

seminario

Gorizia - 2 luglio 2011

Alcune tecniche di analisi del rischio indotto da frane

Ing. Monica Barbero

I parte



AVAMIRI

MASTER DI 2° LIVELLO IN
ANALISI VALUTAZIONE E MITIGAZIONE
DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

indice del seminario

- Terminologia
- Fasi di valutazione del rischio
- Metodologie di valutazione del rischio
- Analisi di rischio per frana con metodo Imiriland: applicazione alla grande scala e alla media scala. Applicazioni ai fenomeni di crollo e alle valanghe di neve
- Analisi di rischio con metodo svizzero RiskPlan: applicazione alla grande e alla piccola scala. Applicazioni ai fenomeni di crollo e alle frane superficiali
- Analisi speditiva di rischio per frane superficiali alla media scala

- Gli esempi di applicazione di alcuni metodi di analisi di rischio che verranno presentati in questo seminario sono frutto di collaborazioni negli anni con ARPA Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche (dott. Ferruccio Forlati e Luca Paro e ing. Stefano Campus), ARPA Piemonte – Dipartimento Sistemi Previsionali (dott. Marco Cordola e Cristina Prola), Regione Piemonte - Settore Decentrato Opere Pubbliche e Difesa Assetto Idrogeologico di Vercelli (ing. Roberto Crivelli e dott. Giuseppe Adorno).

Molta parte degli studi è stata svolta anche nell'ambito di numerose tesi di laurea magistrale in ingegneria civile e per questo ricordo con gran piacere i miei ex studenti: S.P. Teodori, L. Mosca, E. Viglianco, D. Lerda, S. Brezza, I. Bernardi, M.L. Napoli, E. Onorati.

terminologia

- Suscettibilità
- Intensità o pericolo
- Pericolosità
- Elemento a rischio
- Esposizione al rischio
- Valore dell'elemento a rischio
- Vulnerabilità
- Rischio specifico
- Rischio totale
- Rischio residuo

- **Suscettibilità (Susceptibility)**

Si definisce suscettibilità la probabilità che in una determinata area si verifichi un evento naturale potenzialmente distruttivo

- **Intensità o pericolo (Magnitude or Danger) [I]**

Si definisce intensità di un evento naturale, o pericolo, la severità geometrica e meccanica di un fenomeno potenzialmente distruttivo; la determinazione dell'intensità di un evento prescinde dalle conseguenze che questo può avere su di un elemento a rischio.

- Pericolosità (Hazard) [H]

Si definisce pericolosità la probabilità (p) di occorrenza di un fenomeno (F) potenzialmente dannoso in un determinato intervallo di tempo e in una certa area (Varnes et al., 1984)

$$H = p(F = x, y, z, t)$$

- Elemento a rischio (Element at risk) [E]

Si definiscono elementi a rischio la popolazione, le proprietà, le attività economiche (compresi i servizi pubblici) esposte a rischio in una data area (Varnes et al., 1984)

- Esposizione al rischio (Exposition) [Es]

Probabilità che un elemento (E) sia esposto al rischio all'occorrenza di un fenomeno di una certa intensità, in un certo momento e in un certo luogo. È dunque la probabilità che un certo elemento sia soggetto ad una certa pericolosità

$$Es = p(E = x, y, z, t)$$

- Valore dell'elemento a rischio (Worth of element at risk) [W]

Valore economico o numero di unità relativo ad ognuno degli elementi a rischio

- Vulnerabilità (Vulnerability) [V]

Si definisce vulnerabilità il grado di perdita prodotto da un fenomeno potenzialmente distruttivo di data intensità, su di un dato elemento a rischio; il suo valore varia da 0% a 100%

- Rischio specifico (Specific risk) [R_s]

Si definisce rischio specifico il grado di perdita atteso dovuto ad un particolare evento naturale potenzialmente distruttivo.

$$R_s = H \times V \times E_s$$

- Rischio totale (Total risk) [R_t]

Si definisce rischio totale il numero atteso di vittime, feriti, danni alle proprietà, distruzione di attività economiche, dovuti ad un particolare fenomeno

È espresso dal prodotto del rischio specifico per gli elementi a rischio (E), e rappresenta l'insieme dei danni derivanti dall'evento franoso

$$R_t = H \times V \times Es \times W$$

- Rischio residuo (Residual risk) [R_r]

Si definisce rischio residuo il livello di rischio ancora presente a seguito degli interventi di mitigazione e prevenzione adottati (che producono una variazione del livello di rischio ΔR)

$$R_r = R_t - \Delta R$$

fasì di valutazione del rischio

La valutazione del rischio richiede in generale una procedura sviluppata su più livelli:

1. Descrizione dello stato della natura
2. Valutazione dell'intensità
3. Valutazione della pericolosità
4. Valutazione degli elementi a rischio
5. Valutazione della vulnerabilità
6. Valutazione del rischio
7. Gestione del rischio

1. Descrizione dello stato della natura

Per eseguire una valutazione di rischio occorre conoscere:

- Tipologia del fenomeno potenzialmente pericoloso ed eventi passati e presenti avvenuti nell'area in esame.

Si può fare riferimento a: carte inventario, dati storici (eventi registrati in archivi e documenti pubblici o riportati sulla stampa), dati geotecnici, geomeccanici, morfometrici, dati di monitoraggio.

- Fattori di controllo del fenomeno potenzialmente pericoloso .

Ci si può riferire a: topografia e geomorfologia, geologia (litologia, caratteristiche geo-strutturali, dati sismici...), vegetazione e uso del suolo, idrologia (precipitazioni, temperature, drenaggi...).

2. Valutazione dell'intensità

In generale si distinguono tre approcci:

a. Mono-parametrico

La stima dell'intensità è eseguita misurando o stimando uno dei parametri legati all'intensità. Usualmente si considera:

velocità del movimento di frana \Rightarrow si stima in base a: tipo di materiale coinvolto o tipologia di frana (si fa riferimento alla classificazione di Varnes, o di Varnes e Cruden (1996) per i fenomeni complessi), stato di attività (si distinguono frane attive, riattivate, inattive)

dimensione della massa coinvolta \Rightarrow è definita dal volume della massa spostata

energia cinetica sviluppata dalla frana \Rightarrow solitamente si relaziona l'intensità con il prodotto dell'area di frana per il quadrato della velocità, quantità proporzionale all'energia cinetica sviluppata

a. Multi-parametrico

La stima è effettuata tenendo in conto l'influenza di più parametri contemporaneamente.

Si possono fare stime euristiche, cioè si assegnano dei punteggi ai diversi parametri considerati; la stima dell'intensità è quindi legata ad una valutazione a priori dell'importanza del singolo parametro.

Oppure stime deterministiche, cioè si utilizzano modelli fisici e meccanici finalizzati al calcolo dell'energia in gioco. Il valore finale è quantitativo.

a. Integrato con valutazione delle conseguenze del fenomeno

Proposto dalla Délégation aux risques majeurs nel 1990, valuta l'intensità in base a: dimensioni fisiche del fenomeno, possibili conseguenze sull'incolumità umana e sui costi economici per la mitigazione del fenomeno.

Tiene quindi implicitamente conto della vulnerabilità degli elementi a rischio.

3. Valutazione della pericolosità

Deve essere definita in termini spaziali e temporali. Si tratta di definire quanto e come i fattori di controllo influenzano i fenomeni pericolosi. Si distinguono:

- Metodi euristici: stime soggettive e qualitative
- Metodi statistici: studio delle relazioni statistiche tra fattori di controllo e pericolosità
- Metodi deterministici: si modella la pericolosità a partire da leggi fisico-meccaniche

Per valutare la pericolosità occorre realizzare:

- Previsione tipologica (**quale tipo** di frana avverrà?)
- Previsione dell'intensità
- Previsione dell'evoluzione (**come e dove** si svilupperà?)
- Previsione spaziale (**dove** si può verificare il fenomeno di data intensità?)
- Previsione temporale (**quando** si può verificare il fenomeno di data intensità?). Usualmente è espressa in termini di probabilità annua (tempo di ritorno = $1/p_{\text{annua}}$)

4. Valutazione degli elementi a rischio

Sono elementi a rischio i beni e le attività presenti nell'area esposta al pericolo e passibili di subire danni dallo stesso: persone, strutture, infrastrutture, attività economiche, beni ambientali...).

Il valore degli elementi a rischio è calcolato moltiplicando il valore del singolo elemento per il numero di elementi presenti. Per il calcolo del valore si può procedere assegnando un valore discreto, una funzione di utilità o una stima qualitativa complessiva (in questo caso il valore è relativo; usualmente i valori sono divisi in classi).

4.1 *Valutazione dell'esposizione dell'elemento a rischio*

Per i fenomeni naturali è legata alla mobilità/staticità degli elementi a rischio. Ogni elemento è esposto al rischio in ogni punto dello spazio in funzione del tempo trascorso in quel punto. Di solito ci si riferisce a probabilità annue. Nel caso di elementi immobili (strutture, per es.) l'esposizione è 1 (sempre esposto). Se l'evento è già avvenuto o è molto lento, è funzione della reazione dell'elemento al pericolo.

5. Valutazione della vulnerabilità

Esistono due approcci principali: quantitativo ed euristico.

- Approccio quantitativo.

Si calcola un valore numerico della vulnerabilità, compreso tra 0 e 1. Occorre tenere presenti le seguenti variabili:

- Intensità del fenomeno: maggiore è l'intensità del fenomeno maggiore sarà la vulnerabilità
- Costituzione e struttura dell'elemento a rischio: materiali di costruzione, flessibilità, resistenza agli urti, durezza...
- Posizione dell'elemento rispetto al fenomeno: orientazione dell'elemento rispetto al fenomeno, posizione assunta durante l'impatto...
- Presenza di eventuali protezioni.

- Approccio euristico.

Si stima qualitativamente o semi-quantitativamente la vulnerabilità. Essa viene espressa generalmente in classi. La vulnerabilità sociale si esprime in probabilità che vi siano vittime, feriti o senzatetto dopo un evento franoso; per quella economica si considerano i danni ai beni materiali e i danni alle attività.

Procedimenti di questo tipo sono i più comuni perché la stima della vulnerabilità è di solito molto difficile.

6. Valutazione del rischio

- **Rischio specifico**
Esprime il grado di danno atteso per un impatto avente una certa probabilità e una determinata intensità. Il rischio specifico è funzione dell'intensità del fenomeno. È fornito dal prodotto tra la pericolosità, l'esposizione dell'elemento a rischio e la vulnerabilità.
- **Rischio totale**
Esprime i danni totali attesi per un rischio specifico. È fornito dal prodotto tra rischio specifico e valore dell'elemento a rischio.

7. Gestione del rischio

7.1 *Individuazione del rischio accettabile*

La soglia di rischio accettabile è funzione del quadro socio-economico del territorio analizzato e dipende anche dall'opinione pubblica. Si possono delineare alcune linee essenziali (IUGS, 1997):

- il rischio derivante da un evento franoso su di un elemento non deve essere significativo rispetto ai rischi ai quali è esposto quotidianamente l'elemento stesso
- il rischio, quando è ragionevolmente possibile, deve essere ridotto
- se la possibilità di perdita di vite umane derivante dall'evento è elevata, il rischio deve essere molto basso

- l'opinione pubblica tollera maggiormente i rischi da versanti naturali rispetto a quelli da pendii artificiali, ed i rischi relativi a persone che lavorano in zone a rischio (miniere) rispetto a quelli che colpiscono l'intera società; se un versante naturale è monitorato, la tollerabilità è pari a quella relativa ai versanti artificiali

Nella valutazione del rischio accettabile, si devono specificare due livelli di rischio: il livello superiore, detto limite e quello inferiore, detto obiettivo:

- Rischi maggiori del limite sono sempre inaccettabili
- Rischi inferiori all'obiettivo sono sempre accettabili
- Rischi compresi tra l'obiettivo e il limite devono essere valutati accuratamente.

Alcuni esempi di metodi di definizione del rischio accettabile:

- DRM. 1988 (costi di pianificazione accettati)
- Zona rossa (fenomeni franosi a elevata intensità, elevata probabilità di occorrenza, impossibili le opere di protezione – costi accettati per l'urbanizzazione: nulli. Espansione urbanistica vietata)

- Zona blu (fenomeni franosi con intensità e probabilità di occorrenza moderate, possibili opere di prevenzione – costi accettati per l'urbanizzazione: 10% del valore dei beni esistenti)
- Zona bianca (pericolosità non prevedibile, non si adotta alcuna prescrizione - costi accettati per l'urbanizzazione: massimi)

Il metodo è molto approssimativo, quindi richiede un atteggiamento molto conservativo del gestore.

- Rischio accettabile espresso in termini di probabilità di perdite di vite umane in un anno:
 - $R_{\text{accettabile}} = 10^{-6}$ decessi/anno (Starr, 1969)
 - $R_{\text{accettabile}} = 10^{-6} \div 10^{-8}$ decessi/anno (Ale, 1991)
 - $R_{\text{accettabile}} < 10^{-4}$ decessi/anno (Morgan et al., 1992)
 - $R_{\text{accettabile}} = 10^{-2} \div 10^{-4}$ decessi/anno per rischio volontario;
 $R_{\text{accettabile}} = 10^{-5} \div 10^{-6}$ decessi/anno per rischio involontario (Finlay et al., 1997)

- Construction Industry Research and Information Association (probabilità di rottura; si definiscono le soglie di rottura accettabile)
- Criterio di tipo sociale: in funzione del tipo di opera (K_s - è inversamente proporzionale al tempo di vita dell'opera) e del numero di persone esposte a rischio (n_d) nell'intervallo di tempo di servizio del sistema (n_r) :

$$R_a = K_s \frac{n_r}{1000 \times n_d} (\%)$$

- Criterio economico: in funzione del costo iniziale dell'opera (E_i), degli effetti sull'attività economica (C_r), secondo una costante (b), posta pari a 0.06 in USA:

$$R_a = 100 \frac{b}{2.3 \times C_r \times E_i} (\%)$$

- Criterio socio-economico: in funzione del valore in denaro riconosciuto per la perdita della vita umana. costo iniziale dell'opera (E_i), degli effetti sull'attività economica (C_r), secondo una costante (b), posta pari a 0.06 in USA:

$$R_a = 100 \times b \frac{K_s}{2.3 \times q \times n_d^2} (\%)$$

essendo q il valore monetario fissato dalle assicurazioni come premio per la vita umana

7.2 Mitigazione del rischio

Il rischio può essere gestito secondo due strategie (Canuti e Casagli, 1994):

- *aumento delle soglie di rischio accettabile*: ci si basa sull'informazione (segnaletica di allarme, mezzi di comunicazione di massa) poiché le soglie di rischio consapevolmente tollerate dall'opinione pubblica sono più elevate di quelle del rischio involontario
- *riduzione del rischio*: si opera per prevenire le conseguenze dei fenomeni franosi riducendo:
 1. la pericolosità: si interviene sui fattori di innesco o sul fenomeno stesso (stabilizzazione della singola frana o impedimento della sua propagazione)
 2. l'esposizione degli elementi a rischio: si realizza secondo due strategie: pianificazione (evacuazione, divieti di accesso...) e emergenza (monitoraggio e sistemi di allerta...)

3. la vulnerabilità: interventi tecnici per il grado di danno intervenendo direttamente sugli elementi a rischio o interventi sociali sulla popolazione (educazione al rischio, piani di emergenza...)
4. il valore degli elementi a rischio: attività di pianificazione (modifica del sistema viario, della destinazione di uso degli edifici...).

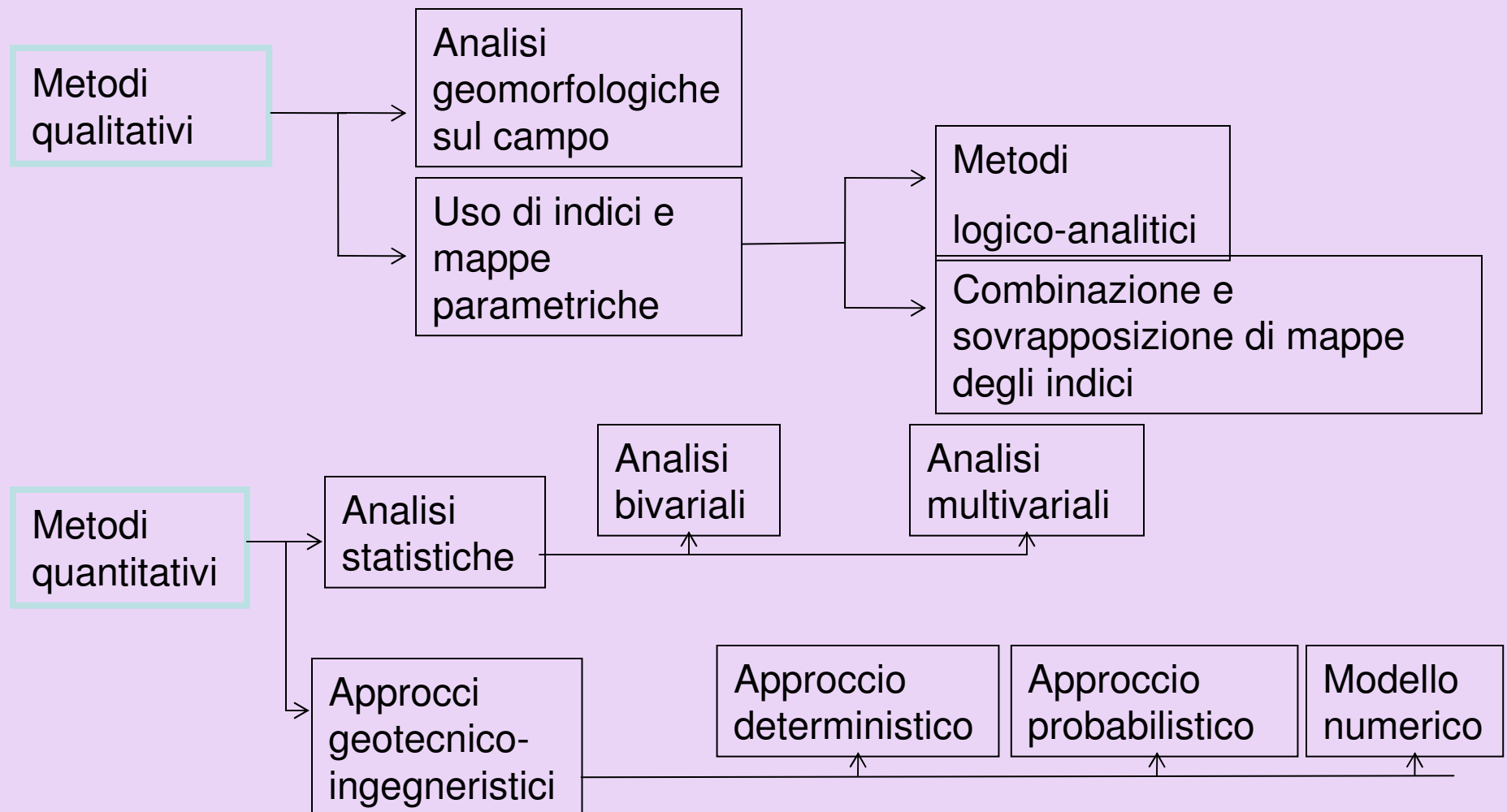
La scelta della strategia di mitigazione del rischio si può basare su di un'analisi costi-benefici osservando la riduzione del valore di rischio totale a seguito di un intervento avente un certo costo.

7.3 Rischio residuo

L'obiettivo è ottenere un rischio residuo inferiore al livello di rischio accettabile ottimizzando i costi di mitigazione.

Metodologie di valutazione del rischio

Le metodologie di valutazione del rischio si distinguono in base ai metodi di determinazione della pericolosità:



Metodologie qualitative

Sono definite anche “approcci basati sulla valutazione dell’esperto”, essendo basate sul giudizio del soggetto che esegue la valutazione della pericolosità; si distinguono:

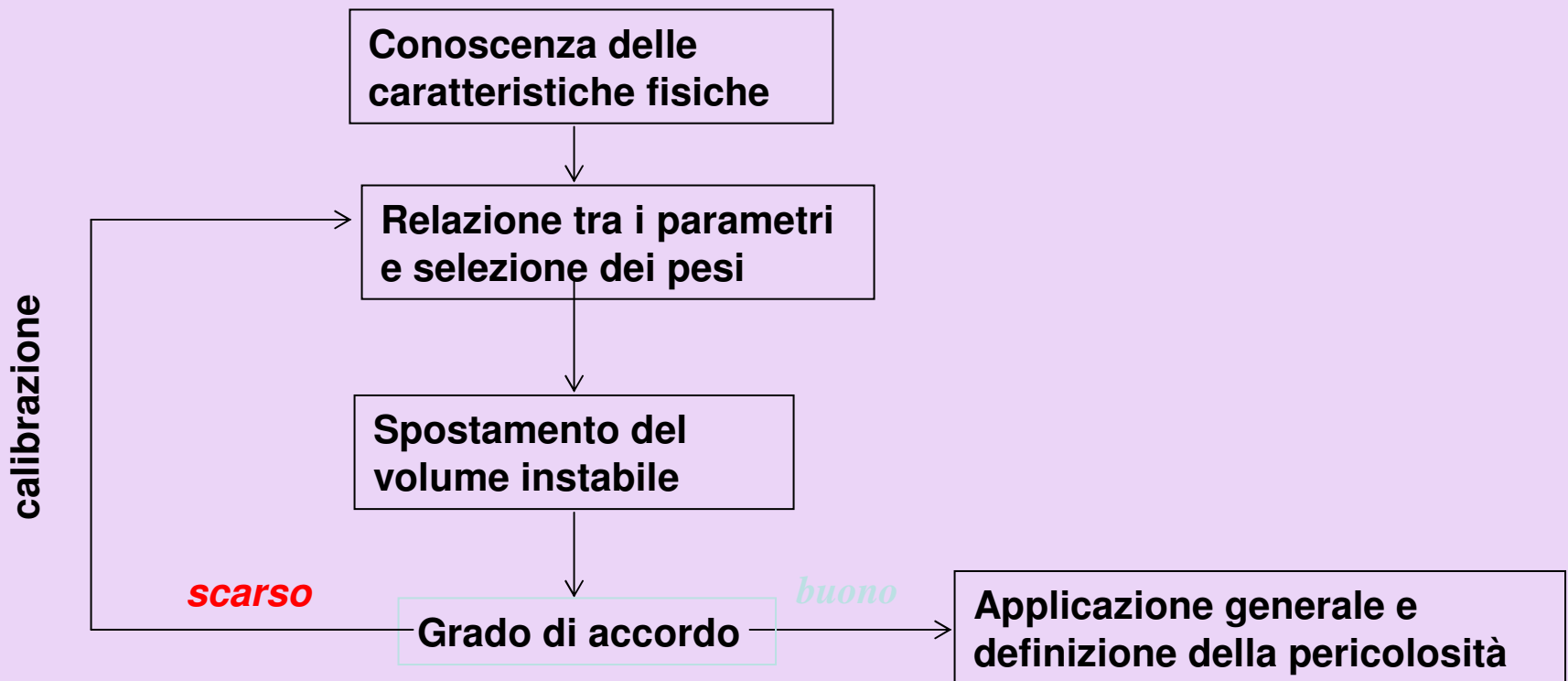
- *analisi geomorfologiche sul campo*. L’esame dei fattori che possono influenzare la stabilità è effettuato in campo e si basa sull’esperienza dell’operatore; le mappe di stabilità si ricavano direttamente dalle mappe geomorfologiche. **Svantaggi**: soggettività nella scelta dei parametri e dei fenomeni che governano la stabilità; uso di regole desunte dall’esperienza dell’operatore piuttosto che protocollate; indagini sul campo eccessivamente lunghe. **Vantaggi**: rapido accertamento della stabilità di una data area prendendo in conto un elevato numero di fattori

- *uso degli indici o delle mappe parametriche. Si distinguono:*

- *combinazione e sovrapposizione delle mappe degli indici:* l'esperto seleziona e mappa i fattori che influenzano la stabilità, secondo la propria esperienza, ed assegna ad ognuno un valore pesato proporzionale al contributo del fattore stesso nel generare instabilità. Si opera in cinque fasi: 1) suddivisione di ogni parametro in un numero di classi attinenti 2) attribuzione di un valore pesato ad ogni classe 3) attribuzione di valori pesati ad ogni parametro 4) sovrapposizione delle mappe dei parametri pesati 5) stesura di una mappa finale contenente le diverse classi di rischio.

Vantaggi: riduzione della soggettività, possibilità di automatizzare totalmente le operazioni tramite l'uso del G.I.S. **Svantaggi:** eccessiva lunghezza delle operazioni soprattutto se si analizzano grandi aree, soggettività nell'attribuzione dei valori pesati ad ogni parametro

➤ *modelli logico-analitici*: si opera ipotizzando una relazione che leghi i parametri, opportunamente pesati, ricavati in base all'esperienza dell'operatore; utilizzando tale relazione si ipotizza lo spostamento del volume instabile e lo si confronta con i dati forniti dal monitoraggio, quindi, iterativamente, si variano i pesi dei parametri fino ad ottenere un accordo soddisfacente:



Metodologie quantitative

- *analisi statistiche*: paragonano la distribuzione spaziale delle frane con i parametri, scelti soggettivamente. **Difficoltà**: definizione dei processi di instabilità del versante, identificazione e accertamento sistematico dei fattori correlati all'instabilità. **Vantaggi**: possibilità di convalidare il peso di ogni fattore scelto. Si distinguono:

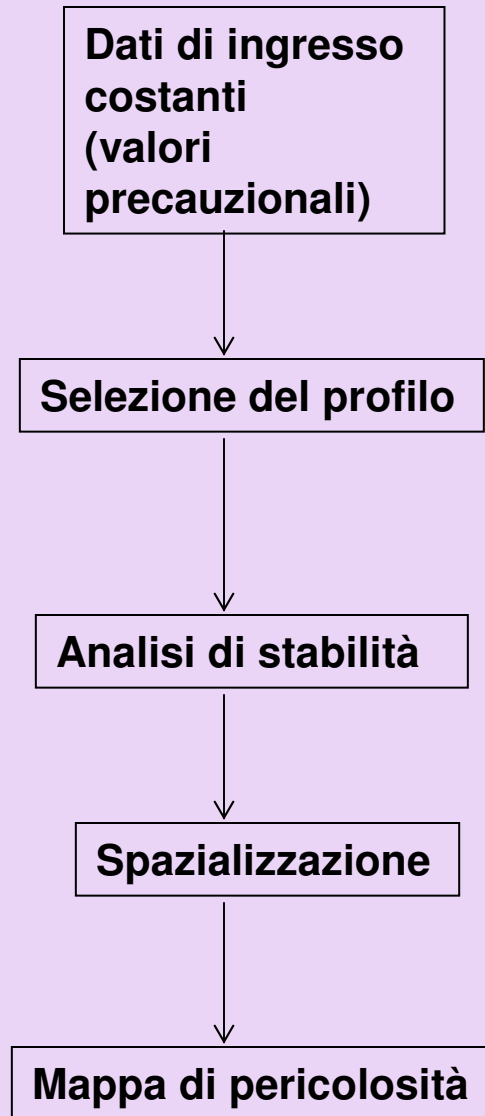
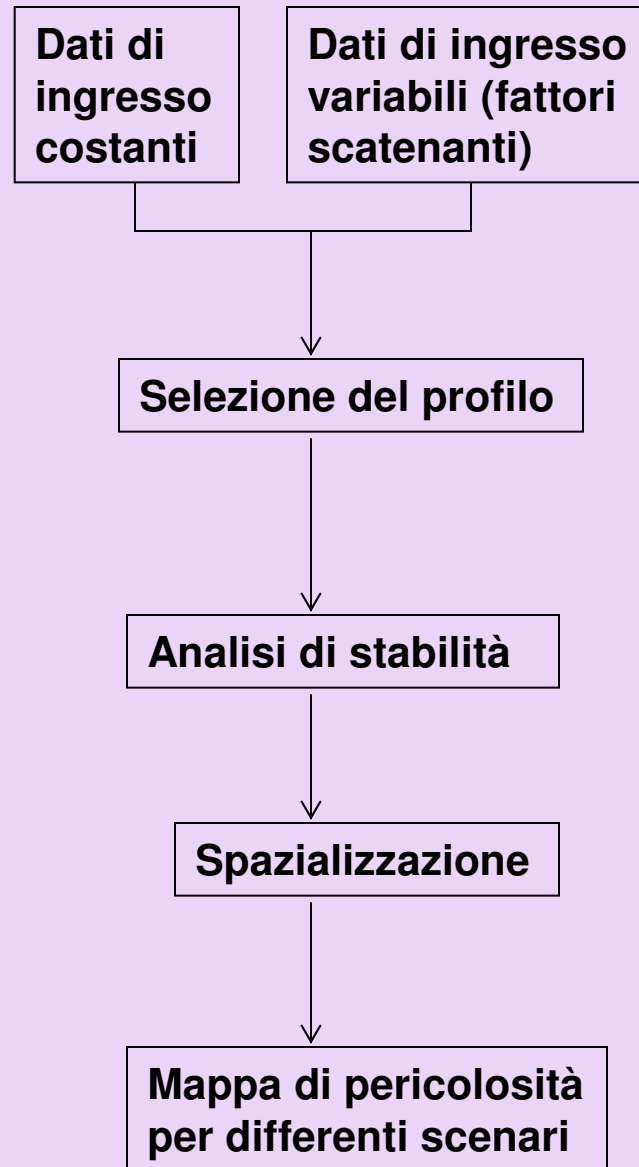
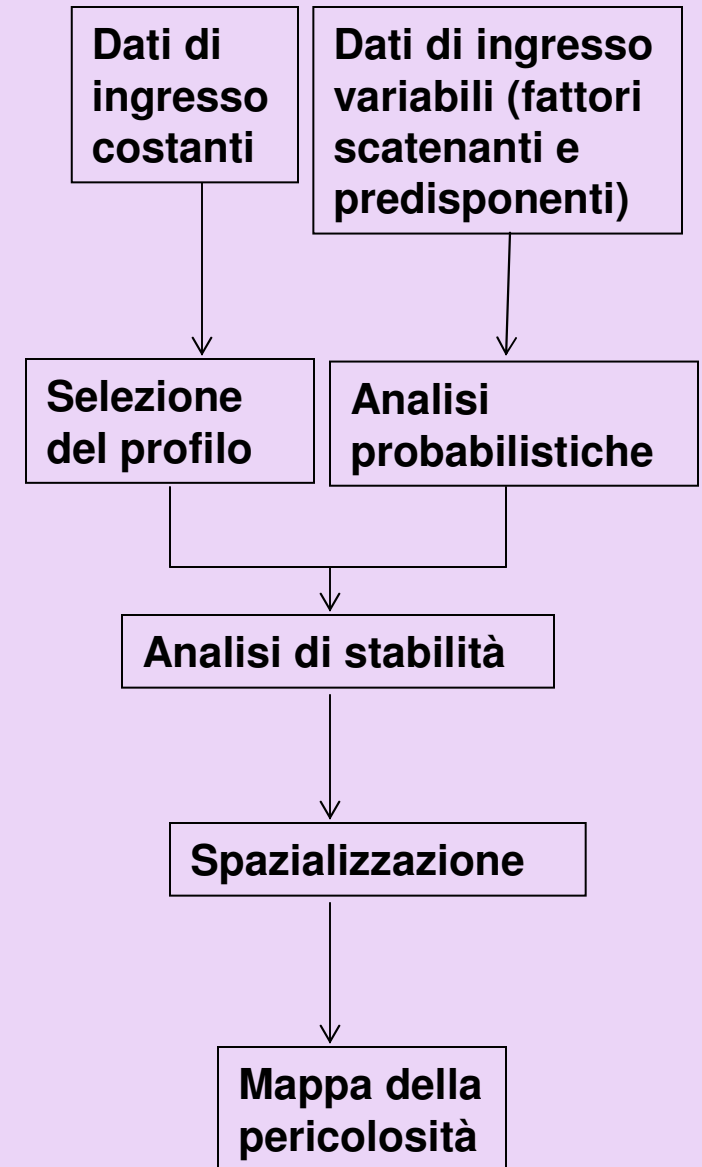
- *analisi statistiche bivariiali*: ogni fattore è confrontato con la mappa degli eventi franosi. Si opera secondo sei fasi:

- 1) selezione e mappatura dei parametri e loro classificazione
- 2) mappatura dei fenomeni franosi
- 3) sovrapposizione delle mappe riguardanti la distribuzione di ogni parametro
- 4) determinazione della densità di frane in ogni classe di parametri e definizione dei valori pesati
- 5) assegnazione dei valori pesati alle diverse mappe parametriche
- 6) sovrapposizione finale delle mappe e calcolo dei valori di pericolosità (fase soggettiva)

➤ *analisi statistiche multivariali*. Si opera secondo sei fasi:

- 1) classificazione dell'area di studio in unità di terreno
- 2) identificazione dei parametri significativi ed attribuzione di un coefficiente numerico ad ognuno di essi, a seconda della classe di appartenenza
- 3) realizzazione della mappa delle frane
- 4) identificazione della percentuale di aree soggette ad eventi franosi in ogni unità di terreno e loro classificazione in unità stabili e instabili (il valore di soglia si basa sulla densità dei fenomeni franosi)
- 5) analisi statistica multivariata
- 6) riclassificazione delle unità di terreno in classi di pericolosità, sulla base dei precedenti risultati

- *modelli geotecnico-ingegneristici*: la modellazione del fenomeno franoso richiede una serie articolata di indagini. 1) studio geologico 2) studio geomorfologico, con individuazione dell'area in frana o potenzialmente in frana 3) studio geotecnico, comprendente l'individuazione del cinematisimo, della stratigrafia del suolo, dei litotipi presenti, la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale 4) studio idrogeologico, con l'individuazione del regime delle falde idriche all'interno della frana
 - *approccio deterministico*: si calcola il fattore di sicurezza per ogni pendio di interesse. Si possono distinguere tre procedure: A, B e C.

A**B****C**

➤ *approccio probabilistico*: tiene conto della variabilità nel tempo e nello spazio dei parametri di resistenza dei materiali, degli errori sistematici e delle incertezze associate ai meccanismi di instabilità, all'impatto dell'evento sull'ambiente ed ai modelli geotecnici scelti per le analisi. La probabilità che avvenga un'instabilità è definita come la probabilità che la funzione fattore di sicurezza stia al di sotto di un valore soglia prefissato (cioè 1). Il fattore di sicurezza è dunque una funzione caratterizzata da una distribuzione della probabilità. Ogni parametro ritenuto importante per l'analisi deve essere rappresentato da una distribuzione di probabilità o, almeno, dal valore medio e dalla deviazione standard.

➤ *metodo numerico*: la modellazione dettagliata delle fasi di innesco, evoluzione e collasso di un fenomeno di instabilità può essere effettuata mediante i metodi numerici. Come è noto, gli approcci numerici vengono scelti in base al modello geotecnico del versante: continuo, continuo equivalente, discontinuo. I metodi più comunemente utilizzati sono il metodo agli elementi finiti (FEM), il metodo alle differenze finite (FDM) e il metodo agli elementi distinti (DEM).