

2. PARAMETRI DI VALUTAZIONE

2.1. Premesse

In ottemperanza con il dispositivo del [D.L. 11/6/1998, n. 180](#), convertito con [L.267/98](#) e successive modificazioni, il presente Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico riguarda le "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico" e si articola nelle seguenti fasi:

fase 1 individuazione delle aree a soggette a rischio e pericolosità idrogeologica;

fase 2 perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio e pericolosità e definizione delle conseguenti misure di salvaguardia;

fase 3 programmazione straordinaria per la mitigazione dei rischi più elevati.

Tali fasi investono separatamente due categorie di rischio:

a) il rischio d'inondazione, indicato col termine di **rischio idraulico**;

b) il rischio di dissesti di versanti, indicato col termine di **rischio geomorfologico**.

2.1.1. Categorie di rischio

Nel decreto legge 180/98 e nell'atto d'indirizzo e coordinamento - [DPCM 29/9/1998](#), vengono distinte quattro categorie di rischio, definito prevalentemente sulla base del tipo di danno prodotto:

- **rischio moderato (R1)**: per i quali i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;

- **rischio medio (R2)**: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

- **rischio elevato (R3)**: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale,

- **rischio molto elevato (R4)**: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Secondo tali definizioni non compare esplicitamente nella definizione di rischio la probabilità che i danni indicati vengano prodotti e quindi la frequenza con cui ci si può attendere che l'evento calamitoso abbia luogo.

Peraltro nella perimetrazione delle aree inondabili si distinguono chiaramente aree a bassa, moderata e alta probabilità d'inondazione e nell'atto d'indirizzo e coordinamento (DPCM 29/9/1998) si prevede esplicitamente che la perimetrazione delle aree a rischio risulti dalla sovrapposizione delle aree inondabili e della carta degli insediamenti, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale, il che reintroduce una certa considerazione per la probabilità del danno.

Per chiarire tali ambiguità d'impostazione è opportuno un chiarimento sull'impostazione data alla definizione delle aree a rischio nell'ambito della redazione del presente Piano Straordinario.

2.1.2. Definizione del rischio

Valutazione dell'intensità o pericolo del fenomeno (velocità, volume, energia, ecc.);

Per quanto riguarda altri tipi di catastrofi naturali, quali gli eventi meteorologici estremi, le piene o i terremoti, la definizione dell'intensità di un evento è immediata in quanto può essere fatta corrispondere rispettivamente all'altezza di precipitazione, alla portata al colmo piena o alla magnitudo del sisma. Per i fenomeni franosi la definizione dell'intensità è più problematica, infatti, la severità di una frana dipende da una serie di fattori di difficile valutazione. Spesso l'intensità delle frane è valutata secondo scale che forniscono una previsione delle possibili conseguenze. E' questo il caso per esempio del progetto francese PER (Plan d'Exposition aux Risques), nell'ambito del quale sono definiti a priori dei livelli d'intensità, in base alle possibili conseguenze sull'incolumità umana e sul quadro economico. Tale approccio, analogo a quello impiegato nella sismologia per esprimere l'intensità dei terremoti con la scala Mercalli, è tuttavia sconsigliabile in quanto presuppone già nella definizione dell'intensità del fenomeno una valutazione delle

possibili conseguenze (ovvero del rischio). Sarebbe preferibile, invece, definire la severità del fenomeno a priori rispetto alle conseguenze attese in base alle sole caratteristiche geometriche, cinematiche e meccaniche. In questo caso potranno essere considerate scale di intensità diverse a seconda che siano basate sulla velocità (HUNGR, 1991- CRUDEN & VARNES, 1994) sul volume (FELL, 1994 - Delegation aux Risques Majeurs,1990) o sull' energia (MORGENSTERN,1985- CRUDEN & VARNES,1994 - SASSA, 1988). Per ogni tipologia di frana dovranno essere individuate delle classi differenziate in funzione dell' intensità del fenomeno (velocità, volume, energia, et.).

2.1.3. STIMA DEGLI ELEMENTI A RISCHIO

Pero ogni tipologia di elemento a rischio, si può quantificare un valore W espresso dal numero di unità esposte N o dall'area esposta S . SI Può considerare un valore monetario, moltiplicando W per un costo unitario.

Per il calcolo del valore totale degli elementi a rischio, si applica:

$$W = [R (M - E)] N_{ab} + N_{ed} \cdot C_{ed} + C_{str} + C_{morf}$$

Dove:

R = reddito medio abitanti

M = età media di morte abitanti

E = età media abitanti

N_{ab} = n° abitanti

N_{ed} = n° edifici

C_{ed} = costo medio degli edifici

C_{str} = costo delle strutture e infrastrutture

C_{morf} = costo delle modificazioni morfologiche

W va moltiplicato per un appropriato indice di vulnerabilità.

2.1.4. LA VALUTAZIONE DEL DANNO (D)

esprime l' entità dei danni dato il verificarsi di un fenomeno franoso ed è definito dal prodotto del valore degli elementi a rischio (E) per la loro vulnerabilità (V); $D = E \cdot V$

Prevede l' acquisizione dei seguenti elementi:

- carta dell' intensità,
- catalogo e mappatura degli elementi a rischio,
- carta di sintesi del danno potenziale e scenari di evento.

2.1.5. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA'

La valutazione della pericolosità (H) risulta generalmente complessa e richiede la quantificazione, spaziale e temporale, della probabilità di occorrenza del fenomeno. L' analisi si sviluppa con la raccolta di una serie di dati:

- Descrizione dello stato della natura: censimento e descrizione dei fenomeni franosi, raccolta dei dati sulle cause (fattori di franosità) e sugli effetti (frane passate e presenti);
- Valutazione dell' intensità distinzione delle frane in base al grado di severità, basato il più possibile su caratteri fisico-meccanici propri del fenomeno (velocità, volume, energia, ecc.) ;
- Valutazione della pericolosità: stima della probabilità di occorrenza in ogni punto della zona, considerata per ogni intensità del fenomeno;

Esistono diversi metodi indiretti che stabiliscono, a priori, la pericolosità di una determinata area. **Oyagi** (1984) ha riscontrato una forte corrispondenza tra l'instabilità e la pendenza, proponendo una relazione che stabilisce il fattore critico (F_{cr}) per la comparsa dei dissesti: $F_{cr} = A^{0.22} \cdot \tan \Theta$; dove Θ è l'inclinazione del versante e A l'area del bacino idrografico.

Per la realizzazione di una carta della pericolosità: si esegue una zonazione completa del territorio sulla base della probabilità di occorrenza dei fenomeni franosi presenti, passati o potenziali. Tiene conto degli aspetti fisici del territorio;

2.1.5.1. Determinazione pericolosità

Consiste nella definizione della probabilità di un fenomeno franoso di determinate caratteristiche. Tale valutazione risulta generalmente complessa e richiede la quantificazione, sia a livello spaziale che temporale, della probabilità di occorrenza dell' evento. Inoltre ad un fenomeno franoso possono essere associati determinati attributi (es.: tipologia, intensità, tipo d'evoluzione). Tali attributi, geometrici o meccanici, possono essere considerati come descrittori del pericolo, anziché della pericolosità che dovrà tenere conto di una previsione dell' evoluzione futura del fenomeno. La valutazione completa della pericolosità richiede i seguenti passi:

- previsione spaziale (dove entro una data area ed entro un dato periodo di tempo si può verificare una frana);
- previsione temporale (quando), previsione tipologica (tipo di frana);
- previsione dell' intensità (previsione della velocità, delle dimensioni o dell' energia del fenomeno franoso);
- previsione dell' evoluzione (distanza di propagazione, limiti di retrogressione o espansione laterale).

La pericolosità H_t è strettamente connessa al periodo di ritorno T , che esprime l' intervallo di tempo nel quale l' evento si verifica in media una volta. Vale la relazione $H_t = I - (I - 1/T)t$. La previsione risulta finalizzata ad individuare, per la tipologia di rischio inondazione, le aree vulnerabili, e, all' interno di queste, gli elementi a rischio e la loro vulnerabilità in modo da pervenire, nota che sia la pericolosità dell' evento, ad una stima del rischio su un prefissato orizzonte temporale. Ne deriva che per elaborare razionalmente un piano di controllo delle piene per una zona soggetta ad inondazioni è necessario avere conoscenza sia delle variabili economiche che intervengono nel problema sia della dinamica di tutti i fenomeni coinvolti in tale processo. In particolare nel campo idrologico: il regime pluviometrico della regione, le perdite d' acqua per infiltrazione ed evapo-traspirazione, il meccanismo con cui le onde di piena si formano nel bacino e si propagano nell' alveo fluviale, ecc.

Dal punto di vista prettamente idraulico gli eventi di piena possono essere controllati attraverso metodi differenti:

interventi strutturali:

- riduzione delle portate a mezzo del temporaneo immagazzinamento in serbatoi di laminazione, casse d' espansione e zone d' allagamento o a mezzo di scolmatori di piena e diversivi;
- sistemazione e ampliamento degli alvei e dei manufatti di attraversamento per renderli idonei a contenere le portate massime;

interventi non strutturali:

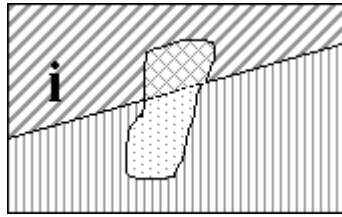
- limitazioni d' uso del suolo;
- sistemi di preannuncio in tempo reale.

2.1.5.2. SUSCETTIBILITA'

Si dice suscettibile una cosa od una persona capace di subire le influenze esterne fino a modificarne la situazione originale.

Nei paragrafi precedenti si è detto più volte che esistono diversi parametri che influiscono sull' instabilità di un' area. Nella realizzazione della cartografia del Rischio, della Vulnerabilità e del Pericolo si considera la suscettibilità del territorio a subire l' influenza di un determinato parametro fisico, morfologico, geologico, strutturale climatico ecc., che muti col tempo lo stato di equilibrio di un determinato territorio. Un' area può quindi essere più o meno suscettibile alla pendenza, alla litologia, all' uso del suolo ecc.

Un metodo per valutare la tendenza di un dato parametro a modificare lo stato di equilibrio di una data area, consiste nell'elaborazione della carta della suscettibilità al movimento dei versanti. Il metodo proposto da Kunlong e Tongzhen, prevede di calcolare il valore del parametro I_t secondo il seguente procedimento:



S_i = superficie della variabile i con movimenti in atto



+



N_i = superficie totale della variabile i



+



S = superficie totale dei versante instabili



+



+



+



N = superficie totale della zona studiata

$$I_t = \sum I_i$$

$$I_i = \log (S_i/N_i)/(S/N) = S_i \cdot N/N_i \cdot S$$

La variabile i può essere ad esempio la litologia, la pendenza, l'esposizione ecc.

Con le formule riportate sopra è possibile stabilire la suscettibilità al movimento dei versanti attribuendogli anche una classe in base al valore di I_t :

Classe	Suscettibilità	I_t
I	Bassa – molto bassa	$< - 0.75$
II	Moderata - bassa	$0.05 > I_t > - 0.75$
III	Moderata - alta	$0.5 > I_t > 0.05$
IV	Alta – molto alta	> 0.5

Questo metodo presenta comunque delle limitazioni dovute principalmente alla bontà del rilevamento. Più precisamente bisogna tener ben presente che non tutta l' area interessata da una frana deve essere considerata instabile, infatti l' instabilità si rileva in corrispondenza del coronamento e della superficie di distacco. Questo per dire che se una determinata frana attiva occupa alcune centinaia di metri di versante, l' instabilità va considerata per le pendenze in cui è presente il coronamento.

L' insieme delle previsioni dovrà essere sintetizzata in modo da definire in maniera completa la pericolosità. Nel nostro caso non sarà effettuata una vera valutazione di pericolosità ma piuttosto verrà indicato un pericolo definito come previsione spaziale dell' accadimento di un fenomeno di una certa intensità.

Per il progetto delle opere del primo tipo è quasi sempre necessario conoscere dettagliatamente l' evolversi del fenomeno e cioè la forma dell' idrogramma di piena, la portata massima al colmo, il volume dell' onda, etc. Per le opere del secondo tipo può essere sufficiente, invece, conoscere solo il valore delle portate massime che con assegnata frequenza probabile possono presentarsi nel fiume, indipendentemente da tutte le altre caratteristiche del fenomeno. I sistemi di preannuncio delle piene nelle forme più avanzate richiedono la conoscenza delle modalità con cui le onde si formano nel bacino e si propagano nell' alveo fluviale.

2.1.6. LE CARTE DI VULNERABILITÀ

Nella valutazione della vulnerabilità (V) per ogni tipologia di elemento a rischio e per ogni intensità del fenomeno viene definito un grado di perdita;

Quando si dispone di un numero qualitativamente e quantitativamente sufficiente di dati, si possono utilizzare dei metodi statistici e probabilistici. Jones ed altri (1961), analizzarono più di 300 movimenti differenti, presenti nei terrazzamenti del Rio Columbia. I movimenti furono raggruppati per tipologia (vedere classificazione frane) e trattati in maniera indipendente. I dati rilevati, riferiti al tipo di materiale, riguardavano:

- x_1 = pendenza originale;
- x_2 = percentuale di sommersione;
- x_3 = altezza del terrazzo;
- x_4 = profondità falda sotterranea

Una volta stabilito il peso di ciascun fattore e le correlazioni con le altre variabili, si ottenne la seguente funzione discriminante semplificata "y":

$$y = 0.00216 \lg x_1 + 0.00335 \lg x_2 + 0.00944 \lg x_3 + 0.00673 \lg x_4$$

La funzione y varia tra i valori -0.0019 e +0.0404. I valori bassi corrispondono ai versanti stabili mentre quelli elevati si ritrovano nelle frane attive. Il limite inferiore per i versanti in movimento risulta essere $y = 0.0106$, con una probabilità di 0.01

2.1.7. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ

Esprime il grado di perdita prodotto su un elemento a rischio e dipende dal tipo di elemento a rischio e dall'intensità del fenomeno franoso.

$V = P$ (probabilità che un elemento subisca un certo danno per il verificarsi di un dato fenomeno di data intensità). In una forma più completa:

$$V = V_s + V_t + V_l$$

Dove:

V_s = probabilità che un elemento sia interessato da una frana

V_t = variabilità nel tempo degli elementi a rischio (per es. possibilità che un edificio durante il verificarsi della frana sia occupato da persone)

V_l = probabilità di perdita di vita per ogni occupante l'edificio.

V_s , V_t e V_l vanno da 0 a 1.

La vulnerabilità umana è valutabile dall'intensità di un fenomeno franoso e dalla velocità della corsa della frana (se minore di 1 m/s non vi sono feriti).

La combinazione di due o più tipologie di movimento, associate nello spazio e nel tempo, da luogo a Movimenti Complessi.

Ai diversi tipi di fenomeno ed in funzione delle litologie coinvolte, è associata una velocità d' evento:

CLASSE	DESCRIZIONE	VELOCITÀ (VARNES)	VELOCITÀ (IUGS/WGL)	OSSERVAZIONI
I	estremamente lento	0.06 m/anno	0.016 m/anno	impercettibile senza strumenti di monitoraggio, costruzione di edifici possibile con precauzioni
II	molto lento	0.06 - 1.5 m/anno	0.016 - 1.6 m/anno	alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento
III	lento	1.5 m/anno - 1.5 m/mese	1.6 m/anno - 13 m/mese	possibilità di intraprendere i lavori di rinforzo e restauro durante il movimento; le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se lo spostamento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione

IV	moderato	1.5 m/mese - 1.5 m/giorno	13 m/mese - 43.2 m/giorno	alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute
V	rapido	1.5 m/giorno - 0.3 m/min	43.2 m/giorno - 3 m/min	evacuazione possibile; distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti
VI	molto rapido	0.3 m/min - 3 m/s	3 m/min - 5 m/s	perdita di vite umane, velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione
VII	estremamente rapido	>3 m/s (108 km/h)	> 5m/s	catastrofe di eccezionale violenza, edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato, molti morti, fuga impossibile

Basandosi su queste considerazioni Hungr (1981) propone una distinzione dei fenomeni in classi di distruttività:

CLASSE	DESCRIZIONE
I	qualsiasi tentativo di porsi in salvo è impossibile; movimento estremamente rapido con velocità compresa fra 10 e 100 m/s
II	perdita di vite umane, l'evacuazione completa della popolazione è impossibile; movimento da molto ad estremamente rapido con velocità compresa fra 1 e 10 m/s
III	l'evacuazione della popolazione è possibile, distruzione di immobili ed installazioni permanenti; movimento da rapido a molto rapido con velocità compresa fra 0.001 ed 1 m/s
IV	parziale danneggiamento di installazioni provvisorie; movimento da moderato a rapido con velocità compresa fra 10 e 10000 m/anno
V	possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro; movimento da molto lento a lento con velocità compresa fra 1 e 10 m/anno
VI	possibili accorgimenti costruttivi per mantenere la funzionalità completa di tutte le installazioni permanenti; movimento da estremamente lento a molto lento con velocità compresa fra 0.01 ed 1 m/anno

Per la vulnerabilità dei beni immobili, si può valutare il danno provocato da frane di diverso tipo ed intensità su edifici di diverse caratteristiche.

2.1.8. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Stevenson (1977) propone valori ponderati, definendo il rischio come una combinazione di questi:

$$R = (P+2W) \cdot (S+2C)U$$

Dove:

P = fattore argilla (considera i valori dell'indice di plasticità della litologia interessata)

W = fattore acqua (considera la posizione del livello freatico più elevata durante l'anno, in relazione alla superficie di rottura)

S = angolo del versante

C = complessità strutturale (scarpa semplice, rottura antica, rottura recente ecc.)

U = uso del suolo (bosco, urbanizzato ecc.).

Ciascun fattore può avere un valore compreso da 1 a 3 escluso l'uso del suolo che va da 1 ad 1.5. Per valori di $R > 60$ si verifica la rottura; per $60 > R > 50$ si ha una situazione instabile; per $R < 50$ l'area è stabile.

Nella realizzazione di una carta del Rischio è necessario combinare tra loro tutti i fattori responsabili dell'instabilità. È chiaro che ciascun fattore non può essere scelto a priori, ma deve rispondere ai caratteri oggettivi dell'area studiata. Con questo si vuole dire che, ad esempio, la litologia è indubbiamente uno dei fattori scatenanti, ma diventa causa d'instabilità solo in determinate aree e a determinate condizioni (non è detto che le marne, o le pendenze eccessive siano destabilizzanti su tutte le aree).

È quindi necessario realizzare un'accurata analisi geologica, strutturale e morfologica del territorio, evidenziando le aree soggette ad instabilità ed i fattori scatenanti. Per ogni fattore deve essere scelto un peso, in maniera oggettiva.

- La valutazione del rischio (R) consiste nella combinazione d'informazioni sulla pericolosità del fenomeno, sulla vulnerabilità e sul valore degli elementi a rischio. Esso è pertanto espresso dall' equazione:

$$R = H \cdot D = H \cdot V \cdot E.$$

- La valutazione del rischio è l' oggetto delle attività di "previsione" così come definita dalla Legge n. 225 del 24.02.1992. Nelle zone in cui il rischio supera le soglie socialmente accettabili sarà opportuno prevedere interventi di prevenzione. Possono essere inoltre definite delle soglie di rischio tollerabile sulla base di fattori di tipo socio-ambientale (*rischio accettabile*).
- La gestione del rischio può essere attuata, secondo i casi, intervenendo nei confronti della pericolosità, della vulnerabilità, degli elementi a rischio o del rischio accettabile. La gestione del rischio è pertanto l' oggetto delle attività di "prevenzione" così come definita dalla Legge n.225 del 24.02.1992.

2.1.9. PERIMETRAZIONI

Con riferimento alle definizioni del [DPCM 29/09/98](#) (Atto di indirizzo e coordinamento per l' individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui [all' art. 1, commi 1 e 2, del DL 11/6/1998, n. 180](#)) L' art. 1 del decreto-legge n. 180/1998 si pone, al comma 1, come obiettivo quello di far sì che le autorità e le amministrazioni preposte definiscano la perimetrazione delle aree esposte a rischio idrogeologico sull' intero territorio nazionale nonché efficaci misure di salvaguardia. A ciò è destinata parte delle risorse individuate al comma 1 dell' art. 8 della stessa legge

Nell'ambito della normativa citata devono essere indicate:

a) per le aree a rischio idraulico

- aree **P4** ad **alta probabilità di inondazione** (indicativamente con tempo di ritorno "Tr" di 20-50 anni);
- aree **P3** a **moderata probabilità di inondazione** (indicativamente con "Tr" di 100-200 anni);
- aree **P2** a **bassa probabilità di inondazione** (indicativamente con "Tr" di 300-500 anni).

b) per le frane:

- aree **P4**, in cui sono state individuate frane attive e quiescenti,
 - aree **P3**, stabili.
-

RISCHIO GEOMORFOLOGICO

5. PERICOLO DI FRANA

Fase prima - Fase di individuazione delle aree a rischio di frana e valanga.

Per l' attività da svolgersi nell' ambito di detta fase occorre avvalersi di un' analisi territoriale svolta in scala adeguata, almeno 1:25.000, in base ad elementi noti e a dati già disponibili.

Fase seconda - Fase di perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio. Dalla fase di individuazione delle aree pericolose si passa a quella della perimetrazione delle aree a rischio attraverso una valutazione basata sull' esistenza di persone, beni e attività umane e del patrimonio ambientale.

Sulla base della sovrapposizione della carta dei fenomeni franosi e della carta degli insediamenti, delle attività antropiche e del patrimonio ambientale è possibile una prima perimetrazione delle aree a rischio, secondo differenti livelli, al fine di stabilire le misure di prevenzione, mediante interventi strutturali, e/o vincolistici che consentano la definizione delle misure di salvaguardia.

Le diverse situazioni sono aggregate in quattro classi di **rischio** a gravosità crescente (**1=moderato/a**; **2=medio/a**; **3=elevato/a**; **4=molto elevato/a**), alle quali sono attribuite le seguenti definizioni:

- **moderato R1:** per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- **medio R2:** per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l' incolumità del personale, l' agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- **elevato R3:** per il quale sono possibili problemi per l' incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- **molto elevato R4:** per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Fase terza - Fase di programmazione della mitigazione del rischio.

si sostanzia in analisi ed elaborazioni, anche grafiche, sufficienti ad individuare le tipologie di interventi da realizzare per la mitigazione o rimozione dello stato di pericolosità, a consentire l' individuazione, la programmazione e la progettazione preliminare per l' eventuale finanziamento degli interventi strutturali e non strutturali di mitigazione del rischio di frana o valanga, o, comunque, per l' apposizione di vincoli definiti all' utilizzazione territoriale comprese le indicazioni delle eventuali, necessarie delocalizzazioni di insediamenti. È propria di questa fase l' indagine geologica e geotecnica per l' acquisizione dei parametri ed elementi di valenza progettuale, nonché l' eventuale monitoraggio.

5.1. Misure di salvaguardia per rischio di frana.

Le aree a rischio di frana vengono di massima ripartite in due diversi livelli di rischio.

Per dette aree sono indicati i seguenti indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia.

a. **Aree a rischio molto elevato.**

In tali zone sono consentiti esclusivamente:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione; gli interventi di manutenzione ordinaria così come definiti alla lettera a) dell' art. 31 della legge n. 457/1978;
- gli interventi strettamente necessari a ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d' uso che comportino aumento del carico urbanistico;

- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico;
- tutte le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi.

b. **Aree a elevato rischio.**

Oltre agli interventi ammessi per l' area a), sono consentiti esclusivamente:

- gli interventi di manutenzione straordinaria, restauro, risanamento conservativo, così come definiti alle lettere b) e c) dell' [art.31 della legge n. 457/1978](#), senza aumento di superficie o volume, interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell' edificio;
- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico-sanitario.

I dissesti inseriti in zona P4 sono:

- frane attive, ossia dissesti di natura gravitativa per i quali si hanno notizie certe di movimenti negli ultimi decenni oppure dove, in assenza di resoconti certi sul verificarsi di detti movimenti, da sopralluoghi o osservazione di foto aeree emergano segni evidenti di ripresa dei fenomeni, e la cui probabilità di riattivazione è quindi elevata;
- frane quiescenti, ossia dissesti per i quali non vi sono notizie di riattivazioni recenti oppure che pur essendo state definite genericamente attive nei precedenti studi non sono emersi nel corso del lavoro indizi evidenti di recenti riprese del fenomeno, ma il cui rischio di riattivazione è comunque significativo.

5.2. Perimetrazione della vulnerabilità

Nell'ambito del presente studio la vulnerabilità è stata assunta pari al valore esposto, descritto qualitativamente sotto forma di classi di uso del territorio.

Le classi di uso del territorio, individuate sulla cartografia 1:10.000 (CTR) e digitalizzate, sono indicate nella tabella 1.

Tabella 1 - Classi di uso del territorio

Cod.	Classe d'impiego del territorio	Descrizione
1	Aree Urbane ad Alta Densità Abitativa	aree chiaramente connesse ai centri urbani con tipologia edilizia prevalente a palazzi o palazzine comunque multipiano
2	Aree Urbane a Bassa Densità Abitativa	aree separate dai centri urbani o con tessitura chiaramente piu' rada ancorché regolare, borghi, zone residenziali periferiche con tipologia edilizia prevalente a ville o villini
3	Aree con Case Sparse	confini catastali o aree di stretta pertinenza di casolari, fattorie, case sparse con corti
4	Edifici Pubblici	edifici pubblici di particolare importanza strategica (ospedali, caserme, municipi, opere d'arte)
5	Aree Infrastrutturate	aree di stretta pertinenza di impianti di depurazione, stoccaggio RSU o similari, campi pozzi, grandi tralicci reti aeree, parchi attrezzati, camping, aree archeologiche attrezzate, verde pubblico attrezzato ecc.
6	Aree Produttive Industriali	confini catastali o aree di stretta pertinenza di opifici, centrali idroelettriche o di trasformazione, magazzini, ecc.
7	Aree Produttive Agricole	serre, aree irrigate con impianti fissi, ecc.
8	Autostrade	aree di stretta pertinenza della rete autostradale, comprensive di stazioni, infrastrutture connesse, aree di servizio, ecc.
9	Strade Statali	aree di stretta pertinenza della rete stradale statale comprensive di stazioni, infrastrutture connesse, aree di servizio, ecc.
10	Strade Provinciali	aree di stretta pertinenza della rete stradale provinciale ritenute significative per il loro valore intrinseco o per il loro valore ai fini della sicurezza in caso di evacuazione
11	Strade Comunali	aree di stretta pertinenza della rete stradale comunale e vicinale ritenute significative per il loro valore intrinseco o per il loro valore ai fini della sicurezza in caso di evacuazione
12	Ferrovie	aree di stretta pertinenza della rete ferroviaria
0	aree con vulnerabilità non significativa	aree non antropizzate e prive di beni esposti

5.3. Perimetrazione del Rischio

Sempre con riferimento alle definizioni del DPR 11/6/1998, n. 180, nell'ambito del presente Piano Straordinario è stata considerata soltanto la classe, di cui al punto 1.1, di rischio molto elevato R4.

Le zone a rischio sono determinate dall'intersezione delle zone delle classi d'uso del territorio, che rappresentano la vulnerabilità, e delle zone di pericolosità e sono rappresentate nella planimetria 1:10.000 (CTR).

5.3.1. Rischio d'inondazione

Le zone R4 sono determinate dall'intersezione delle zone delle classi d'uso del territorio, e delle zone di pericolosità P4 secondo quanto indicato dalla tabella 2, in cui sono indicati i codici delle classi di uso del territorio della tabella 1 che, ricadendo in ciascuna zona di pericolosità, individuano la classe di rischio.

Tabella 2 - Definizione delle zone a rischio d'inondazione

	R4
P4	1, 2, 4, 6, 8, 9, 12

5.3.2. Rischio di frana

Le zone R4 sono determinate dall'intersezione delle zone delle classi d'uso del territorio e della zona di pericolosità P4 secondo quanto indicato dalla tabella 3.

Tabella 3 - Definizione delle zone a rischio di frana

	R4
P4	1, 2, 4, 6, 8, 9, 12

6. Misure di Salvaguardia

Le misure di salvaguardia (DL 11/6/1998, n. 180 e successive modificazioni, art. 1, comma 1bis) si riferiscono alle seguenti aree:

- aree a rischio molto elevato R4;
- aree a pericolosità P4.

Scopo delle misure di salvaguardia è:

- nelle aree a rischio R4 l'eliminazione del rischio o la riduzione di questo a livelli accettabili;
- nelle aree in pericolo (ovvero soggette ad eventi ma ancora prive di insediamenti vulnerabili), in cui non sussistono quindi condizioni di rischio molto elevato o elevato, impedire che l'aumento della vulnerabilità a seguito d'interventi antropici produca l'insorgere di condizioni di rischio molto elevato o elevato.

Nell'apposito allegato relativo alle "NORME D'ATTUAZIONE" sono indicate le disposizioni e le misure specifiche finalizzate agli scopi sopra descritti.

7. Interventi Urgenti

Gli interventi urgenti (DL11/6/1998, n. 180 e successive modificazioni, art. 1, comma 2) sono indicati ed elencati nell'allegato "INTERVENTI URGENTI" dove sono riportate tutte le proposte di intervento analizzate nell'ambito del prossimo Piano Stralcio e dove sono stati altresì selezionati gli Interventi Urgenti finalizzati ai finanziamenti straordinari di cui al DL 180/98.

Tutti gli interventi indicati sono riferiti alla soluzione di criticità idrogeologiche e quindi alla mitigazione di rischi, ma nel loro ambito si è cercato di identificare le situazioni che, allo stato delle conoscenze attuale, risultano essere più urgenti ed indifferibili.

Nell'ambito dei fondi assegnati al territorio di competenza dell'Autorità dei Bacini Regionali per i finanziamenti straordinari di cui al DL 180/98 ed una volta accertata la non sussistenza di altri programmi

finanziari già in fase esecutiva, i criteri adottati per la selezione degli interventi urgenti da proporre sono stati i seguenti:

1. Interventi connessi alla rimozione di situazioni dove sono stati segnalati incidenti gravi in seguito ad eventi calamitosi di natura idrogeologica;
2. Interventi tesi alla mitigazione di rischi idrogeologici più elevati R4 rilevati sulla base delle indagini territoriali eseguite, dove si identificano le più estese aree di vulnerabilità a più alto valore esposto (centri urbani ad alta densità, strade di primaria importanza, ecc.);
3. Interventi in Comuni dichiarati a rischio idrogeologico più elevato dal Ministero dell'Ambiente (Ufficio del Consigliere ministeriale per la Difesa del Suolo. Segreteria Tecnica - Classificazione dei comuni italiani in base al livello di attenzione per il rischio idrogeologico, da utilizzarsi nelle procedure di individuazione delle aree a rischio di cui al D.L. 180/98, al relativo atto di Indirizzo e Coordinamento **DPCM 29/9/1998** nonché al **D.L. 132/99**);
4. Interventi per i quali sono state già inoltrate specifiche richieste da parte di enti territoriali;
5. Interventi, a parità di altre condizioni, per i quali sussista già un livello progettuale avanzato.

PREVENZIONE: è il complesso di misure strutturali e non, basate sulla predizione, che vengono attuate per limitare al minimo il danno economico e sociale prodotto da un rischio (pericolo). La legge istitutiva del Servizio Nazionale della Protezione Civile (legge 24/02/1992, n. 225) è nata con compiti essenzialmente preventivi, per tutelare l'integrità della vita, i beni, gli insediamenti e l'ambiente dai danni derivanti da calamità naturali, catastrofi ed altri eventi calamitosi.

Misure strutturali	Misure non strutturali
Costruzione di argini per impedire inondazioni, costruzione di paratie per contrastare le frane, ecc.	Realizzazione di piani urbanistici basati sulla pericolosità e sul tempo di ritorno, trasferimento d'insediamenti abitativi o industriali.

8. CONCETTI GENERALI

Si definisce "**frana**" un movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante. Per quanto riguarda le definizioni relative alle varie componenti che concorrono nella determinazione del rischio frana, si ricorda che nel 1976 l'**UNESCO** ha costituito un'apposita "commissione frane" nell'ambito dell'**IAEG** (International Association of Engineering Geology) con il fine di promuovere studi sulla pericolosità per frana.

Si riportano qui di seguito le definizioni dei termini relativi alla pericolosità ed il rischio così come si trovano nel rapporto **UNESCO** di Varnes & **IAEG** (1984):

- **Pericolosità (hazard H):** probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area.
- **Elementi a Rischio (element at risk E):** popolazione, proprietà, attività economiche, inclusi i servizi pubblici ecc., a rischio in una data area.
- **Vulnerabilità (vulnerability V):** grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una certa intensità.
- **Rischio Specifico (specific Risk Rs):** grado di perdita atteso quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale. Può essere espresso dal prodotto di H per V.
- **Rischio totale (total Risk R):** atteso numero di perdite umane, feriti, danni alla proprietà, interruzione di attività economiche, in conseguenza di un particolare fenomeno naturale; il rischio totale è pertanto espresso dal prodotto:

Di seguito si sintetizza la proposta di metodologia elaborata dal Servizio Geologico della Regione Lombardia (Agostoni-Laffi), sulla base di quanto menzionato nei capitoli precedenti

La previsione del rischio comprende "le attività dirette allo studio ed alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, all'identificazione dei rischi ed all'individuazione delle zone del territorio soggette ai rischi stessi" (articolo 3 Legge istitutiva del Servizio Nazionale della protezione Civile 225/1992).

La previsione del rischio di frana si realizza mediante la produzione di una serie di documenti cartografici, quali:

- Carta del danno: si realizza mediante la zonazione del territorio sulla base delle conseguenze potenziali dei fenomeni franosi sugli elementi a rischio. Serve a rilevare le aree interessate dall'attualizzazione di un pericolo, nelle quali mettere in atto misure strutturali e non. Si differenzia dalla precedente perché non si limita ad evidenziare le zone instabili, ma comprende anche le aree interessate dall'evoluzione di frane, inondazioni ecc.
- Carta del rischio: si ottiene la zonazione del territorio sulla base delle conseguenze attese dei fenomeni franosi (danno atteso) sugli elementi a rischio. Deve evidenziare il danno a beni e persone, prodotto dall'eventuale attualizzazione di un pericolo, in aree nelle quali gli interventi strutturali sono inutili o insufficienti.

Per un' analisi completa del rischio, effettuata con costi accettabili, è necessario procedere per livelli di approfondimento successivi. Ad ogni livello di indagine corrisponderà una diversa scala di realizzazione della cartografia tematica ed un diverso grado di dettaglio dei dati e delle informazioni prese in esame. Per quanto concerne il lavoro in oggetto saranno previsti almeno due differenti livelli, uno a scala regionale e provinciale (scala 1:25.000, 1:10.000) ed uno di maggior dettaglio per le aree riconosciute ad alto rischio.

9. CARTOGRAFIA TEMATICA

La raccolta dei dati viene sintetizzata in carte tematiche, in carte inventario delle frane ed in schede descrittive dei fenomeni franosi. Tali carte sono talvolta identificate con il termine di "carte del pericolo" poiché forniscono indicazioni sulla geometria e sul meccanismo dei fenomeni franosi. Tuttavia esse sono sostanzialmente carte analitiche in cui viene registrato lo stato di fatto e non viene fornita alcuna sintesi o parametrizzazione del pericolo, ovvero dell' intensità. Dall' interpretazione di queste mappe è possibile derivare i parametri necessari per quantificare il pericolo. Alla rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi viene generalmente associato un codice al quale è riferita una scheda descrittiva in cui sono riportati i dettagli rilevabili direttamente sul terreno o attraverso ricerche storiche, che non potrebbero essere rappresentati in forma cartografica. Tutti i dati raccolti confluiranno in un sistema informativo territoriale (G.I.S.) che oltre a permettere l' associazione di banche dati ad elementi geografici, consentirà un rapido e costante aggiornamento dei dati stessi. Le principali carte tematiche sono:

- **carta topografica** (raster/vettoriale), modello digitale del terreno (DTM) e carte derivate;
- **carta geologico-strutturale;**
- **carta della dinamica geomorfologica;**
- **carta inventario dei fenomeni franosi;**
- **carta dell' uso del suolo;**
- **carta della pendenza.**

ANALISI STATISTICA

In letteratura vengono descritti alcuni metodi per eseguire l'analisi di stabilità di versanti utilizzando le tecnologie GIS: comune a tutti i tipi di analisi è il fatto di essere profondamente legate alla qualità dei dati immessi, ed è stato dimostrato che, in una stessa area, la discrepanza tra i dati presentati da due diversi rilevatori può arrivare anche ad una percentuale superiore al 50%. Appare importantissima pertanto la necessità di porre grande attenzione per una riproduzione il più possibile fedele dei dati di terreno su carta. Più in generale, per realizzare una carta della pericolosità potenziale dei versanti, si possono utilizzare metodi diretti ed indiretti. I primi consistono essenzialmente in una cartografia geomorfologica basata sulle osservazioni passate e presenti; viene pertanto rimandato alla bravura e alle capacità del rilevatore la previsione areale e temporale del ritorno delle condizioni predisponenti l'instabilità geomorfologica. I secondi (metodi indiretti) includono due diversi approcci denominati *euristico* (*Heuristic index*) e *statistico*. Nel metodo *euristico* (approssimativo, intuitivo, analogico) i fattori d'instabilità sono scelti e pesati in base all'importanza che si presume possano assumere in ciascun movimento gravitativo. Nel metodo *statistico* (o *probabilistico*) il peso di ciascun fattore è determinato sulla base della distribuzione areale dei movimenti passati e presenti. All'approccio di tipo statistico possono infine essere applicate varie tecniche che, in

ultima analisi, differiscono sostanzialmente per la procedura utilizzata (ad esempio univariata o multivariata). Nel presente studio, si è optato per un'Analisi Statistica Multivariata che è risultata tra le più idonee all'utilizzo con strumenti GIS operanti su base raster. Questo tipo di analisi consiste nell'assegnare un "peso" a ciascun parametro segnalato come "causa" dei dissesti, permettendoci di far interagire tra loro, tramite formule statistiche, i parametri stessi con i propri "pesi" in modo da evidenziare l'instabilità potenziale di un versante su base probabilistica. Pertanto, quando un versante si trova in determinate condizioni, la sua propensione a franare può essere determinata dall'osservazione del comportamento dell'intero territorio che si trova nelle stesse condizioni. La tecnica è basata sul teorema di Bayes, secondo il quale ciascuna "frequenza" può essere utilizzata per calcolare le probabilità del verificarsi di un evento futuro. Per "frequenza" si intende il rapporto tra, ad esempio, le aree realmente in frana per una determinata tematica (5° - 10° di pendenza), e l'area della tematica stessa. È basilare creare delle zone, nelle aree studiate, con caratteristiche comuni (*UCU unique-condition units*) suddividendo, ad esempio, il territorio in *classi di pendenza*, aree ad *uguale litologia* o versanti con la *medesima esposizione*. Per ciascuna *UCU*, la frequenza delle frane (LF) viene semplicemente calcolata come:

$$LF = \text{Area frana} / \text{Area UCU}$$

Pertanto, per il teorema di Bayes, LF è uguale alla probabilità di frana che si assegna alla caratteristica in esame (vegetazione, litologia ecc..) per ogni classe della stessa UCU. Conseguentemente, le probabilità riguardanti l'intera area studiata (**ER**) sono:

$$P = \text{Area frana} / \text{Area totale ER}$$

Con alcune varianti, questo approccio è stato utilizzato e testato da molti altri rilevatori.

Van Westen, nel 1993, ha proposto che il "**peso**", per una classe di parametri come la litologia o le pendenze, è definito dal logaritmo naturale della densità delle frane nella classe in esame, diviso la densità di tutte le frane nell'intera mappa di studio. Quindi **P** (che nella fattispecie viene indicato dall'autore con la lettera **W**) sarà:

$$W = \ln [\text{DensClas} / \text{Densmap}] = \ln [(N_{\text{pix}S_i} / N_{\text{pix}N_i}) / (\sum N_{\text{pix}S_i} / \sum N_{\text{pix}N_i})]$$

Dove:

W = il peso di ciascuna classe di parametri;

Densclas = la densità di frane entro la classe di parametri in esame;

Densmap = la densità di frane nell'intera area;

Npix(S_i) = il numero di pixels in frana entro la classe in esame (si ricorda che tutte le mappe sono in formato raster, pertanto formate da un numero definito di celle, o pixels);

Npix(N_i) = il numero totale di pixels nella mappa

Tutti i valori necessari si ottengono tramite una funzione dei sistemi GIS che permette di "sovrapporre" (OVERLAY) ed "incrociare" (CROSSTAB) la carta delle frane con la carta di altri parametri: ad esempio, incrociando la carta delle frane con la carta delle classi di pendenza, si ottiene una mappa ed una tabella in cui per ogni classe di pendenza avrò il numero di pixels in frana; proprio da questa tabella è possibile calcolare la densità di frane ed applicare la formula sopra riportata calcolando l'indice **W**. Il logaritmo naturale è utilizzato per assegnare valori negativi dove la densità di frane è bassa e valori positivi dove la densità è alta. Sommando i diversi "pesi" (**W**) di due o più mappe riguardanti le varie tematiche in esame, si

può creare una carta dell'instabilità potenziale dei versanti in cui alti valori rappresentino alte probabilità di movimento del versante. La carta così ottenuta avrà un range (intervallo) di valori continui da un numero negativo ad un numero positivo: sarà poi necessario, per una facile consultazione della stessa, un raggruppamento in classi dettate dalle necessità dell'utilizzo (ad esempio per la stesura di un piano territoriale o di un piano regolatore) e dall'esperienza dell'operatore. Si passa pertanto all'ultimo step di questo lavoro che è appunto la valutazione di tutti i parametri presi in considerazione, la valutazione dei risultati e la conseguente taratura del modello, assegnando un fattore di importanza ai parametri stessi là dove ve ne sia la necessità. Sostanzialmente, un'analisi di tipo statistico, rappresenta un approccio quantitativo (e quindi anche più oggettivo) della problematica della stabilità dei versanti; approccio quantitativo che chiaramente non deve essere slegato, anzi deve trovare conferme, in una componente qualitativa data dall'abilità e dall'esperienza dell'operatore .

B. Valutazione della Definizione degli elementi a rischio

Gli elementi a rischio rispetto ad un potenziale evento franoso sono rappresentati dalla vita umana, dalle strutture ed infrastrutture pubbliche o private, dal quadro delle attività economiche e dai beni ambientali. Nell' ambito della valutazione del rischio finalizzata alla pianificazione territoriale, l' interesse deve essere centrato non solo sul quadro di beni ed attività esistenti ma anche su quello previsto dai piani di programmazione e sviluppo. Per ognuna delle tipologie di elementi a rischio dovrà essere quantificato un valore che potrà essere espresso in vario modo (numero degli elementi esposti al rischio, areale esposto, termini monetari). Gli elementi a rischio saranno espressi da classi di diverso valore, distinguendo tra i pregressi e quelli di futura pianificazione.

C. Valutazione del rischio

Il rischio totale è dato per un determinato elemento a rischio e per una data intensità del fenomeno dal prodotto della pericolosità per la vulnerabilità per il valore dell' elemento a rischio. E' opportuno differenziare diverse tipologie di rischio secondo l'elemento considerato:

rischio associato alla vita umana;
rischio associato a beni immobiliari;
rischio associato ad attività economiche;
rischio associato a beni di pubblico interesse.

Esprimendo tutte le quantità in termini monetari è possibile definire un rischio globale dato dalla somma algebrica dei costi associati ad ognuna delle diverse componenti. Dal nostro punto di vista il prodotto finale non sarà rappresentato da una cartografia del rischio s.s., ma piuttosto da una cartografia del pericolo alla quale sarà associata la mappatura di zone con una destinazione d' uso consigliata, allegante indicazioni sulle misure da attuare per mitigare il rischio connesso agli elementi già esistenti.

D. Definizione del rischio accettabile

La definizione di soglia di rischio accettabile è particolarmente importante nell' ambito delle attività di prevenzione e di programmazione dello sviluppo del territorio, infatti, questa consente di individuare le priorità d'intervento e di decidere i criteri di gestione del rischio.

GESTIONE DEL RISCHIO

La zonazione del rischio in un dato territorio costituisce la base della gestione del rischio; questa prevede l' interpretazione delle informazioni ed il quadro delle decisioni operative per l' eventuale riduzione del rischio. La fase gestionale è di natura essenzialmente politico-amministrativa; tuttavia il ruolo dei tecnici è fondamentale nell' individuazione delle priorità d'intervento e nella messa a punto delle strategie di

mitigazione. L' esempio più completo di gestione del rischio è rappresentato dai piani di esposizione al rischio (*PER*) che in Francia sono una parte integrante dei documenti di pianificazione urbanistica e regolano l' uso del territorio a livello di piani regolatori comunali. Appropriate misure per la mitigazione del rischio, differenziate in base alla tipologia del fenomeno, sono elencate nella normativa nazionale associata ai *PER* (DRM, 1987). In aree caratterizzate da elevati valori di rischio saranno possibili due strategie di gestione:

- aumento delle soglie di rischio accettabile (informazione, monitoraggio);
- mitigazione del rischio (riducendo la pericolosità gli elementi a rischio o la vulnerabilità).

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FRANA

L'analisi completa del rischio di frana, attraverso la redazione di carte riguardanti le cause e gli effetti di una frana, prevede:

- **Descrizione dello stato della natura**
- **Valutazione dell'intensità**
- **Valutazione della pericolosità**
- **Definizione degli elementi a rischio**
- **Valutazione della vulnerabilità**
- **Valutazione del rischio**
- **Definizione del rischio accettabile**
- **Gestione del rischio**
- **Descrizione dello stato della natura**

Tra le cause ci sono le caratteristiche composizionali, tessiturali, strutturali e stratigrafiche dei litotipi; storia tettonica e sismica dell'area; caratteristiche delle falde acquifere; fattori meteorologici; fattori antropici e connessi all'uso del suolo

Con indagini geomorfologiche si possono realizzare carte inventario dei fenomeni franosi esistenti ed individuare aree con potenziale instabilità dei versanti. Si cartografano: le tipologie di movimento, lo stato di attività, l'estensione areale, la profondità stimata, la velocità e direzione del moto.

- **Valutazione dell'intensità**

Valutata in base alle conseguenze attese in termini di danni socio-economici, perdite umane, velocità del movimento, volume della massa spostata.

- **Valutazione della pericolosità**

Pericolosità significa quanto è imprevedibile un fenomeno franoso di date caratteristiche. La valutazione della pericolosità prevede :

- **previsione spaziale (dove avverrà);**
- **previsione temporale (quando avverrà);**
- **previsione dell'evoluzione (distanza di propagazione, limiti di retrogressione).**

La previsione spaziale si può realizzare analizzando la carta delle frane, per individuare la localizzazione passata e presente (si prevede il possibile riattivamento di quelle quiescenti), e indicando le corrispondenze geologiche delle aree instabili. Con questo sistema è possibile ottenere la % d'affioramento interessata da frane e delimitarlo con le isoplete (*linee di uguale percentuale*). Amadesi propone di considerare 4 tematismi: litologia (divisa in 10 classi) pendenza versanti (divisa in 5 classi), struttura e giacitura (9 classi) e uso del suolo (4 classi); ogni classe è indicizzata con un peso che ne esprime l'influenza sulla stabilità. Dalla somma algebrica dei pesi relativi ai 4 tematismi si ottiene una carta di esposizione al rischio.

Si può anche ricorrere all'analisi statistica suddividendo il territorio in domini elementari omogenei, delimitati da confini geometrici (celle) o morfologici; i parametri di ciascun fattore d'instabilità sono scelti con criteri possibilmente oggettivi; si rappresentano cartograficamente le classi di valori, assunti da ogni fattore nell'ambito di ogni dominio elementare nel quale è stato suddiviso il territorio (zonazione) e poi elaborando modelli statistici multivariati in grado di spiegare la distribuzione delle frane. La previsione temporale se si hanno dati sui tempi di ritorno, si basa sulla formula:

$$H = 1 - (1 - P)^N = 1 - (1 - 1/T)^N$$

Dove

H = pericolosità (probabilità di un evento franoso in un periodo di *N* anni)

P = probabilità di un evento franoso.

Quando non si dispone di dati sui tempi di ritorno si ricorre all'analisi di quei fattori naturali per i quali si dispone di misure sistematiche nel tempo e che sono correlabili con l'insorgere di movimenti franosi. Le cause più comuni di frana sono: le precipitazioni, l'attività antropica, l'erosione e le scosse sismiche.

$$P = P_{\text{prec}} + P_{\text{antrop}} + P_{\text{eros}} + P_{\text{sisma}}$$

La previsione dell'evoluzione significa individuare l'area che sarà interessata dalla frana. Se ho una frana di scivolamento, il bacino di pericolosità sarà dato dall'estensione del versante, se ho colate di detrito coinciderà con il bacino in senso idrografico. Si può prevedere la distanza di propagazione con il metodo delle linee di energia (modello a slitta), che richiede la conoscenza della geometria del problema, una stima dell'angolo di attrito apparente.

- **Valutazione del rischio**

Per valutare il rischio si può considerare:

- **il rischio totale** = pericolosità x vulnerabilità x valore dell'elemento a rischio
- **il danno potenziale** = esprime il valore degli elementi a rischio e richiede indicazioni sull'intensità della frana e sulle caratteristiche degli elementi a rischio. Il danno potenziale può essere riferito alla vita umana (possibilità che produca morti o feriti) e danno potenziale in termini di attività economiche.

- **Definizione del rischio accettabile**

Si può definire un rischio accettabile che secondo Whitman è uguale a 10^{-2} eventi/anno. Secondo Fell un rischio accettabile è pari a 10^{-2} per danni alle cose e 10^{-3} per la vita umana. Nel caso di pendii artificiali il rischio tollerato è pari a 10^{-5} .

- **Gestione del rischio**

In aree soggette ad un elevato rischio è possibile:

- aumentare le soglie di rischio accettabile, con installazione di segnaletica di allarme, uso di mezzi di comunicazione di massa; la soglia di rischio consapevole è più alta della soglia di rischio involontario.
- Mitigare il rischio prevenendo le frane (con opere di bonifica e sistemazione idrogeologica: iniezioni di cemento, tiranti, chiodature, evacuazione di zone instabili, consolidamento di edifici, piani di emergenza e soccorso).

10.1. CRITERI PER LA REALIZZAZIONE DELLE CARTE SULLA PERICOLOSITÀ

Per il confezionamento delle carte di pericolosità è necessario contemplare tre aspetti fondamentali:

- l'individuazione delle aree instabili
- il comportamento delle masse instabili
- la potenzialità del fenomeno
- La stima e la rappresentazione cartografica della pericolosità si può effettuare in base a criteri geomorfologici e alla combinazione dei fattori d'instabilità, con l'applicazione di metodi statistici o mediante l'aggiustamento di modelli, a partire dai dati strumentali.

L'instabilità dei versanti costituisce uno dei rischi più estesi poiché appare, in circostanze molto differenti, su tutte le regioni climatiche del globo. Per questo motivo, nonostante non siano interessate grandi aree e non siano spettacolari come le alluvioni e i terremoti, da un punto di vista quantitativo, le frane sono le catastrofi che producono il maggior numero di danni. In Italia si stima che, annualmente, l'ammontare delle perdite causate dai dissesti geomorfologici corrisponda a circa 140 milioni di dollari (Arnould & Frey 1978).

Generalmente le frane sono più frequenti in aree montagnose, dove le condizioni meteorologiche ed i rilievi più accentuati favoriscono questi fenomeni. La bassa densità di popolazione e di infrastrutture diluiscono gli effetti delle frane, non bisogna però scordare che esiste una domanda crescente di spazi per la realizzazione di insediamenti abitativi, aree industriali e infrastrutture varie. La crescita della pressione urbanistica in determinate aree ha come conseguenza diretta l'aumento del rischio.

Il ruolo dei sistemi informativi territoriali nella valutazione del rischio di frana

La trattazione completa del rischio frana, così come presentata nella bozza di schema operativo, richiede un approccio che non prescinda dall'utilizzo dei sistemi informativi territoriali (GIS) per l'enorme quantità di dati utilizzati e per la necessità di fruire in modo dinamico delle informazioni. È ormai assodato in ambito accademico che l'utilizzo delle tecnologie GIS giochi un ruolo sempre più importante per la raccolta, l'immagazzinamento e l'analisi delle informazioni georeferenziate in modo efficiente in relazione ai costi; allo stesso tempo facilita i tentativi di definire modelli nuovi e maggiormente affidabili che riflettono in modo più fedele la realtà. Le potenzialità dei metodi basati su GIS per l'identificazione, la cartografia, la predizione e dunque la riduzione del pericolo e del rischio è cresciuta nell'ultimo decennio in maniera esponenziale tanto da evidenziare macroscopicamente i limiti di un approccio tradizionale e solo cartaceo ai temi in oggetto.

Al fine di presentare una base di discussione che vuole essere un punto di partenza su cui sviluppare la metodologia che porterà alla definizione del rischio per frana si suggerisce l'analisi dei prodotti realizzati nell'ambito di una Convenzione fra la Regione Lombardia e l'Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico dell'ENR di Milano relativa ad una ricerca sulla stabilità dei versanti nel territorio dell'Oltrepò Pavese.

È stato prodotto il modello digitale del terreno (DTM) di un'area di circa 310 kmq, utilizzando la base cartografica 1:10.000 della CTR ed una serie di carte derivate (carta delle pendenze, dell'esposizione dei versanti, ecc.). Sono state prodotte, inoltre, una carta dell'uso del suolo, una carta inventario dei fenomeni franosi, una carta geologica (litologico-strutturale), la carta degli insediamenti urbani e della rete viaria. Buona parte dei fenomeni franosi (> 400) sono stati descritti utilizzando una scheda tecnica e, dove possibile, sono stati raccolti dati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni coinvolti. L'insieme dei dati raccolti, integrati da una capillare ricerca storica, verrà utilizzato per effettuare una prima zonazione della pericolosità e per tarare modelli e criteri di pianificazione.

È evidente che poter utilizzare questa vastissima gamma d'informazioni in modo dinamico, cioè poter incrociare e confrontare i diversi tematismi prodotti, permette l'individuazione di aree omogenee per caratteristiche geologico-morfologiche e geometriche in maniera assai rapida (una volta che siano stati riportati i dati) e precisa. L'approccio permette inoltre di andare ben oltre una semplice cartografia dello stato di fatto del territorio. Se per esempio la concomitanza di più parametri (pendenza, litologia, esposizione ecc.) determina aree che nell'80% dei casi sono in dissesto, risulta che per le aree che ricadono nel 20% dove non si sono riscontrati indizi di dissesto, si può disporre di informazioni altrimenti irrimediabili che indicano una potenziale instabilità.