre nell'analisi tale macroelemento. I parametri dei tre campi che lo descrivono sono il materiale costitutivo, il numero di sostegni in frana ed il numero di linee convergenti in un sostegno. Gli attributi del primo parametro determinano il tipo di vincolo col terreno: un sostegno in acciaio, ad esempio, viene utilizzato in reti di media od alta tensione e, quindi, sosterrà conduttori multipli di grande sezione e peso su grandi campate; le dimensioni del traliccio e gli elevati momenti ribaltanti impongono la realizzazione di fondazioni in calcestruzzo a blocco unico di grosse dimensioni che garantiscono, in caso di evento franoso, una notevole resistenza e giustificano il punteggio 1 per questo attributo. Viceversa, un sostegno in legno sarà parte di una rete di bassa tensione: le minori campate, sezioni e momenti ribaltanti fanno propendere per una soluzione di vincolo (infissione diretta nel terreno o piccola piastra in cls) cui corrisponde, in caso di movimento del terreno di posa, un basso livello di sicurezza e, quindi, un alto punteggio di vulnerabilità. Per quanto riguarda il numero di sostegni in frana, la presenza di questo parametro deriva dal fatto che talvolta i fenomeni di instabilità hanno estensione areale notevole. Nel caso di singolo traliccio il Gestore può isolarlo, in *bypass*, mantenendo la funzionalità della linea durante le eventuali operazioni di consolidamento del basamento. Quando invece l'evento franoso coinvolge più tralicci, l'unica soluzione attendibile è quella di variane il tracciato in questione, implicando disagi sull'utenza in linea, tempi lunghi, costi alti e la necessità di ottenere nuove servitù di passaggio. Ovviamente la situazione è meno critica nel caso di sostegni di minore importanza. Per l'attribuzione dei punteggi, non avendo supporti tecnici più approfonditi, si è scelto di calibrarne gli intervalli sulla base della quantità di pali in frana che si riscontrano nell'area campione.

Il terzo parametro è introdotto per tenere conto del fatto che, se il sostegno porta più linee, tutte le considerazioni precedenti su costi e tempi di ripristino hanno conseguenze di maggior peso.

- **LUNGHEZZA TRATTO IN FRANA.** Questo parametro, di significato evidente nel caso di cavi interrati, può sembrare inutile e ridondante nel caso di rete aerea, dal momento che i conduttori sospesi non vengono interessati direttamente da movimenti del terreno; ma è anche vero che tali movimenti interessano i sostegni di rete e, quanto maggiore è la lunghezza del tratto in frana, tanto maggiore è la probabilità che vi siano uno o più sostegni in frana.
- **CABINA PRIMARIA.** Occorre sottolineare che le cabine primarie, data la loro importanza, sono costruite con tutte le attenzioni del caso e, vista la loro estensione superficiale, vengono solitamente realizzate in ampi spazi pianeggianti, con particolare attenzione nei confronti del terreno di posa. Ciò non toglie che, a seguito di particolari eventi climatici estremi quali piogge molto abbondanti concentrate in un tempo breve, esse possano essere soggette nella totalità od in parte a fenomeni che provochino il danneggiamento delle strutture installate. I corrispondenti

attributi (in frana, sotto frana) tengono allora conto dell'eventualità che la cabina venga coinvolta direttamente dall'evento a rischio o, indirettamente, a seguito di venuta di materiale dal terreno limitrofo al confine dell'impianto (è il caso questo di cabina primaria sita a ridosso di colline o montagne coinvolte da fenomeni localizzati di instabilità).

- CABINA NODO. In questo caso gli attributi rispecchiano la tipologia costruttiva (muratura, su palo), assegnando il punteggio di vulnerabilità minore a quello che garantisce maggiore resistenza strutturale alle sollecitazioni esterne.

RETE ELETTRICA IN FRANA		SI/NO	PUNTEGGIO	TOTALE PUNTEGGIO
Campo 1	Gerarchia	Bassa Tensione	1	Gerarchia + Grado di Rischio
		Media Tensione	2	
		Alta Tensione	3	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
		R3	3	
		R4	4	
TRALICCIO O PALO IN FRANA		SI/NO	PUNTEGGIO	TOTALE PUNTEGGIO
Campo 2	Materiale costitutivo	Acciaio	1	Materiale Costitutivo + Grado di Rischio
		Cls	2	
		Lamiera Zincata	2	
		Legno	3	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
R3		3		
		R4	4	
Campo 3	n° Sostegni in frana	≤ 1	1	n° Sostegni in frana + Grado di Rischio
		1 < n° ≤ 3	2	
		3 < n° ≤ 5	3	
		> 5	4	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
R3		3		
		R4	4	
Campo 4	n° Linee interessate dal sostegno	1	1	n° Linee interessate dal sostegno + Grado di Rischio
		> 1	2 × n° di linee	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
		R3	3	
		R4	4	
LUNGHEZZA TRATTO IN FRANA (INTERRATO/AEREO)		SI/NO	PUNTEGGIO	TOTALE PUNTEGGIO
Campo 5	Lunghezza del tratto in frana	≤ 10 m	1	Lunghezza del tratto + Grado di Rischio
		10 < Tratto ≤ 100	2	
		100 < Tratto ≤ 500	3	
		> 500 m	4	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
R3		3		
		R4	4	
CABINA PRIMARIA		SI/NO	PUNTEGGIO	TOTALE PUNTEGGIO
Campo 6	Posizione	Sotto Frana	1	Posizione + Grado di Rischio
		In Frana	2	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
		R3	3	
		R4	4	
CABINA NODO IN FRANA		SI/NO		
Campo 7	Tipologia	Muratura	1	Tipologia + Grado di Rischio
		Su palo	2	
	Grado di Rischio	R1	1	
		R2	2	
		R3	3	
		R4	4	

Figura 2 - La scheda di vulnerabilità per campi specifici della rete elettrica

Passiamo ora alla “Scheda di valutazione della Vulnerabilità Fisica Pesata”. La sua caratteristica fondamentale è la scomparsa dei campi; infatti, lo scopo della procedura di valutazione della vulnerabilità fisica pesata è quello di giungere ad un giudizio rappresentativo della rete nella sua interezza. È stato allora necessario introdurre un peso che descriva il grado d’influenza di ogni

parametro rispetto alla vulnerabilità globale; la taratura dei pesi è avvenuta in sede di realizzazione di interviste e tramite contatti successivi con i Gestori di Rete. Per ogni scheda si avrà allora un unico punteggio finale, che è la somma dei prodotti del punteggio di ogni parametro per il peso corrispondente. In Fig. 3 è riprodotta, a titolo di esempio, la scheda relativa alla rete elettrica.

GRADO DI RISCHIO		PUNTEGGIO	PESO	PUNTEGGIO PESATO
Grado di Rischio	R1	1	3	Punteggio × Peso
	R2	2	3	Punteggio × Peso
	R3	3	3	Punteggio × Peso
	R4	4	3	Punteggio × Peso
RETE ELETTRICA IN FRANA	SI/NO	PUNTEGGIO	PESO	PUNTEGGIO PESATO
Gerarchia	Bassa Tensione	2	3	Punteggio × Peso
	Media Tensione	3	3	Punteggio × Peso
	Alta Tensione	4	3	Punteggio × Peso
TRALICCIO O PALO IN FRANA	SI/NO	PUNTEGGIO	PESO	PUNTEGGIO PESATO
Materiale costitutivo	Acciaio	1	1	Punteggio × Peso
	CLS	2	1	Punteggio × Peso
	Lamiera	3	1	Punteggio × Peso
	Legno	4	1	Punteggio × Peso
n° sostegni in frana	≤ 1	1	2	Punteggio × Peso
	1 < n° ≤ 3	2	2	Punteggio × Peso
	3 < n° ≤ 5	3	2	Punteggio × Peso
	> 5	4	2	Punteggio × Peso
n° linee interessate dal sostegno	1	3	2	Punteggio × Peso
	> 1	4	2	Punteggio × Peso
LUNGHEZZA TRATTO IN FRANA (INTERRATO/AEREO)	SI/NO	PUNTEGGIO	PESO	PUNTEGGIO PESATO
Lunghezza del tratto in frana	≤ 10 m	1	2	Punteggio × Peso
	10 < l ≤ 100 m	2	2	Punteggio × Peso
	100 < l ≤ 500 m	3	2	Punteggio × Peso
	> 500 m	4	2	Punteggio × Peso
CABINA PRIMARIA	SI/NO	PUNTEGGIO	PESO	PUNTEGGIO PESATO
Posizione	Sotto frana	3	3	Punteggio × Peso
	In frana	4	3	Punteggio × Peso
Quadri di controllo	Integro	3	2	Punteggio × Peso
	Danneggiato	4	2	Punteggio × Peso
CABINA NODO IN FRANA	SI/NO	PUNTEGGIO	PESO	PUNTEGGIO PESATO
Tipologia	Muratura	3	1	Punteggio × Peso
	Su palo	4	1	Punteggio × Peso
TOTALE				

Figura 3 - La scheda di vulnerabilità pesata della rete elettrica.

Gli scenari di vulnerabilità

Il GIS consente sia di effettuare a video l'intersezione fra oggetti grafici vettoriali, rappresentativi di qualunque elemento territoriale, che di gestire un database con le indicazioni fisiche e descrittive di ciascuno degli oggetti rappresentati. È quindi possibile automatizzare la procedura di costruzione degli scenari di vulnerabilità fisica per campi e globale, secondo questa sequenza concettuale:

- costruzione del *layer* della franosità reale;
- sovrapposizione della distribuzione delle 4 *lifelines*;
- compilazione delle schede di vulnerabilità fisica, per campi e pesata, per ogni sottoarea;
- normalizzazione del punteggio totale rispetto all'area;
- assegnazione del livello di vulnerabilità, come da Fig.4.

punteggio	vulnerabilità	colore
[0.0,0.2)	trascurabile	
[0.2,0.4)	bassa	
[0.4,0.6)	media	
[0.6,0.8)	alta	
[0.8,1.0]	molto alta	

Figura 4 - Livelli di vulnerabilità delle reti da rischio frana

L'applicazione della metodologia ha portato a realizzare, per ogni rete e per ogni campo presente nella scheda di valutazione della vulnerabilità per campi specifici, uno scenario che indica il livello di vulnerabilità, detta "orizzontale", raggiunto in ogni Comune dell'area campione (si veda

l'esempio di Fig.5a). Tramite i valori ottenuti compilando le schede per la valutazione della vulnerabilità fisica pesata si realizzano gli scenari di vulnerabilità globale delle singole reti, detta vulnerabilità "verticale", che permettono anche di fare confronti fra più reti (nell'area campione la rete idrica e quella elettrica sono, rispettivamente, la più e la meno sensibile al rischio frana), evidenziando i comuni dell'area campione soggetti al grado di vulnerabilità verticale più elevato; la Fig.5b illustra il caso della rete gas.

Altri scenari sono stati realizzati facendo riferimento esclusivamente alla quantità di tratti in frana che si annoverano in ogni Comune per ciascuna rete (in Fig.6a è mostrato il caso della rete idrica), dato già incluso nella fase di compilazione delle schede di vulnerabilità. Tale scenario può servire a localizzare le aree potenzialmente soggette al maggior numero di danni sulle reti a seguito dell'attivazione di un fenomeno franoso. Infine, è necessario considerare che le reti prese in esame sono servizi pubblici che hanno lo scopo di servire tutte le utenze sul territorio. Stabilendo allora un rapporto di uno ad uno tra la popolazione residente in ogni Comune dell'area campione ed il numero di utenze servite dalle singole reti, è stato realizzato per ogni rete un nuovo scenario (in Fig.6b è riportato il caso della rete fognaria) che, oltre alla vulnerabilità fisica pesata, comprende anche il numero dei residenti.

A completamento dell'approccio adottato, si è infine ottenuto un ulteriore scenario, sommando i valori di vulnerabilità globale delle quattro reti considerate con riferimento all'utenza servita, nell'intento di individuare un panorama di vulnerabilità assoluta (Fig.7).

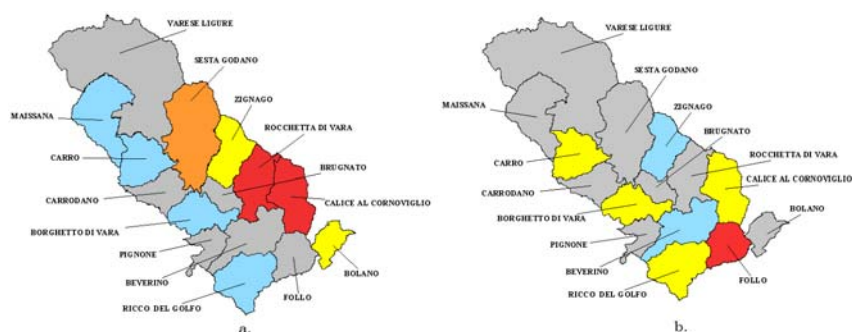


Figura 5 - Scenari di vulnerabilità: a. orizzontale (rete elettrica: cabina nodo); b. verticale (rete gas)

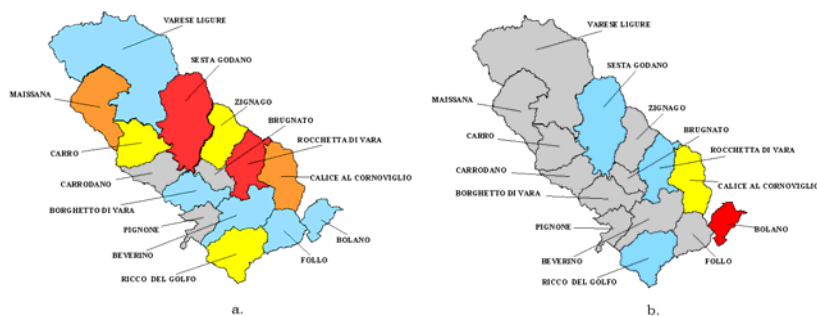


Figura 6 - Scenari di vulnerabilità: a. per tratti (r. idrica); b. verticale e popolazione (r. fognaria)



Figura 7 - Vulnerabilità fisica assoluta