

Premessa

Il Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico, introduce gli adempimenti a quanto richiesto con il [D.L. n° 180 dell'11 giugno 1998](#) e dalle successive modificazioni in merito alle "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico".

Nella presente Relazione tecnica si illustrano in estrema sintesi le modalità ed i criteri metodologici con i quali si è operato per il tracciamento delle perimetrazioni e per l'individuazione degli interventi urgenti, rimandando al Piano Stralcio la descrizione dettagliata delle fasi di studio ed analisi affrontate per raggiungere i risultati che, in parte, vengono proposti con il presente lavoro.

Prima di introdurre la metodologia proposta in base alle norme vigenti è indispensabile introdurre i concetti fondamentali di Rischio, Pericolosità, Vulnerabilità ecc.

Le definizioni che seguono si ritrovano nelle linee guida per l'attuazione dei programmi di previsione e prevenzione del rischio idrogeologico edite dal GNDICI (Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche) e dal Dipartimento della Protezione Civile nel 1995 ed a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

1. DEFINIZIONI

1.2. VULNERABILITÀ DI UN ELEMENTO A RISCHIO (V): attitudine a subire un danno; V può variare da 0 (nessun danno) a 1 (perdita totale).

VULNERABILITÀ (vulnerability): V del sito è il danno prodotto dal verificarsi dell'evento.

Si anche definire come: grado di perdita di elementi esposti, provocato dal verificarsi di un fenomeno naturale, di magnitudine nota. Si esprime in una scala da 0 (nessun danno) a 1 (perdita totale).

Se l'evento può avere intensità diverse la vulnerabilità dipende anche dall'intensità dell'evento:

$$V = V(I)$$

La vulnerabilità è generalmente espressa nella forma: in funzione del valore esposto **W**:

$$2. V = vW$$

dove v è la vulnerabilità specifica, o per unità di valore esposto. Il valore esposto è una misura del valore esposto al pericolo, che può essere rappresentato da una valutazione dei beni che insistono sull'area in pericolo. Quando gli eventi possono avere diversa intensità si ha:

$$v = v(I)$$

In questo caso il valore esposto viene spesso assunto come la frazione dei beni che insistono sull'area in pericolo che potrebbe venire distrutta da un evento di estrema intensità;

1.3 AREE VULNERABILI (ESPOSTE AL PERICOLO): aree potenzialmente soggette a subire un **EVENTO**.

1.4 EVENTO: fenomeno impattante che supera in intensità un determinato valore-soglia (livello sopportabile dalla comunità).

1.5 DANNO O SEVERITÀ DELL'IMPATTO (D):

$$D = E \cdot V$$

1.6 PERICOLOSITÀ (P) o HAZARD H: probabilità che si verifichi un **EVENTO** di una data intensità in un periodo di tempo assegnato t (generalmente l'anno). E' collegata con il tempo di ritorno **T**.

$$P = 1 - (1 - 1/T)t$$

Per la determinazione della Pericolosità è necessario:

- identificare l'instabilità e le condizioni prodotte
 - realizzabile con osservazioni sul campo e sulle foto aeree della litologia, struttura, vegetazione ecc
- rilevare il comportamento della massa instabile
 - dimensione dei movimenti, velocità, spessore e tipologia dei materiali.
- verificare le potenzialità del fenomeno
 - indicare i fenomeni naturali e le categorie morfologiche che si prestano favorevolmente a fenomeni d'instabilità (pioggia, neve, stagionalità, attività antropiche, pendenza, litologia, uso del suolo ecc.)

1.7 RISCHIO R: si definisce come il prodotto fra la **Pericolosità e il Danno:**

$$R = P \cdot D = P \cdot E \cdot V$$

Con rischio s'intende una valutazione del danno legato a fenomeni di pericolo cui è associata una forte componente di aleatorietà. Il caso del rischio di inondazione è tipico: gli eventi calamitosi che producono il danno di piena sono eventi rari, d'intensità fortemente variabile, che di volta in volta possono produrre danni di entità diversa.

il valore atteso del danno annuo che, in forma semplificata, è esprimibile dalla relazione:

$$R = W \cdot v \cdot H$$

dove:

W è il valore esposto

v è la vulnerabilità specifica

H è il pericolo

1.7.1. RISCHIO SPECIFICO (R_s): grado di perdita atteso, atteso quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale (frana, inondazione ecc). Si basa solo sul fenomeno, stima le conseguenze indipendentemente dal valore economico e dal numero degli elementi a rischio. Si esprime come prodotto della Pericolosità per la Vulnerabilità: $R_s = P \cdot V$

1.7.2. RISCHIO TOTALE (total Risk) (R_t): corrisponde al numero di vite perse, alle persone danneggiate, ai danni alle proprietà ecc., dovuti ad un fenomeno naturale concreto. Si definisce come prodotto del Rischio specifico per gli elementi a rischio:

$$R_t = E \cdot R_s = E \cdot (P \cdot V) = H \cdot V \cdot E$$

É necessaria distinguere tra **Rischio potenziale** e **Rischio attuale**. I rischi attuali solitamente sono accompagnati da un danno, pur non avendo sviluppato tutto il loro potenziale, i rischi potenziali sono latenti.

RISCHIO POTENZIALE	RISCHIO ATTUALE
Vulcani inattivi, versante in equilibrio instabile, acquiferi costieri, ecc.	Vulcani in eruzione, frane attive, acquiferi utilizzati soggetti ad inquinamento, ecc.

Altra distinzione deve essere fatta tra Rischio e CATASTROFE: una catastrofe si produce nelle aree in cui un rischio potenziale si attualizza in assenza di Prevenzione, dovuta alla mancata Predizione.

1.7.3. 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.

1.8. INTENSITÀ - I dell'evento calamitoso una grandezza che caratterizza l'attitudine dell'evento a produrre danno (nel caso delle piene si assume in genere la portata al colmo);

1.9. ELEMENTI A RISCHIO (*element at risk E*): *oggetti d'IMPATTO all'interno delle AREE ESPOSTE AL PERICOLO.*

Negli elementi a rischio sono in genere inclusi: la popolazione, gli edifici, le infrastrutture, l'economia, la cultura e le tradizioni storiche, ambienti naturali ed ecosistemi, falde acquifere, sottoposte a rischio in un determinata area.

Per la definizione degli elementi a rischio (E) si delinea il quadro socio-economico della regione in esame e, per ogni tipologia di elemento, si valuta la quantità di unità esposte ed eventualmente il loro valore economico;

1.10. RISCHI NATURALI

Rischi biologici	Rischi fisici	
Epidemie, pestilenze ecc.	Climatici	Uragani, tornado, neve, grandine ecc.
	Geologici	Dinamica interna ed esterna
	Geoclimatici	Inondazioni
	Cosmici	Meteoriti, asteroidi ecc.

1.11. RISCHI GEOLOGICI

Rischi d'origine naturale		Rischi d'origine indotta	Rischi da antropizzazione
Geodinamica interna	Geodinamica esterna	Fenomeni simili a quelli naturali ma dovuti all'attività umana	Inquinamento degli acquiferi, contaminazione dell'atmosfera ecc.
Terremoti, vulcani	Relazionati con i processi climatici. Frane, esondazioni ecc.	Scalzamento del piede di una scarpata, modificazione del flusso naturale delle acque ecc.	

Si considera *RISCHIO GEOLOGICO* l'insieme degli aspetti dei processi collegati al sistema geologico, che abbiano un'origine naturale, indotta o mista, in grado di generare un danno fisico od economico alla collettività e che necessitano di criteri geologici per la loro correzione.

RISCHIO GEOLOGICO				
Origine Naturale		Origine Mista		Origine Indotta
Interno	Esterno	Erosione e sedimentazione		
Vulcani, terremoti, tsunami, diapiri	Frane, subsidenze inondazioni, movimento di dune	Continentale	Costiera	
		Radioattività naturale		

1.12. SIDE-EFFECTS

Concatenamento e ripetitività spazio-temporale dei rischi geologici (*Walthman, 1978*)

Raramente i rischi si presentano separatamente nello spazio e nel tempo; con il passare del tempo, un'inondazione tende a coincidere con il movimento di un versante o con erosioni intense. Il bacino di accumulo delle precipitazioni torrenziali è sottoposto a processi d'intensa erosione che causano l'accumulo di detriti fino a diventare vere e proprie valanghe di terra. In aree terremotate è naturale assistere ai fenomeni concatenati di crollo o frattura dei versanti.

La scuola americana effettua una distinzione netta tra **PERICOLOSITÀ GEOLOGICA** e **RISCHIO GEOLOGICO**.

1.13. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA: secondo l'**U.S. GEOLOGICAL SURVEY (1977)** deve essere considerato pericolo geologico qualsiasi processo od evento potenziale che costituisce una minaccia per la salute, la sicurezza ed il benessere di una collettività o per l'economia di una qualsiasi popolazione. Secondo questa definizione un terremoto o una frana che accadano in un'area desertica non costituiscono pericolo geologico. Esiste anche una distinzione tra pericolo e pericoloso: una frana quiescente è sicuramente un pericolo ma non necessariamente pericolosa, diventa pericolosa nel momento in cui coesistono quelle situazioni che possono arrecare danno.

1.14. RISCHIO GEOLOGICO: ROWE (1977) ha definito il rischio (R) geologico come prodotto tra la probabilità che un pericolo (P_c) si attualizzi, per il valore del danno (C_v). L'**U.S. GEOLOGICAL SURVEY** su questa definizione ha sviluppato l'equazione del rischio (**Hazard**): $R = P_c \cdot C_v$

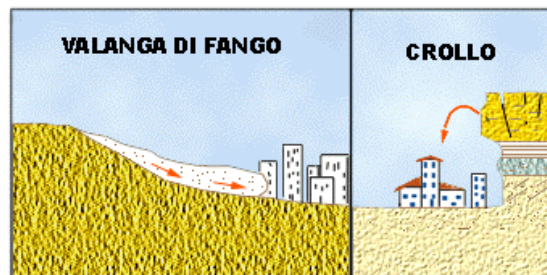
Nella maggior parte dei casi quando si parla di "RISCHIO" ci si riferisce al concetto di pericolosità proposto dall'**U.S.G.S.**, per questo motivo nel prosieguo si continuerà ad utilizzare questo termine attribuendogli il significato del pericolo.

1.15. TEMPO DI RITORNO: indica il tempo necessario affinché un rischio potenziale si attualizzi. Il tempo di ritorno si calcola con metodi statistici che tengono conto degli avvenimenti passati. Il limite del tempo di ritorno è dovuto al fatto che non si tiene conto delle variazioni geomorfologiche del territorio nel tempo.

1.16. PREDIZIONE: non è altro che la definizione **spaziale** (localizzazione) e **temporale** dello sviluppo e dell'intensità di un rischio geologico. Lo strumento fondamentale per la previsione è la cartografia del rischio. Le lacune presenti in questo campo sono state colmate dalla Legge 18/05/1989, n. 183, (norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo) che al titolo I disciplina le attività, i soggetti ed i servizi di prevenzione.

I rischi geologici interni (vulcani e terremoti) sono difficilmente prevedibili, per questo motivo vengono attuate misure di prevenzione non strutturali, mentre per i rischi geologici esterni possono essere attuate ambo le misure a secondo della pericolosità e del tempo di ritorno.

Tra i rischi geologici d'origine esterna i più pericolosi per la vita umana sono le valanghe di detriti (mudflows) ed i crolli.



La previsione (predizione) spaziale, dei rischi geologici di origine esterna, è facilmente realizzabile nella maggior parte dei casi, e si traduce nella realizzazione delle carte del rischio, della pericolosità, dell'esposizione al rischio e alla pericolosità. La previsione temporale è sicuramente più problematica a causa delle numerose variabili presenti, ciò nonostante, con adeguati interventi di monitoraggio si possono ottenere previsioni abbastanza attendibili.

Le definizioni dei Varnes e dell'IAEG, ribaltano i concetti di rischio e pericolosità proposti dall'USGS e da Rowe nel 1977; da questo punto in avanti gli eventi potenziali che coinvolgono beni e persone saranno considerati Rischi e non Pericoli.

1.17. CONCETTI GENERALI

Le problematiche di definizione del rischio sono già state affrontate, pur con modalità differenti, nei campi più disparati (rischio sismico, vulcanico, di esondazione fluviale). Nel caso del rischio sismico, vulcanico, di esondazione sono possibili valutazioni probabilistiche derivate dalla analisi di serie storiche e valutazioni di gravità intrinseca dell' evento per mezzo di scale empiriche (scale di intensità sismica, quote idrometriche, ecc.). Al contrario nel caso della valutazione della pericolosità conseguente al crollo di una cavità sotterranea non è possibile eseguire valutazioni sui tempi di ritorno e quindi valutazioni probabilistiche sul verificarsi dell' evento in un determinato orizzonte temporale.

Tale difficoltà può essere superata se al concetto di pericolosità si sostituisce quello di pericolo dove non è presente alcun termine probabilistico. Il pericolo di crollo viene infatti a coincidere con il rischio assoluto che in una determinata area, in un intervallo di tempo infinito, si determini una voragine.

In relazione alla presenza di cavità ipogee pertanto si definisce il pericolo di voragine con la sola accezione della minore o maggiore possibilità che possano verificarsi voragini e/o subsidenze per crollo delle cavità stesse; tale assunzione è assimilabile alle valutazioni del rischio di frana nella quale non sono date indicazioni temporali del probabile evento franoso.

In tale senso si assume che sia possibile individuare situazioni di maggiore o minore pericolo (o più classi di pericolo), attraverso l' analisi di una serie di "indicatori" (vedi oltre). L' importanza di eseguire una zonazione di pericolo (rischio assoluto di voragine) è giustificata dalla necessità di individuare zone con maggiori potenzialità di crollo e che richiedono immediati interventi di risanamento.

In relazione alla Vulnerabilità del sistema superficiale che può subire danni (area urbana) sussistono minori problemi per la sua definizione: nel senso che è ovvio che le tipologie infrastrutturali (che verranno di seguito definite) porteranno alla individuazione di elementi meno vulnerabili (parchi, aree marginali, edifici con fondazioni profonde, ecc.) e di elementi più vulnerabili (edifici con fondazioni dirette, manufatti di importanza storica, ecc.).

1.18.. CARTE SULLA PERICOLOSITÀ

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.

1.19. DEFINIZIONE DI FRANA

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.

1.20. DESCRIZIONE DELLO STATO DELLA NATURA

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.**

1.21. 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 rappresentano 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.

1.22. 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.

1.23. TIPOLOGIA 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.

1.24. 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).

1.24.1. 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 prescindia 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. E' 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 del CNR 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.

E' 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-morfologico e geometrico 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 irripetibili che indicano una potenziale instabilità.