

Le frane riguardanti la coltre superficiale

2.4

2.4.1

Introduzione

Questa tipologia di pericoli naturali si pone in stretta relazione con eventi meteorologici severi caratterizzati da piogge di forte intensità. Le frane si sviluppano con maggior frequenza in ambiente prealpino ed in zone collinari, coinvolgendo per lo più limitate porzioni di terreni sciolti della copertura superficiale che le acque di infiltrazione hanno portato alla saturazione.

La particolare pericolosità di questi fenomeni è da mettere in relazione con la loro velocità e rapidità di sviluppo e con la difficoltà di prevederle l'ubicazione, ma anche con l'elevata densità di distribuzione dei singoli fenomeni, le cui traiettorie di discesa sul versante hanno così una notevole probabilità di interferire con aree antropizzate. Processo naturale tra i più veloci, la frana per mobilitazione delle coltri superficiali si attiva e si esaurisce nello spazio di pochi minuti, a volte qualche decina di secondi.

È interessante osservare come, dove la presenza di un reticolato idrografico minimamente sviluppato lo consenta, il materiale franato, incanalandosi in alveo, assuma le caratteristiche cinematiche di una vera e propria lava torrentizia.

2.4.2

Descrizione del fenomeno

Si tratta di fenomeni che si caratterizzano per:

- spessori (s) e volumi (v) molto modesti; s : da decine di cm fino a 150 cm; v : da qualche metro cubo a qualche centinaio di metri cubi;
- elevato numero di fenomeni in aree relativamente circoscritte che può arrivare sino a qualche migliaia;
- elevata densità di singoli fenomeni per unità di superficie (circa 200 frane/km², Langhe novembre 1994).

Tali fenomeni mostrano una frequente tendenza a:

- coalescenza delle nicchie di distacco e/o degli accumuli (aggregazione anche di diverse decine di singole frane);
- trasferimento degli accumuli nella rete idrografica minore (quindi innesco e/o esaltazione dei fenomeni di trasporto in massa torrentizio);
- elevate velocità di movimento (anche maggiori di 50 km/h) che si traducono in elevata energia di impatto con gli edifici (4 vittime a Serravalle Scrivia (AL), ottobre 1977; 18 vittime a Trensenda (SO), maggio 1983; 11 vittime a Tartano (SO), luglio 1987; 14 vittime a Varallo Sesia (VC), novembre 1994);

- traslazione ed arresto dell'accumulo oltre il piede del versante, su terreno pianeggiante;
- forte condizionamento da parte delle piogge intense;
- mancanza o quasi di indizi premonitori;
- azione morfogenetica scarsamente incisiva sull'assetto originario dei versanti;
- bassissima probabilità di riattivazione nel luogo di precedente innesco, ma alta probabilità di accadimento di nuovi fenomeni in aree immediatamente adiacenti.

La maggior frequenza degli inneschi si osserva su versanti caratterizzati da inclinazione compresa tra 25° e 35°, generalmente privi di copertura arborea o con vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione, di norma utilizzati a prato-pascolo e coltivi (nel caso delle Langhe soprattutto vigneti). Le nicchie si localizzano frequentemente nelle parti alte del pendio in corrispondenza di cambi bruschi di inclinazione (da meno ripido a più ripido) o in prossimità di orli di scarpate naturali o di terrazzamenti antropici. Sebbene siano discretamente diffusi i fenomeni localizzati anche su pendio rettilineo aperto, una distribuzione assai frequente e caratteristica è quella che si osserva all'interno degli impluvi, dove si possono osservare concentrazioni molto elevate di frane disposte tipicamente a raggiera, convergenti verso il centro dell'impluvio (figura 2.4.1 e figura 2.4.2). Sull'innesco

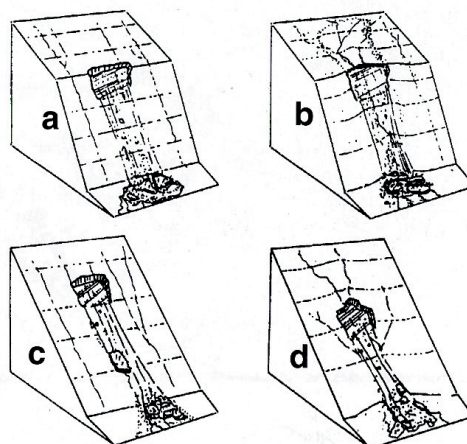


Figura 2.4.1
Schema dei differenti contesti geomorfici nella localizzazione delle nicchie di frana (in Regione Piemonte, 1998):
 a) pendio piano caratterizzato da una significativa variazione di pendenza. La zona di innesco del movimento si colloca immediatamente a valle del tratto meno acclive;
 b) pendio caratterizzato da una debole concavità generale e da una significativa variazione di pendenza. La zona di innesco del movimento si colloca immediatamente a valle del tratto meno acclive;
 c) pendio continuo; d) pendio continuo, caratterizzato da una debole concavità generale

Figura 2.4.2
 Evento alluvionale
 del novembre 1994.
 Sul versante sottostante
 Cerreto Langhe
 alcuni fabbricati vennero
 sfiorati dalle colate
 superficiali. Si noti inoltre
 la coalescenza
 delle traiettorie delle frane
 (in Regione Piemonte,
 1998)

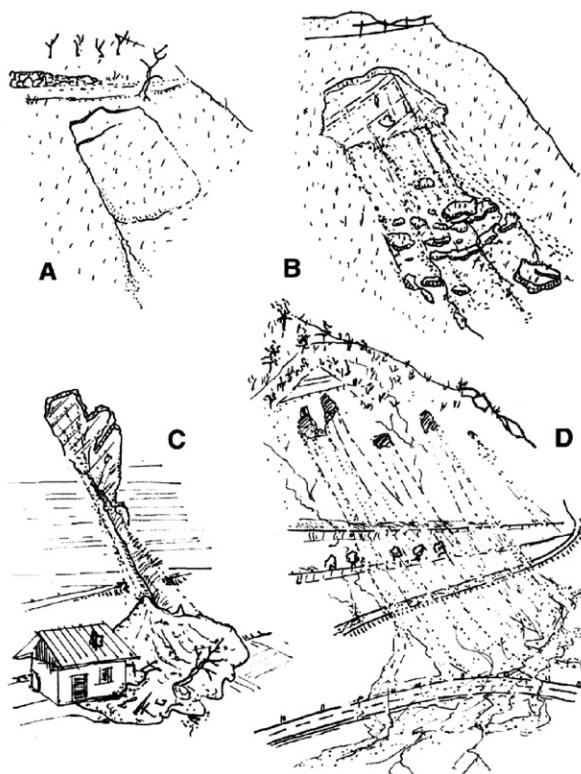


Figura 2.4.3
 Schema delle tipologie
 A, B, C, D di frana
 per saturazione
 e fluidificazione
 dei terreni sciolti
 superficiali
 (in Regione Piemonte,
 1998)

dei fenomeni, e quindi sulla loro localizzazione, non devono essere sottovalutati i condizionamenti antropici, sostanzialmente riconducibili alla mancata o insufficiente regimazione delle acque di ruscellamento e di sgrondo in aree antropizzate o lungo la rete viaria.

I fenomeni franosi coinvolgenti la coltre superficiale sono contraddistinti da movimenti schematizzabili in due fasi principali: innesco della frana e mobilitazione del materiale. La fase di innesco generalmente avviene secondo meccanismi di tipo traslativo o rotazionale. Nella fase di mobilitazione la massa spostata percorre rapidamente il versante, conservandosi più o meno integra oppure destrutturandosi completamente (colamento) a seconda delle caratteristiche mineralogiche, geotecniche ed idrogeologiche dei terreni coinvolti, della loro copertura vegetale e delle condizioni topomorfiche del pendio sottostante.

Un tentativo di classificazione delle frane superficiali nel contesto collinare delle Langhe (Regione Piemonte, 1998) ascrive questi fenomeni a cinque categorie, riconoscibili in base alle caratteristiche del movimento iniziale ed al grado di destrutturazione della massa spostata (**figura 2.4.3**):

- tipo A) porzioni della coltre di alterazione superficiale che, seppur delimitate e scomposte da fratture, non hanno subito movimenti tali da

esporre la superficie di rottura. Risulta evidente solo l'incipiente sovrascorrimento del bordo inferiore della massa spostata sul piano campagna – *incipient translational soil slide* (Varnes, 1978);

- tipo B) porzioni della coltre di alterazione superficiale che hanno subito traslazioni di entità tale da esporre la superficie di rottura. La massa spostata, nella sua parte preservata, è costituita da zolle disunite che hanno mantenuto singolarmente la loro integrità grazie all'effetto coesivo svolto dagli apparati radicali – *translational soil slide* (Varnes, 1978);
- tipo C) porzioni della coltre di alterazione superficiale che, a seguito del movimento iniziale e della successiva destrutturazione della massa spostata, degenerano in colata. Al movimento della massa spostata è spesso associata un'attività erosiva con conseguente presa in carico di altro materiale. L'accumulo, di norma in forma lobata, è in genere ben identificabile – *earth flow* (Varnes, 1978);
- tipo D) porzioni della coltre di alterazione superficiale che, a seguito della traslazione iniziale e della destrutturazione della massa spostata, degenerano in colata estremamente fluida, con trasporto del materiale in sospensione. Il flusso si dispone su un'ampia sezione laminare e progredisce con scarso attrito sul piano campagna senza dar luogo a forme erosive. Generalmente non si osserva una zona di accumulo in quanto il materiale viene completamente disperso lungo il percorso – *disintegrating soil slip* (Kesseli, 1943);
- tipo E) si tratta di frane riferibili ai tipi B, C e D, innescate su scarpate a pendenza elevata o molto elevata (superiore a 30°), direttamente incombenti sugli alvei torrentizi. Durante il movimento la massa spostata, a causa dell'elevata velocità e del contenuto in acqua, viene generalmente destrutturata. L'accumulo non è visibile in quanto asportato e preso in carico dal corso d'acqua.

2.4.3

Descrizione del metodo: l'approccio alla valutazione della pericolosità

Ogni valutazione di pericolosità e rischio deve necessariamente partire da studi specifici sul fenomeno franoso che ne individuino le caratteristiche geometriche, fisico-meccaniche, cinematiche e le condizioni al contorno.

In letteratura, la modellazione delle frane superficiali viene affrontata seguendo diverse impostazioni (Crosta *et al.*, 2001 con bibliografia):

- con tecniche statistiche multivariate;
- mediante approcci deterministici basati su modelli meccanico-idrologici;
- mediante metodi euristici, attraverso valutazioni empiriche delle soglie di innesco sulla base di dissesti osservati.

Per la valutazione della pericolosità assoluta dei fenomeni franosi della coltre superficiale su aree estese è opportuno il ricorso a modelli che, convenientemente gestiti nell'ambito di un Sistema Informativo Geografico, siano un valido strumento di sintesi fenomenologica e rispondano al requisito di semplicità di implementazione e utilizzo. Alla base dei modelli c'è il concetto di *verosimiglianza*: si cerca di ricostruire un fenomeno, un processo o un effetto nella maniera più conforme alla realtà, adottando approcci semplificati.

Proprio per la natura intrinsecamente semplificata, i modelli, siano essi fisici, numerici, deterministici, empirici o statistici, riducono il grado di complessità della realtà affinché possa emergere più chiaramente quanto si vuole rappresentare.

Nello studio delle frane superficiali e più in generale di tutti i processi naturali, l'impiego di modelli nasce dall'esigenza di rispondere innanzi tutto alle classiche domande *perché accadrà?* (ad esempio risposta meccanica), *come accadrà?* (intensità), *dove accadrà?* (componente spaziale) e *quando accadrà?* (componente temporale).

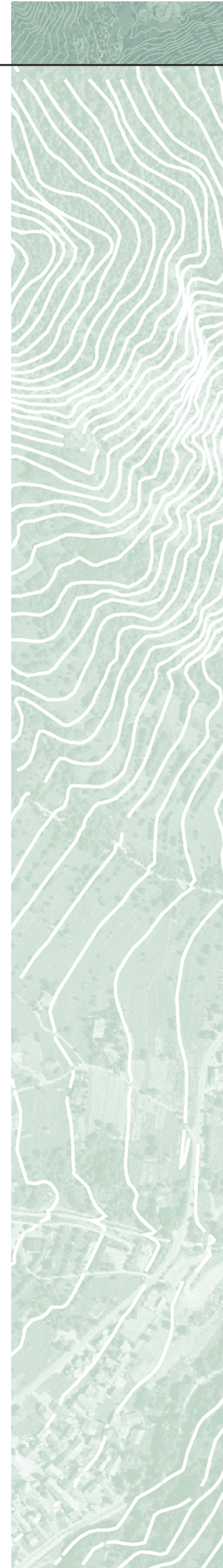
Sfortunatamente, la predizione di *dove e quando* non sempre è possibile. Questo non solo è particolarmente evidente nel caso di frane, ma anche per altri fenomeni naturali, per esempio i terremoti. La ragione del perché è difficile predire dove e quando accadrà un fenomeno naturale è che tali risposte dipendono dalla conoscenza esatta di un numero di parametri e di condizioni al contorno che sono noti molto approssimativamente.

La scelta di un modello deve basarsi innanzi tutto sull'obiettivo che si vuole perseguire e sulla difficoltà nel reperire tutti gli *ingredienti* necessari al suo funzionamento.

Tale requisito condiziona fortemente il modello prescelto poiché anche solo l'estensione della zona di studio non permette di utilizzare modelli meccanici troppo complessi, per i quali sono necessari parametri difficili da determinare, come quelli idrologici e meccanici. Infatti la loro individuazione richiede un notevole onere in termini di tempo (e quindi di costi) e di affidabilità dei risultati, senza trascurare inoltre l'oggettiva difficoltà di estrapolare conclusioni puntuali ad un dominio di studio molto più ampio.

Esiste comunque anche la possibilità di effettuare una previsione senza una comprensione della natura del fenomeno, come nel caso dei fenomeni ripetitivi. Ad esempio, nel caso di frane ricorrenti dal punto di vista spaziale e temporale, come sono le frane superficiali, se sono disponibili dati storici, è possibile trovare una relazione tra il verificarsi della frana ed alcuni elementi descrittivi del territorio (fisici, meccanici, ambientali, ecc.).

In ogni caso, qualunque sia l'approccio seguito, la risposta di un modello è caratterizzata da incertezze non eliminabili. Il grado di incertezza che si è disposti ad accettare è funzione non solo della domanda formulata dall'autorità decisionale, ma anche del tipo di problema e della sua estensione.



Per superare almeno l'incertezza sulla variabilità spaziale sia dei parametri di ingresso sia dei risultati, sono state sviluppate metodologie che prevedono l'integrazione di modelli previsionali in ambiente GIS.

La dipendenza diretta tra piogge e inneschi delle frane superficiali e la disponibilità di un elevato numero di informazioni su tali fenomeni, ha indirizzato la scelta verso metodi deterministici basati su modelli meccanico-idrologici (*white box models*) in cui i fattori dinamici di innesco delle frane sono esplicitamente presi in considerazione (piogge, uso del suolo). Tali approcci accoppiano generalmente un modello di stabilità all'equilibrio limite e un modello idrologico.

Le cause d'innesco delle frane superficiali vengono ascritte generalmente alle seguenti modalità:

- 1) l'infiltrazione verticale dell'acqua genera una falda temporanea al contatto con il substrato meno permeabile sottostante. Il conseguente aumento della pressione dei pori rende instabile il pendio. Tipico approccio è quello sviluppato da Montgomery & Dietrich (1994) che hanno messo in evidenza che le frane superficiali si originano con maggiore frequenza nelle aree dove si verifica convergenza del deflusso sub-superficiale. Il metodo proposto si basa sulla valutazione della capacità di ogni elemento in cui è discretizzata la zona di studio di smaltire il contributo d'acqua proveniente da monte, in condizioni di stazionarietà del flusso;
- 2) il materiale della coltre è considerato non saturo prima della precipitazione piovosa e quindi avente una coesione apparente dovuta alla suzione; l'infiltrazione verticale dell'acqua causa la riduzione della suzione e la conseguente riduzione della coesione apparente. Tipico approccio è quello recentemente sviluppato da Iverson (2000) e Baum *et al.* (2002) che individuano i meccanismi di interazione tra terreno e infiltrazione, valutando gli effetti del comportamento transitorio della pioggia sulle variazioni della pressione dei pori nella coltre e, in ultima analisi, su tempi e localizzazione delle frane superficiali.

L'approccio descritto al punto 1 può essere adottato nel caso di frane superficiali di limitato spessore in cui la superficie di rottura è posta in corrispondenza del contatto tra il suolo e il substrato. Il secondo approccio pur descrivendo con estremo dettaglio, cioè alla scala che è loro propria, i fenomeni in esame, è difficilmente applicabile su ampie aree, proprio per l'intrinseca complessità dei processi che intende modellare. Esso richiede infatti un notevole sforzo nel dettagliare e regionalizzare le numerose variabili dal punto di vista:

- economico e temporale;
- della significatività dei parametri di ingresso;
- della rappresentatività dei risultati.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, pur ritenendo che la risposta fornita dall'approccio non

stazionario sia generalmente più rigoroso, si ritiene che una risposta tuttora valida, coerente con i requisiti richiesti per l'applicazione di una metodologia di valutazione della pericolosità su larga scala, sia rappresentata dal metodo proposto da Montgomery & Dietrich che accoppia ad un modello di stabilità all'equilibrio limite del pendio infinito, un modello idrologico stazionario.

2.4.4

Descrizione del metodo: il modello meccanico-idrologico

Il modello di Montgomery & Dietrich combina il classico modello all'equilibrio limite per la stabilità dei versanti ad un modello idrologico. Esso prevede la discretizzazione del dominio di studio in celle elementari per ciascuna delle quali sono note le variabili ed i parametri in ingresso. Le ipotesi alla base della formulazione del modello sono le seguenti:

- pendio infinito;
- superficie di rottura piana parallela al pendio e localizzata al contatto tra coltre detritica alterata superficiale e substrato (roccia o deposito quaternario);
- criterio di resistenza del terreno alla Mohr-Coulomb espresso in termini di tensioni efficaci;
- flusso stazionario parallelo al pendio;
- assenza di drenaggio profondo e di flusso nel substrato.

Nella formulazione originaria di Montgomery & Dietrich, lo scopo era essenzialmente lo studio dell'influenza della topografia sull'innesco delle frane superficiali. Il modello infatti permette di verificare la stabilità di ogni singola cella in cui è discretizzato il dominio di studio, utilizzando variabili e parametri. Le variabili sono gli attributi che derivano dalla topografia e dalla morfologia: inclinazione del versante, area di drenaggio e larghezza di deflusso e sono, in generale, diverse per ognuna delle celle considerate e derivate automaticamente dal Modello Digitale del Terreno (DTM). I parametri sono le grandezze fisico-mechaniche che devono essere attribuite alla coltre superficiale: spessore, peso di volume, parametri di resistenza al taglio, conducibilità idraulica e altezza di pioggia infiltrata. Il modello determina, per ogni elemento, la quantità d'acqua infiltrata necessaria a rendere unitario il Fattore di Sicurezza, cioè a dire, ad instabilizzare la cella. Avendo poi a disposizione un modello di infiltrazione, come ad esempio quello di Green & Ampt (1911), si da determinare la precipitazione a partire dall'acqua infiltrata e un modello regionale delle piogge, è possibile relativizzare il risultato, associando un tempo di ritorno. In questo modo si determina la componente spaziale e temporale della pericolosità, anche se solo per quest'ultima è possibile fornire una probabilità. L'applicazione di tale approccio prevede la partecipazione di mol-

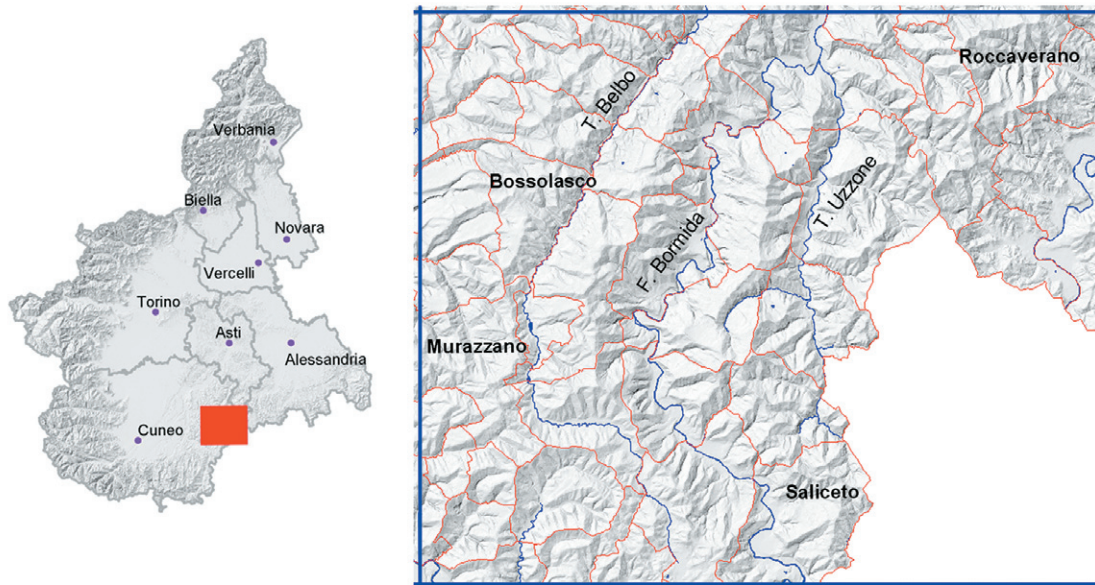


Figura 2.4.4
Ubicazione
del Foglio Deگو

te figure professionali: ingegneri idraulici e geotecnici, geologi, esperti in Sistemi Informativi Geografici e pedologi. Proprio questi ultimi si sono rivelati fondamentali nell'attribuzione di alcune proprietà dei suoli.

Il modello meccanico-idrologico verrà trattato nel dettaglio nel § 3.5.5.

2.4.5

Esempio di applicazione: l'esperienza del progetto CARG per la redazione di una cartografia tematica di pericolosità nelle componenti spaziale e temporale

2.4.5.1

Il progetto

Le carte della pericolosità per instabilità dei versanti *Frane per scivolamento planare e Frane per mobilitazione della coltre superficiale*, in scala 1:50.000, sono state realizzate nell'ambito del programma CARG (L. 438/1995) tramite convenzione tra l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) e Arpa Piemonte.

Le attività inerenti la predisposizione della *Carta della Pericolosità*, inserite nel contesto di uno specifico Progetto Speciale denominato *Eventi Alluvionali in Piemonte*, hanno preso in considerazione il territorio piemontese contenuto entro i limiti del Foglio IGM 1:50.000 n. 211 Deگو.

Il criterio ispiratore dello studio è stato quello di aumentare l'affidabilità delle metodologie volte alla valutazione della pericolosità, riducendo il margine di aleatorietà connesso sia alla scelta dei parametri di ingresso, sia alla variabilità delle misure. La conoscenza approfondita del fenomeno da parte delle diverse discipline coinvolte, ha permesso di individuare gli elementi che risultavano più significativi nella schematizzazione del processo di instabilità.

2.4.5.2

Il settore di indagine

Il dominio di studio (470 km² circa) coincide con la porzione di pertinenza piemontese di superficie topografica rappresentata nel campo cartografico del Foglio n. 211 Deگو alla scala 1:50.000. La carta è inquadrata nel sistema ED 1950 e rispetta il taglio definito dall'I.G.M.

L'area in esame (figura 2.4.4), comprende un settore importante del Bacino Terziario Piemontese (Langhe), caratterizzato generalmente da un paesaggio collinare a valli asimmetriche, aventi i fianchi costituiti da un versante lungo con debole inclinazione conforme alla stratificazione generale disposta secondo la direzione NE-SW ed immersione NW e da uno opposto, spesso molto ripido ed inciso sulla testata degli strati appartenenti a serie litologiche di età tardo-miocenica, nelle quali prevalgono sedimenti marnoso-siltosi ed arenaceo-sabbiosi in successioni ritmiche. Le linee essenziali dell'assetto geomorfologico sono fondamentalmente controllate dalla litologia e dalla struttura tettonica. Le unità litologiche risultano interessate da un sistema di fratture con diffusione regionale e direzione prevalente NW-SE e SW-NE.

Lo spartiacque tra i corsi d'acqua padani e tirrenici non coincide esattamente con il limite regionale nel tratto sud-orientale del Foglio. Sui due rispettivi versanti della displuviale, la struttura della rete idrografica assume un'articolazione differenziata. Il versante Tirrenico, la cui pendenza dallo spartiacque alla costa supera spesso il 20%, presenta una rete idrografica con andamento tipico a pettine con brevi corsi d'acqua. Nel tratto del Foglio Deگو, il versante Padano evidenzia acclività meno pronunciate, mediamente inferiori al 5%. I principali corsi d'acqua che lo solcano da NW verso SE, Torrente Belbo, Fiume Bormida,

Figura 2.4.5
Sperimentazione
del modello
meccanico-idrologico
in contesto alpino:
simulazione dell'evento
alluvionale
dell'agosto 1978
nel bacino del torrente
Melezzo Orientale,
alta Val Vigizzo (VB)

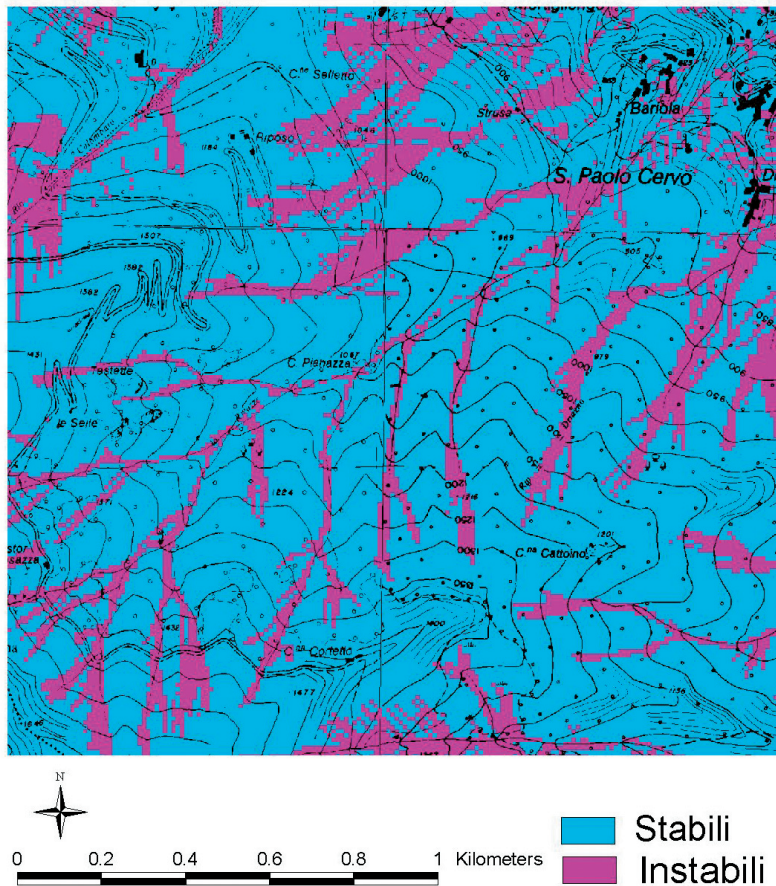
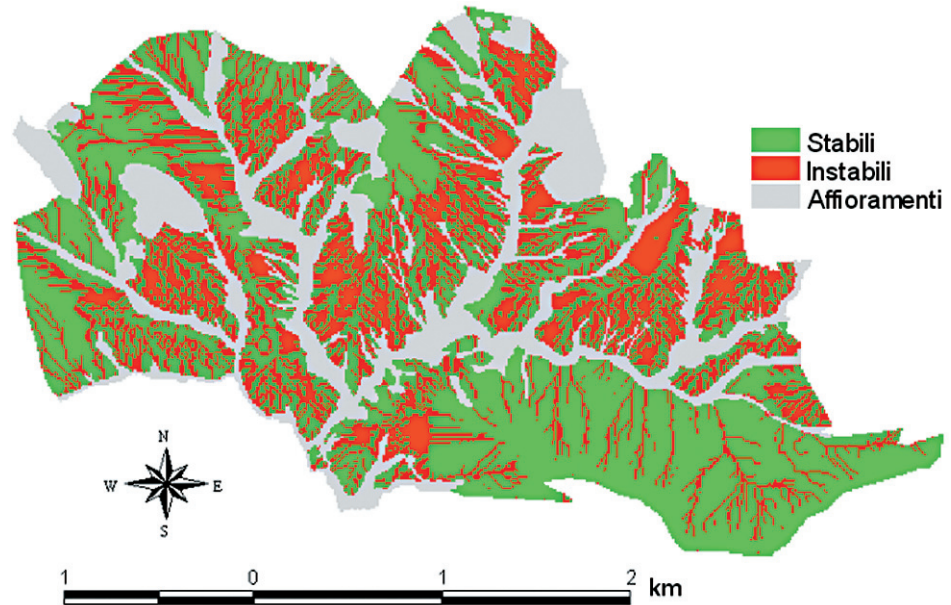


Figura 2.4.6
Sperimentazione
del modello
meccanico-idrologico
in contesto alpino:
simulazione dell'evento
alluvionale del giugno 2002
in Valle Cervo (BI)

Torrente Uzzone, pertinenti il bacino del Fiume Tanaro, hanno orientamenti prevalenti da SW verso NE con fondovalle generalmente piani per gran parte soggetti a processi di modellamento fluviale. Le quote massime raggiunte dai rilievi sfiorano i 1'000 m, mentre i valori medi più ricorrenti si collocano nell'intervallo 400-600 m.

2.4.5.3

Il processo in sintesi: dai dati di base all'allestimento cartografico

Il processo di valutazione della pericolosità è stato interamente governato in ambiente GIS ed è stato ricondotto ad uno schema consolidato già sperimentato con successo per una serie di studi a scala territoriale svolti in precedenza dal Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche di Arpa Piemonte (**figura 2.4.5** e **figura 2.4.6**). Il nucleo dell'intero processo è rappresentato dal modello meccanico-idrologico di stabilità di Montgomery & Dietrich. I dati che alimentano il modello, ciascuno strutturato in un livello informativo indipendente per poter essere processato in ambiente GIS, sono raggruppabili in tre classi:

- parametri fisico-meccanici;
- variabili topografiche;
- parametri idrologici.

Da un punto di vista metodologico il processo si può riassumere nelle seguenti fasi (**figura 2.4.7**):

- 1) raccolta dei dati di base;
- 2) discretizzazione del dominio di studio in celle con maglia avente il passo desiderato (10 m di lato);
- 3) acquisizione e strutturazione dei dati di ingresso, al fine di rendere le informazioni fruibili in un GIS; attribuzione dei dati grezzi alle unità elementari di riferimento (unità pedologiche e di uso del suolo) ed infine alle celle; pre-elaborazione dei dati grezzi per strutturarli nelle informazioni necessarie al modello;
- 4) implementazione modellistica degli algoritmi di calcolo;
- 5) test e taratura del modello;
- 6) filtraggio e riduzione alla scala di rappresentazione prescelta;
- 7) produzione ed allestimento della carta.

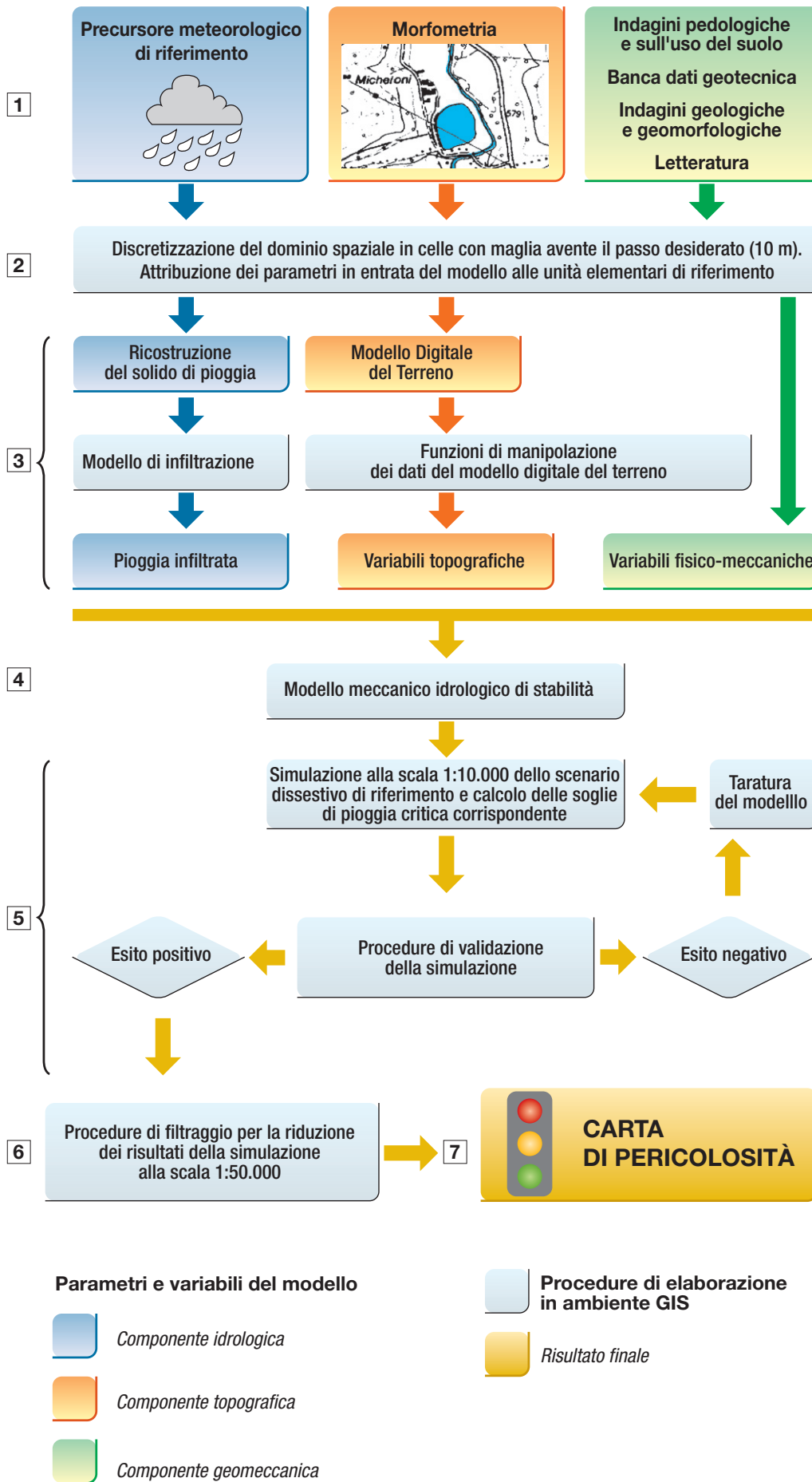
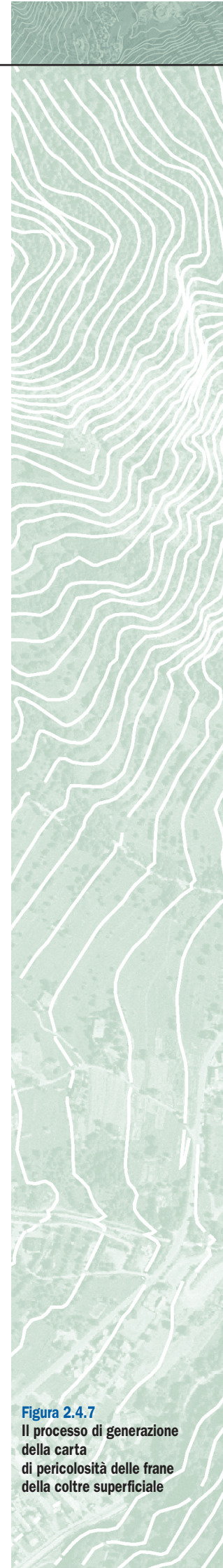


Figura 2.4.7
 Il processo di generazione della carta di pericolosità delle frane della coltre superficiale



Figura 2.4.8
Carta della Pericolosità
per Instabilità dei Versanti
in scala 1:50.000
frane per mobilitazione
della coltre superficiale,
Foglio 211 Deگو

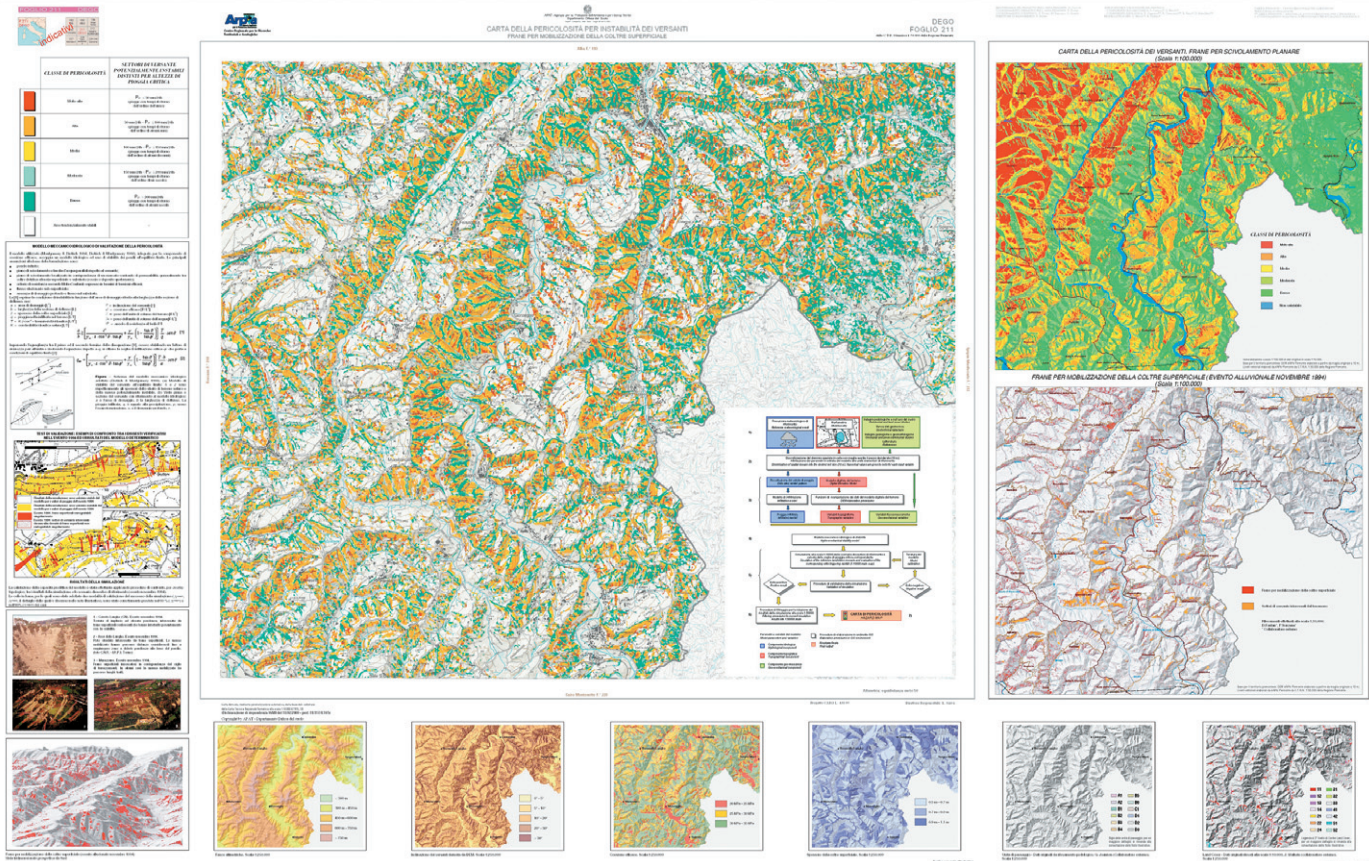
Le fasi 1 e 2 riguardano la raccolta e strutturazione dei dati di base grezzi in ambiente GIS, derivanti da diverse tipologie di fonti: dati misurati puntualmente e spazializzati (piogge, precursore meteorologico), dati acquisiti appositamente attraverso sistematiche indagini di terreno (studi pedologici, geologici, geomorfologici e sull'uso del suolo), dati di base acquisiti da altri soggetti (topografia e DTM). Nella fase 3 i dati grezzi vengono pre-processati per strutturarli nelle informazioni necessarie ad alimentare il modello (pioggia infiltrata, variabili topografiche, parametri fisico-meccanici). Contestualmente vengono implementati in ambiente geografico gli algoritmi del modello di pericolosità (fase 4). Nello specifico l'ambiente di sviluppo scelto è l'Avenue di ESRI® Arc-View 3.x. Nella fase 5 viene ricostruito lo scenario dissestivo dell'evento alluvionale di riferimento e vengono calcolate le altezze di pioggia critica di innesco delle frane superficiali. Se il risultato del confronto tra scenario reale e scenario prodotto dal modello è positivo si arriva alla fase finale di produzione della carta di pericolosità, previa applicazione di opportune tecniche di filtraggio (fase 6) al fine di convertire i risultati dalla scala 1:10.000, corrispondente alla scala di esecuzione della simulazione, alla scala prescelta di rappresentazione della carta (ad esempio 1:50.000); diversamente occorre procedere ad una taratura del modello verificando la correttezza dei dati in ingresso e la plausibilità delle ipotesi assunte.

2.4.5.4

I risultati: zonazione del territorio indagato in classi a differente connotazione di pericolosità

In **figura 2.4.8** è riprodotta l'immagine dell'allestimento cartografico realizzato a seguito del processo illustrato nel paragrafo precedente.

Il campo principale della carta, ovvero la porzione di superficie topografica rappresentata alla scala 1:50.000, riporta la distribuzione spaziale delle classi di pericolosità del territorio esaminato. La legenda adottata è riportata in **figura 2.4.9**. Si può notare che le classi di pericolosità sono espresse sia secondo una scala nominale (molto alta, alta, media ecc.), sia in termini assoluti. La funzione della scala nominale è quella di fornire una connotazione intuitiva del grado di pericolosità espresso in termini assoluti. Per facilitare ulteriormente la lettura della carta si è preferito esplicitare i valori assoluti come altezze di pioggia critica e riportare l'ordine di grandezza delle corrispondenti classi di tempi di ritorno del fenomeno. La scala di pericolosità prevede sei classi, riportate in legenda, dall'alto verso il basso, in ordine decrescente di pericolosità ed in ordine crescente di altezze di pioggia critica. Solo per l'ultima di tali classi, ovvero quella meno pericolosa relativa alle *Aree tendenzialmente stabili*, non sono riferite altezze di pioggia critica: essa infatti



ti corrisponde alle zone valutate stabili a priori dal modello meccanico-idrologico (cfr. § 3.3.5). Le classi di tempi di ritorno utilizzate sono coerenti con quelle proposte in letteratura (Fell, 1994).

Come già menzionato nel paragrafo precedente, il vincolo di scala esplicitamente richiesto dal presente progetto (1:50.000) ha reso necessario un passaggio elaborativo intermedio prima di poter rappresentare in carta i risultati del modello meccanico-idrologico (fase 6 di **figura 2.4.7**). Tale fase si è concretizzata nell'applicazione di opportuni algoritmi di filtraggio ai risultati del modello di pericolosità. In **figura 2.4.10** ne è riportato un esempio.

2.4.6

Conclusioni

L'esperienza maturata negli anni in seno al Centro Regionale per le Ricerche Territoriale Geologiche di Arpa Piemonte in termini di applicazione, per diversi contesti morfologici, di un modello meccanico-idrologico di valutazione della pericolosità, ha consentito di sviscerare limiti e vantaggi di tale approccio metodologico. I limiti più evidenti sono:

- l'accuratezza del DTM, in base al quale vengono derivate le variabili morfometriche del versante; superabile utilizzando un DTM di dettaglio;
- la consistenza numerica e spaziale delle misure di terreno, specialmente quando il dominio di studio è esteso, superabile o con una scelta oculata dell'ubicazione delle prove oppure adottando semplificazioni;
- l'ipotesi di stazionarietà del flusso di infiltrazione, superabile con l'adozione di modelli non stazionari, più completi, ma più complessi.

In ogni caso tale modello risulta vantaggioso a fronte delle seguenti considerazioni:

- si tratta di un metodo studiato, conosciuto e universalmente accettato;
- è di facile implementazione e richiede la conoscenza di relativamente pochi parametri;
- fornisce risultati accettabili in rapporto ai bassi costi di realizzazione della base dati che richiede;
- modella bene processi legati ad eventi meteorologici di lunga durata.

Quanto esposto nel § 2.4 costituisce una sintesi del lavoro d'équipe svolto per la redazione della *Carta della Pericolosità per Instabilità dei Versanti* in scala 1:50.000 del Foglio 211 Deigo, e delle relative *Note Illustrative*, attualmente in fase di stampa. Si ringraziano pertanto tutte le persone che, a vario titolo, hanno partecipato al lavoro, senza le quali non sarebbe stato possibile il presente contributo.







CLASSE DI PERICOLOSITÀ	SETTORI DI VERSANTE POTENZIALMENTE INSTABILI DISTINTI PER ALTEZZE DI PIOGGIA CRITICA
	Molto alta $P_{cr} \leq 30 \text{ mm/24h}$ (piogge con tempi di ritorno dell'ordine dell'anno)
	Alta $30 \text{ mm/24h} < P_{cr} \leq 100 \text{ mm/24h}$ (piogge con tempi di ritorno dell'ordine di alcuni anni)
	Media $100 \text{ mm/24h} < P_{cr} \leq 150 \text{ mm/24h}$ (piogge con tempi di ritorno di alcuni decenni)
	Moderata $150 \text{ mm/24h} < P_{cr} \leq 200 \text{ mm/24h}$ (piogge con tempi di ritorno dell'ordine di un secolo)
	Bassa $P_{cr} > 200 \text{ mm/24h}$ (piogge con tempi di ritorno dell'ordine di alcuni secoli)
	Aree tendenzialmente stabili

Figura 2.4.9
Legenda della carta di pericolosità relativa alle frane per mobilitazione della coltre superficiale

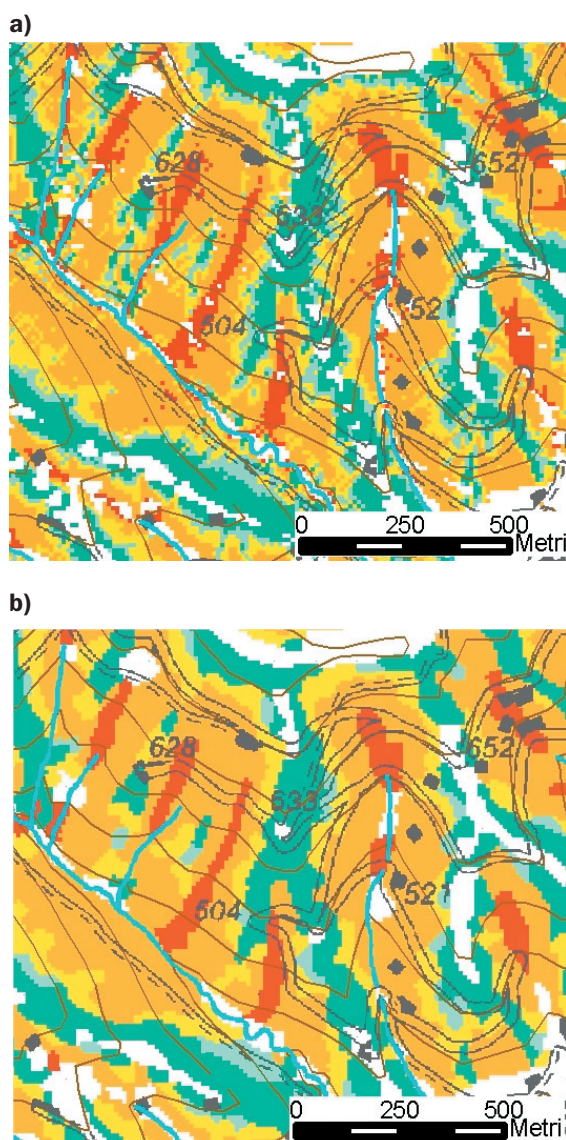


Figura 2.4.10
Esempio di applicazione della procedura di filtraggio: a) immagine non filtrata; b) immagine dopo il filtraggio. Le classi di pericolosità rappresentate corrispondono a quelle riportate nella legenda di figura 2.4.9

Bibliografia

I lavori contrassegnati da asterisco non sono citati esplicitamente nel testo.

*Arpa Piemonte (2005), *Note illustrative del Foglio 211, Dego, della Carta della Pericolosità per Instabilità dei Versanti in scala 1:50.000*.

Baum R.L., Savage W.Z. & Godt J.W. (2002), *TRIGRS – A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope Stability Analysis*. USGS. Open file Report 02-424.

Crosta G., Frattini P. & Sterlacchini S. (2001), *Valutazione e gestione del rischio da frana – Principi e Metodi*. vol. 1. Regione Lombardia, Università Milano Bicocca.

*Dietrich W.E. & Montgomery D.R. (1998), *SHAL-STAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential*. Technical Report by NCASI, (<http://ist-socrates.berkeley.edu/~geomorph/shalstab/>).

Fell R. (1994), *Landslide risk assessment and acceptable risk*. Canadian Geotechnical Journal, National Research Council of Canada. vol. 31 n. 2, pp. 261-272.

Green W.H. & Ampt G. (1911), *Studies of soil physics, part I – The flow of air and water through soils*. The Journal of Agricultural Science. vol. 4, pp. 1-24.

Iverson R.M. (2000), *Landslide triggering by rain infiltration*. Water Resources Research. vol. 36, pp. 1897-1910.

Kesseli J.E. (1943), *Disintegrating Soil Slips of the Coast Ranges of Central California*. Journal Geology. Boll. 51 n. 5, pp. 342-352.

Montgomery D.R. & Dietrich W.E. (1994), *A physically based model for the topographic control of shallow landsliding*. Water Resources Research. vol. 30, pp. 1153-1171.

Regione Piemonte (1998), *Eventi alluvionali in Piemonte – 2-6 novembre 1994, 8 luglio 1996, 7-10 ottobre 1996*, vol. I, pp. 414, L'artistica di Savigliano, Torino.

Varnes D.J. (1978), *Slope movements types and processes*, in Schuster R.L. & Krizek R.J. Ed., *Landslides, analysis and control*. National Academy of Sciences, Transportation Research Board. Sp. Rep., n. 176, pp. 11-33.