

5.2. STUDIO PROPEDEUTICO ALLA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA INERENTE L'INSTABILITÀ DEI VERSANTI MEDIANTE TECNICHE GIS ED APPROCCIO STATISTICO MULTIVARIATO

Premessa

Nell'ambito del Programma *Cartografia Geologica d'Italia*, la Regione Piemonte ha stipulato uno specifico accordo di programma con il Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Geologico della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Tale accordo, divenuto esecutivo il 31 Dicembre 1997, ha come oggetto la realizzazione e informatizzazione dei Fogli n. 211 *Dego* e n. 157 *Trino* della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Parallelamente è previsto un progetto speciale denominato *Eventi Alluvionali in Piemonte*, comprendente, tra l'altro, la realizzazione di un Foglio alla scala 1:50.000 sulla *pericolosità geologica* (n. 211 *Dego*).

Dato il carattere sperimentale che tale realizzazione riveste, il Settore Studi e Ricerche Geologiche - Sistema Informativo Prevenzione Rischi ha inteso intraprendere un percorso metodologico che conduca non solo al prodotto cartografico in sé, ma anche ad una proposta concreta di approccio ai problemi della pericolosità geologica.

Momento caratterizzante del progetto è la costante interdisciplinarietà del gruppo di lavoro, creato per affrontare le fasi d'impostazione metodologica e di controllo dei dati, da tutti i punti di vista. Infatti, sono presenti tutte le componenti che generalmente sono abituate ad operare, giova purtroppo ricordarlo, in maniera spesso disgiunta e scoordinata: il geologo innanzi tutto che contribuisce alla conoscenza dei processi geologici e dei loro rapporti con il territorio, l'ingegnere, che affronta il problema delle implicazioni meccaniche, il matematico-statistico, che affronta l'analisi dati da un punto di vista matematico, l'informatico che formalizza il tutto entro un modello concettuale per la progettazione e sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale integrato.

La valutazione della pericolosità geologica è connessa essenzialmente alla caratterizzazione dell'imprevedibilità legata al manifestarsi di fenomeni franosi su un versante. Un'operazione di questo tipo è generalmente complessa ed articolata e richiede una stima della probabilità di occorrenza dell'evento sia a livello *spaziale* sia *temporale* e prevede inoltre una misurazione della probabilità legata all'*intensità* ed all'*evoluzione* del fenomeno.

In generale, si è notato in letteratura un'attenzione particolare rivolta alle ipotesi di localizzazione spaziale dei fenomeni, mentre con il presente lavoro si è inteso iniziare ad operare per la costruzione di un percorso metodologico basato fortemente sul coinvolgimento dei tre restanti aspetti legati alla pericolosità.

La definizione di pericolosità per frana ormai accettata richiama i concetti di probabilità di occorrenza, entro uno specifico periodo di tempo ed entro una particolare area, di una frana che potenzialmente

potrebbe arrecare danno. Da ciò discende immediatamente l'osservazione che l'espressione *pericolosità* non può essere applicata *tout court* alle frane, ma ogni precisa e riconosciuta tipologia franosa reca con sé attributi specifici di pericolosità che non possono essere estesi ad altri fenomeni che presentano caratteristiche cinematico-evolutive proprie.

Attraverso la stesura del presente testo si è inteso documentare i risultati ottenuti in riferimento alla fase preliminare della ricerca, ovvero quella di impostazione di primo tentativo del problema, in particolare riguardo la componente spaziale della pericolosità. È corretto parlare di fase di primo tentativo in quanto, anche se può a ragione ritenersi conclusa la sperimentazione relativa alla definizione del percorso metodologico, è previsto in futuro un affinamento correlato alla necessità di aumentare il campione di dati sia in consistenza sia in qualità e complessità rispetto al presente.

In quest'ottica, si è iniziato a porre l'attenzione sugli *scivolamenti planari* presenti nella zona delle Langhe piemontesi, come illustrato nella Fig. 91. Tale tipologia è stata prescelta in quanto fenomenologia ricorrente, arealmente estesa e tipica e perciò adatta ad un'analisi approfondita di tipo anche quantitativo.

Gli strumenti utilizzati per l'elaborazione dei dati sono stati essenzialmente applicativi legati alla tecnologia GIS e software sia per la gestione di *database* sia per l'esecuzione di analisi statistiche.

Criteri generali

Per la valutazione della pericolosità connessa all'instabilità dei versanti, recenti esperienze rintracciabili in letteratura (Carrara, Cardinali, Guzzetti & Reichenbach 1996; Baeza & Corominas 1996; Leroi 1996; Amanti, Cara, Falcetti, Pecci & Ventura 1997; Pegoraro 1998) hanno messo in evidenza le potenzialità relative all'applicazione di una metodologia statistica associata all'impiego di applicativi legati ai Sistemi Informativi Geografici (GIS). Questa specifica strumentazione di natura informatica ha giocato un ruolo essenziale nell'impostazione del presente lavoro: in particolare, la disponibilità di un software GIS in grado di analizzare dati sia in formato vettoriale sia in formato raster (ArcView 3.0 con l'estensione Spatial Analyst 1.0) ha influenzato positivamente le potenzialità operative del sistema, in termini di capacità di elaborazione dei dati.

La stima in termini quantitativi della pericolosità implica la conoscenza di una serie di parametri, sia relativi al fenomeno franoso in sé sia alle condizioni al contorno, al fine di creare un modello che riesca a prevedere, spazialmente e temporalmente, lo sviluppo di dissesti.

Gli approcci più comunemente adottati sono di tipo euristico, deterministico e probabilistico. Il modello euristico (sia esso a carattere approssimativo, analogico, intuitivo, ecc.) è un procedimento che consente di prevedere o rendere plausibile un risultato, il quale dovrà essere controllato e convalidato in un

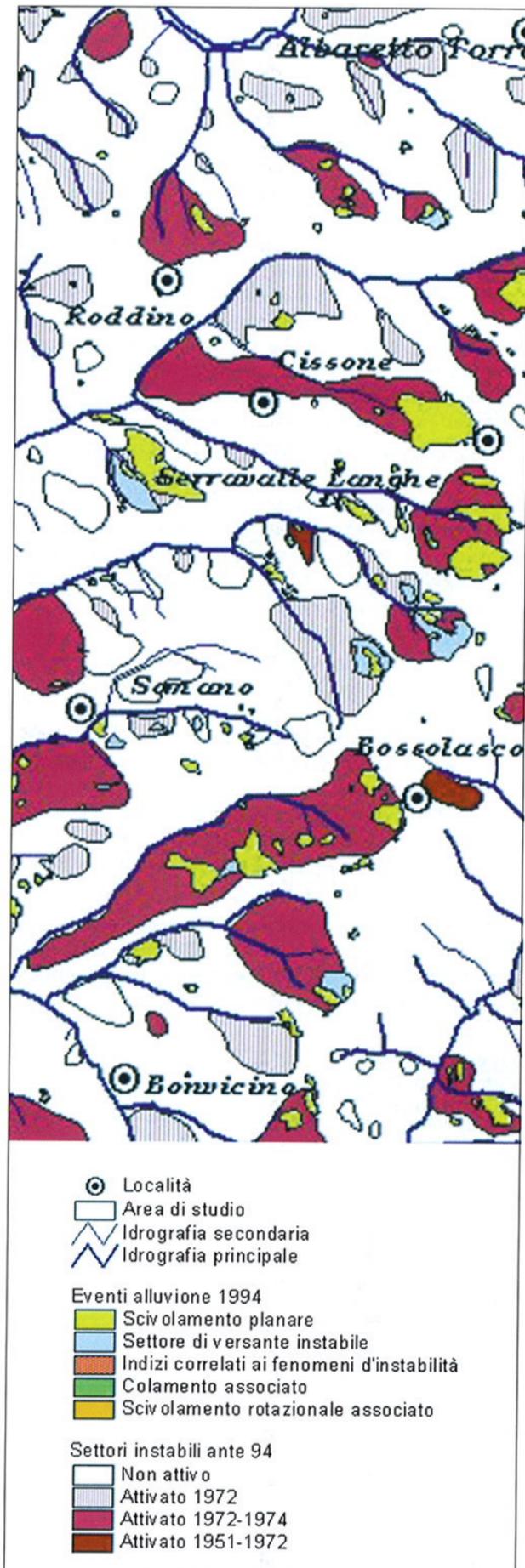


Fig. 91. Localizzazione dell'area di studio caratterizzata da un'estensione di circa 60 km² (lato maggiore: 12 km circa, lato minore: 5 km circa) e comprendente parte dei comuni di Albaretto della Torre, Bonvicino, Bossolasco, Cissone, Roddino, Serravalle Langhe, Somano. Vengono posti in particolare evidenza i corpi franosi relativi all'evento alluvionale del novembre 1994 ed i settori di versante instabili preesistenti.

secondo tempo in via rigorosa. Il modello deterministico consente di prevedere un evento secondo relazioni dirette di causa-effetto tra parametri che non necessariamente riguardano tutti gli aspetti del fenomeno. Nel modello statistico (o probabilistico), la combinazione di fattori che hanno portato all'instabilità sono determinati statisticamente. La metodologia adottata nello svolgimento del lavoro si basa sull'integrazione di più aspetti multidisciplinari che consentono in qualche modo di minimizzare gli errori grazie al contributo di figure professionali (geologo, ingegnere, informatico, matematico). In quest'ottica, si è scelto di operare cogliendo alcune peculiarità tipiche di un modello euristico entro un approccio statistico. Tale approccio fa sì che l'opinione dell'esperto contribuisca a creare il quadro conoscitivo che rivestirà il ruolo principale di input nell'analisi probabilistica del problema.

Da una parte quindi l'esperto di dominio ha guidato la scelta dei parametri da utilizzare nelle analisi statistiche, a partire dalla conoscenza ed esperienza del territorio e dei fenomeni, dall'altra le tecniche statistiche utilizzate, di tipo univariato e multivariato, hanno permesso di cogliere in maniera asettica i molteplici aspetti di un fenomeno franoso.

Un aspetto di forte positività per il metodo intrapreso è consistito inoltre nella trattazione meticolosa e particolareggiata dei dati inizialmente disponibili per l'analisi.

Fasi operative

Pur avendo molteplicità di metodologie di lavoro, esse risultano comunque basate su un modello comune, ovvero su di una serie di passi basilari per l'elaborazione:

Sinteticamente, le fasi logiche che hanno portato ad una valutazione di primo tentativo sono state:

1. scelta del dominio su cui effettuare lo studio;
2. identificazione formale ed a livello cartografico dei parametri, ovvero i fattori d'instabilità che si pensa correlati direttamente o indirettamente con i fenomeni franosi;
3. organizzazione dei parametri esistenti ed elaborazione dei parametri derivati, in maniera da pervenire alla definizione delle variabili statistiche;
4. discretizzazione del dominio in unità territoriali elementari;
5. attribuzione dei parametri prescelti alle unità territoriali elementari;
6. analisi statistica.

Area di studio e dati disponibili

L'area di studio è stata scelta in base alla disponibilità di dati significativi ed in numero consistente: si tratta di una porzione di territorio parte dei comuni di Albaretto della Torre, Bonvicino, Bossolasco, Cissone, Roddino, Serravalle Langhe, Somano, comprese entro le sezioni C.T.R. n. 211010, n. 211050 e n. 211090, per un totale di circa 60 km².

In particolare, l'acquisizione delle informazioni è avvenuta sotto forma di:

- dati di tipo vettoriale;
- database disponibili in formato numerico;
- dati su supporto cartaceo e successivamente informatizzati;

I dati vettoriali sono relativi sia a coperture di tipo generale sia riguardanti particolari aspetti, come ad esempio i tematismi sulle frane:

- idrografia principale e secondaria della Regione Piemonte, in scala 1:100.000;
- uso del suolo secondo il progetto Land Cover Corine, in scala 1:100.000;
- carta delle formazioni geologiche, in scala 1:100.000;
- eventi franosi del 4-6 novembre 1994, in scala 1:10.000;
- settori di versante sede di scivolamenti planari manifestatisi negli anni ante 1994, in scala 1:100.000;
- punti quotati per la creazione del DTM, costituenti i nodi di una maglia quadrata di lato 50 m.

La fase di organizzazione dei parametri esistenti e di ottenimento di nuovi parametri è stata compiuta in ambiente GIS tramite il modulo ArcView con la sua estensione Spatial Analyst.

Identificazione dei parametri

La funzione dell'esperto in questa fase della sperimentazione è stata determinante. Infatti, grazie alla conoscenza sia del fenomeno franoso sia delle con-

dizioni al contorno, è stato possibile scegliere i parametri oggetto della successiva analisi statistica.

Ciò è stato compiuto non solo per mezzo del pur sempre indispensabile *engineering judgement*, ma i parametri, che ad una prima analisi erano stati reputati in qualche misura fondamentali sul fenomeno franoso, sono stati oggetto di un'approfondita analisi statistica univariata, per evidenziare eventuali caratteristiche specifiche.

Ad esempio, come diffusamente esposto altrove, l'analisi statistica sull'immersione dei versanti sede di scivolamenti planari ha rivelato che oltre il 90% di tali versanti ha un valore di immersione compreso tra $307^{\circ} \pm 30^{\circ}$; tale risultato ha permesso di includere il parametro *immersione dei versanti* nel novero delle variabili da considerare, essendo ragionevolmente sicuri dell'effettiva influenza sul processo.

Poiché gli studi entro il Progetto Cartografia Geologica (inteso come *summa* di analisi geologiche in senso stretto, geomeccaniche, idrologiche, ecc.) non sono ancora terminati, affinché il presente studio avesse comunque una sua compiutezza (e quindi un seppur parziale significato fisico), sono stati considerati i seguenti parametri, già disponibili:

- uso del suolo (13 classi);
- immersione dei versanti (36 classi);
- formazioni geologiche (4 classi);
- aree in frana, distinte in:
 - frane avvenute nel periodo 4-6 novembre 1994;
 - settori di versante interessati da frane avvenute nel 1972;
 - settori di versante interessati da frane avvenute nel periodo 1972-1974;
 - settori di versante interessati da frane avvenute nel periodo 1951-1972;

Su quest'ultimo parametro, è interessante notare che l'area del dissesto è stata considerata come indicatore dell'instabilità poiché implicitamente contiene in sé gli effetti che essa provoca.

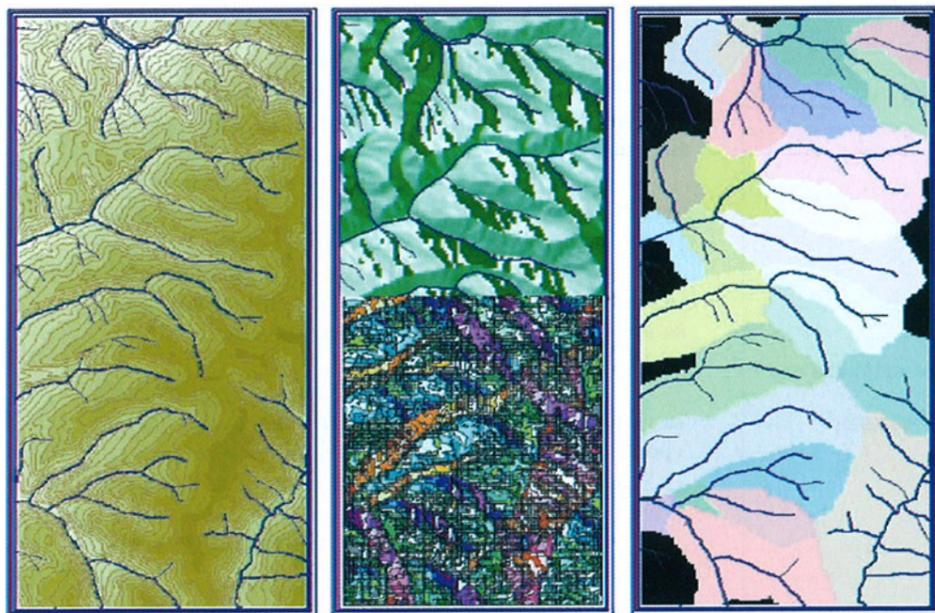


Fig. 92. A sinistra: modello altimetrico digitale del terreno (DTM) sull'area di studio, con evidenziazione delle curve di livello, con intervallo di 25 m, e dell'idrografia principale e secondaria. Al centro: due distinte rappresentazioni cartografiche dell'immersione dei versanti sulla porzione di territorio studiato; l'una impiega una tonalità monocromatica in grado di facilitare la percezione a livello spaziale dell'informazione; l'altra sfrutta l'intera gamma cromatica, che permette di scomporre il tema in trentasei sotto-classi, assegnando a ciascuna una sfumatura facilmente riconoscibile dall'operatore. A destra: il risultato dell'elaborazione, prodotta in automatico, relativa all'individuazione dei bacini idrografici, riportati graficamente insieme alla corrispondente idrografia.

Per quanto riguarda il parametro "area in frana" si è pensato di mantenere distinte le coperture riguardanti i fenomeni sviluppatasi nei diversi anni, al fine di tenere in conto, in maniera indiretta, dell'incidenza della franosità sulla stabilità delle *slope-unit*.

Strutturazione delle variabili e discretizzazione del dominio

L'organizzazione dei parametri esistenti e l'acquisizione di nuovi parametri sono stati compiuti in ambiente GIS consentendo di:

- creare in automatico il *modello altimetrico digitale del terreno* (DTM) nello spazio bidimensionale a partire dai punti quotati ed elaborare le funzioni relative alle *curve di livello*, all'*inclinazione* ed *immersione* dei versanti;
- utilizzare le *funzioni idrologiche*, con l'ottenimento in automatico di nuove coperture riguardanti l'*accumulo* e la *direzione preferenziale di flusso*, a partire dalle rispettive funzioni, ed infine dei *bacini idrografici*.

Alcune di tali elaborazioni sono riportate nella figura 92.

È risultato a questo punto necessario procedere all'identificazione dell'unità territoriale, intesa come cella elementare del dominio, ovvero l'entità cui devono essere associati tutti i dati precedentemente elaborati per poi confluire, opportunamente organizzati, all'interno del modulo di elaborazione statistica. Tale unità territoriale o *slope-unit* è derivata dalla definizione in automatico dei bacini idrografici, cui è seguito un infitimento ad opera dell'esperto, apprezzabile in seguito all'esame della Fig. 93. Quest'ultima operazione risulta di fondamentale importanza ai fini della buona riu-

scita della strategia operativa ed è stata perciò condotta dall'esperto conoscitore del territorio, al fine di minimizzare l'effetto dell'errore inevitabilmente presente a seguito della manipolazione dei dati.

In seguito a questo passaggio ad ogni *slope-unit* sono stati attribuiti, grazie ad opportune elaborazioni, tutti i parametri calcolati o misurati, provenienti dall'applicativo GIS, che confluiranno nell'analisi statistica.

Nella pratica è stata coinvolta, oltre alla caratterizzazione delle proprietà geometriche della *slope-unit*, quella relativa all'antropizzazione del territorio (utilizzo del suolo), alla geomorfologia, all'ubicazione spaziale (immersione dei versanti) e temporale dei corpi franosi su di essa. Le due elaborazioni relative ai parametri *uso del suolo* e *geologia* sono riportate nella Fig. 94.

Dopo aver ottenuto incoraggianti risultati a seguito della realizzazione del DTM in maniera assolutamente semplice e rigorosa, si è pensato, a questo punto, di tentare di costruire una procedura utile per visualizzare tridimensionalmente, e quindi ancora più efficacemente, il modello del terreno. Per prima cosa è risultato necessario progettare ed implementare un modulo in grado di acquisire correttamente le coordinate spaziali dei punti, in seno al reticolo con maglia regolare di 50 m di lato. Per l'implementazione dell'algoritmo è stato scelto il linguaggio di programmazione ad oggetti usato in Visual Basic, il quale ha consentito la corretta importazione delle coordinate in un file di formato DXF, riconoscibile da un applicativo CAD. Per la successiva operazione di *rendering* dell'immagine, è stato quindi impiegato il programma 3DSTUDIOMAX, alcune elaborazioni del quale sono riportate nella Fig. 95.

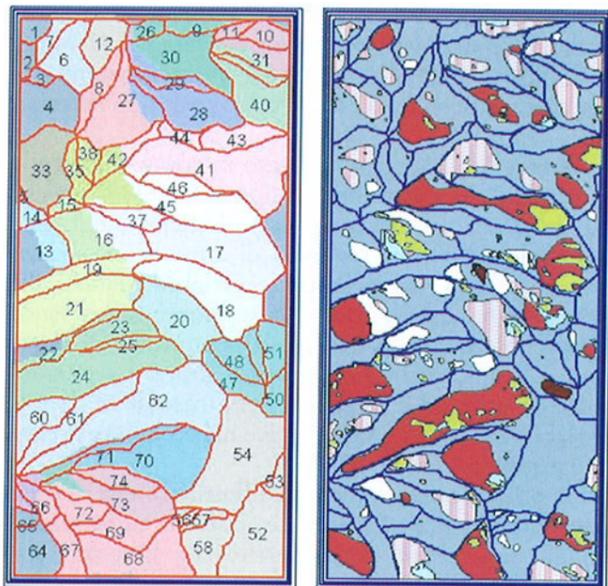


Fig. 93. A sinistra: rappresentazione dei bacini idrografici ottenuti in automatico e delle unità territoriali (*slope-unit*) individuate a partire dagli stessi. A destra: le *slope-unit* ed i movimenti franosi presenti sull'area di studio.

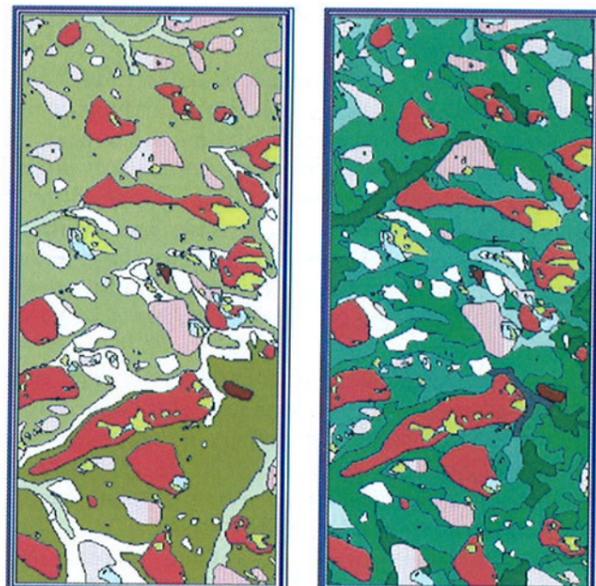


Fig. 94. A sinistra: rappresentazione delle formazioni geologiche, ricavate dalla carta geologica alla scala 1:100.000, e dei movimenti franosi presenti sull'area di studio. A destra: classi di utilizzo del suolo e movimenti franosi.

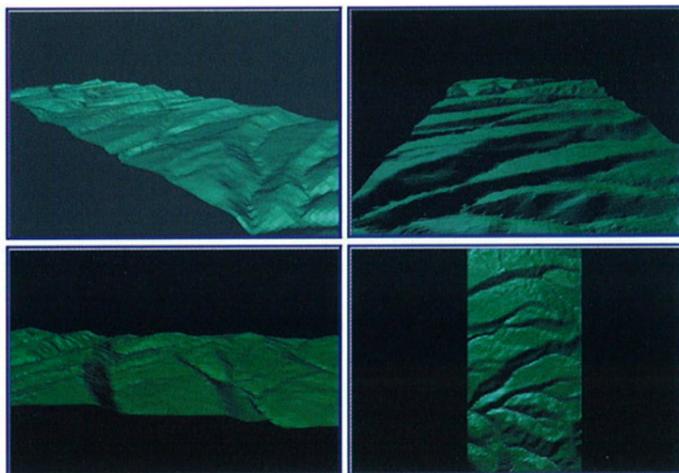


Fig. 95. Quattro diverse visuali inerenti alla realizzazione del modello altimetrico digitale del terreno in versione tridimensionale. In alto a sinistra: visione aerea dell'area di studio con punto di osservazione da sud-ovest verso nord-est. In alto a destra: visione aerea radente dell'area in esame con punto di osservazione da sud verso nord. In basso a sinistra: visione della porzione centrale dell'area con punto di osservazione da ovest verso est, dove risulta particolarmente evidente la caratteristica conformazione dei versanti. In basso a destra: visione complessiva dell'area con punto di osservazione dall'alto verso il basso.

Tecniche di analisi statistica multivariata

Desiderando ora pervenire alla definizione di un valore di significatività tra instabilità e stabilità del versante, sono stati eseguiti test statistici di tipo univariato e multivariato. La metodologia è stata improntata su test legati alla determinazione in automatico di una *funzione discriminante*, in grado cioè di produrre una classificazione di primo tentativo delle diverse unità territoriali.

L'analisi statistica multivariata è una tecnica di elaborazione dei casi statistici mediante l'impiego contemporaneo di più variabili (ed in ciò si contrappone all'analisi univariata), fino a determinare eventuali correlazioni multiple tra variabili ed a stabilire il peso statistico delle stesse. Il risultato è una funzione matematica (in particolare una funzione lineare) capace di vagliare l'efficacia di un certo numero di variabili nel compiere la discriminazione dei casi in classi predefinite.

Se ne può calcolare il valore in ogni *slope-unit*, cioè per ogni caso statistico, ed in pratica essa viene determinata in base all'esame dei momenti di primo e secondo ordine (media e varianza) delle distribuzioni di ciascuna variabile statistica ed in base al grado di correlazione esistente tra le variabili stesse.

Parallelamente a questa può essere calcolata una seconda funzione lineare, detta *funzione di classificazione*, in grado di condurre alla riclassificazione di un campione statistico in due o più gruppi distinti, avendo dichiarato a priori l'appartenenza di ciascun caso ad un particolare gruppo. Di funzioni di classifica-

zione ne esiste una per ogni gruppo della classificazione ed essa è deputata a svolgere due compiti molto importanti: generare la matrice di classificazione, contenente la percentuale di successo del metodo, ovvero il numero di casi correttamente riclassificati, ed anche lavorare in senso previsionale, operando cioè la classificazione di nuovi casi in seno ai gruppi, senza averli precedentemente impiegati per la costruzione della funzione stessa.

Le classi predefinite, o *variabili di raggruppamento*, in base alle quali classificare a priori le *slope-unit* come *stabili* oppure *instabili*, sono state individuate calcolando il rapporto tra l'area in frana e l'area totale entro ogni singola *slope-unit*. Se tale rapporto è maggiore del 2 % allora si definisce la *slope unit* come *instabile*, mentre per un valore uguale o inferiore al 2 % si definisce *stabile*. In questa maniera sono stati creati due campioni, l'una di *slope-unit* stabili l'altra di *slope-unit* instabili, ognuna caratterizzata da un preciso valore del set di variabili definite.

Solo a questo punto sono stati eseguiti i tentativi di classificazione attraverso il metodo dell'analisi discriminante.

Il primo tentativo ha preso in conto 57 variabili relative a:

- geometria delle *slope-unit*;
- percentuale complessiva di area in frana su ciascuna unità territoriale;
- formazioni geologiche presenti;
- utilizzo del suolo;
- immersione dei versanti (36 classi ad intervallo 10°).

La percentuale di successo è stata in questo caso del 97 % ed il numero di variabili considerate significative nel compiere la classificazione sono state 22. In altri termini, il modello statistico ha considerato significative ai fini della classificazione in *stabili/instabili* 22 variabili (a partire da 57) e riuscendo a riformulare la classificazione a priori definita nel 97 % dei casi. Nella Fig. 96 è riportata sia la distribuzione statistica sia le percentuali di successo relative a tale analisi.

Il secondo tentativo ha preso in conto soltanto le 53 variabili, per così dire, di tipo *ambientale*, ovvero quelle relative alle formazioni geologiche, all'utilizzo del suolo, alle trentasei classi di immersione individuate sull'area, tralasciando le variabili relative alle aree in frana. La classificazione a priori è stata lo stesso mantenuta in funzione della percentuale di *slope-unit* in frana, così come indicato sopra. La percentuale di successo è scesa in questo caso al 93 % e le variabili considerate significative nel compiere la classificazione a 17.

A questo punto, una volta effettuati i test, è stato necessario vagliare i risultati e conferire nuovamente ad essi una valenza di tipo territoriale. Questo è stato possibile reinserendo direttamente all'interno dell'applicativo GIS i risultati della riclassificazione prodotta dall'analisi statistica. Nella Fig. 97 sono riportate le rappresentazioni grafiche ottenute per il primo tentativo dell'analisi discriminante, unitamente

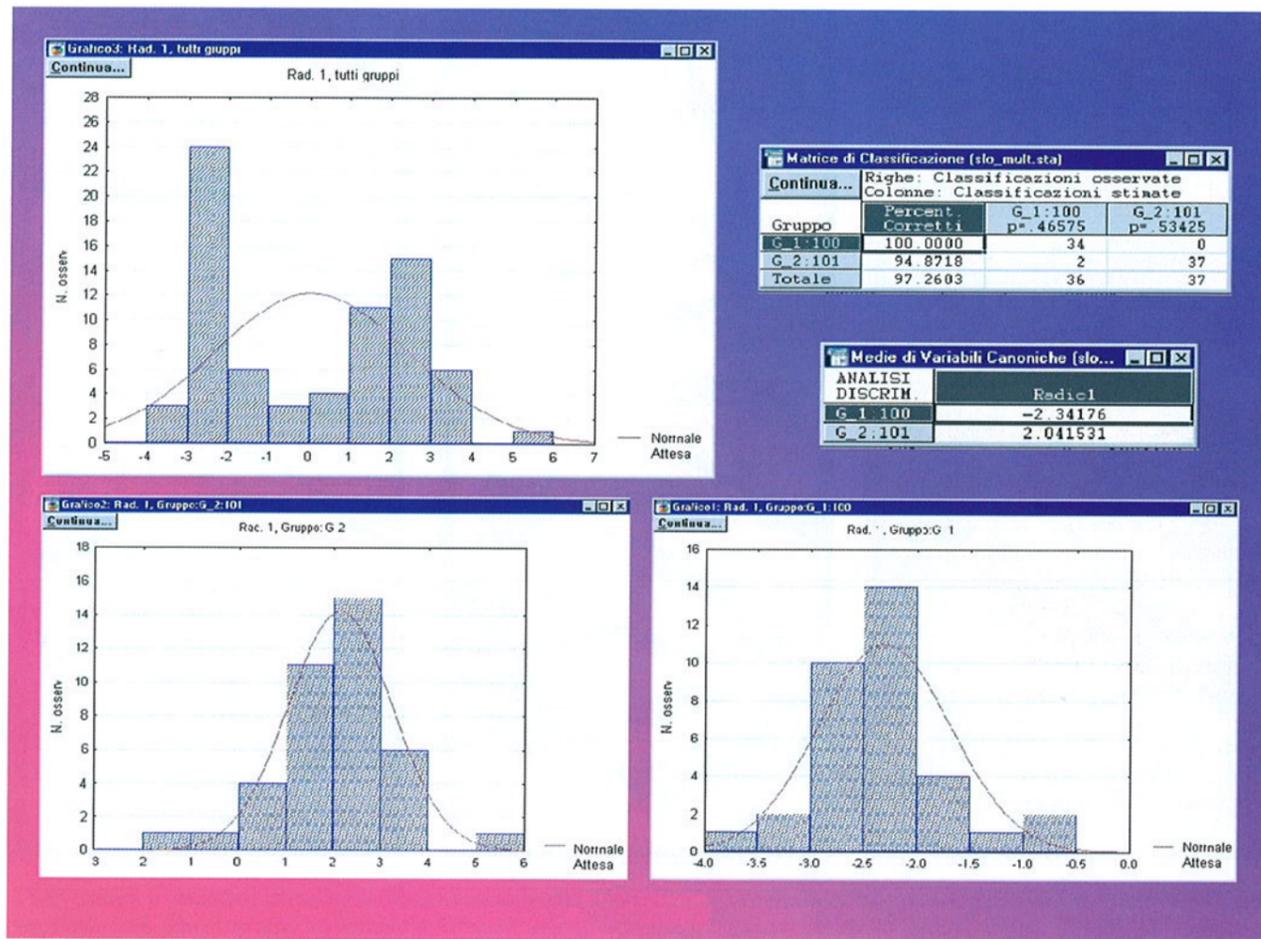


Fig. 96. Raccolta sintetica dei risultati relativi al primo tentativo di svolgimento dell'analisi della funzione discriminante. Le due tabelle riportano rispettivamente la matrice di classificazione, che contiene le indicazioni relative alla percentuale di successo del metodo, ed il valore medio della funzione discriminante in seno a ciascun gruppo (per il gruppo delle slope-unit stabili il valore è $-2,34176$, mentre per il gruppo di quelle instabili il valore è $2,041531$). In alto a sinistra: distribuzione di frequenza della funzione discriminante relativa al campione statistico nel suo complesso che evidenzia l'esistenza dei due gruppi della classificazione. In basso a sinistra: distribuzione di frequenza della funzione discriminante relativa al gruppo della classificazione identificato come gruppo instabile. In basso a destra: distribuzione di frequenza della funzione discriminante relativa al gruppo della classificazione identificato come gruppo stabile.

alla rappresentazione della classificazione *a priori* delle *slope-unit*.

I primi risultati della sperimentazione paiono incoraggianti, specialmente se si guarda alla percentuale di successo dell'analisi multivariata ed al numero di casi statistici la cui riclassificazione risulta non corretta. Ciò potrebbe in parte essere dovuto al fatto che la scala di riferimento delle coperture cartografiche non si limita a 1:100.000, ma viene integrata effettivamente da dati alla scala 1:10.000 e soprattutto al fatto che la scelta delle *slope-unit* è stata particolarmente accurata e funzionale all'obiettivo prefissato. Particolarmente incoraggiante risulta in ogni caso il secondo tentativo di analisi statistica, quello interessato dall'impiego delle variabili non legate alle aree in frana, dato che la riclassificazione che ne consegue risulta praticamente svincolata dall'occorrenza dei fenomeni franosi.

Infine, un terzo tentativo è stato realizzato per tentare di estendere l'analisi in un vero e proprio senso

previsionale, ovvero per classificare casi statistici non impiegati a monte per la costruzione della funzione discriminante, risultando ciò possibile a seguito dell'impiego della *funzione di classificazione*.

Dal dominio di studio composto dalle 73 *slope-unit* è stata estratta in maniera del tutto casuale una selezione di 56 su cui compiere l'analisi multivariata, a valle della quale è stata ottenuta una percentuale di successo sulla riclassificazione dei 56 casi pari al 96%.

Applicando a questo punto la funzione di classificazione, determinata a partire dai soli 56 casi precedenti, alla totalità del campione (73 casi), ed agendo quindi in previsione, si è ritrovata una percentuale di successo pari all'89%. In questo modo una parte del campione originario (17 casi) è stata trattata come un campione di verifica della funzione di classificazione determinata, in maniera del tutto indipendente, dai 56 casi iniziali. Il criterio di appartenenza al gruppo *stabile/instabile* è stato comunque mantenuto identico anche per le *slope-unit* impiega-

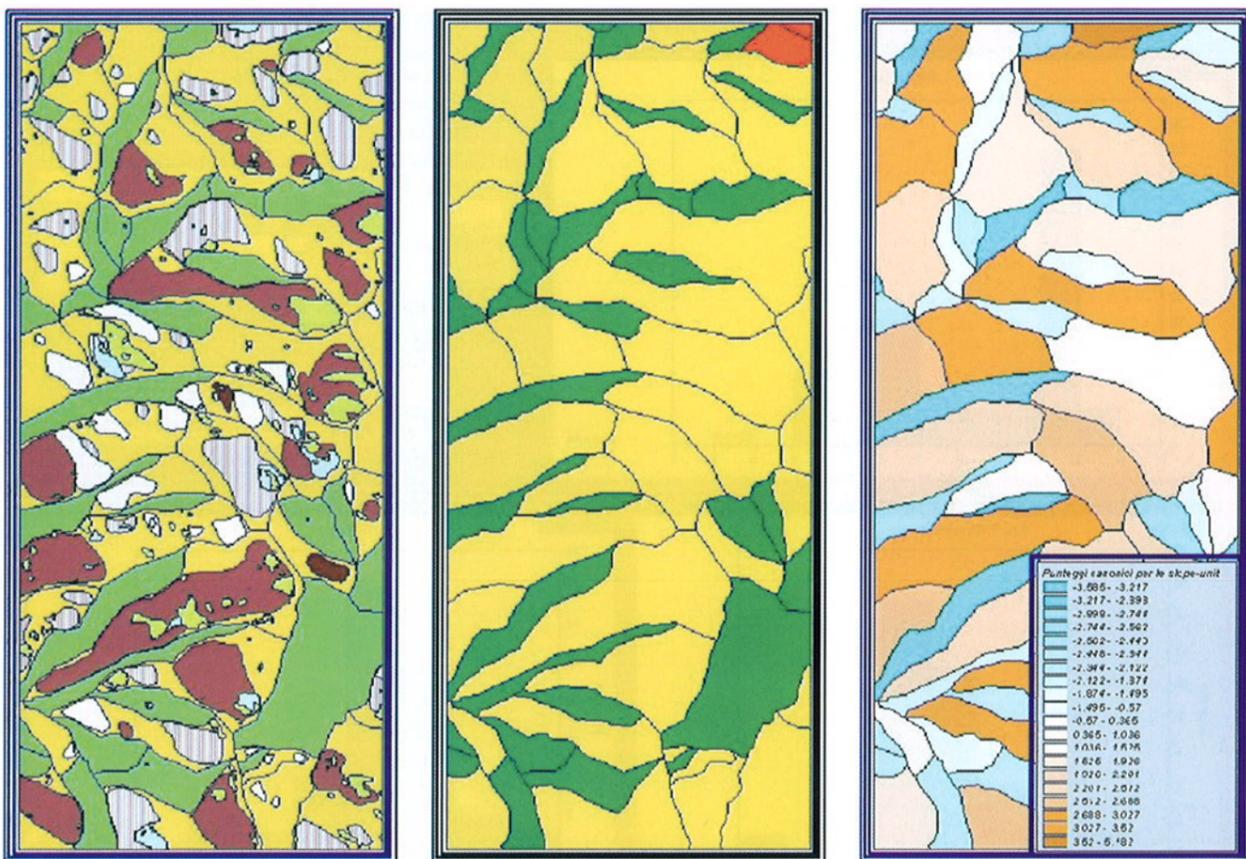


Fig. 97. A sinistra: rappresentazione dei movimenti franosi e della classificazione delle slope-unit, compiuta a monte dell'esecuzione dell'analisi discriminante, in stabili (colorazione verde) oppure instabili (colorazione arancio) sulla base della percentuale di area in frana rilevata su ciascuna unità territoriale. Al centro: risultato della riclassificazione delle slope-unit ottenuta al termine del primo tentativo dell'analisi multivariata, caratterizzato da una percentuale di successo del 97%. Le unità territoriali che sono state riclassificate correttamente assumono le colorazioni verde (stabili) ed arancio (instabili), mentre le uniche due classificate diversamente rispetto all'indicazione iniziale risultano in rosso. A destra: legenda e rappresentazione dei valori della funzione discriminante ottenuta a seguito del primo tentativo; i valori argomentali (ovvero di tipo numerico) sono riportati per ogni singola slope-unit e rappresentati con un'opportuna gradazione cromatica, che permette di distinguere le aree stabili (tonalità dell'azzurro-verde) da quelle instabili (tonalità dell'arancio) attraverso il passaggio in una zona di transizione tra i due gruppi.

te in previsione, distinguendo tra slope unit aventi una percentuale di area in frana maggiore o minore del 2%.

Conclusioni

I vantaggi operativi riversati dall'analisi statistica multivariata sull'intera procedura di lavoro sono molteplici: innanzitutto risulta possibile quantificare, in maniera efficace e sintetica, quanto deriva da una semplice analisi osservazionale; inoltre è possibile, dopo aver tradotto i parametri disponibili in variabili statistiche, valutare oggettivamente il peso di ciascuna variabile nel compiere la riclassificazione dei casi statistici, riuscendo dunque a stabilire a priori quali parametri sia conveniente acquisire e poi introdurre nell'analisi.

I risultati ottenuti mostrano una netta discriminazione tra il gruppo *stabile* ed il gruppo *instabile*; in ter-

mine di sovrapposizione di distribuzioni, si nota che un'interferenza tra le code ed è opinione di chi scrive che proprio su quei casi a cavallo tra i due gruppi dovrebbe essere concentrata l'attenzione, dal punto di vista sia del calcolo statistico sia del fenomeno in sé.

Va menzionato comunque che la metodologia e gli specifici parametri oggetto d'indagine vanno ridefiniti in corrispondenza di ciascuna tipologia franosa: infatti le variabili in grado di effettuare una soddisfacente discriminazione in merito agli scivolamenti planari delle Langhe potrebbero non essere altrettanto efficaci per le frane da crollo o per gli stessi scivolamenti manifestatisi in un diverso contesto territoriale.

A valle di tutte le procedure statistiche rimane il problema di tradurre in termini e classi di pericolosità i risultati. In letteratura, si trovano esempi in cui gli intervalli delle classi di pericolosità sono contenuti entro il campo di esistenza dei valori della funzione discriminante oppure si ricorre a valori di probabi-

lità cumulata a partire dalla distribuzione statistica della funzione discriminante. In ogni caso, nella fase attuale della sperimentazione ci si è per il momento limitati alla rappresentazione dei valori discreti della funzione discriminante entro ogni *slope-unit*, riservandosi di approfondire le problematiche di traduzione dei valori della funzione discriminante in termini di pericolosità vera e propria.

È d'obbligo, infine, dire che molto resta ancora da compiere nell'ambito di questo progetto di ricerca. Ciò è d'altronde auspicabile, visto il contesto fortemente interdisciplinare, e perciò articolato, del problema. Un'osservazione interessante risulta legata al fatto che, nella pratica, l'energia spesa nell'affrontare le problematiche connesse col trattamento dei dati con tecniche GIS, pur essendo quest'ultimo dichiaratamente volto a costituire la sola fase preliminare di un'accurata analisi statistica, è stata determinante. Si ritiene infatti di fondamentale importanza disporre di dati per l'analisi statistica caratterizzati da un grado di accuratezza il più possibile elevato. Inoltre è necessario sottolineare che lo svolgimento dei test di natura statistica si trova ancora in una fase sperimentale. Ulteriori e più complesse tecniche di elaborazione (*analisi delle serie temporali, scaling multidimensionale, modellazione strutturata di equazioni*) sono tuttora in corso di preparazione per esplorare il loro grado di successo in termini di applicabilità al problema della valutazione globale della pericolosità geologica, ovvero comprendente anche gli aspetti legati alla componente temporale, di intensità e di evoluzione dei fenomeni.

Glossario

Pericolosità: misura della probabilità legata al verificarsi di un fenomeno potenzialmente distruttivo, caratterizzata da quattro aspetti principali, ovvero:

- componente *spaziale*;
- componente *temporale*;
- componente legata all'*intensità* del fenomeno;
- componente legata all'*evoluzione* del fenomeno.

Queste ultime risultano associate alla natura delle informazioni disponibili e, contemporaneamente, alla tipologia di trattamento dei dati.

Vulnerabilità: grado di perdita prodotto su di una certa entità o gruppo di entità esposte al rischio, risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di data intensità. Viene espressa per mezzo di un valore compreso tra zero ed uno.

Rischio specifico: grado di perdita atteso quale conseguenza di un particolare fenomeno naturale di tipo distruttivo. Viene espresso dal prodotto della pericolosità per la vulnerabilità.

Elementi a rischio: persone, beni, proprietà, attività economiche a rischio in una data area.

Rischio complessivo: atteso numero di perdite di vite umane, lesioni a persone, danni alle proprietà, interruzioni di attività economiche, in conseguenza di un particolare fenomeno naturale; il rischio totale è espresso dal prodotto del rischio specifico per gli elementi a rischio in quella zona.

Unità territoriale: porzione elementare dell'area di studio (dominio) considerata sul territorio, determinata in base al criterio metodologico ritenuto più consono alla tipologia di movimento franoso trattato ed alla successiva tecnica di elaborazione statistica. Nel presente caso di studio essa corrisponde ad una parte di bacino idrografico, identificata sulla base della conformazione dei versanti che lo compongono e viene chiamata *slope-unit*.

GIS (Geographical Information System): un sistema informativo geografico è un sistema informatizzato per l'acquisizione, la memorizzazione, il controllo, l'integrazione, l'elaborazione, la rappresentazione di dati spazialmente riferiti alla superficie terrestre.

Analisi statistica multivariata (multivariate statistical analysis): tecnica di elaborazione dei casi statistici mediante l'impiego contemporaneo di più variabili (ed in ciò si contrappone all'analisi univariata), fino a determinare eventuali correlazioni multiple tra variabili ed a stabilire il peso statistico delle stesse.

Caso statistico (statistical case): ciascun componente del campione elaborato, inteso come elemento individuale della popolazione statistica.

Variabile statistica (statistical variable): l'entità che può essere fattivamente misurata, controllata e manipolata nel corso di una generica elaborazione. Propriamente si definisce variabile statistica ad una dimensione, una volta assegnato un numero finito di individui appartenenti ad una data popolazione, un parametro esprimibile attraverso valori argomentali (ovvero numerici) ed associabile a ciascun caso statistico.

Correlazione tra variabili (correlation): in senso matematico due variabili sono tra loro correlate quando non sono (linearmente) indipendenti; in senso più strettamente statistico due o più variabili risultano relazionate tra loro se in un campione di osservazioni i valori di tali variabili sono distribuiti in maniera consistente tra di loro.

Funzione discriminante o funzione canonica (discriminant or canonical function): è legata alla tecnica di analisi statistica multivariata omonima ed è una funzione matematica in grado di operare la discriminazione in due o più gruppi distinti dei casi appartenenti ad un campione statistico, grazie alla selezione di un numero di variabili statistiche considerate significative nel compiere la classificazione.

Coefficienti grezzi e standardizzati della funzione discriminante (raw and standardized discriminant or canonical function coefficients): sono i coefficienti (più la costante) della funzione lineare (la funzione matematica che rappresenta la discriminante) che il modulo del programma di statistica costruisce automaticamente.

Funzione di classificazione (classification function): è una funzione matematica in grado di operare la riclassificazione in due o più gruppi distinti di un campione statistico, avendo dichiarato a priori l'appartenenza di ciascun caso ad un particolare gruppo, oppure di operare in previsione la classificazione di casi non precedentemente introdotti nell'analisi.

Matrice di classificazione (classification matrix): è quella basata sulla funzione di classificazione e contiene la percentuale di successo relativa alla riclassificazione dei casi eseguita in automatico dal modulo di statistica.

5.3. FRANE PER MOBILIZZAZIONE DELLE COPERTURE DETRITICHE NELL'AREA DELL'ANFITEATRO MORENICO DI IVREA

Cenni geomorfologici sull'areale coinvolto e sul processo

Come brevemente anticipato nel paragrafo relativo ai dissesti che hanno colpito la zona dell'Eporediese (Cfr. cap. 2.4) in seguito all'evento alluvionale del novembre 1994 i versanti rivolti verso la depressione interna dell'Anfiteatro Morenico d'Ivrea sono stati interessati da numerose frane, prevalentemente per saturazione e fluidificazione della copertura detritica, che hanno dato origine a numerose colate detritiche (*Stony debris flow*) in virtù della natura eterometrica dei depositi coinvolti.

Come illustrato nella carta dell' "Anfiteatro Morenico d'Ivrea - Carta dei processi e degli effetti" alla scala 1:20.000, in allegato a questa pubblicazione (Tav. 7 f.t.), le principali colate hanno interessato le località di Colletterto Giacosa, Loranzè, Lugnacco e Lessolo, poste in destra idrografica, Borgata Paratore, Bienca, Chiaverano e Palazzo Canavese, in sinistra idrografica al fiume Dora Baltea.

Come illustra la Fig. 98 le cerchie che costituiscono l'anfiteatro, attribuite a pulsazioni glaciali successive nel tempo, sono distinte in tre principali gruppi: il Gruppo San Michele-Borgo, di età pleistocenica inferiore, conservato nel settore laterale sinistro; il Gruppo della Serra attribuito al Pleistocene medio,

che costituisce la struttura principale dell'anfiteatro, ed il Gruppo Bollengo-Albiano attribuito al Pleistocene superiore (Carraro F., 1990).

I depositi che caratterizzano le cerchie moreniche sono genericamente costituiti da materiali eterometrici, scarsamente assortiti. I depositi di fondo presentano ciottoli levigati, talora striati, immersi in abbondante matrice limosa molto addensata; i depositi d'ablazione, che costituiscono in prevalenza i cordoni laterali, presentano blocchi e ciottoli prevalentemente spigolosi immersi in una matrice limoso-sabbiosa generalmente meno addensata.

Oltre alla disposizione planoaltrimetrica, la distinzione tra i tre principali gruppi è operata sulla base della potenza dei suoli rilevati. Il gruppo più antico (Gruppo San Michele-Borgo) è caratterizzato da suoli molto potenti marcatamente alterati e sovrastati da una coltre di löess, il Gruppo della Serra presenta suoli che raggiungono la potenza di alcuni metri, mentre il più recente Gruppo Bollengo-Albiano è caratterizzato da suoli poco potenti (meno di un metro), scarsamente alterati, di colore bruno giallastro (Carraro F., 1990).

Caratteristiche del processo

La colata è un processo in cui una massa costituita da una miscelanza di acqua, fango e frammenti litici di varia granulometria, si muove rapidamente, quasi come un liquido, lungo un versante, seguendo o meno un'incisione preesistente.

Sono in uso molti termini e sinonimi per descrivere il fenomeno, ciascuno dei quali è riferito ad un processo di colata peculiare: colata di detriti (*debris flow*), valanga di detriti, colata fangosa (*mud flow*), valanga di fango, *labar*.

Il criterio tassonomico classificativo fondamentale delle colate è la dimensione della frazione granulometrica predominante; il criterio distingue due dimensioni caratteristiche: quella "fine" costituita da argilla, limo e sabbia e quella "grossolana" costituita da ghiaia, ciottoli e blocchi.

Il criterio granulometrico è evidenziato nel diagramma compositivo ternario della Fig. 99 dove sono poste le due dimensioni granulometriche caratteristiche, nonché l'acqua. Se nella miscelanza prevale il materiale "grossolano" la colata è detta detri-

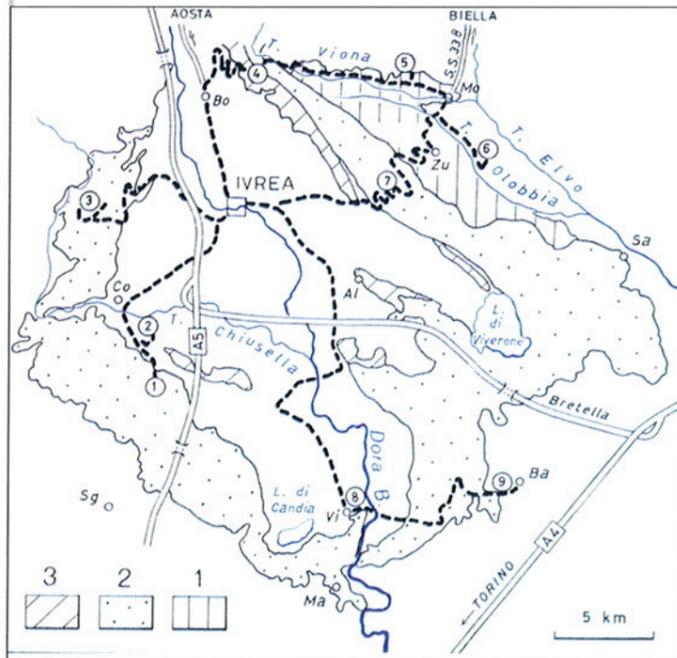


Fig. 98. L'anfiteatro d'Ivrea e il tracciato della prima parte dell'itin. 4. Principali cerchie moreniche: 1) San Michele - Borgo (Pleistocene inf.); 2) Gruppo della Serra (Pleistocene medio); 3) Gruppo di Bollengo - Albiano (Pleistocene sup.) Località: Al, Albiano; Ba, Borgo d'Ale; Bo, Borgofranco; Co, Colletterto; Ma, Mazzè; Mo, Mongrando; Sa, Salussola; Sg, S. Giorgio; Zu, Zublena (da Carraro F., 1990).

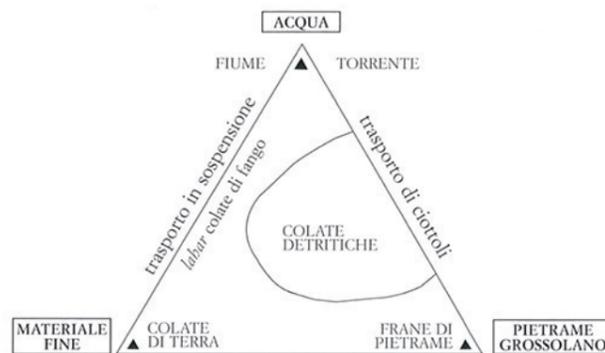


Fig. 99.

tica (*Stony Debris Flow*), mentre se prevale il materiale "fine" la colata è detta fangosa (*Mud Flow*). Un tipo è particolare di colata fangosa è il *lahar* nella quale le particelle solide sono di origine vulcanica (ceneri e piroclastiti).

Affinché si possa sviluppare una colata è necessaria la concomitanza di tre condizioni:

1. la prima è un'adeguata pendenza della zona iniziale di movimento (maggiore di 15°) tale da garantire che il materiale solido venga rimosso in massa sotto l'azione della gravità, piuttosto che singolarmente dall'azione idrodinamica esercitata dal moto dell'acqua;

2. la seconda è la disponibilità di un volume di materiale detritico sciolto sufficiente a formare la mescolanza con l'acqua;

3. la terza è un volume d'acqua sufficiente a saturare la massa di materiale detritico e a produrre rilevanti pressioni interstiziali in modo da distruggere i legami (mutui incastri) della struttura del deposito.

Le condizioni soprascritte governano la distribuzione areale dei processi di colata che, in ambito piemontese, corrisponde praticamente a tutti gli ambienti alpini e collinari. Si individuano, quali situazioni di maggior rischio per l'innescò di colate, la presenza di torrenti a pendenza superiore a 15° (33%), con un'area scolante a monte di tale pendenza superiore a 5 ettari, nel quale sia presente un consistente deposito di detriti, oppure il cui bacino di monte risulti potenzialmente soggetto ad eventi franosi. In taluni casi, la presenza di fattori penalizzanti può favorire l'innescò di fenomeni di colata anche su pendenze comprese tra 15% e 25%.

I processi di colata hanno dei caratteri distintivi rispetto alla normale attività fluvio-torrentizia così sintetizzabili:

– movimento per ondate successive: è questo un aspetto peculiare delle colate che dipende dai fenomeni parossistici che avvengono nel bacino di alimentazione;

– elevata capacità di erosione e trasporto: una colata è dotata di un'elevata capacità di trasporto e può movimentare, in genere in corrispondenza del fronte (testa), blocchi lapidei anche di rilevanti dimensioni a cui di norma si associano grandi quantità di materiali legnosi. Il passaggio di una colata in ambiente urbano può quindi essere particolarmente distruttivo poiché la colata è in grado di demolire o prendere in carico strutture edilizie e automobili;

– anche la velocità di propagazione dei materiali risulta condizionata dalle dimensioni del materiale in movimento: quali parametri indicativi si possono individuare, per uno "stony debris flow" velocità massime di 10-15 m/s nei tratti di monte, 2-7 m/s nella zona di scorrimento mediana e valori di circa 1-3 m/s nella zona di valle, dove la colata progressivamente rallenta sino al suo arresto che avviene su pendenze non superiori ai 4°.

Geometria di una colata

Le colate in movimento tendono ad assumere un assetto tipico, formato da un fronte arrotondato (testa)

nel quale i massi di maggiore dimensione (fino a 4-5 metri cubi) tendono a concentrarsi.

La miscela, iniziato il movimento, scende rapidamente verso valle con un processo autoalimentante di erosione e deposito, producendo così vistose incisioni erosive.

Le caratteristiche del materiale mobilizzato, e le condizioni morfologiche entro le quali questo si muove, conferiscono al processo, nel suo insieme, una forma stretta ed allungata nella quale la larghezza varia da alcuni metri ad alcune decine di metri, mentre la lunghezza può raggiungere e superare un chilometro.

Cause

Le colate, negli ambienti propensi alla loro formazione, possono essere innescate in vari modi:

- a) attività vulcanica;
- b) piogge intense con mobilitazione subitanea e in massa di detriti presenti nell'alveo di aste torrentizie di adeguata pendenza e a seguito della comparsa di una corrente d'acqua superficiale;
- c) evoluzione in colata di frane; in particolare delle frane per saturazione e fluidificazione delle coltri di alterazione oppure del collasso gravitativo di una porzione di versante;
- d) terremoti;
- e) fusione di ghiaccio e neve;
- f) tracimazione e/o sifonamento e/o sfondamento di uno sbarramento torrentizio naturale o artificiale.

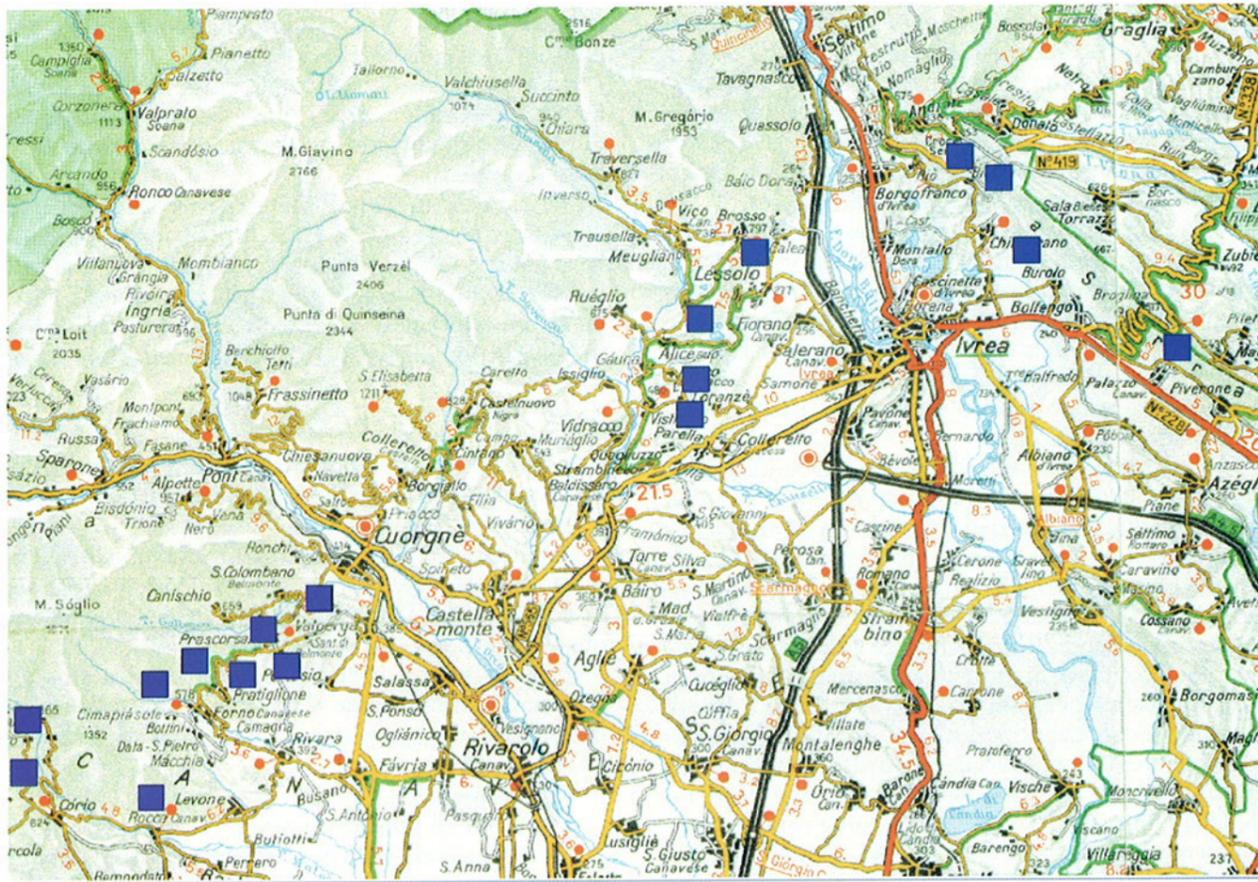
Caratteristiche geotecniche dei depositi morenici, prime valutazioni

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico gli accumuli morenici presenti nell'anfiteatro morenico d'Ivrea e nell'alto Canavese, sono stati prelevati alcuni campioni delle coperture detritiche di origine glaciale, in seguito sottoposti ad analisi di classificazione da parte del laboratorio geotecnico della Regione Piemonte.

Sono stati prelevati nel complesso 25 campioni di terreno nei siti indicati nella Fig. 100, per i quali sono state effettuate analisi granulometriche, per setacciatura e per sedimentazione, e prove per la determinazione dei limiti di consistenza o di Atterberg.

Per quanto riguarda l'alto Canavese sono stati prelevati campioni di accumuli morenici nei comuni di Prascorsano, Pratiglione, Rocca Canavese e Corio Canavese, mentre per quanto riguarda l'Eporediese sono stati prelevati campioni in sinistra idrografica del torrente Dora Baltea, nei comuni di Lorzane, Vico Canavese e Brosso, ed in destra idrografica nei comuni di Borgofranco d'Ivrea, Chiaverano, Burolo e Palazzo Canavese (cfr. tabella riassuntiva, Fig. 101).

I depositi di origine glaciale analizzati presentano tutti caratteristiche sostanzialmente simili, essendo costituiti in prevalenza da ghiaie grossolane eterometriche, caratterizzate dalla presenza di ciottoli da centimetrici a decimetrici, con sabbie grossolane limose, inglobanti blocchi lapidei di diametro variabile da



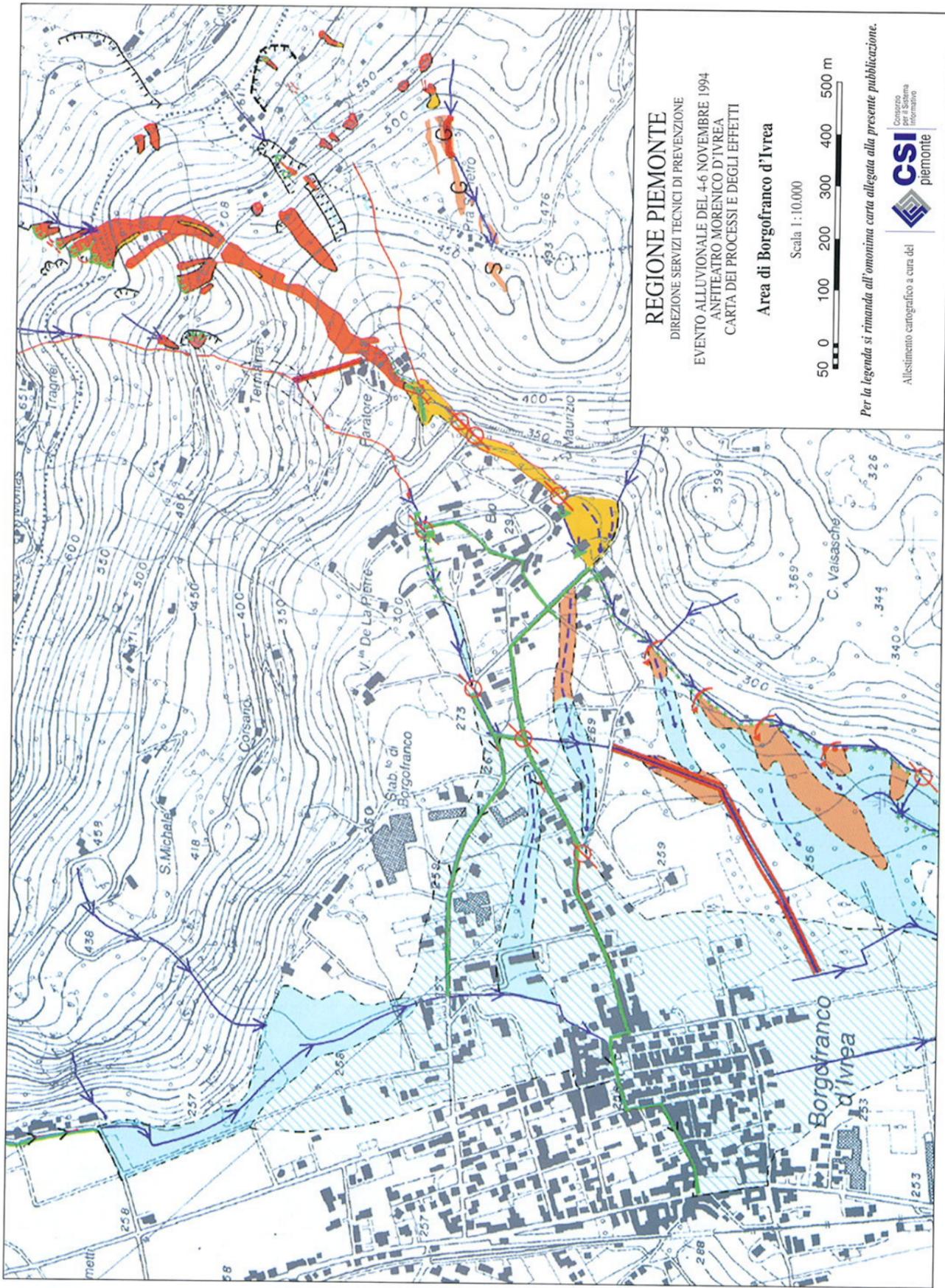
■ Ubicazione principali siti di prelievo

Fig. 100. Carta dell'ubicazione dei principali siti di prelievo dei campioni. Base topografica: Atlante T.C.I. Scala 1:200.000.

TABELLA RIASSUNTIVA CAMPIONI PRELEVATI

NUMERO	COMUNE	LOCALITA'
C1	Prascorsano	Mont
C2	Prascorsano	Cerialdo
C3	Prascorsano	Pisso
C4	Pratigione	Centro
C5	Pratigione	Cimitero
C6	Rocca Canavese	Centro
C7	Corio Canavese	Ritornato
C8	Corio Canavese	Ritornato
C9	Forno Canavese	Milani
C10	Loranzè	Strada Vidracco-Lugnacco
C11	Loranzè	Strada Vidracco-Lugnacco
C12	Loranzè	Strada Vidracco-Lugnacco
C13	Loranzè	Strada Vidracco-Lugnacco
C14	Loranzè	Strada Vidracco-Lugnacco
C15	Vico Canavese	Frazione
C16	Vico Canavese	Ronchi
C17	Brosso	Santuario
C18	Borgofranco d'Ivrea	Rio Loriale
C19	Borgofranco d'Ivrea	Rio Loriale
C20	Borgofranco d'Ivrea	Rio dei Mulini
C21	Borgofranco d'Ivrea	Rio dei Mulini
C22	Chiaverano	Bienca
C23	Burolo	Acquedotto
C24	Palazzo Canavese	Rio dei Mulini
C25	Palazzo Canavese	Rio dei Mulini

Fig. 101. Tabella riassuntiva dei campioni prelevati.



Processi d'instabilità
sui versanti

Fig. 102. Carta dell' "Anfiteatro Morenico d'Ivrea - Carta dei processi e degli effetti" settori in destra idrografica al fiume Dora Baltea. Stralcio ingrandito alla scala 1:10.000 tratto dalla carta omonima alla scala 1:20.000 in allegato alla presente pubblicazione. (Cfr. Tav. 7 f.t.).

pochi decimetri ad oltre 1 metro. La percentuale della frazione fine limosa varia intorno a valori medi compresi tra il 12% ed il 15%. Anche il grado di addensamento di tali accumuli varia da sito a sito mantenendosi comunque abbastanza elevato.

I primi risultati delle prove effettuate per la determinazione dei limiti di consistenza, indicano in media valori percentuali di circa 28 per il limite liquido e 21 per il limite plastico. Il conseguente indice di plasticità assume valori medi pari a 7; ne consegue un basso grado di plasticità dei materiali analizzati.

Al fine di una più approfondita classificazione dal punto di vista geotecnico degli accumuli morenici in esame, sono attualmente in corso ulteriori analisi di laboratorio dei materiali prelevati.

Casi particolari territorialmente significativi

Colleretto Giacosa

Il fenomeno dissestivo che ha interessato il concentrico di Colleretto Giacosa si configura quale trasporto solido in massa lungo l'incisione del rio Valassa-Rovine, a cui si associa la riattivazione del conoide alluvionale sul quale sorge il concentrico.

Il rio Valassa ha origine dal Lago di Alice alla quota 580 m circa e confluisce nel bacino del rio Rovine alla quota 350 m. Lungo il suo corso è caratterizzato da due marcati salti morfologici: il primo compreso tra il Lago d'Alice ed un vallone inframorenico ad

andamento circa NS sul quale sorge l'abitato di Lorzane Alto ed il secondo compreso tra i settori di confluenza nel bacino del rio Rovine e l'apice del conoide alluvionale a quota 280 m circa.

Come illustra la cartografia allegata (Fig. 102), i settori di testata del rio Rovine sono ubicati nel territorio comunale di Lugnacco (quota 650 m circa) e si impostano al limite meridionale di una valletta intramorenica priva di reticolo di drenaggio superficiale. In occasione di eventi eccezionali quale quello in esame, tale valletta costituisce un settore di raccolta delle acque superficiali che s'infiltrano nei depositi glaciali permeabili e riaffiorano alla testata del bacino, favorendo l'imbibizione del terreno ed il conseguente verificarsi di fenomeni d'instabilità delle coltri. Testimonianze di eventi analoghi verificatisi nel passato sono rappresentate dalle numerose nicchie di distacco pregresse all'evento in esame, osservate nel corso dei rilievi.

Il bacino del rio Rovine ha una superficie inferiore a 0,5 km², un'asta molto corta, forti pendenze a cui si associano tempi di corrivazione brevi, ed è impostato per la sua totalità su materiali caratterizzati da elevata erodibilità da parte delle acque superficiali. L'insieme di questi elementi determina una configurazione particolarmente favorevole all'innescò di fenomeni di trasporto solido in massa.

La dinamica dell'evento può quindi essere descritta nell'iniziale imbibizione delle coltri detritiche superficiali nella zona di testata, a cui è seguita l'attivazio-



Fig. 103. Comune di Colleretto Giacosa. Ripresa dei settori in apice di conoide, interessati dai depositi grossolani mobilitati lungo il Rio Rovine.

ne di fenomeni franosi di tipo complesso, prossimi a meccanismi di tipo rotazionale. Il materiale movimentato, associato ad un consistente trasporto di tronchi, ha provocato sbarramenti temporanei (testimoniati da locali accumuli detritici potenti alcuni metri lungo l'impluvio nei settori mediani del bacino) che sono in seguito stati interessati dall'ulteriore accumulo di materiale depositato a tergo degli stessi. Lo sfondamento degli sbarramenti provvisori ha provocato la rimobilizzazione del materiale presente lungo l'impluvio attraverso pulsazioni successive.

Poco a monte della sezione d'apice del conoide su cui sorge l'abitato di Colletterto, il rio Rovine ha ulteriormente incrementato la sua portata liquida e solida, ricevendo i contributi del rio Valassa, ed ha provocato gravi danni alle opere di presa dell'acquedotto comunale. In apice di conoide i materiali trasportati hanno completamente intasato il ponte della S.P. Ivrea-Castellamonte sovrastandolo; le acque ed i materiali detritici hanno quindi invaso le zone d'apice per proseguire in parte lungo l'asta principale ed in parte lungo la viabilità principale del paese realizzata lungo la massima pendenza del conoide.

A valle del conoide, nei settori di pianura, si sono registrati allagamenti, ulteriori tracimazioni in corrispondenza di attraversamenti caratterizzati da sezioni di deflusso insufficienti, ristagni.

Chiaverano

Il concentrico di Chiaverano è sovrastato dalla profonda incisione prodotta dal Rio Ritano, che ha tagliato, con erosione rimontante in direzione perpendicolare alla cresta, i due cordoni morenici interni alla Serra di Ivrea, fino a giungere in prossimità della cresta del cordone principale. Durante l'evento alluvionale del novembre 1994, lungo i fianchi del vallone, tra le quote 750 e 500 m, si sono prodotte numerose frane, sia nelle coperture eluvio-colluviali per saturazione e conseguente fluidificazione, sia nei materiali morenici per sovrappressioni idrauliche e per l'azione erosiva esercitata dalle frane stesse e dalle acque (ruscellamento superficiale, acque scaricate da una vallecchia inframorenica posta quasi alla sommità del vallone, falde idriche sotterranee). Si è così prodotta una massa considerevole di materiale detritico saturo, di pezzatura varia con presenza anche di grossi blocchi, che si è riversata lungo l'asse pressoché rettilineo del vallone, dove, acquisendo velocità, si è ulteriormente incrementata per erosione di fondo (circa 2 m di approfondimento) e laterale e si è depositata in gran parte all'apice del conoide presso C. Ugo. Una parte del materiale ghiaioso e sabbioso, fluitata dalle acque del rio, che è esondato in più punti riversandosi lungo la viabilità esistente, è stata depositata presso il concentrico e, più a valle, su un'ampia fascia di terreno fino allo sbocco nel Lago di Campagna con danni a coltivi, a pertinenze di edifici civili ed artigianali ed a infrastrutture (strade ed acquedotto). Un modesto contributo è stato fornito anche da materiale proveniente da una frana avvenuta sul versante a monte di Case Serra.



Fig. 104. Comune di Colletterto Giacosa. Particolare del ponte lungo la strada provinciale di collegamento Ivrea-Castellamonte ostruito e sormontato dai materiali mobilitati.



Fig. 105. Comune di Colletterto Giacosa, località Capoluogo. Ripresa delle acque di piena che hanno invaso e gravemente danneggiato la viabilità principale ed alcune abitazioni.



Fig. 106. Comune di Colletterto Giacosa, località Capoluogo. Ripresa delle acque di piena che hanno invaso e gravemente danneggiato la viabilità principale ed alcune abitazioni (poco a valle di fig. 98).

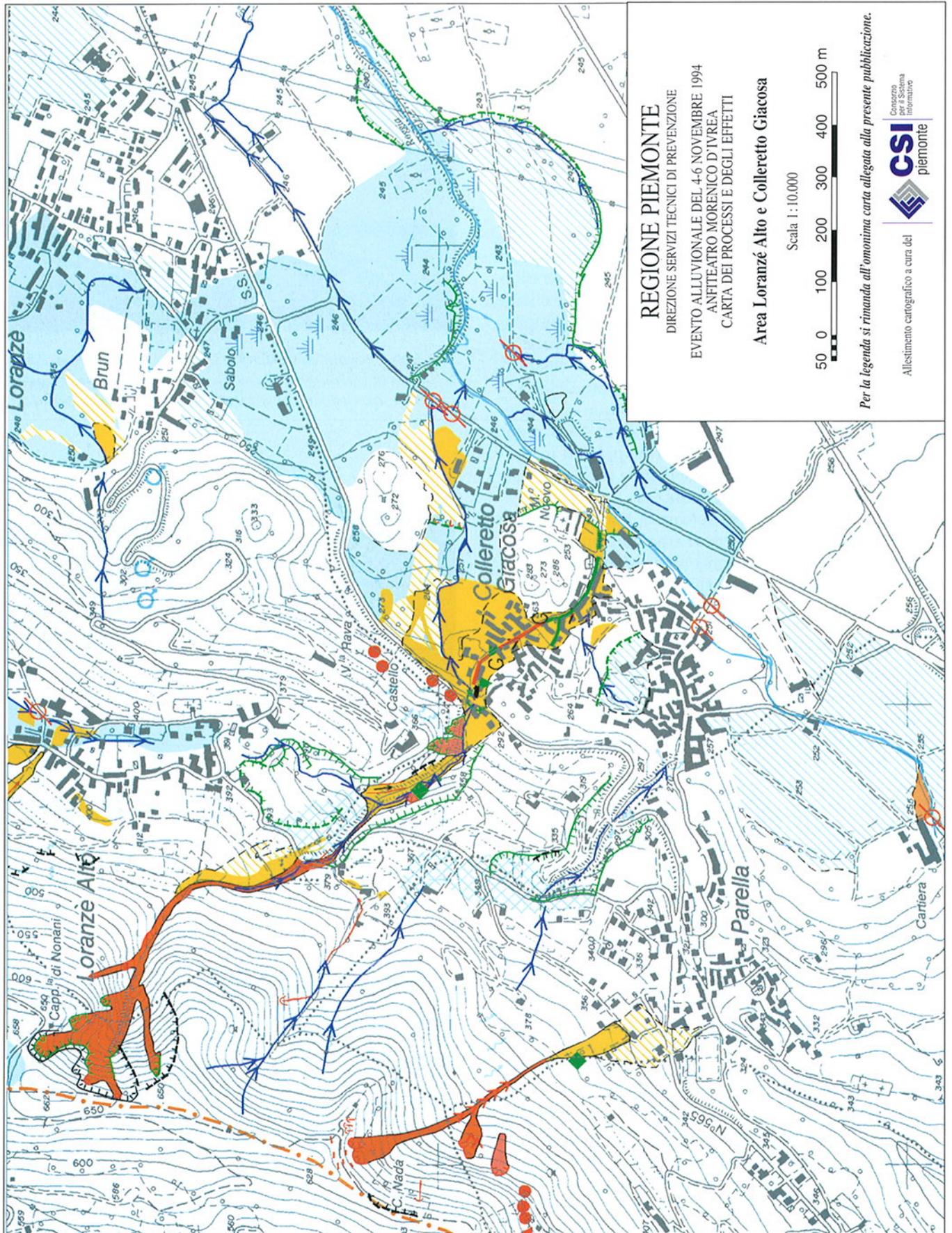


Fig. 107. Carta dell' "Anfiteatro Morenico d'Ivrea - Carta dei processi e degli effetti" settori in sinistra idrografica al F. Dora Baltea. Stralcio ingrandito alla scala 1:10.000 tratto dalla carta omonima alla scala 1:20.000 in allegato alla presente pubblicazione. (Cfr. Tav. 7 f.t.).



Fig. 108. Comune di Chiaverano, località Bienca. Veduta del dissesto lungo il Rio della Gatta.

5.4. ANALISI DELLE RELAZIONI TRA ALTEZZE DI PIOGGIA E FENOMENI FRANOSI

Premessa

Ogni efficace intervento volto alla salvaguardia del territorio, in caso di eventi alluvionali, si basa su una corretta previsione di quanto si verificherà in termini di estensione delle aree colpite e di evoluzione dei fenomeni.

Di grande aiuto alle attività finalizzate alla protezione civile è la consapevolezza che i processi di instabilità si manifestano sul territorio ciclicamente, in un ripetersi cadenzato da pulsazioni di maggiore o minore intensità, ma con meccanismi spesso simili.

Ovviamente esistono processi più prevedibili perché soggetti a leggi di comportamento meglio consolidate, come ad esempio i processi fluviali, altri meno prevedibili, come determinati complessi movimenti di versante i cui meccanismi sono ancora poco conosciuti o dipendenti da una vasta serie di fattori concomitanti ed interagenti.

Studi condotti negli ultimi anni nel territorio piemontese hanno messo in evidenza, anche in termini quantitativi, che esiste una relazione tra la distribuzione temporale di alcuni processi di instabilità e le peculiarità pluviometriche di uno specifico ambito fisico-geologico.

La distinzione tipologica di numerosi processi rilevati e la loro aggregazione in gruppi aventi caratteristiche comuni hanno consentito interessanti correlazioni tra contesto geomorfologico, assetto litologico-strutturale dell'area e tipicità dei fenomeni. Si è potuto pertanto pervenire ad una zonizzazione del territorio in funzione della tipologia dei movimenti franosi (AA.VV., 1990).

Una prima suddivisione, ad esempio, riguarda la distinzione tra fenomeni di instabilità che interessano il substrato e quelli che coinvolgono la coltre superficiale. Mentre appare sufficientemente scontato affermare che uno dei più importanti fattori influenzanti l'instabilità risulta in entrambe i casi la pioggia, sicuramente più difficoltoso è stabilire il tipo di apporto pluviometrico più critico in relazione ai diversi fenomeni.

Ogni tipologia di movimento esibisce infatti differenti modalità di risposta in funzione del regime pluviometrico.

Esistono ad esempio fenomeni franosi superficiali che coinvolgono terreni a permeabilità medio-elevata caratterizzati da una rapida risposta al variare delle pressioni interstiziali per cui risultano particolarmente suscettibili alle piogge brevi e intense.

Partendo da tale constatazione e facendo riferimento all'esperienza maturata nel corso degli anni, si è esplicitato dal punto di vista qualitativo, per le dif-

ferenti tipologie di movimenti gravitativi riconosciute in Piemonte, il ruolo (predisponente e scatenante) e la significatività delle caratteristiche pluviometriche degli eventi piovosi (pioggia cumulata, intensità oraria, pioggia cumulata nel periodo antecedente l'evento).

È stata quindi predisposta una specifica tabella (cfr. Tab. 5) nella quale compaiono sei tipologie di fenomeni di instabilità relative a movimenti gravitativi che si sviluppano sui versanti del territorio regionale (elencate in ordine decrescente per velocità dei movimenti durante la fase di collasso), ovvero:

- 1) frane per crollo (*rock fall*);
- 2) frane per saturazione e mobilitazione della coltre superficiale (*soil slip*);
- 3) scorrimenti traslativi (*translational rock slide*);
- 4) scorrimenti rotazionali (*rotational rock slide*);
- 5) colamenti (*flow*);
- 6) deformazioni gravitative profonde (*deep seated gravitational deformation*).

Oltre ai fenomeni di instabilità elencati vanno ricordate anche le frane complesse dell'ambiente alpino (7), caratterizzate da tipologie prevalenti quali: movimenti traslazionali associati a crolli in massa, passanti a colamenti o a valanghe in roccia.

Nella medesima tabella vengono evidenziati:

- il ruolo delle precipitazioni, che può essere "predisponente" o "scatenante" i movimenti;
- la significatività delle caratteristiche pluviometriche elencate in ordine decrescente di influenza sull'evoluzione del processo di instabilità e distinte in:
 - millimetri di pioggia cumulata durante l'evento, indicati con «mm»;
 - millimetri di pioggia caduti nel periodo precedente, indicati con «mm prec»;
 - intensità di precipitazione oraria, indicata con «int».

Viene inoltre riportata la fusione del manto nevoso indicata con "fus m"

L'analisi della tabella pone in evidenza come l'incidenza delle piogge brevi ed intense giochi un ruolo fondamentale nell'innescare di frane che si verificano in terreni aventi generalmente da media ad eleva-

ta permeabilità (quali ad esempio quelli in cui si sviluppano i movimenti appartenenti alla tipologia 2), mentre le piogge prolungate hanno maggior effetto su terreni generalmente a scarsa permeabilità (quali ad esempio quelli in cui si sviluppano i movimenti appartenenti alle tipologie 3, 4, 5).

Più complessa è la valutazione dell'influenza delle piogge per i movimenti franosi che coinvolgono gli ammassi rocciosi interessati da più sistemi di discontinuità. In generale si può comunque affermare che le fratture ed i giunti riescono a veicolare e smaltire notevoli quantità d'acqua, tranne in condizioni di apporti di notevole intensità e prolungati nel tempo (si veda ad esempio la significatività delle piogge prolungate per le tipologie 1, 7).

Solamente per un limitato numero di processi (tipologie 2, 3) è stata dimostrata una buona correlazione diretta tra l'innescare del fenomeno e le altezze di pioggia (Govi et al. 1980, Govi et al. 1985, Govi 1985).

Per la tipologia 2, l'effetto scatenante è dato dalla concomitanza di valori elevati di pioggia cumulata e di intensità oraria, mentre per la tipologia 3, l'effetto scatenante è imputabile a valori elevati di pioggia nel corso dell'evento e dal contributo degli apporti pluviometrici antecedenti.

Identificazione dell'area oggetto dello studio

Come già ricordato nei capitoli precedenti, l'evento alluvionale del novembre 1994 ha colpito con particolare veemenza i versanti del territorio delle Langhe ed in modo specifico il settore delimitato approssimativamente da un quadrilatero avente per vertici Alba (a NW), Lesegno (a SW), S. Stefano Belbo (a NE) e Saliceto (a SE).

Per una limitata area della zona colpita, è stato condotto uno studio teso alla determinazione dei valori di pioggia critica in grado di innescare fenomeni di instabilità nella coltre superficiale (mobilitazione della coltre superficiale) e all'interno del substrato (scioglimenti planari).

L'area oggetto dell'analisi si sviluppa tra le città di Alba, Dogliani, Ceva e Castino, tra i corsi d'acqua del Tanaro e del Belbo, ed ha un'estensione areale di cir-

Tabella 5.

Fenomeno di instabilità	Ruolo delle precipitazioni		Significatività delle caratteristiche pluviometriche in ordine decrescente di influenza sul processo		
	Predisponente	Scatenante	1°	2°	3°
Tipologia					
1)	predisponente/scatenante		mm		int/fus m
2)		scatenante	mm/int		mm prec
3)		scatenante	mm	mm prec	fus m
4)	predisponente/scatenante		mm		mm prec
5)	predisponente/scatenante		mm	mm prec	
6)	predisponente		fus m	mm	mm prec
7)	predisponente/scatenante		fus m/mm		mm prec

ca 400 km². La scelta di tale area si deve sostanzialmente alla presenza di un buon numero di stazioni, alla loro collocazione ed alla concentrazione dei dissesti

Al fine di attuare tutte le misure di salvaguardia della pubblica incolumità e di indirizzare gli interventi, il personale della Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione ha effettuato indagini sistematiche sul territorio.

Nel corso del rilevamento sono state condotte numerose interviste tendenti a ricostruire i tempi e la dinamica dei movimenti. In particolare, si sono acquisite interessanti notizie sul momento dell'innescò delle frane distinguendo, ove possibile, tra la comparsa dei primi segni premonitori (intesi come percezione dei primi movimenti, apertura di fratture nei terreni, comparsa di lesioni ai manufatti, locali cedimenti o anomali rigonfiamenti del terreno, emergenze idriche intermittenti, ecc.) ed il momento del collasso, vale a dire l'ora in cui si sono verificati i movimenti più significativi. Bisogna precisare che le frane individuate e descritte nel corso del suddetto rilevamento non coincidono con la totalità dei fenomeni sviluppatasi nell'area oggetto del presente studio. Per ovvie ragioni di tempo e di accessibilità ai luoghi, il numero dei rilevamenti orari risulta limitato (208 complessivamente, di cui 150 per le frane che coinvolgono la coltre superficiale e 58 per gli scivolamenti planari) e la distribuzione areale dei punti di rilevamento è casuale. Quindi le considerazioni sull'evoluzione temporale dei fenomeni (massima concentrazione, prime ore di innescò, intervallo di tempo nell'arco del quale i processi di instabilità si sono sviluppati) fanno riferimento al campione utilizzato e non alla totalità dei movimenti. Se a tale constatazione si somma il fatto che spesso le testimonianze locali possono fornire indicazioni non sempre affidabili perché non verificabili direttamente, ci si rende conto che, per quanto lo studio sia stato condotto con la massima siste-

maticità e rigorosità, risentirà comunque di un certo grado di aleatorietà.

Per il territorio colpito e per due tipologie di processo di instabilità studiate (frane per mobilitazione della coltre superficiale e scivolamenti planari), gli inneschi rilevati sono stati espressi in funzione dell'intervallo di tempo entro cui si è verificato l'evento alluvionale. Nel diagramma già descritto nel capitolo specifico relativo alle frane coinvolgenti il substrato (Fig. 23), si può osservare la maggior concentrazione dei movimenti principali tra le 18:00 e le 21:00 del 5 novembre. Per quanto riguarda il picco in corrispondenza della mezzanotte del 6 novembre, si tratta dei dati relativi ad eventi che dalle testimonianze sono avvenuti *nella notte tra il 5 ed il 6 novembre*. Per semplicità, dunque, sono stati attribuiti alla mezzanotte.

Nel diagramma relativo ai movimenti inerenti la coltre superficiale, è evidente una maggiore concentrazione dei fenomeni in due momenti della giornata del 5 novembre; ovvero: tra le 06:00 e 09:00 e le 16:00 e 19:00.

Un corretto approccio allo studio delle relazioni intercorrenti tra l'instabilità di un versante e gli apporti pluviometrici presupporrebbe la definizione di un adeguato modello che prenda in considerazione le variabili di natura morfologica, topografica, idrologica e geotecnica. Allo stato attuale delle conoscenze, un modello di comportamento che tenga conto di tutte le variabili in gioco è difficilmente concepibile, sia per la complessità del problema sia per la mancanza di una base di dati consistente. Il lavoro si basa pertanto su un approccio semplificato che trascura volutamente gli aspetti connessi ai fenomeni di filtrazione, di deflusso e di resistenza dei terreni, analizzando direttamente i rapporti tra ore di innescò di una specifica tipologia dissestiva e le altezze di pioggia misurate nelle stazioni di riferimento, al fine di ottenere una stima quantitativa delle precipitazioni critiche.

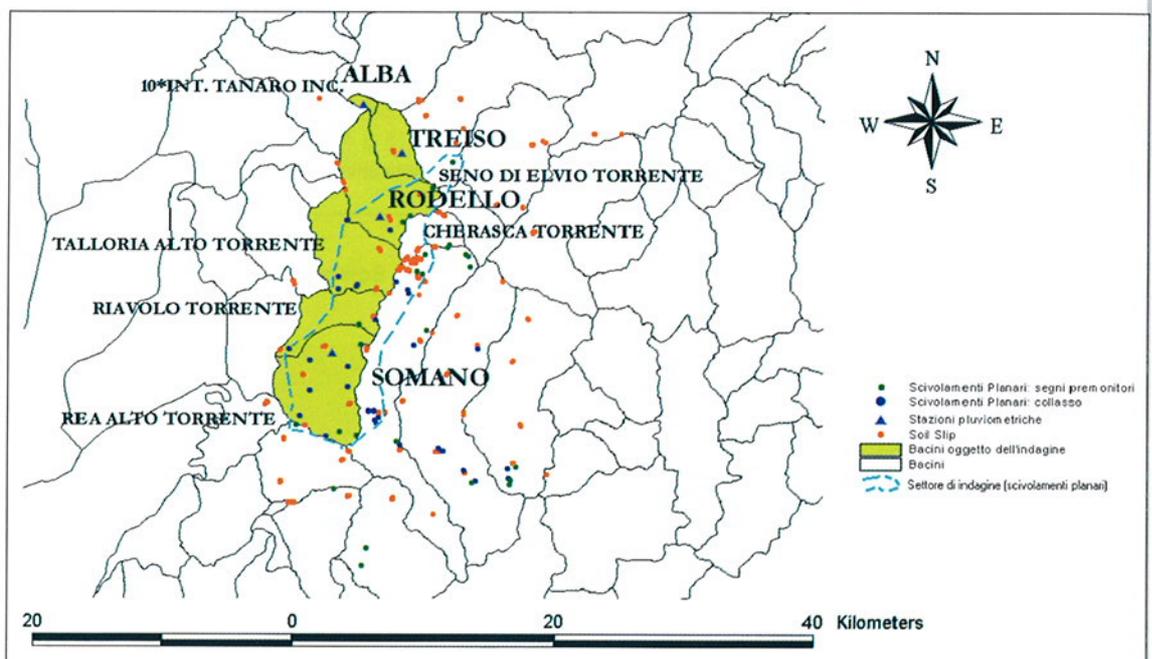


Fig. 109. Settore di studio.

Frane per mobilitazione delle coperture detritiche

• MODALITÀ OPERATIVE ED ANALISI GENERALE DEI DATI

Lo studio è volto all'individuazione di un criterio con il quale attribuire un dato di pioggia critica ai movimenti che si sono innescati nel corso dell'evento partendo dai valori di pioggia registrati.

All'interno dell'area in esame (Fig. 109) sono stati individuati bacini idrografici minori corrispondenti a corsi d'acqua di diverso ordine (tributari del Fiume Tanaro) e considerate le stazioni meteo-pluviometriche riportate in Tab. 6.

Nella Fig. 111 vengono riportati i pluviogrammi relativi alle quattro stazioni utilizzate nel presente studio. Un rapido esame dei pluviogrammi mette in risalto che le stazioni di Alba e Somano hanno valori di intensità oraria e di pioggia cumulata all'incirca simili, mentre la stazione di Rodello, avente posizione approssimativamente baricentrica rispetto ad Alba e Somano, registra i massimi valori di intensità oraria e di pioggia cumulata. Infine la stazione di Treiso si colloca all'incirca, rispetto alla caratterizzazione pluviometrica dell'evento, a metà tra le due situazioni precedenti.

Il problema fondamentale, spesso non esplicitato con il dovuto grado di dettaglio nelle pubblicazioni

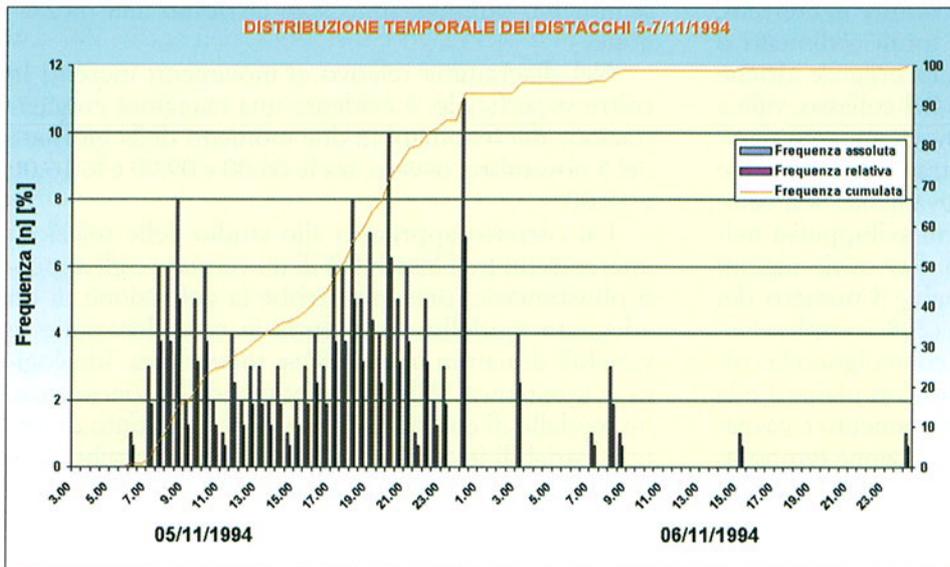


Fig. 110. Distribuzione temporale del movimento principale delle frane per scivolamento planare.

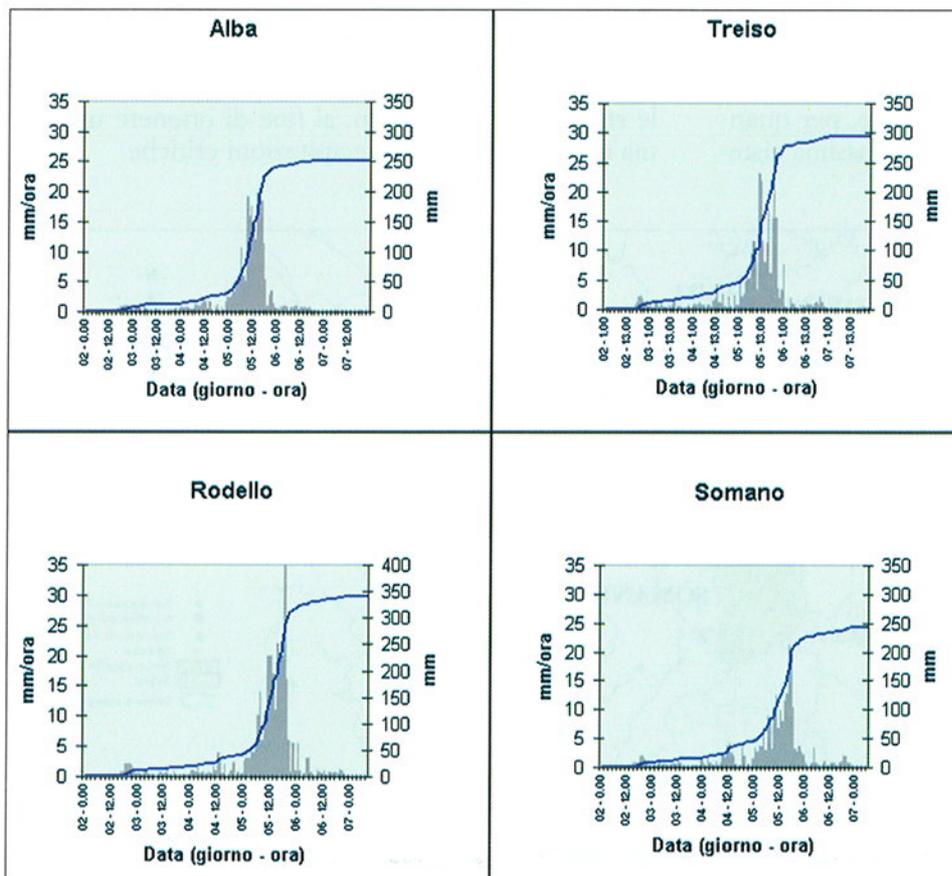


Fig. 111. Pioggia cumulata ed intensità di precipitazione oraria, registrati dalle stazioni di Alba, Treiso, Rodello e Somano durante l'evento meteorologico del novembre 1994.

Tabella 6.

STAZIONI METEOPLUVIOMETRICHE	
Denominazione	Ente di appartenenza
Somano (Albere)	Regione Piemonte (Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione)
Treiso (Cascina Montarsino)	Regione Piemonte (Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione)
Alba	Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale
Rodello	Regione Piemonte (Direzione Sviluppo dell'Agricoltura)

che hanno descritto le relazioni tra pioggia e dissesto, è il criterio con il quale attribuire valori di pioggia critica registrati puntualmente, ai fenomeni franosi verificatisi nel territorio circostante. Questo problema viene acuito anche dalla constatazione, come nel caso in esame, che i fenomeni di cui si ha notizia sono distribuiti casualmente e non necessariamente concentrati e prossimi alle stazioni.

Per ovviare a questo inconveniente, una delle possibili soluzioni consiste nel prendere come area geografica di riferimento il bacino idrografico o gruppi di bacini e nell'attribuire alle frane verificatesi, le altezze di pioggia misurate dalla stazione ricadente entro tali aree (con un'estensione mediamente inferiore ai 50 km²).

Considerando quindi il bacino idrografico o gruppi di bacini come unità elementare di riferimento, sono state individuate le seguenti associazioni:

Bacini singoli:

Bacino	Stazione
Rea Alto Torrente	Somano
Cherasca	Rodello
Seno d'Elvio	Treiso
Cherasca	Alba 1

Aggregazioni di bacini: il criterio di distinzione ed accorpamento tiene conto dell'ubicazione della stazioni (esempio: centralità di queste ultime rispetto al gruppo di bacini) e del contesto morfologico (esempio: direzione di drenaggio prevalente). Secondo tale impostazione sono stati presi in considerazione i seguenti abbinamenti principali:

Bacini	Stazione
Rea Alto Torrente - Riavolo	Somano
Cherasca - Seno d'Elvio Talloria Alto Torrente	Rodello

Data la presenza di molte stazioni nel settore settentrionale è possibile considerare un'ulteriore combinazione di bacini alla quale associare due stazioni:

Bacini	Stazione
Cherasca - Seno d'Elvio	Treiso - Alba

Quest'ultimo gruppo permette di effettuare un controllo di quanto la diversa ubicazione dei due punti di misura influenzi il risultato finale.

Al fine di non inficiare i risultati della ricerca intrapresa non sono stati considerati, nell'analisi dei dati raccolti sul terreno durante l'evento alluvionale, tutti quei casi per cui esistevano ragionevoli dubbi di implicazioni di natura antropica sull'attivazione del fenomeno franoso. Spesso, infatti, le strade presenti lungo i versanti, prive di adeguate opere di smaltimento, hanno funzionato da collettori delle acque ruscellanti, trasferendo e concentrando i deflussi da un luogo all'altro, per riversarli poi in corrispondenza dei pendii su cui si innescavano i movimenti franosi.

• ELABORAZIONE DEI DATI DELL'EVENTO 1994

Al fine di definire le relazioni tra apporti pluviometri e i fenomeni di instabilità si è fatto ricorso a tre differenti approcci empirici :

- a) analisi dei valori di pioggia calcolati per le durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore;
- b) rapporti tra intensità orarie e le piogge cumulate in accordo con Govi et al. 1980, 1985;
- c) rapporti tra intensità oraria e durata dell'evento meteorologico in accordo con Moser et al. 1983.

Analisi dei valori di pioggia calcolati per le durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore

In letteratura sono molti i contributi che analizzano le relazioni tra precipitazioni e dissesto, utilizzando rappresentazioni nelle quali le piogge orarie vengono messe in relazione con diverse durate (1, 3, 6, 12, 24 ore), considerando l'apporto pluviometrico corrispondente al massimo valore registrato durante l'evento meteorologico. Tale modo di operare, diffusamente utilizzato, rappresenta un approccio semplificato da applicarsi nei casi in cui non si abbiano precise indicazioni circa l'evoluzione temporale dei fenomeni, ma si sappia soltanto che nel corso di un evento si sono verificati alcuni movimenti franosi.

Il taglio specifico del lavoro, che è stato realizzato in un'ottica previsionale, è volto ad affinare la metodologia sopra proposta operando su più livelli:

- a) definizione delle ore d'insacco dei fenomeni di instabilità;
- b) determinazione del massimo valore di pioggia (per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore) precedente il momento dell'insacco;

c) definizione dell'inviluppo minimo della relazione sperimentale intensità oraria-durata, che separa i campi stabilità-instabilità.

Ad ogni fenomeno franoso appartenente a singoli bacini o a loro raggruppamenti è stato attribuito il valore di pioggia misurato dalla corrispondente stazione nel momento dell'innescio. In particolare per ciascun movimento franoso documentato è stato utilizzato il seguente procedimento:

1. individuazione delle ore di innescio dei movimenti registrati;
2. individuazione dell'ora coincidente con l'inizio del fenomeno meteorologico;
3. definizione dell'intervallo temporale compreso tra l'inizio del fenomeno meteorologico e l'ora di innescio;
4. determinazione del massimo valore di pioggia (per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore) nell'intervallo definito nel punto precedente.

Tali valori, ragguagliati all'ora, sono stati messi in relazione a diverse durate (1, 3, 6, 12, 24 ore) e rappresentati all'interno di diagrammi dove figurano anche i massimi valori di pioggia registrati dalle stazioni nell'arco dell'intero evento meteorologico, per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore.

Si ottengono così dei punti corrispondenti alle diverse durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore per ogni singolo movimento, che individuano i due ambiti di definizione dell'instabilità (campo superiore) e della stabilità (campo inferiore).

Al fine di definire l'inviluppo inferiore dei valori sperimentali e quindi demarcare i due contesti (stabilità-instabilità), è possibile, sostanzialmente, procedere in due modi:

1. interpolazione dei dati sperimentali per ottenere una funzione continua dell'intensità oraria in funzione della durata dell'evento;
2. analisi dei dati corrispondenti all'inviluppo minimo in termini di tempo di ritorno.

Dal momento che il presente studio vorrebbe avere un carattere prevalentemente previsionale, si è privilegiato il secondo approccio, che permette il confronto delle misure attuali con le registrazioni storiche del punto di misura. Volendo curare inoltre l'aspetto di applicabilità ad un contesto territoriale dello studio, si è ricercato il tempo di ritorno più rappresentativo del complesso delle stazioni.

Tali valori sono stati derivati dai risultati di uno studio realizzato dal Settore Meteorografico e Reti di Monitoraggio, impiegando la funzione General Extreme Value (Jenkinson, 1955) con i metodi di analisi proposti da Cunnane (1989).

Tra le precipitazioni con diverso tempo di ritorno, quello di 10 anni appare il più efficace ad inviluppare verso il basso le precipitazioni critiche. Infatti, esprimendo per ciascuna stazione la pioggia con tempo di ritorno di 10 anni in funzione di diverse durate (6, 12, 24 ore), tali valori si collocano mediamente alla base della nuvola dei punti che rappresenta gli inneschi dei fenomeni analizzati.

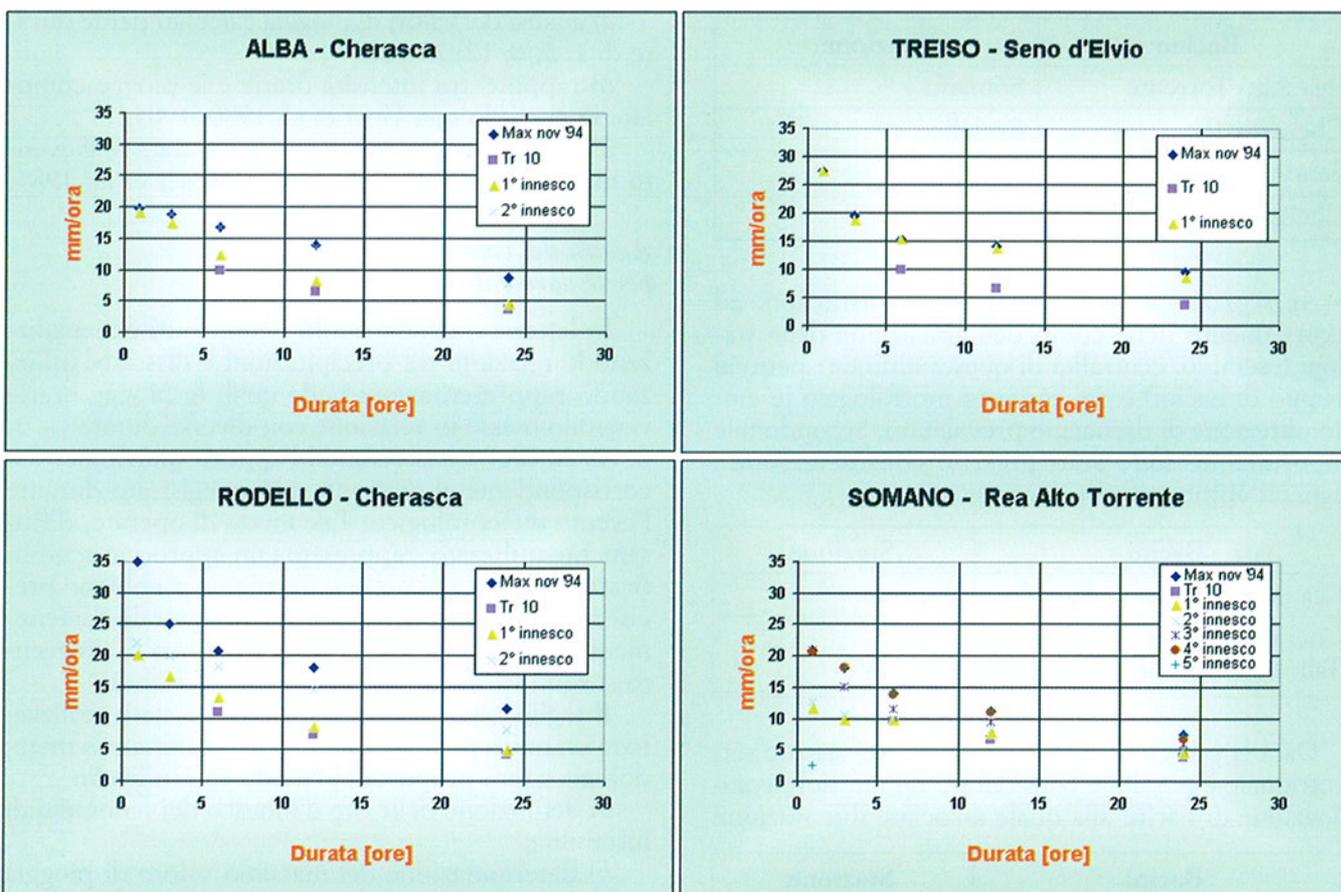


Fig. 112. Precipitazione oraria in funzione della durata, nel caso di associazioni tra stazioni e singoli bacini.

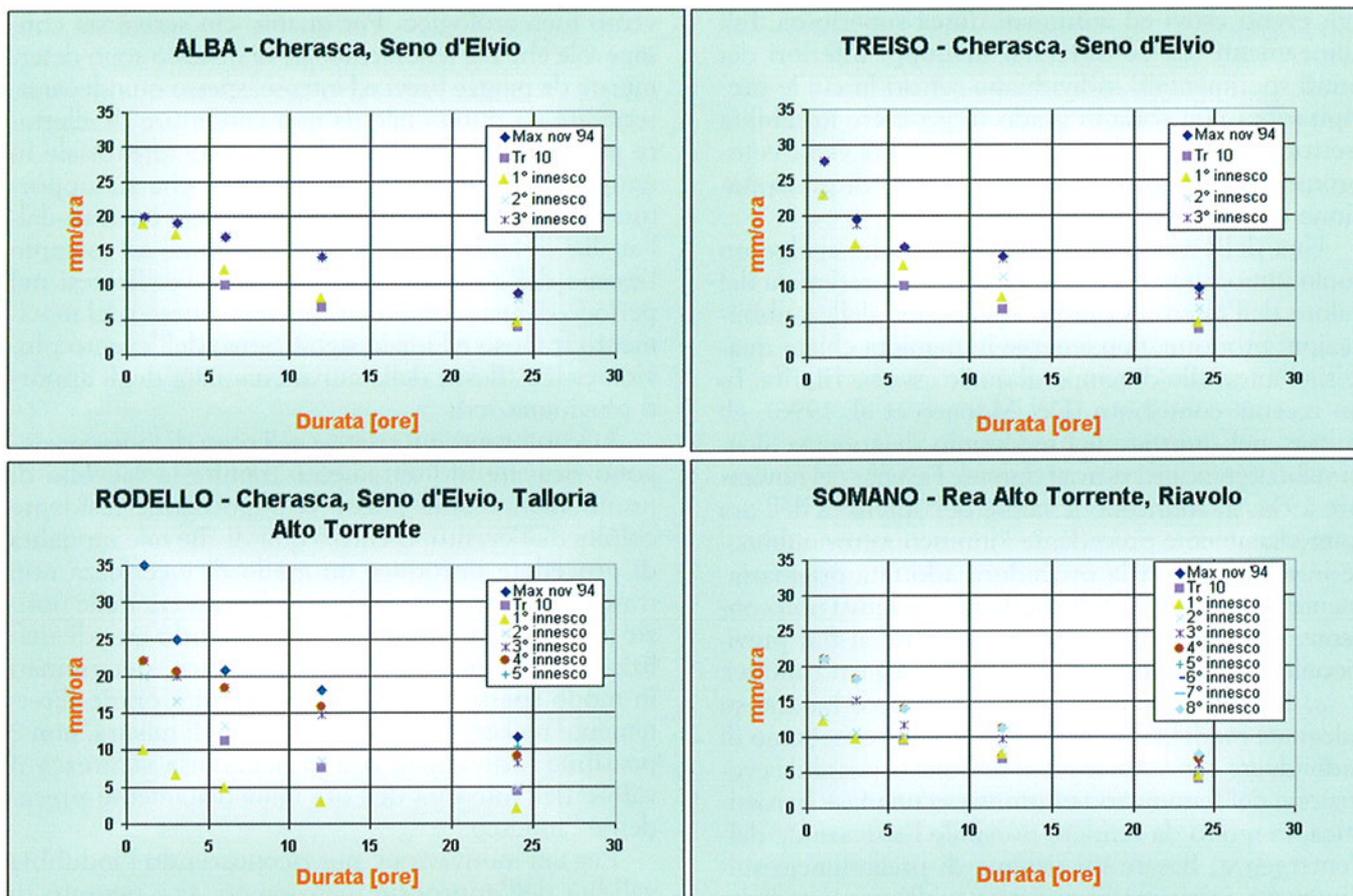


Fig. 113. Precipitazione oraria in funzione della durata, nel caso di associazioni tra stazioni ed aggregazioni di bacini.

Il confronto dei valori di pioggia critica con i tempi di ritorno di 10 anni risulta particolarmente efficace per i casi di Rodello-Cherasca, Somano-Rea Alto Torrente ed Alba-Cherasca, mentre appare meno indicativo nel caso di Treiso-Seno d'Elvio. Ciò è probabilmente da imputare alla maggiore dispersione spaziale dei punti di innesco rispetto alla stazione di riferimento.

Per quanto concerne le aggregazioni di più bacini, il confronto appare efficace nei seguenti casi:

- Rea Alto Torrente, Riavolo stazione di Somano;
- Cherasca, Seno d'Elvio stazione di Alba;
- Cherasca, Seno d'Elvio stazione di Treiso

Nella rimanente associazione Cherasca, Seno d'Elvio, Talloria Alto Torrente con la stazione di Rodello, si registra un solo caso anomalo che giace poco al di sotto dei valori con tempo di ritorno 10 anni.

La situazione che si osserva per l'aggregazione Cherasca-Seno d'Elvio non subisce sostanziali cambiamenti nel caso che si utilizzi la stazione di Treiso o quella di Alba, in entrambi i casi il tempo di ritorno di 10 anni appare adeguato ad inviluppare alla base i punti corrispondenti agli inneschi.

In conclusione, per quanto riguarda la scelta ottimale dell'ambito geografico di riferimento della stazione, si constata che la relazione *singolo bacino-stazione di riferimento* sia la più adatta alla caratterizzazione delle soglie critiche.

Rapporti tra intensità orarie e le piogge cumulate in accordo con Govi et al. 1980, 1985

Per il caso in esame è stata utilizzata la rappresentazione che compare nelle pubblicazioni di Govi et al. (1980) e Govi et al. (1985), relativamente all'individuazione di precipitazioni critiche per "le frane per fluidificazione della coltre superficiale" (Fig. 114). In tale rappresentazione la pioggia cumulata rapportata alla precipitazione media annua (ordinate) viene messa in relazione con l'intensità oraria (ascisse); la distribuzione dei punti corrispondente ai primi inneschi dei fenomeni franosi (fase iniziale), consente di individuare due allineamenti di punti corrispondenti agli eventi invernali e primaverili (linea inferiore) e

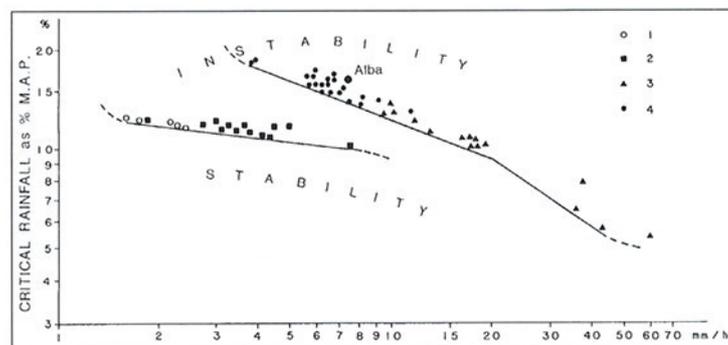


Fig. 114. Relazione tra fase iniziale della franosità in terreni superficiali e parametri idrologici (da Govi et al., 1985).

agli eventi estivi ed autunnali (linea superiore). Tali allineamenti (da considerarsi involuppi inferiori dei punti sperimentali) individuano settori in cui le precipitazioni non sono in grado di generare instabilità (settore inferiore) ed altri dove la stabilità viene compromessa dal raggiungimento di valori di precipitazione critica (settore superiore).

Una delle variabili fondamentali, che svolge un ruolo importante nel diagramma, è rappresentata dal valore dell'intensità oraria. Dall'esame delle pubblicazioni prodotte, non emerge in maniera chiara quale sia l'intervallo di tempo al quale essa sia riferita. In un recente contributo (Del Monaco et al. 1996), gli Autori, nel riportare nel medesimo diagramma alcuni valori significativi ricavati durante l'evento del novembre 1994, introducono il valore dell'intensità dell'ora immediatamente precedente l'innesco, verosimilmente in analogia con la procedura adottata originariamente da Govi et al. Tale modalità operativa non consente, a parere degli scriventi, di usare ai fini previsionali il diagramma originale per i seguenti motivi:

a) le attività di previsione dovrebbero basarsi su adeguate modalità di preannuncio che consentano di individuare con sufficiente precisione la possibile evoluzione del fenomeno temuto verso una fase parossistica, in modo da rendere possibile l'attivazione dell'emergenza. Basare un sistema di preannuncio sull'intensità oraria media registrata nell'ora precedente l'innesco del fenomeno, rende praticamente vano il monitoraggio in tempo reale dell'evoluzione dell'e-

vento meteorologico. Per quanto chi scrive sia consapevole che tali fenomenologie di dissesto sono determinate da piogge brevi ed intense, spesso quindi caratterizzate da durata tale da non consentire di allertare gli organismi preposti alla gestione territoriale in tempi utili, è pur convinto del fatto, che sia opportuno dotarsi di sistemi di preannuncio derivati dall'analisi di andamenti di tendenza, quali ad esempio l'esame delle piovosità medie orarie verificatesi nel periodo di tempo intercorrente tra l'innesco del movimento franoso e l'inizio significativo dell'evento pluviometrico (flesso della curva cumulata degli apporti pluviometrici);

b) le informazioni relative agli orari di innesco vengono ricavate indirettamente tramite la raccolta di testimonianze orali presso la popolazione residente colpita dall'evento. È chiaro quindi che tale modalità di procedere introduce un grado di incertezza non trascurabile circa la veridicità e l'esattezza delle notizie inerenti gli orari di innesco. Dovendo quindi analizzare la relazione tra orari di innesco, determinati in modo spesso impreciso, ed intensità orarie direttamente registrate presso la stazione di misura, non è possibile individuare con la necessaria sicurezza il valore dell'intensità dell'ora immediatamente precedente l'innesco.

Per tali motivazioni, pur riconoscendo l'indubbia validità dell'approccio menzionato, si è pensato di impiegare il diagramma originale introducendo i valori di intensità orari medi ricavati durante l'intervallo di tempo intercorso tra il primo innesco e l'inizio dell'evento registrato dalla stazione di misura.

In particolare per ciascuna associazione bacino-stazione si è adottato il seguente procedimento:

1. individuazione delle prime ore di innesco (corrispondenti ad uno o più movimenti franosi);
2. individuazione della precipitazione cumulata dall'inizio dell'evento meteorologico sino alla prima ora di innesco;
3. determinazione della precipitazione media annua della stazione pluviometrica;
4. definizione dell'intervallo temporale compreso tra l'ora del primo innesco ed il punto in cui la curva cumulata (punto di flesso) si inflette verso l'alto;
5. determinazione dell'intensità oraria critica, intesa come media del tratto definito nel punto precedente.

Il rapporto tra la precipitazione cumulata critica e la precipitazione media annua della stazione è stato messo in relazione con l'intensità oraria critica. Il risultato compare nel diagramma di Fig. 115, dove ogni punto, rappresentativo di più primi inneschi di movimenti franosi, si riferisce ad un'associazione bacino-stazione.

Nel diagramma di Fig. 115 la linea inferiore è relativa agli eventi invernali e primaverili, quella superiore agli eventi estivi ed autunnali; l'area tratteggiata identifica il settore nel quale, all'interno del diagramma originale, si distribuiscono, con maggior frequenza, i punti degli eventi autunnali.

I quattro bacini presi in esame nel presente stu-

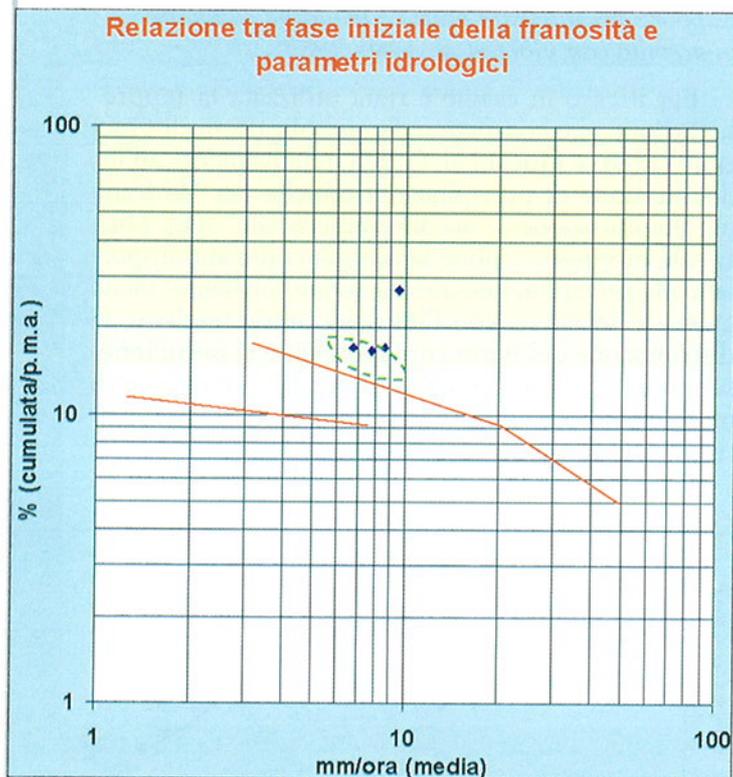


Fig. 115. Rapporto tra la precipitazione cumulata critica e la precipitazione media annua vs intensità oraria critica (da Govi et al. 1985, modificato). Ogni punto, rappresentativo di più primi inneschi di movimenti franosi, si riferisce ad un'associazione bacino-stazione.

dio presentano casi che si collocano al di sopra della linea rossa superiore; tre di questi in corrispondenza dell'area delimitata dalla linea tratteggiata. Il punto rappresentativo dei movimenti franosi verificatisi entro il bacino di Treiso-Seno d'Elvio si posiziona molto al di sopra della linea di riferimento. A tale proposito, è opportuno considerare che la posizione assunta sul diagramma dai dati sperimentali relativi al bacino di Treiso-Seno d'Elvio è rappresentativa di un numero limitato di campioni (solamente tre). È presumibile che un così ridotto numero di fenomeni non sia rappresentativo dell'intero bacino e che inneschi più precoci, dei quali non si è avuta notizia, avrebbero potuto concorrere ad una migliore significatività del dato.

In conclusione, pur riconoscendo di avere utilizzato il metodo in un modo retrospettivo e di avere introdotto la variabile dell'intensità oraria media nell'intervallo di tempo compreso tra l'inizio significativo dell'evento meteorologico (flesso della cumulata) e l'innesco del fenomeno, si è riscontrata una generale buona risposta dell'approccio proposto da Govi.

Rapporti tra intensità oraria e durata dell'evento meteorologico in accordo con Moser et al. (1983)

Per l'area in esame è stato utilizzato il diagramma originariamente proposto da Moser & Hohensinn (1982-1983), in Clarizia et al. (1996), che mette in relazione le intensità orarie medie con la durata dell'evento. Al fine di meglio individuare i due ambiti di *stabilità* ed *instabilità*, sullo stesso diagramma sono riportati sia i valori di precipitazioni scatenanti fenomeni di instabilità superficiale, sia quelli che non hanno prodotto movimenti. Nel diagramma logaritmico di Fig. 116 sono proposte quattro rette (*a, b, c, d*) a diverso grado di confidenza rispetto alla regressione utilizzata.

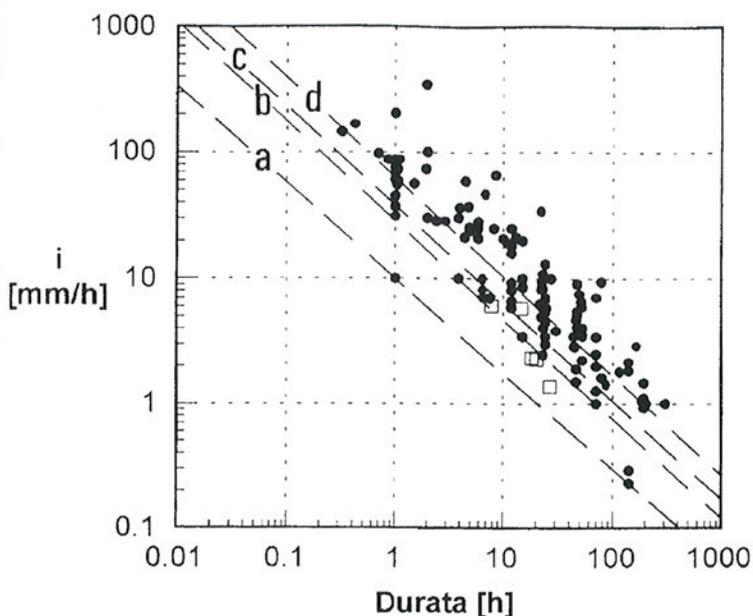


Fig. 116. Intensità e durata di eventi temporaleschi che hanno determinato (pallini pieni) e non hanno determinato (quadrati vuoti) instabilità superficiali (in Clarizia et al., 1996).

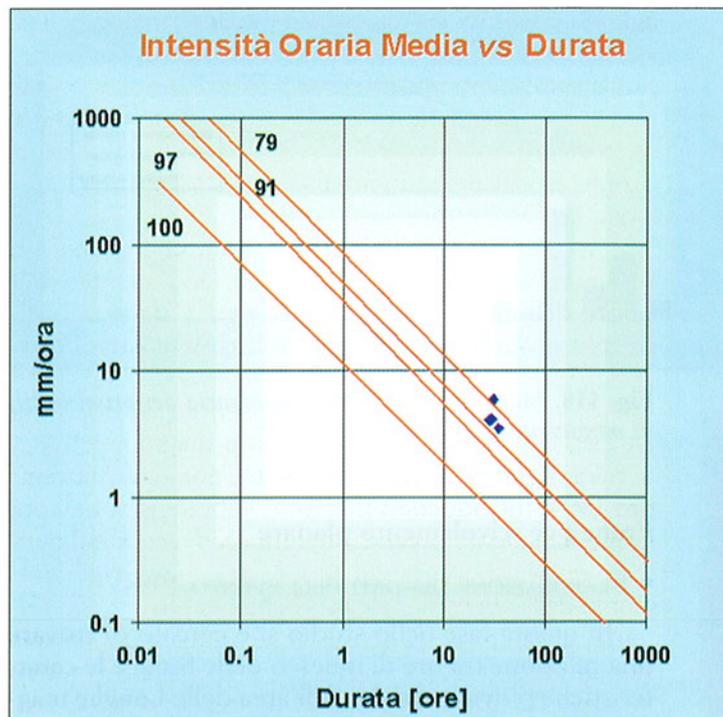


Fig. 117. Relazione tra l'intensità oraria media e la durata dell'evento sino al momento dell'innesco dei movimenti considerati. Ogni punto si riferisce ad un'associazione bacino-stazione; i quattro casi presi in esame si collocano nel campo di instabilità e più in particolare oltre la linea C che circonda il 91% dei casi originariamente riportati sul diagramma di fig. 53.

Nel presente studio, ai movimenti franosi innescatisi all'interno dei singoli bacini idrografici citati nei paragrafi precedenti, sono state attribuite le piogge critiche registrate dalla stazione di riferimento. In particolare per ciascuna associazione bacino-stazione si è adottato il seguente procedimento:

- 1) individuazione della prima ora di innesco (corrispondente ad uno o più movimenti);
- 2) individuazione dell'intervallo di tempo compreso tra l'inizio del fenomeno meteorologico ed il primo innesco;
- 3) determinazione del numero di ore intercorse nell'ambito dell'intervallo definito nel punto precedente (*durata critica dell'evento*);
- 4) determinazione dell'*intensità oraria media* nel tratto definito nei punti precedenti.

L'intensità oraria media è stata messa in relazione con la durata dell'evento sino al momento dell'innesco dei movimenti considerati. Il risultato compare nel diagramma di Fig. 117, dove ogni punto si riferisce ad un'associazione bacino-stazione.

Nel diagramma di Fig. 117 i quattro casi presi in esame si collocano nel campo di instabilità e più in particolare oltre la linea C che circonda il "91%" dei casi originariamente riportati sul diagramma.

In base ai risultati conseguiti si ritiene che anche l'approccio menzionato possa considerarsi, se impiegato in un organico quadro di riferimento, un valido strumento da impiegarsi ai fini previsionali.

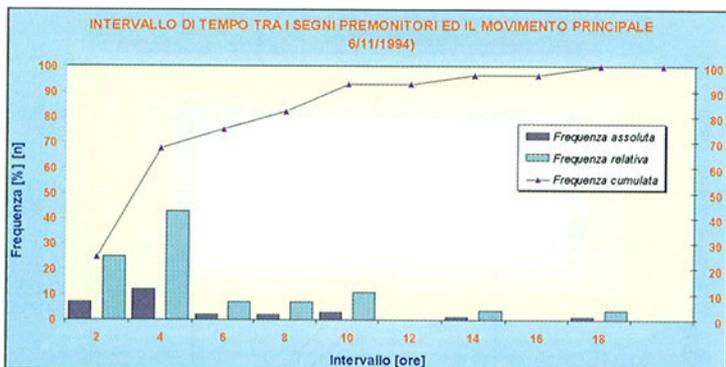


Fig. 118. Intervallo di tempo tra comparsa dei primi indizi di movimento e la fase di collasso.

Frane per scivolamento planare

• ELABORAZIONE DEI DATI DELL'EVENTO 1994

In questa fase dello studio si è cercato di trovare una relazione tra ore di innesco delle frane e le caratteristiche pluviometriche dell'area delle Langhe maggiormente colpita dall'evento del novembre 1994, corrispondente alla zona avente baricentro all'incirca in Bossolasco e delimitata secondo quanto riportato in Fig. 1. I dati utilizzati provengono dal Sistema Informativo Geologico e dalla Rete Meteorologica della Regione Piemonte.

Le schede di rilevamento riportano, ove possibile, le ore della comparsa dei primi segni premonitori e del movimento principale. Dalla loro analisi (58 eventi franosi) si constata in generale un significativo intervallo di tempo (oltre le 2 ore per il 75% dei casi) tra la comparsa dei primi indizi di movimento e la fase di collasso (Fig. 118).

Sono state considerate le stazioni della Rete Meteorologica Regionale di Treiso e Somano, che coprono rispettivamente il settore settentrionale e meridionale dell'area in esame. Agli scivolamenti planari che si sono verificati nel settore settentrionale sono state attribuite le precipitazioni registrate dalla stazione di

Treiso, mentre a quelli verificatisi nel settore meridionale sono state attribuite le precipitazioni di Somano. L'attribuzione di tali precipitazioni ai dissesti è stata fatta oltre che su base geografica, anche considerando aspetti morfologici relativi all'esposizione dei versanti, alla quota ed al bacino idrografico di appartenenza.

Con i dati a disposizione, è stato possibile rappresentare graficamente (Fig. 119) la relazione tra la durata dell'evento idrometeorologico e le precipitazioni. In ascissa è riportata la durata dell'evento, assumendo come ora di inizio le ore 01 del 2-11-1994, mentre in ordinata, per ogni frana analizzata, viene segnalata la pioggia cumulata, normalizzata alla media annuale, relativa all'ora della comparsa dei primi segni premonitori e/o del collasso.

Non essendo le stazioni di Treiso e Somano dotate di serie storica significativa al fine della determinazione della precipitazione media annua, sono state utilizzate le serie storiche di 30/40 anni delle stazioni del Servizio Idrografico Nazionale di Mango, Roddino e Belvedere, afferenti al settore in esame. I valori ottenuti dall'analisi delle tre serie storiche sono stati attribuiti alle stazioni regionali tenendo conto di criteri di natura geografica e topografica, secondo lo schema seguente:

Stazione Regionale	Stazione del Servizio Idrografico Nazionale
Treiso	Mango
Somano	Media Roddino-Belvedere

In corrispondenza del limite inferiore della nuvola di punti è stata calcolata una funzione di regressione non lineare che suddivide il diagramma in due settori, superiore ed inferiore, che individuano rispettivamente le condizioni di instabilità e stabilità verificatesi in conseguenza dell'evento del novembre 1994.

Tale diagramma sebbene si riferisca ad un'area con modesta estensione ed ad un unico evento alluviona-

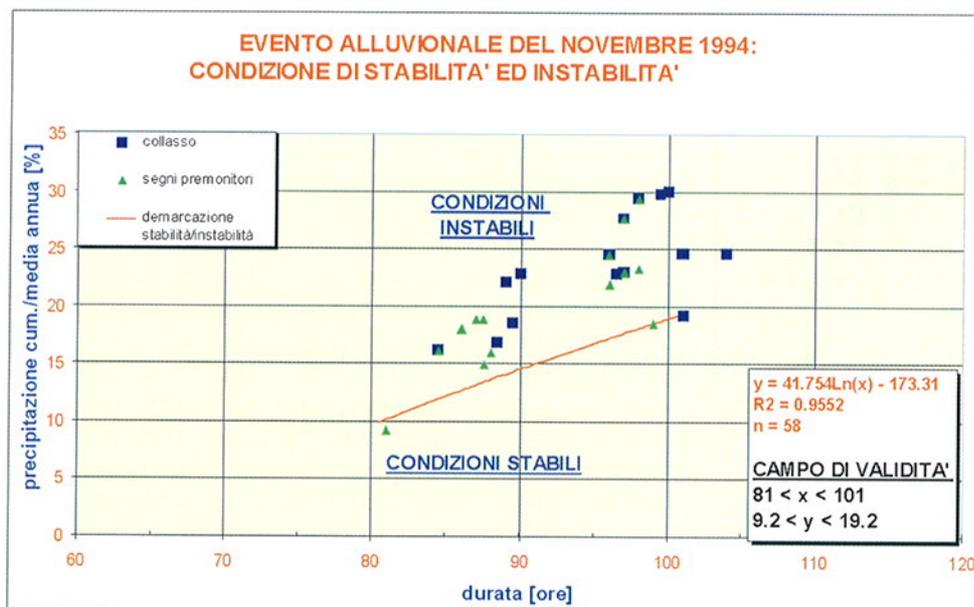
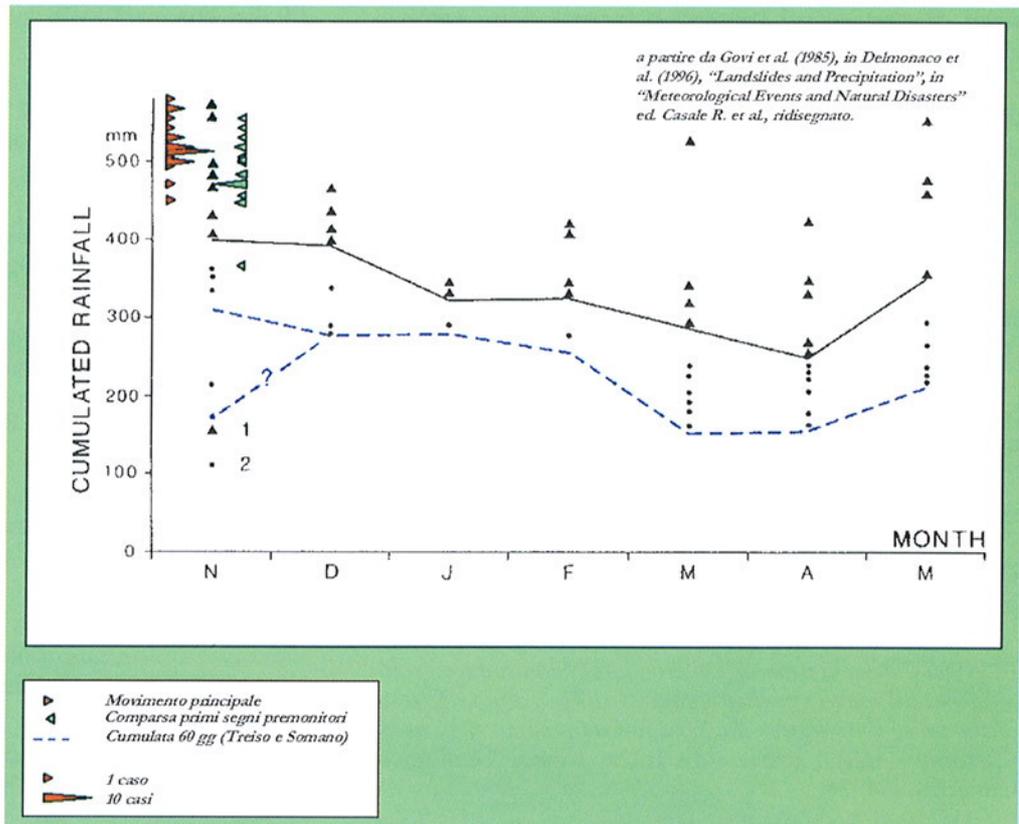


Fig. 119. Relazione tra la durata dell'evento idrometeorologico e le precipitazioni.

Fig. 120. *Quantità minime di pioggia necessarie per attivare, distinte per mese, frane per scivolamento planare nel Bacino terziario Piemontese (Govi et al., 1985, in Delmonaco et al. (1996) "Landslides and Precipitation", in "Meteorological Events and Natural Disasters", ed. Casale et al.).*



le, può rappresentare un utile elemento di paragone per il controllo di situazioni future.

È stata effettuata inoltre un'analisi di confronto tra i dati sopra descritti ed il diagramma di Govi et al. (1985), (in Delmonaco et al. (1996) "Landslides and Precipitation", in "Meteorological Events and Natural Disasters", ed. Casale et al.).

Tale diagramma, derivato da analisi storica, viene spesso utilizzato come riferimento per la valutazione delle possibili soglie di pioggia oltre le quali si innescano frane per scivolamento planare e riporta in ascissa il mese in cui è avvenuta la frana ed in ordinata la pioggia cumulata fino al momento del collasso, ottenuta sommando gli apporti pluviometrici dell'evento alluvionale e dei 60 giorni precedenti.

All'interno di tale diagramma sono stati posizionati quegli scivolamenti planari, per i quali è stato possibile stabilire il momento esatto della comparsa dei primi segni premonitori e/o del movimento principale.

Anche in questo caso, alla località sede del dissesto è stata attribuita la pioggia registrata da una delle stazioni pluviometriche della Regione Piemonte (Treiso e Somano), in base alle medesime considerazioni operative di cui sopra.

Il diagramma riporta (Fig. 120) (per il mese di novembre) due allineamenti di punti: i triangoli rossi rappresentano il valore di pioggia cumulata relativo al collasso di ciascun scivolamento analizzato, quelli verdi il valore di pioggia cumulata relativo alla comparsa dei primi segni premonitori.

Nel diagramma originario sono inoltre riportati gli involuppi relativi alla pioggia cumulata dei 60 giorni precedenti gli eventi che hanno determinato instabi-

lità per scivolamento planare (linea tratteggiata) e gli involuppi relativi alla contributo di pioggia del singolo evento (linea continua). In corrispondenza del limite inferiore tratteggiato (linea discontinua blu), sono stati riportati i valori registrati nei 60 giorni precedenti l'evento dalle stazioni di Treiso e Somano.

Osservando il diagramma si può concludere che l'involuppo rappresentato dalla linea continua è in accordo con quanto avvenuto nel novembre 1994, anche se risulta forse conservativo rispetto all'evento in questione. L'involuppo rappresentato dalla linea tratteggiata è invece in perfetto accordo con i dati analizzati.

L'unico punto in totale disaccordo (triangolo verde isolato) può non essere considerato, riferendosi ad un caso di scivolamento planare condizionato nella sua evoluzione dalla presenza di implicazioni di natura antropica.

Considerazioni conclusive

Gli approcci metodologici impiegati per una preliminare valutazione delle relazioni tra le altezze pluviometriche ed i movimenti franosi hanno dimostrato di essere adeguati a descrivere quanto verificatosi durante l'evento alluvionale del novembre 1994.

Da quanto fin qui esposto, emerge che il procedimento di valutazione delle soglie di piovosità critica si è basato sulla determinazione dell'altezza di pioggia connessa all'innescio di fenomeni franosi di diversa tipologia. Al fine di validare l'efficacia dei metodi impiegati, è necessario comunque, per la medesima area, verificare se le stesse altezze di pioggia in occa-

sioni di altri eventi (passati o futuri) siano sempre connesse a fenomeni di instabilità.

Chi scrive ritiene che tali metodologie in ambito previsionale debbano essere utilizzate contestualmente e comunque inserite in un approfondito quadro conoscitivo dei vincoli e delle principali condizioni al contorno che governano i processi di instabilità studiati.

Riferimenti bibliografici

AA.VV. (1996), *Landslides Investigation and mitigation*, Special Report 247 - Transportation Research Board, National Research Council - Nat. Acad. Press, Washington D.C.

AA.VV. (1996), *Rapporti inediti*. Politecnico di Torino & Regione Piemonte.

AA.VV. (s.d.), *Meteorological Events and Natural Disasters*. Report CEC field mission in Piedmont (Northern Italy) of 4-6 November 1994, ENEA - Consorzio Civita.

AMANTI M., CARA P., FALCETTI S., PECCI M. & VENTURA R. (1997), *Presentation of a methodology to produce geological hazard map to evaluate natural risks, using GIS: state of the art of the study in the Serchio-Gramolazzo river basin (Tuscany - Italy)*, Proc. 30th International Geological Congress, vol. 24.

ARMANINI A. (1996), *Colate di detriti*. Rapporti di lavoro dell'Istituto Geologico del Cantone del Ticino. Dipartimento del Territorio, Divisione Pianificazione Territoriale, CH-6500 Bellinzona.

BAEZA C. & COROMINAS J. (1996), *Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques*, Proc. 7th Int. Symp. on Landslides, Trondheim 17/21-6-1996, ed. K. Senneset, Balkema, vol. 1, 147-152.

CAINE N. (1980), *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows*. Geografiska Annal, 62A, 23-27.

CAMPAGNONI F. (1993), *Definizione di un modello geo-meccanico dei fenomeni di instabilità per scivolamento planare tipici delle Langhe piemontesi*. Tesi di Laurea, Istituto Scienza delle Costruzioni, Università di Genova.

CAMPAGNONI F., FORLATI F., SUSELLA G. & TAMBERLANI F. (1995), *Le marne oligo-mioceniche delle "Langhe": classificazione geotecnica preliminare*. GEAM, dicembre 1995, pp. 201-212.

CANCELLI A. & NOVA R. (1985), *Landslides in soil and debris cover triggered by rainfall in Valtellina (Central Alps-Italy)*. Proc. IV Int. Conf. & Field Workshop on Landslides, Tokyo, 267-272.

CARRARA A., CARDINALI M., DETTI R., GUZZETTI F., PASQUI V. & REICHENBACH P. (1991), *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard*, Earth surface processes and landforms, vol. 5.

CARRARA A., CARDINALI M., GUZZETTI F. & REICHENBACH P. (1995), *GIS-based techniques for mapping landslide hazard*, Geographical Information Systems in assessing natural hazard, Academic Pub., Dordrecht.

CARRARO F. (1990), *L'Anfiteatro Morenico d'Ivrea*, in "Guide Geologiche Regionali" a cura della Società Geologica Italiana, p. 188 e seg., BE-MA Editrice, Roma.

CATENACCI V. (1993), *Il dissesto geologico e geoambientale in Italia dal dopoguerra al 1990*. Servizio Geologico Nazionale, Memorie descrittive della Carta Geologica

d'Italia, Volume XLVII, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

CLARIZIA M., GULLÀ G. & SORBINO G. (1996), *Sui meccanismi di innesco dei soil slip*. Proc. Int. Conf. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, 5/7-11-1996, ed. Luino, I, 585-597.

CUNNANE C. (1989), *Statistical distributions for flood frequency analysis*. WMO-Operational Hydrology report n. 33, Geneva.

CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1996), *Landslide types and processes*, in "Landslides: Investigation and Mitigation", Special Report 247, Transportation Research Board, eds. Turner A.K. & Schuster R.L., Washington D.C., 36-75.

DEANGELI C. & GIANI G.P. (1998), *Analisi dei meccanismi di innesco e di propagazione di colamenti di detrito con modelli fisici e numerici*. 6° Ciclo di Conferenze di Meccanica ed Ingegneria delle Rocce, Torino, 25/26-11-1998, ed. Barla.

DELMONACO G., DUTTO F. & MORTARA G. (1996), *Landslides and Precipitation*, in "Meteorological Events and Natural Disasters", ed. Casale et al., 69-73.

DE LOTTO P., FRASSONI A. (1996), *Geotechnical description in Meteorological Events and Natural disasters*, AA.VV., Edited by Casale e Margottini.

DIETRICH W.E. & MONTGOMERY D.R. (1994), *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*, Water Resourc. Res., 30.4, 1153-1171.

ELLEN S.D. & FLEMING R.W. (1987), *Mobilization of debris flows from soil slip, San Francisco Bay region, California*. Rev. in Eng. Geol., VII, Debris flow/avalanches: process, recognition and mitigation, J. E. Costa & Wieczorek eds., Geol. Soc. of America, Boulder, Colorado, 31-40.

FORLATI F. & CAMPUS S. (1996), *Scivolamenti planari nelle Langhe Piemontesi: individuazione, elaborazione ed analisi di alcuni elementi significativi*. Proc. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", ed. Luino F., Alba, 5/7-11-1996, I, 173-183.

FORLATI F., LANCELLOTTA R., OSELLA A., SCAVIA C. & VENIALE F. (1996), *The role of swelling marl in planar slides in the Langhe region*. Proc. Of the 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, 17-21 giugno 1996.

FORLATI F., LANCELLOTTA R., SCAVIA C. & SIMEONI L. (1998), *Swelling processes in sliding marly layers in the Langhe region (Italy)*. 2nd International Symposium on The Geotechnics of Hard Soils Soft Rocks, 11-14 ottobre 1998 (in corso di stampa).

FORLATI F., MORTARA G., RAMASCO M., SUSELLA G. (1995), *Carta degli scivolamenti planari nell'area delle Langhe a seguito dell'evento alluvionale del 1994*. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CNR-IRPI Torino (inedito).

FORLATI F. & STOPPA T. (1982), *Determinazioni sperimentali sulla frana di Cascina Piazzolo in Ovada*, rapporto interno inedito.

FORLATI F. & TAMBERLANI F. (1997), *Le frane per scivolamento planare delle Langhe*. La Banca Dati Geotecnica: Classificazione Preliminare delle Marne: Oligo-Mioceniche, Giornate di studio sui processi di instabilità naturali, Torino 20 ottobre 1997.

FUKUOKA M., YOSHIDA Y. & MASUDA T. (1977), *Residual strength and frictional resistance of sliding soil masses*. J. Fac. Eng. Univ. Tokio, 43, fasc. 1, 14;

GOVI M. (1985), *The instability processes induced by meteorological events. An approach for hazard evaluation in the Piedmont region (NW Italy)*. C.N.R.-P.A.N. Meeting on "Progress in mass movements and sediment transport studies", Torino, 5-7/12/1984, p. 11-19.

GOVI M. (1990), *Mouvements de masse récentes et anciens dans les Alpes italiennes*. Proceedings of the fifth international symposium on landslides, Losanna, luglio 1978.

GOVI M., MORTARA G. (1981), *I dissesti prodotti dal nubifragio del 10 luglio 1972 nella bassa valle Seriana*. Boll. Ass. Min. Sub., Anno XVIII, n. 1-2, marzo-giugno 1981, 87-118.

GOVI M., G. MORTARA & P.F. SORZANA (1985), *Eventi idrologici e frane*, Geol. Appl. e Idrog., vol. XX, parte 2, pp. 359-375, Bari.

GOVI M. & SORZANA P.F. (1980), *Landslide susceptibility as a function of critical rainfall amount in Piedmont basin (North-Western Italy)*. St. Geom. Carp. Balc., Vol. XIV, p. 43-60.

GRASSO F. (1969), *Studi per la sistemazione idrogeologica della Valle Belbo*. L'agricoltura e le zone colpite dalle alluvioni del novembre 1968, Com. Reg. Progr. Ec. Piem., 235-268.

HAWKINS A.B., LAWRENCE M.S. & PRIVETT K.D. (1998), *Implications of Weathering on the engineering properties of the Fuller's Earth formation*, Geotechnique 38, No. 4, pp. 517-532.

HAWKINS A.B. & MC DONALD C. (1992), *Decalcification and residual shear strength in Fuller's Earth Clay*, Geotechnique 42, No. 3, pp. 453-464.

HUTCHINSON J.N., (1988), *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology* (General report). Proc. of the V Int. Symp. on Landslides, Lausanne, ed. Bonnard C., Balkema, 1-12.

JENKINSON A.F. (1955), *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements*, Quar. J. Meteor. Soc. 81, p. 158-171.

JIBSON R.W. (1989), *Debris flows in southern Puerto Rico*. Geol. Soc. Am. Spec. Pub., 236, 1-13;

KESSELI J.E. (1943), *Disintegrating soil slips of the Coast Ranges of Central California*, Journ. Geology, Boll. 51(5), 342-352, Chicago.

LEROI E. (1996), *Landslide hazard - Risk maps at different scales: objectives, tools and developments*, Proc. 7th Int. Symp. on Landslides, Trondheim 17/21-6-1996, ed. K. Senneset, Balkema, vol. 1, 35-51.

LINDERBERG J. & KONING H.L. (1981), *Critical density of sand*. Geotechnique, 31, 2, 231-245.

LUINO F., RAMASCO M., SUSELLA G. (1993), *Atlante dei centri abitati instabili piemontesi*. REGIONE PIEMONTE, Settore per la Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - C.N.R. I.R.P.I.

MOSER M. & HOHENSINN F. (1982-83), *Geotechnical aspects of soil slip in the Alpine regions*, Engineering Geology, 19, p. 185-211.

OSELLA A. (1995), *Analisi dei fenomeni di scivolamento planare nelle Langhe*. Tesi di Laurea, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Torino.

PEGORARO C. (1998), *Studio propedeutico alla valutazione della pericolosità geologica inerente all'instabilità dei versanti mediante tecniche GIS ed approccio statistico multivariato*, Rapporto finale stage, Corso di Specializzazione Post Lauream in Sistemi Informativi Territoriali, COREP-GISFORM, Torino.

PICCIONI C., RAMASCO M. (1997), *Gli scivolamenti planari nel territorio delle Langhe piemontesi attivati durante l'evento del 4-6 novembre 1994*. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica.

POLITECNICO DI TORINO & REGIONE PIEMONTE (1999), *X-CALAR '99, Expert Group Meetings on Forecasting, Prevention and Reduction of Landslide and Avalanche Risks*, Innsbruck, 1/3-3-1999.

REGIONE PIEMONTE (1990), *Banca Dati Geologica*. Settore per la Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologici e Sismico - C.N.R. I.R.P.I. - CSI Piemonte.

SEMINARA G. & TUBINO M. (1993), *Debris flows: meccanica, controllo e previsione*. Studio redatto dal C.N.R. - G.N.D.C.I., Università di Genova.

SIMEONI L. (1998), *Fenomeni di scivolamento planare nelle Langhe*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Geotecnica - X Ciclo, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Torino.

SUSELLA G. (1996), *Segnalazione di un antico e potente fenomeno di movimento in massa per scivolamento planare in Comune di Cravanzana nell'area delle Langhe Piemontesi*. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, GEAM giugno-settembre 1996, Torino, pp. 73-78.

SUTERA SARDO P., BERETTA G.P., DE LUCA D.A. & MASCIUCCO L. (1996), *Frane superficiali innescatesi nei dintorni di Ceva (Cn) in conseguenza dell'evento meteorologico del novembre 1994*. CNR - Convegno internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba, Atti vol I, 575-583.

TROPEANO D. (1995), *Evento alluvionale del novembre 1994 in Piemonte. Interventi di studio effettuati dall'IRPI-CNR di Torino. Sintesi delle osservazioni*. CNR-IRPI Torino, GEAM VI-IX 1995,135-145.

VALLARINO A. (1995), *Comportamento meccanico delle marne in relazione ai fenomeni franosi nel territorio delle Langhe piemontesi*. Tesi di Laurea, Istituto Scienza delle Costruzioni, Università di Genova.

VARNES D.J. (1978), *Slope movements types and processes*, in Schuster R.L. & Krizek R.J. Ed., "Landslides, analysis and control". Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, p. 11-33, Washington.

WALLIS J.R. (1980), *Risk and uncertainties in the evaluation of flood events for the design of hydrologic structures*. Seminario su "Eventi idrologici estremi: piene e siccità" Erice, 22-25 marzo 1980.

WIECZORECK G. F. & SARMIENTO J. (1988), *Rainfall, piezometric levels and debris flows near La Honda, California, in storms between 1975 and 1983*. Landslides, floods and marine effects of the storm of Jan. 3-5 1982, in the S. Francisco Bay region, California, USGS Prof. Papers, 1434, 43-63.

