

La cittadina di Nizza Monferrato è stata interessata da limitate inondazioni, in corrispondenza dell'asportazione di un muro arginale, con coinvolgimento degli edifici posti lungo il torrente (Fig. 88).

Il T. Nizza, corresponsabile di disastrosi eventi alluvionali, non ha fatto registrare una piena significativa. Il centro storico è stato però interessato da acque di rigurgito della rete fognaria. In figura 77 sono messe a confronto le aree inondate durante gli eventi del giugno 1948, novembre 1968 e novembre 1994.

A valle dell'abitato sono stati inondati da correnti lente ampi settori di fondovalle. Se si escludono alcune case coloniche poste tra l'altro in aree ricorrentemente inondate, non si sono segnalati danni.

Il Belbo in corrispondenza del comune di Incisa Scapaccino forma una serie di meandri incassati, che determinano un rallentamento della velocità di deflusso delle piene. Il risultato di ciò sono le endemiche inondazioni cui è soggetto il fondovalle. La piena del 1994 è stata per Incisa meno grave delle famose piene del 1948 e del 1968. In località Osteria i proprietari di un edificio, in cui si sono misurate tracce alte 40 cm, hanno riferito che l'altezza delle acque nel 1948 fu di m 1,20 e nel 1968 di 0,5 m. Altezze idrometriche notevoli sul piano campagna sono state misurate in località Borgo Madonna che è stata inondata sia dal Belbo, sia dal rio di Vaglio: a monte della strada provinciale alcuni edifici sono stati interessati da inondazioni con altezze d'acqua dell'ordine di 3 m favorite anche dall'impedimento ai deflussi determinato dal rilevato stradale.

Anche il centro abitato di Castelnuovo è posto in un'ansa del torrente e ciò fa sì che esso sia stato in passato ricorrentemente inondato; tuttavia la piena del 1994 non è stata tra le più significative, anche se ha interessato l'intero fondovalle. Le altezze idrometriche maggiori, circa due metri, si sono misurate sugli edifici del campo sportivo posto all'interno delle arginate.



Fig. 88. Nizza Monferrato. Parte del muro arginale lungo Via F. Cirio asportato dal T. Belbo (foto da "La Nuova Provincia", 11-11-1994).

re. In aree esterne agli argini, le altezze delle acque di inondazione sono state in genere modeste (10-40 cm).

Da una targa presente nella piazza principale si è potuto osservare come, nel 1948, le acque di inondazione nel centro cittadino abbiano raggiunto quasi i tre metri.

• TRATTO CASTELNUOVO BELBO - OVIGLIO

A monte di Bergamasco il colmo di piena è raggiunto il giorno 6 novembre.

Qui la piena è allagata principalmente per laminazione per una sezione di circa 1 km, ad eccezione delle principali anse che vengono frequentemente saltate da acque ad alta energia.

Sono diffusi i tratti in erosione, specialmente lungo le sponde esterne delle anse, con discrete quantità di materiale fluitato che viene depositato al piede dei terrazzi morfologici e nelle depressioni naturali ed artificiali presenti ai lati dell'alveo.

Nell'abitato di Bergamasco alcuni edifici sono allagati in prossimità del ponte ed in località Fornace, con battenti d'acqua compresi tra 0,8 ed 1,5 m sul piano campagna originale.

A valle del paese è presente un tratto parzialmente arginato in cui la sezione di piena si riduce ad alcune centinaia di metri, con un conseguente aumento generale di energia; si assiste quindi alla formazione di canali di erosione, principi di diversione d'alveo e danneggiamenti agli argini stessi.

L'erosione di sponda è spesso marcata, specie alla base del terrazzo morfologico su cui passa la linea ferroviaria (NE di Carentino); quest'ultima viene sormontata dalle acque per un tratto di circa 200 m in località Cascinetta.

A Oviglio la sezione di piena subisce un'ulteriore riduzione legata a fattori morfologici ed al forzato restringimento in corrispondenza del ponte. A monte di quest'ultimo il deflusso è costretto ad un rallentamento, con marcato deposito di materiale sabbioso-limoso e crescita del battente d'acqua. Ne consegue che in sinistra orografica numerose abitazioni del concentrico sono allagate per rigurgito della rete fognaria (altezze fino ad 1 m), mentre in destra altre abitazioni e parte della massicciata ferroviaria sono allagate per il rigurgito di un rio laterale.

A valle del ponte di Oviglio l'area del campo sportivo è allagata da oltre 1,5 m d'acqua, con vistosi depositi di materiale sabbioso-limoso. Scendendo verso la confluenza con il Fiume Tanaro la sezione di piena tende nuovamente ad allargarsi fino ad oltre 1 km, anche per effetto dell'esondazione della rete idrografica minore.

In particolare il Rio Regrinda, orientato normalmente verso E, in una prima fase tende a rigurgitare rimontando per alcune decine di ettari; in una seconda fase determina una vera e propria diversione del canale di deflusso, per un tratto di circa settecento metri ed orientato verso NE, fino a confluire in un più settentrionale impluvio secondario.

Ancora più a nord la sezione di piena del Torrente

Belbo si restringe fino ad un minimo di circa 150 m, limitata in destra dal terrazzo morfologico di Villa del Foro ed in sinistra dall'arginatura della Cascina Savella, allagata dalle acque di Tanaro per circa 1.5 m (questa arginatura mantiene separate, fino alla confluenza, le acque del Fiume Tanaro da quelle del Torrente Belbo).

L'altezza delle acque esondate del Belbo cresce fino ad un massimo di 3 metri, con vari danneggiamenti agli argini ed alle difese spondali; il tratto terminale della Strada della Cavallerizza è allagato e la spalla destra dell'omonimo ponte è parzialmente danneggiata; in località Rocca di Villa del Foro un edificio industriale viene parzialmente allagato.

In corrispondenza della confluenza il livello raggiunto dalle acque sull'originario piano campagna raggiunge i 5 metri.

Considerazioni finali

Le note fin qui esposte sulla piena del 1994 del torrente Belbo e i dati storici sulle piene passate portano a due brevi riflessioni: la prima sul rapporto tra l'utilizzo del territorio e i processi associati all'attività dei corsi d'acqua; la seconda sugli strumenti da utilizzare per la mitigazione del rischio associato agli eventi naturali.

In merito al primo punto si può affermare che la piena del torrente Belbo del novembre 1994 sia stata indubbiamente catastrofica per gli effetti che essa ha avuto sulle attività umane tuttavia, dall'analisi dei dati storici, essa non rappresenta un caso isolato: solo nell'ultimo secolo vengono segnalati almeno altri 4 eventi di piena (maggio 1926, settembre 1948, novembre 1951, novembre 1968), che hanno avuto conseguenze gravi per settori più o meno vasti del bacino.

Se si considerano solamente le piene citate, in quest'ultimo secolo, la media di accadimento con associati danni gravi è di una ogni ventennio.

In alcune occasioni le piene con effetti gravi si sono susseguite con un intervallo di pochi anni, come nel caso delle due importanti piene del 1948 e del 1951.

Analizzando la distribuzione dei danni si osserva come i comuni maggiormente colpiti siano, per il tratto analizzato, Cossano Belbo (in corrispondenza dell'area produttiva a valle dell'abitato), Santo Stefano Belbo, Canelli, Nizza Monferrato, Incisa Scapaccino e Castelnuovo Belbo, quelli cioè ubicati nel tratto medio basso di fondovalle, ove questo si amplia.

Tale considerazione che può sembrare ovvia, (ovvero: i danni alle aree urbanizzate si osservano dove queste occupano settori di fondovalle ancora di pertinenza del corso d'acqua), in realtà non appare tale se si analizza lo sviluppo urbanistico in questi comuni. Sono lampanti gli esempi di Cossano Belbo e di Santo Stefano Belbo.

Nel comune di Cossano Belbo si è urbanizzata un'area, a valle dell'abitato potenzialmente soggetta al passaggio delle piene maggiori.

A Santo Stefano Belbo in aree troppo prossime all'alveo del torrente, gravemente colpite da eventi

passati, si sono costruite abitazioni e strutture pubbliche: in una di queste erano custoditi, e sono stati danneggiati, i libri ed i manoscritti di Cesare Pavese, di questo centro originario.

L'ultima piena del Belbo che causò danni di una certa entità all'abitato risale al 1968, eppure nell'attività di pianificazione urbanistica non si è considerato quanto allora si verificò, né tanto meno quanto si verificò nel settembre di vent'anni prima.

Questa poca attenzione da parte delle amministrazioni locali ai problemi legati ai processi naturali può trovare spiegazione in una troppa fiducia nell'efficienza delle opere di difesa idraulica che sempre vengono costruite dopo i grandi eventi alluvionali, in una falsa consapevolezza che quanto avvenuto, perché eccezionale, non si potrà verificare per «molto tempo», ed in una comprensibile incapacità delle amministrazioni stesse nell'analisi rivolta alla minimizzazione del rischio connesso agli eventi di piena.

In merito a quest'ultimo aspetto è utile ricordare che i processi associati ad un evento di piena sono da porre in relazione a diversi fattori, tra loro legati e consequenziali e che possono essere messi a fuoco attraverso l'analisi morfologica ed idraulica dell'insieme corso d'acqua e area ad esso geneticamente legata. Infatti la tipologia e l'intensità dei danni subiti dai manufatti durante un evento di piena sono da porre in relazione ai tipi di processi di modellamento fluviale che, a loro volta, sono dipendenti dalle caratteristiche dell'alveo.

Nel caso del Belbo, si osserva come a monte di S. Stefano, dove il torrente scorre in un fondovalle stretto e con pendenze comprese tra l'1-2%, fino al 6% (Banca Dati Geologica, 1990), si sono verificati ingenti processi di erosione prevalentemente di sponda e, in generale, processi associati a modificazioni dell'alveo, mentre a valle, dove le pendenze diminuiscono e, conseguentemente, il torrente assume un andamento più sinuoso, si sono registrate estese inondazioni, con abbondante deposito di sedimenti fini. Sicuramente, almeno per il tratto compreso tra Santo Stefano e Nizza Monferrato, le opere di difesa idraulica hanno in qualche modo limitato i danni dovuti alle erosioni spondali, più frequenti in passato, come risulta dai dati storici.

Tali difese però, anche a causa della notevole portata del torrente, massima storica, almeno tra quelle stimate a Santo Stefano (CNR/IRPI, 1995; Terzano e Tropeano, 1987) non sono state in grado di limitare le esondazioni che sono state spesso di notevole entità.

Da queste brevi riflessioni si ricava che per mitigare gli effetti delle piene è necessario partire da una rigorosa analisi del sistema fluviale in termini di dinamica dei processi e delle loro possibili conseguenze (effetti morfologici e danni indotti, nel caso di aree antropizzate).

Solo una corretta comprensione dei differenti aspetti morfologici ed idraulici consentirà di adottare corrette scelte di sviluppo urbanistico.

Attraverso una solida base conoscitiva sarà possibile individuare le aree interessate da processi fluvia-

li che potranno essere messe in sicurezza e successivamente urbanizzate mediante opere di difesa idraulica economicamente accettabili in termini di costi e benefici.

Le difese idrauliche dovranno però essere sempre progettate tenendo conto della globalità dei deflussi, per evitare una esaltazione degli effetti delle piene a monte e a valle delle aree da difendere.

Infine, è importante tener presente che le opere idrauliche potranno essere inefficienti per eventi catastrofici ed è perciò essenziale mettere a punto piani di protezione civile, intesi sia come piani di emergenza, nel caso di eventi alluvionali ma anche come azioni di informazione della popolazione sui rischi che può comportare vivere in aree ancora soggette alla dinamica dei corsi d'acqua.

Bibliografia

AA.VV. (1994), *Rapporto sull'evento alluvionale del 5-6/11/94. Analisi geologica della dinamica dell'esondazione nel territorio comunale di Alessandria*. Comune di Alessandria, inedito, 1 volume e cartografia allegata.

AA.VV. (1995), *Ad un anno dall'alluvione 1994. Per un'economia all'attacco ed un territorio più amico*. Provincia di Alessandria, Osservatorio del Lavoro, Alessandria, 75 pp.

AA.VV. (1996), *Undicesimo comandamento: ...non favorire le alluvioni...* Circonscrizione Alessandria Nord, Gruppo di Lavoro AL Nord, Grafiche Macaluso, Alessandria, 63 pp.

AA.VV. (1997), *Ieri... Oggi... Forse Domani... La sicurezza della città!*. Circonscrizione Alessandria Nord, Gruppo di Lavoro AL Nord, Grafiche Macaluso, Alessandria, 64 pp.

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

ANGIUS E. (1948) *Il nubifragio del 4 settembre 1948 in Piemonte*. L'Acqua nell'agricoltura, nell'igiene e nell'industria. Anno XXVI, N.11-12, novembre-dicembre 1948, pp. 123-130.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (1995), *Fiume Tanaro. Quadro dell'assetto attuale*. Relazione generale del Piano Stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (1995), *Sottoprogetto SP11 Piano e coordinamento interprogettuale*.

BAUDUCCO E., SUSELLA G. (Fotoint., rilevam.), SICARDI S. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del torrente Bormida*. Tratto L. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

BELLARDONE G., BROVERO M. (Fotoint., rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del torrente Belbo*. Tratto G. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

BELLARDONE G., BROVERO M. (1995), *Processi ed effetti associati alla piena del T. Belbo del 5/11/1994*. 2° I.M.Y.R.A.G. Secondo incontro internazionale dei giova-

ni ricercatori, Peveragno, Cuneo; 11-13 ottobre 1995, Sez. B, pp. 128-132.

BELLARDONE G., BROVERO M., FORLATI E. (Fotoint., rilevam.), RAFFONE S., TAMBERLANI F. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Tanaro*. Tratto B. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

BELLARDONE G. (1997), *4-6 novembre 1994, la piena del Belbo*. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - Quaderno n. 9, Torino, pp. 41.

CALORIO G.F. (1990), *Orti. Storia, vita e personaggi del quartiere alessandrino*. Ed. Dell'Orso, Alessandria, 1 vol.

CALORIO G.F., CIPRI M., DONDO D., MURARO M., OBERTI R., RATTI G. (1980), *Vivere in Alessandria. Storia di Alessandria e del suo territorio dalle origini al primo Novecento* - ARCI (Al), Ed. Dell'Orso, Alessandria, 1 vol.

CALORIO G.F., MOGLIA G., OSELLO A., SPALLONE R. (1996), *Rappresentazione della dinamica del degrado nella lettura dei territori colpiti dall'alluvione del novembre 1994: il quartiere Orti in Alessandria*. Atti XVIII Convegno dell'U.I.D. "Obiettivo sulla città - Estetica e degrado", Politecnico di Torino, pp. 33-49.

CALOSSO L., NOSENZO N. (1995), *Tanaro, il fiume amico-nemico. Miti leggende memorie d'acqua*. Daniela Piazza editore, 1995, 225 pp.

CARRARO F., PETRUCCI F., TAGLIAVINI S. (1969). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia - Foglio 68 "Carmagnola"*. Servizio Geologico d'Italia, pp. 40, Ercolano (NA).

CAVALCHINI P.L., VASSALLO N., ZIRUOLO L., ANNONE G. (a cura di, 1997), *Il fiume sulla città*, Boccassi Ed., Alessandria, 134 pp.

COLOMBO I., PIANO A. (Fotoint., rilevam.) (1998), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Po*. Tratto Brusasco-Morano Po. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano - Torino (1995), *5-6 novembre 1994. Un'evento da non dimenticare*. A cura di E. Farina. Progetto grafico e stampa a cura di Seat, Divisione Stet, 94 pp.

COPPO C., OBERTI R., PICCINI C., TRUCCO F., ZILIANI A.M. (a cura di, 1997), *Il rischio idrogeologico nelle fonti storiche: l'esempio del Comune di Pietramarazzi in Provincia di Alessandria*. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - Quaderno n. 10, Torino, 48 pp.

COZZO M., DE DONNO A. (1996), *Rilievo urbano e analisi morfologica del quartiere Orti di Alessandria a seguito degli eventi alluvionali del novembre 1994; proposta di sistemazione a parco della fascia fluviale*. Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, inedito.

DI NAPOLI G., MERCALI L. (1996), *Moncalieri. 130 anni di meteorologia: 1865-1994*, Soc. Met. Sub.

IRES (1989), *Progetto Po*. Collana Piemonte, studi dell'IRES.

FORLATI E., RAFFONE S., (1997), *Analisi del sistema fluviale effettuata mediante riprese aeree del 23 settembre 1954. Fiume Tanaro*. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore

Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

GIAMPANI C., RAMASCO M. (Fotoint., rilevam.), ALIATTA P., SUSELLA G. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del torrente Bormida*. Tratto I. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

GIAMPANI C., RAMASCO M. (Fotoint., rilevam.), ALIATTA P., SUSELLA G. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Tanaro*. Tratto D. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

LUINO F., RAMASCO M., SUSELLA G. (1993), *Atlante dei centri abitati instabili Piemontesi*. G.N.C.I., Linea 2, L'Artistica di Savigliano, 1993, 245 pp.

MANTELLI M., TESTA E. (1989), *Alessandria e l'urbanistica della felicità*, Edizioni Istituto Gramsci, Alessandria, 148 pp.

MANTELLI M., TESTA E. (1989), *Alessandria e l'urbanistica della felicità* - Edizioni Istituto Gramsci, Alessandria, 148 pp.

MENSIO L. (Fotoint., rilevam.) (1996), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Po*. Tratto Carmagnola-Brusasco. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

MINISTERO DI AGRICOLTURA (1916), *Tanaro. Carta idrografica d'Italia*. Eugenio Perrone, 370 pp., Roma.

MOTTA R. (1996), *Tanaro, Bormida e l'inconscio collettivo di Alessandria*. Circolo Horti Alessandria, Quaderni, n.1, Ed. Maxmi, Alessandria, 160 pp.

OBERTI R., PICCINI C. (1996), *Evento alluvionale del 7/10-10-1996. Fiume Tanaro (Provincia di Alessandria). Campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena*. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

OBERTI R., PICCINI C. (Fotoint., rilevam.), PIERI M., ZILIANI A. (Rilevam.) (1996), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Po*. Tratto Morano Po-Confluenza Scrivia. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

OBERTI R., PICCINI C. (Fotoint., rilevam.), TRUCCO F., ZILIANI A. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del torrente Bormida*. Tratto H. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

OBERTI R., PICCINI C. (Fotoint., rilevam.), TRUCCO F., ZILIANI A. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Tanaro*. Tratto A. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

OBERTI R., PICCINI C. (Fotoint., rilevam.), TRUCCO F., ZILIANI A. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del torrente Belbo*. Tratto F. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

PIOVANO V. (1989), *Caso di studio per un'attività estrattiva d'inerti in relazione ai processi di dinamica fluviale*, Congr. Int. Geoling.

REGIONE PIEMONTE (1980), *Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese*. Assessorato alla Tutela dell'Ambiente. Relazione, 348 pp. Torino.

REGIONE PIEMONTE (1990), *Carta degli alveo-tipi e portate*. Banca Dati Geologica, CNR-IRPI, CSI Piemonte, 1990, scala 1:100.000.

REGIONE PIEMONTE (1994), *Primo rapporto sull'evento alluvionale verificatosi in Piemonte il 4-6 novembre 1994*, a cura dei Settori Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico e Opere Pubbliche e Difesa Assetto Idrogeologico, aggiornamento alla data del 24-11-1994, inedito.

REGIONE PIEMONTE, *Archivio della Banca Dati Geologica*. Settore Studi e Ricerche Geologiche-Sistema Informativo Prevenzione Rischi.

SUSELLA G. (Fotoint., rilevam.), ALIATTA P., BAUDUCCO F., GIAMPANI C., SICARDI S. (Rilevam.) (1994), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Tanaro*. Tratto E. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

TROPEANO D., TERZANO P. (1987), *Eventi alluvionali nel bacino del Belbo: tipologia e frequenza dei disastri in base a notizie storiche*. Estr. Boll. Ass. Min. Sub., XXIV, 3-4 settembre-1987, 38 pp.

TURITTO O. (Fotoint., rilevam.), LUINO F. (Rilevam.) (1995), *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Tanaro*. Tratto C. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE, Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

TURITTO O., MARAGA F., LUINO F. (1995), *Impatto sulle infrastrutture viarie prodotto da piene con inondazione*, Estratto Geol. Appl. Idrol.

VASSALLO N. (a cura di, 1997), *Il territorio tra Tanaro e Bormida nei documenti d'archivio*. Archivio di Stato di Alessandria, Ed. Boccassi, Alessandria, 191 pp.

Processi sulla rete idrografica secondaria

4.1. ASPETTI SIGNIFICATIVI LEGATI ALL'ATTIVITÀ TORRENTIZIA

I piccoli bacini alpini e collinari interessati dalla perturbazione meteorologica presente sul Piemonte tra il 2 e il 6 novembre 1994 sono stati i primi soggetti ad essere coinvolti dall'elevato carico idrico indotto dalle piogge intense che hanno seguito e chiuso il lungo periodo piovoso della prima decade del mese.

Qui di seguito è affrontata questa tematica, che nell'ambiente montano e collinare ha provocato ingenti danni, ed è riportato un quadro parziale degli avvenimenti sulla rete idrografica minore, essendo gran parte di questa materia già delineata nella descrizione dei processi e degli effetti entro le varie realtà provinciali.

La scelta ha privilegiato, a scopo dimostrativo, due zone distinte entro il panorama regionale, indicative di due ambiti geomorfologici diversi:

- l'area montana del sud Piemonte (Valli Monregalesi)
- l'area propriamente collinare del Piemonte centrale (Monferrato)

Le modalità con le quali si è sviluppato il quadro meteorologico hanno, in breve tempo, creato condizioni di saturazione diffusa nelle coltri alterate di versante provocando così un intenso ruscellamento e tempi di alimentazione del reticolato inciso relativamente brevi.

Le precipitazioni intense e continue, persistentemente bloccate sulle testate di valli relativamente poco ampie hanno determinato una risposta pressoché immediata, entro i corsi d'acqua di ogni ordine, e consistente in un aumento repentino delle portate liquide il mantenimento delle stesse per un periodo di tempo relativamente lungo e, al seguito dei picchi di piovosità che si sono verificati durante la giornata del sabato, l'attivazione di una erosione sia concentrata che diffusa, anche al di fuori del reticolato idrografico, con uno spostamento di materiale detritico, dal versante verso le incisioni, in misura superiore al normale.

In molti settori poi, stante le predisponenti condizioni geomorfologiche e litostrutturali, gli alvei, già interessati dalla piena torrentizia, sono ulteriormente stati impegnati dal materiale detritico di movimenti gravitativi di versante attraverso diffuse frane per mobilitazione delle coltri alterate superficiali che, realizzandosi con frequenti fenomeni di colamento in alveo di materiali detritici, hanno comportato un im-

mediato aumento del carico solido trasformando materiali mobilizzati da processi di frana in trasporti in massa torrentizi. La ristrettezza degli alvei, le caratteristiche planoaltimetriche degli stessi e la presenza di una vegetazione arbustiva con debole apparato radicale in prossimità delle sponde hanno poi interagito, creando condizioni per pulsazioni nello smaltimento del carico di piena a seguito della creazione di effimeri sbarramenti (Fig. 1).

Si sono così potuti attivare numerosi trasporti in massa che hanno seriamente coinvolto le opere di



Fig. 1. Comune di Frabosa Soprana, torrente Corsaglia, rio Camperi. Il passaggio impulsivo di un'onda di piena, verosimilmente formata per cedimento di effimeri sbarramenti, ha lasciato evidenti segni su edifici prossimi all'alveo.

attraversamento e i manufatti posti contigualmente all'alveo e nella sua zona di giunzione con il fondo-valle.

Particolari situazioni morfologiche locali hanno poi condizionato l'evolversi degli effetti legati ai processi torrentizi.

In particolare, per il settore meridionale del territorio piemontese, lungo il corso del fiume Bormida di Millesimo e, anche se in modo minore, lungo il torrente Belbo e il fiume Tanaro, nel tratto montano, si sono altresì attivati, in parte o in tutto, i numerosi apparati di conoide esistenti a raccordo tra il reticolato minore e il fondovalle.

Tali ambienti, di norma sede di insediamenti abitativi, sono stati coperti da depositi detritici anche grossolani derivanti, per l'area delle Langhe, dal disfacimento della serie marnoso-arenacea ivi affiorante.

Con terminologia tipicamente antropocentrica, si può dire che si è verificata una radicale "pulizia degli alvei minori" con una di quelle tipiche pulsazioni che, nell'arco di un tempo minimo, fanno confluire verso le valli e le piane alluvionali una ingente quantità di materiale detritico.

Fortunatamente non si hanno a registrare vittime tra i residenti, anche se i danni alle infrastrutture e agli edifici sono stati rimarchevoli.

In taluni casi all'"eccezionalità" del processo torrentizio, peraltro collocabile sempre in un quadro di normale attività evolutiva, si sono sovrapposti i negativi effetti della presenza, lungo o sopra i corsi d'acqua, di manufatti che ne hanno amplificato, sovente essendo stati i primi a patirne le conseguenze, i danni al territorio.

È il caso, ma l'esempio vale per molti altri luoghi, di Monesiglio, in valle Bormida, che è stato seriamente colpito nella sua parte edificata posta sul conoide del rio Vallazze, delle acque di quest'ultimo esondate a causa dell'insufficiente dimensionamento, e conse-

guente ostruzione, dell'alveo artificiale, sottopassante l'edificato.

Ne sono risultati danneggiati, in questo caso e anche in modo serio, una decina di edifici e la viabilità locale.

Altra simile situazione si è verificata ancora in valle Bormida sul conoide del rio della Cardonea che ha interessato con apporti detritici l'area industriale posta tra la fascia terminale del conoide e l'alveo del fiume collettore (Fig. 2). L'esame delle fotografie aeree e i sopralluoghi hanno inoltre evidenziato come il tratto medio del torrente fosse stato sbarrato, nelle stesse ore, da una frana per scivolamento planare e che solo l'esiguità della soglia morfologica venutasi a creare aveva impedito la formazione di un invaso a monte, che avrebbe proposto un nuovo ulteriore scenario di rischio.

Ancora in valle Bormida si è registrata una serie di attività, per trasporto e deposito in massa su conoide, che ha colpito con interruzioni ripetute la strada statale n. 339, nel tratto tra Monesiglio e Gorzegno, provocando da semplici alluvionamenti sul piano viabile, fino ad erosioni ed asportazioni di tratti dello stesso e di alcuni attraversamenti. Lungo il rio Laiazzo, in comune di Prunetto, una colata detritica ha lambito una casa di civile abitazione arrecando danni ad una pertinenza della stessa (Figg. 3-4).



Fig. 2. Comune di Camerana, località Piana. Ripresa aerea obliqua della zona industriale coinvolta dalla piena del fiume Bormida, i cui segni sono visibili sull'ampia fascia destra, e del rio Cardonea, da destra nella foto.



Fig. 3. Comune di Prunetto, località rio Laiazzo. La zona di accumulo della frazione grossolana di una colata detritica, attivatasi la sera del 5 novembre, ha interessato alcuni edifici posti in adiacenza del rio.

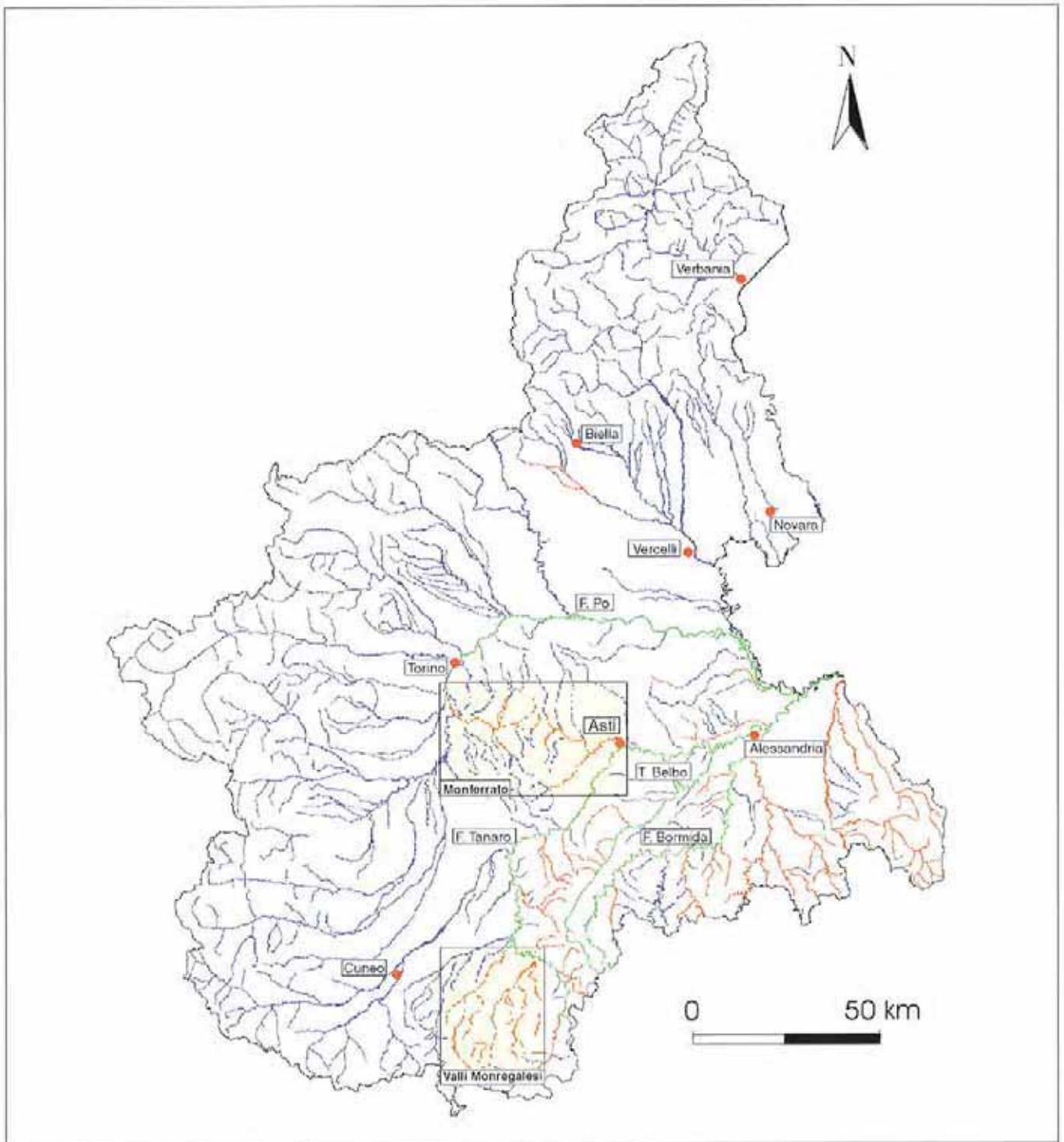


Fig. 6. Quadro schematico dei tratti di rete idrografica minore interessata da attività torrentizia con diffusi danni alle opere antropiche (in rosso nella tavola). Sono evidenziate le aree descritte nel capitolo e sono altresì indicati i corsi collettori principali (in verde nella tavola).

4.2. VALLI MONREGALESI

Questo sottocapitolo è dedicato espressamente ad un settore delimitato, se visto nel panorama generale del territorio regionale interessato dall'evento alluvionale, ma colpito in modo pesante dai processi fluvio-torrentizi.

I bacini Ellero, Corsaglia, Casotto e Mongia coprono un settore, ampio poco più di 600 km² che, a causa della posizione della perturbazione piovosa sullo

spartiacque ligure-piemontese, ha subito importanti fenomeni di dissesto sia sui versanti sia, in modo devastante, lungo la rete idrografica di valle, con pesanti danni alle opere antropiche come da decenni non era dato di osservare.

Le valli dei torrenti dell'area monregalese (zona montana delle Alpi Liguri che gravita sulla città di Mondovì, in provincia di Cuneo) assieme ai loro affluenti principali Maudagna, Roburentello e Castorello, sono aree mediamente abitate e ospitano, ai loro sboc-

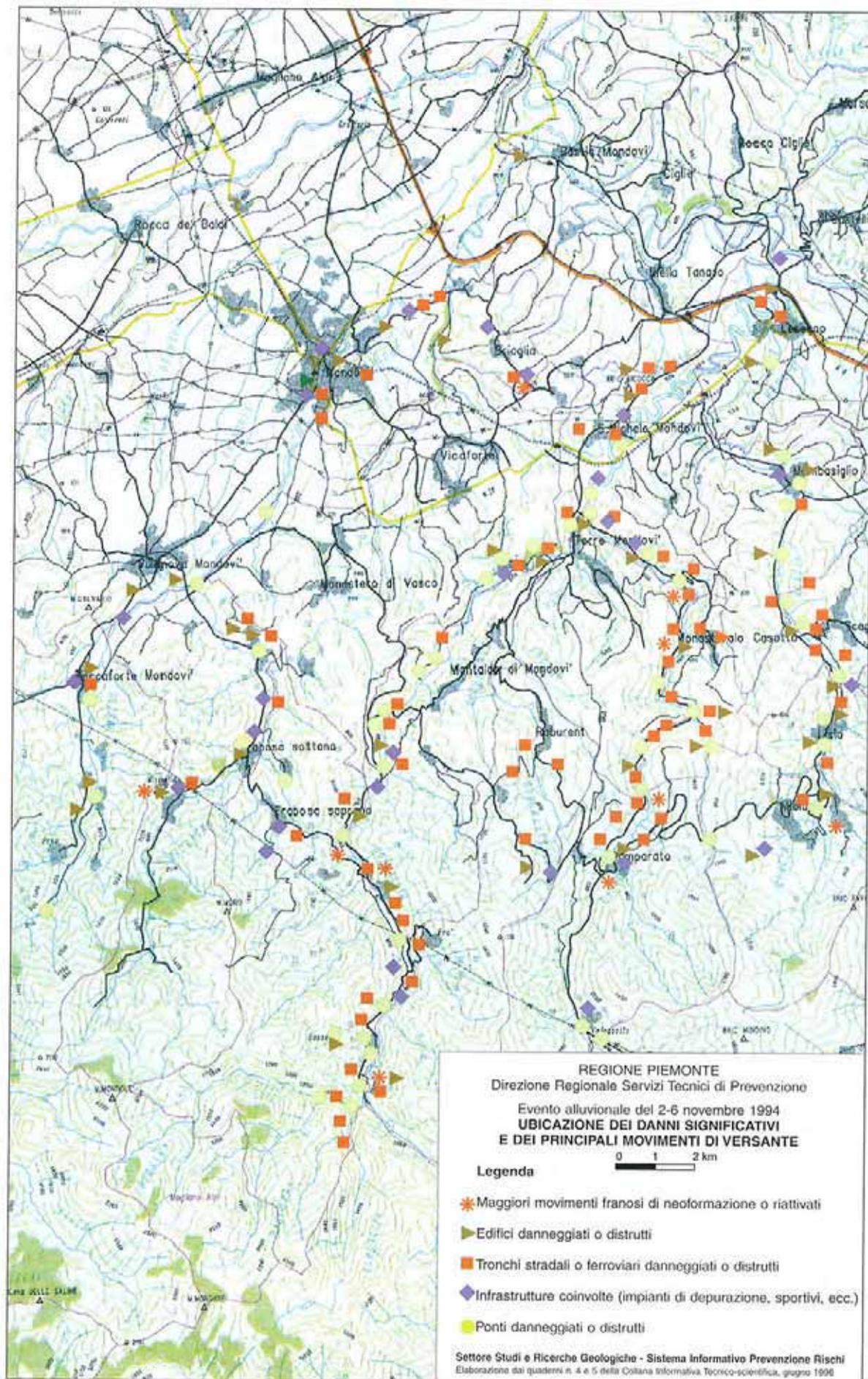


Fig. 7. Tavola di sintesi con identificazione dei principali danni per attività torrentizia e delle maggiori frane, a seguito dell'evento alluvionale del novembre 1994 nel territorio delle Valli Monregalesi, provincia di Cuneo.

chi in pianura, anche centri di una certa rilevanza.

La posizione dei paesi, delle frazioni, delle strutture ed impianti di servizio e delle più importanti vie di comunicazione, coincidenti spesso con aree di fondovalle, ha determinato, in risposta alle sollecitazioni indotte dalla eccezionale piovosità, un pesante tributo in termini di danno economico.

Gli alvei delle valli Ellero, Corsaglia, Casotto e Mongia sono stati percorsi da ingenti quantità di acqua, con parossismo situato attorno alle ore 18 del sabato 5.

Ne sono risultati seriamente colpiti le viabilità di fondovalle, per lunghi tratti completamente cancellate, e parti consistenti dei centri abitati e di impianti di servizio e sportivi.

La figura 7 offre un quadro di sintesi di quanto descritto; l'elaborazione è stata perfezionata su quanto derivato in sede di sopralluogo e contenuto nei quaderni 4-5 della Collana divulgativa tecnico-scientifica curata dal Settore Studi e Ricerche - Sistema Informativo Prevenzione Rischi.

Torrente Ellero

Lungo l'asta del torrente Ellero i primi danni si sono avuti nelle frazioni poste al termine del tratto propriamente montano là dove, in corrispondenza dell'abitato di Norea, il bacino raggiunge già una superficie di oltre 30 km².

In questa località il torrente inizia a scorrere, in un fondovalle ampio, tra i suoi depositi alluvionali

terrazzati, i quali hanno subito, a seguito della violenta attività torrentizia, le prime profonde erosioni. In questa occasione hanno patito danni lievi alcuni edifici e si è verificata la distruzione del ponte sopra-passante il torrente.

Molto più pesante il coinvolgimento dell'abitato del capoluogo, Roccaforte, posto poco a valle.

In questo tratto il corso d'acqua scorre di poco rilevato al piano campagna e in un unico canale, ma sono riconoscibili, sull'ampio lato sinistro, le depressioni morfologiche di altri canali abbandonati da non molti decenni.

In corrispondenza di quest'area di antica divagazione si è di recente ampliato l'edificato con aree sportive e attrezzate, piazzali di ricovero materiali e zone industriali, che di fatto hanno eliminato la naturale fascia di rispetto del torrente.

Tutti questi manufatti sono stati interessati, taluni in modo anche grave, dal transito del colmo della piena che nella sua massima espansione ha raggiunto e allagato i piani seminterrati dell'edificio scolastico.

Più a valle, nel tratto tra Villanova e Mondovì, si è ampiamente modificata la morfologia dell'alveo a danno dei coltivi rivieraschi e degli attraversamenti esistenti.

L'ultimo centro ad essere interessato dal torrente Ellero è stata la città di Mondovì, in parte edificata a lato del corso d'acqua. Fortunatamente in questo tratto il torrente è sensibilmente inciso entro superfici terrazzate sopportate da un substrato marnoso.



Fig. 8. Valle Corsaglia, tratto montano. La portata straordinaria sopportata dal torrente ha provocato ampia occupazione del limitato fondovalle con profonde forme erosive esterne all'alveo ordinario. La vicinanza della strada di fondo valle al torrente ha visto il verificarsi di ripetute interruzioni dell'arteria per erosioni laterali.

Ciò non ha impedito alla attività torrentizia di danneggiare in più parti l'edificato, in particolare quegli edifici di recente costruzione che, come molti altri della stessa generazione, hanno trovato spazio in zone non del tutto compatibili (sono stati colpiti un edificio scolastico, un piano rimesse interrato e un tratto di viabilità cittadina, Fig. 9).

Altri danni a viabilità e ad edifici si sono registrati nella valle del torrente Maudagna, tributario di destra dell'Ellero; fortunatamente nelle località Miroglio, Frabosa sottana e Alma il coinvolgimento dei manufatti abitativi e viari è stato limitato e di non grave entità.

Torrenti Corsaglia, Casotto e Mongia

Ben più pesante è stato il coinvolgimento delle contigue valli Corsaglia, Casotto e Mongia.

Le cause possono essere ricercate nel fatto che la valle Ellero è stata l'ultima zona, verso occidente, interessata dalle intense precipitazioni legate all'evento alluvionale, e quindi coinvolta in modo marginale (al contrario delle valli in questo punto esaminate); dal punto di vista della capacità di assorbimento delle acque di precipitazione la Valle Ellero ha una larga testata, impostata in rocce carbonatiche profondamente carsificate, e di conseguenza il ruscellamento è ridotto mentre nelle valli poste ad oriente sono predominanti sottobacini tributari impostati in litotipi impermeabili di età permiana. In ultimo, morfologicamente, queste tre valli sono a fondovalle prolungato e ristretto, quando non inesistente, il che comporta una posizione sfavorevolmente esposta per viabilità e centri abitati in rapporto alla attività del corso d'acqua.

La valle Corsaglia ha un bacino di raccolta molto ben sviluppato in una serie di vallette secondarie tutte servite da strade silvopastorali. Tutta questa rete viaria, con i relativi attraversamenti, è stata quasi completamente distrutta dalle acque correnti superficiali



Fig. 9. Comune di Mondovì, Concentrico. Le acque del torrente Ellero alle ore 12 del giorno 5 novembre 1994, pur non avendo ancora raggiunto il massimo livello di piena, interessano già i piani interrati di un edificio cittadino.

durante il culmine dell'evento alluvionale, la sera del sabato 5 novembre (Fig. 10).

Più gravi sono risultanti i danni nella porzione media e bassa della valle. In località Bossea l'elevata portata del torrente, collegata alla ristretta luce del ponte, che dalla strada provinciale di fondovalle porta alle frazioni montane Costacalda e Mondini, ha provocato la fuoriuscita delle acque in sponda sinistra con gravi danni ad alcuni edifici ed attrezzature turistiche.

La strada di fondovalle che costeggia con continuità l'alveo è stata per lunghi tratti asportata completamente.

L'abitato di Corsaglia, che già alle ore 14,30 del sabato registrava fuoriuscite di acqua sul piano viario appena a valle del concentrico, era poi investito completamente, sulla sponda destra, dall'onda di piena che non più contenuta entro l'alveo esondava allagando con altezze superiori a 1,70 cm la strada pro-



Fig. 10. Comune di Frabosa Soprana, località Borello. Nelle due immagini si notano gli effetti indotti dal processo di piena torrentizia dei tributari minori nella zona di conoide alla confluenza nel torrente Corsaglia. Sono risultati danneggiati la viabilità locale e i nuclei abitati.



Fig. 11. Comune di Frabosa Soprana, località Corsaglia. L'immagine, tratta da ripresa aerea, mostra la strada provinciale di fondovalle asportata da erosione laterale del torrente Corsaglia. Il processo ha ulteriormente riattivato il movimento franoso di versante già presente a monte del manufatto.



Fig. 12. Torrente Corsaglia, località Gorrazzi. Nella ripresa, da valle verso monte, sono visibili gli effetti dell'erosione e del conseguente disalveamento (margine destro della figura). Gran parte della piena torrentizia ha così determinato la creazione di un canale esterno all'alveo con distruzione di lungo tratto della strada provinciale e dell'accesso al ponte, in primo piano.

vinciale e gli edifici limitrofi asportando anche un tratto del vecchio muro d'argine posto in sponda destra. Poco a valle del paese l'erosione spondale asportava completamente oltre 100 metri di strada (Fig. 11).

Ad aggravare i danni concorrevano anche il rio Chiesa, tributario di sinistra del Corsaglia, che non più contenuto nel passaggio sottostante la piazza allagava la stessa interessando marginalmente viabilità ed edifici.

Drammaticamente danneggiata risultava essere la frazione Bottero di Frabosa Soprana che essendo situata sull'esterno di una curva del torrente era invasa con violenza dalle acque di piena che occupavano tutto l'esiguo fondovalle così come altri danni si registravano in località Corsagliola e alla centrale idroelettrica di Molline.

Gravi danni erano subiti dalla viabilità provinciale in località Ponte dei Gorrazzi e presso Le Molline dove le acque del torrente provocavano erosioni ed asportazioni di parti della massicciata stradale, la distruzione di un ponte in esercizio e un altro di antica costruzione oltre a gravi danni ad altri attraversamenti (Figg. 12, 13 e 14).

In comune di S. Michele Mondovì, località C. Quarelli, la violenta attività torrentizia coinvolgeva e danneggiava le vasche di decantazione dell'impianto di cava poste in posizione eccessivamente contigua al corso d'acqua; l'erosione di sponda danneggiava in parte la strada statale n. 28 in corrispondenza del ponte sul Corsaglia e, nel tratto sottostante l'abitato capoluogo, raggiungeva la base della scarpata sulla quale sorge l'adificatio riproponendo lo stesso problema già denunciato e in parte affrontato, con difese spondali di tipo repellente, nei primi anni del secolo.

La valle Casotto ha in Pamparato l'unico centro abitato di una certa importanza; fortunatamente l'edificato è in gran parte posizionato sulla pendice montana e di conseguenza solo alcuni edifici di recente edificazione, posti nella parte bassa del paese, e alcune abitazioni isolate situate a valle hanno sofferto danni o parziali distruzioni al passaggio dell'onda di piena.

Molto più grave è stato il coinvolgimento della strada provinciale n. 164 che nel tratto Castorello-



Fig. 13. Torrente Corsaglia, località Ponte Soprano. I resti dell'antico manufatto dopo il passaggio della piena del 5 novembre 1994.



Fig. 14. *Torrente Corsaglia, località Molline. L'immagine documenta i pesanti danni sofferti dal ponte di accesso al centro abitato.*

Tetti Casotto è stata danneggiata o distrutta su gran parte dei circa 4 chilometri della lunghezza compreso i ponti posti a monte e a valle del tratto.

L'arteria corre alternativamente sui due fianchi vallivi sopraelevata di alcuni metri rispetto al corso d'acqua, l'esigua larghezza dell'alveo e l'inesistenza, o la debolezza, delle opere di difesa ha comportato la scomparsa di questo tronco stradale comunque importante sia per l'economia della valle che per la sua funzione di collegamento intervallivo con la confinante valle Tanaro (Fig. 15).

In questo tratto i violenti processi di erosione di sponda hanno concorso, assieme ad altre cause congenitamente legate allo stato dei versanti, ad attivare due movimenti franosi di discrete dimensioni che, dal lato sinistro idrografico in località Groppello, rischiano, in caso di ulteriore evoluzione, di sbarrare totalmente il fondovalle.

Si ritiene interessante segnalare il particolare processo di colata detritica che ha percorso quasi tutta l'asta del rio Castorello, tributario di destra del torrente Casotto nella sua parte media.

Il fenomeno ha preso origine dalle pendici settentrionali del Bric Mindino a quota 1660 m ca. e fin da subito si è evoluto da semplice attività torrentizia in processo di mobilitazione del letto detritico contenuto entro lo stretto canale. L'alta pendenza e il grande carico solido hanno creato una colata di grande volume ad alta velocità i cui segni sono stati riconosciuti fino ad altezze prossime a 13 metri sulle pareti esterne delle curve dell'asta torrentizia (Fig. 16).

A seguito del processo la strada intercomunale Pamparato-Viola è stata cancellata su una lunghezza di 60 metri (Fig. 17) mentre, fortunatamente, per il nucleo abitato detto "ex Fabbrica di acido", posto ad oltre 5 km dal punto di attivazione, il carico solido si è depositato prima di questo luogo che ha infine sofferto solo danni da allagamento su altezze prossime a 1,5 m.

La **valle Mongia** è la più ad est tra le valli Monregalesi e confluisce nel torrente Corsaglia poco prima della confluenza di questo entro il Tanaro.



Fig. 15. *Torrente Casotto. Ripresa dei gravissimi danni sofferti dalla strada provinciale di fondovalle a seguito delle violente erosioni spondali.*

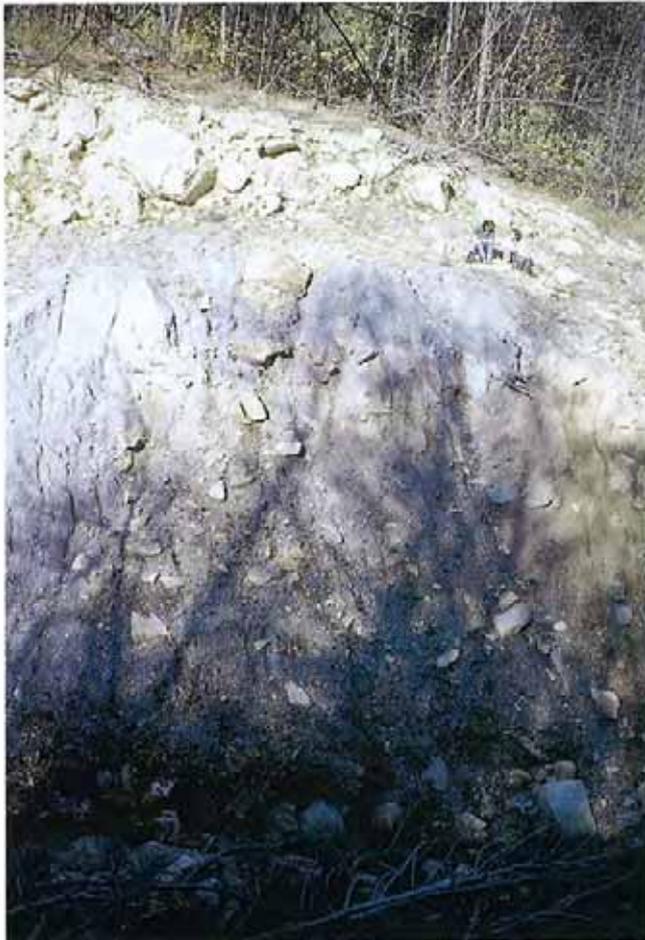


Fig. 16. Rio Castorello. Il piede del pendio, in sinistra del rio, mostra evidenti segni di passaggio dell'onda di piena fino a oltre 13 metri di altezza.

Gli abitati principali, Lisio e Monbasiglio, hanno sofferto danni in modo diffuso ma essendo posti per parte alla base del pendio non hanno mostrato distruzioni gravi nelle parti edificate

L'onda di piena ha però danneggiato molti tratti della viabilità primaria e secondaria e sono stati distrutti almeno 4 ponti mentre altri hanno creato sbarramento, con l'occlusione da parte del materiale fluitato, e sono stati sovrappassati dall'acqua.

4.3. L'AREA DEL MONFERRATO

Torrenti Bobore e Triversa

Il Torrente Bobore, affluente di sinistra del fiume Tanaro, nasce dalle colline del braidesc e, con un iniziale sviluppo sub-parallelo all'andamento del suo collettore, attraversa i territori comunali di San Damiano, Tigliole ed Asti per poi confluire, dopo avere ricevuto le acque del Torrente Triversa, suo affluente principale, nel Tanaro nei pressi di Asti poco prima dei ponti stradale e ferroviario di corso Savona.

La piena determinatasi a seguito delle abbondanti piogge ha messo in crisi tutto il bacino idrografico

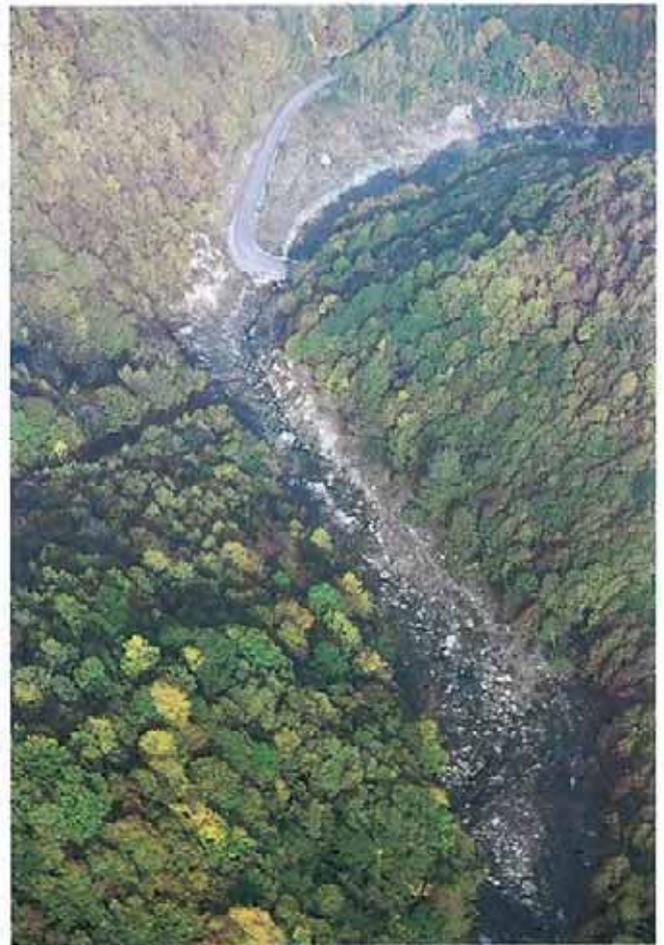


Fig. 17. Rio Castorello, tratto superiore. Immagine aerea dell'asta torrentizia con gli evidenti segni laterali del passaggio della colata detritica che, in corrispondenza dell'attraversamento ha asportato oltre 60 m di strada.

del Bobore causando fenomeni di esondazione, che hanno riguardato gran parte del corso d'acqua e dei suoi affluenti, mentre alcuni tributari minori hanno presentato esclusivamente problemi di rigurgito delle acque in prossimità delle confluenze.

In molti tratti del corso del Bobore e del Triversa si sono inoltre verificate erosioni spondali con instabilizzazione delle scarpate spondali e della vegetazione ripale.

Il fenomeno alluvionale citato si è registrato a partire dalla giornata di sabato 5 novembre con massimi di piena nella serata tra le 20.00 e le 22.00 nel Comune di Asti.

Il torrente Bobore a monte della confluenza con il torrente Triversa

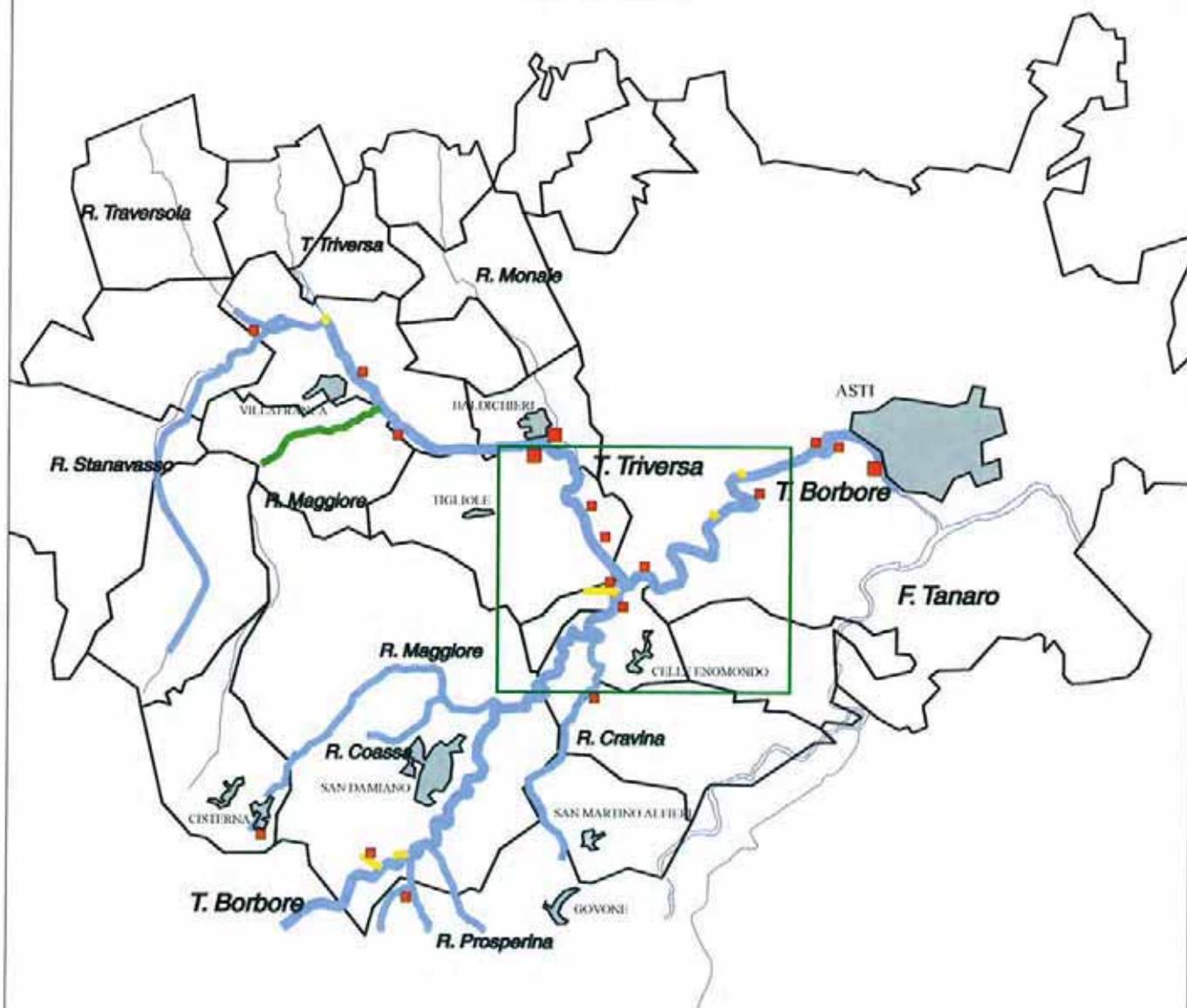
In questo primo tratto si sono registrati vasti e continui allagamenti da parte del corso d'acqua principale (ampiezza della fascia inondata variabile da 200 a 500 metri) che hanno però interessato solo i coltivi e la viabilità comunale ed interpodereale.

Le sponde hanno subito forti ed evidenti erosioni accompagnate spesso da tagli di meandro; le acque hanno provocato danni alla vegetazione (campi di

EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 1994

Carta schematica dei T. Borbore e suoi tributari (Provincia di Asti)

Scala 1 : 150.000



LEGENDA

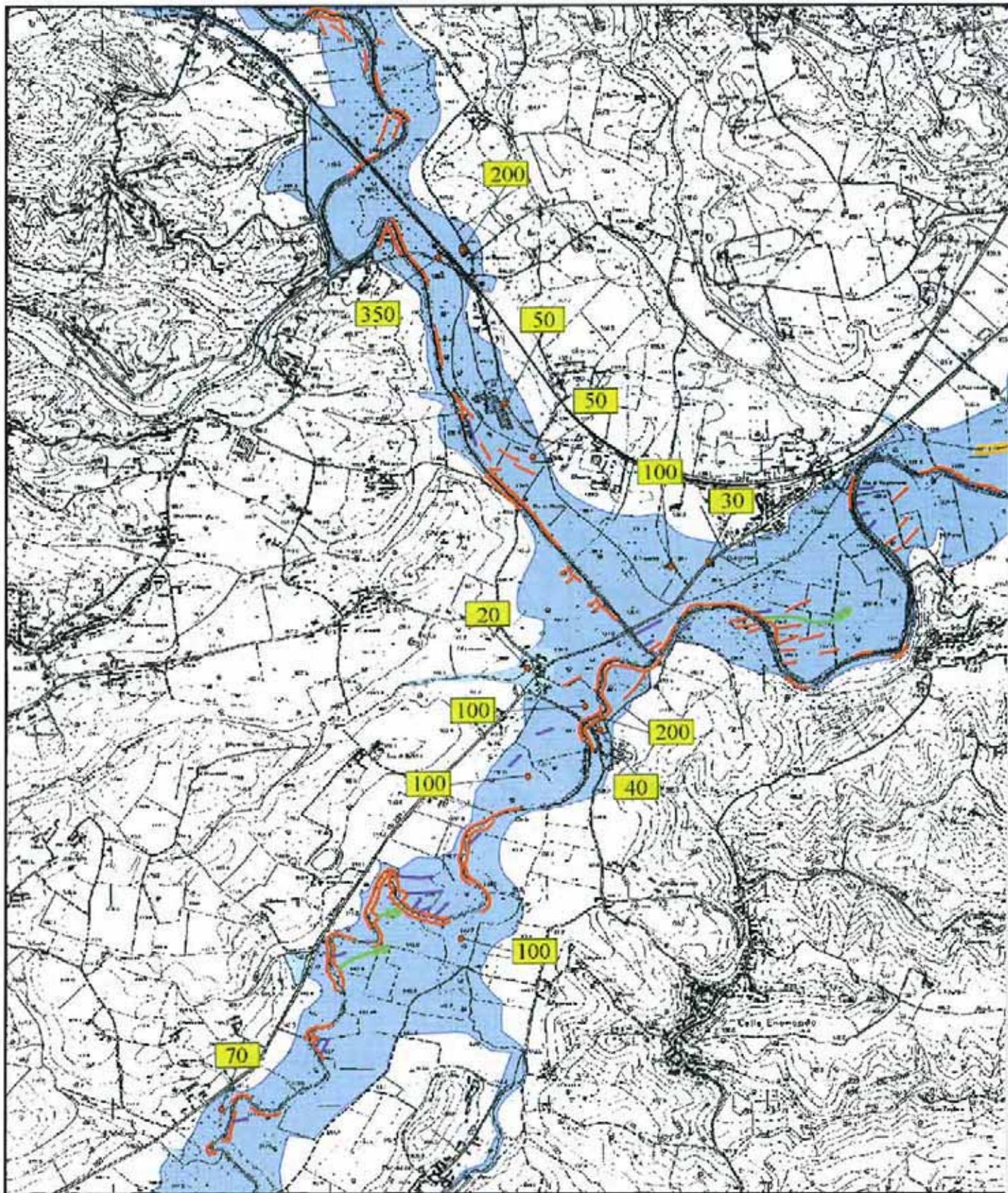
-  Tratti interessati da fenomeni di esondazione, erosione e dissesto delle sponde
-  Tratti interessati da fenomeni di erosione e dissesto delle sponde
-  Tratti interessati da allagamento per rigurgito del tributario in corrispondenza della confluenza
-  Localizzazione di isolati edifici, fabbricati, infrastrutture alluvionati
-  Localizzazione di agglomerati abitativi alluvionati
-  Localizzazione della carta di dettaglio delle aree inondate (sez CTR 175100)

EVENTO ALLUVIONALE DEL NOVEMBRE 1994

Carta delle aree inondate dei T. Borbore e suoi tributari
Confluenza T. Triversa - T. Borbore (Sez. CTR n. 175100)

Scala 1 : 25,000

Rilevamento ed elaborazione grafica a cura di Italo Colombo e Andrea Piano

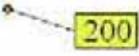




LEGENDA

-  Erosioni di sponda; danneggiamenti minori delle difese spondali
-  Argine
-  Area inondata
-  Area inondata per rigurgito della rete idrografica minore

Direzione di propagazione dei deflussi dedotta da:

-  Solchi di erosione
 -  Disposizione dei sedimenti, verso di abbattimento della vegetazione
 -  Principali canali di erosione
 -  Altezza raggiunta dalle acque di inondazione sul piano campagna
- Danni**
-  Rotte arginali

maïs, pioppeti, ecc.) ed originato saltuariamente sottili fiamme di sedimenti; l'unica zona nella quale si riconosce con evidenza un accumulo ingente di materiale infatti è rappresentata dalla parte interna di un meandro tagliato dalle acque nei pressi della confluenza del Rio Cravina.

Le acque di esondazione hanno raggiunto i 70 cm presso cascina Borbore (ove hanno lambito il bordo del muretto di protezione); a Bric Prosperina si sono invece livellate a 150 cm nella piana antistante gli edifici come anche nei pressi del ponte stradale che collega San Damiano con San Martino Alfieri.

Anche i principali tributari del t. Borbore quali il rio Maggiore, il rio Coassa ed il rio Cravina, ed alcuni rii minori come il rio Prosperina ed il rio Priocca sono stati interessati da fenomeni di esondazione lungo tutto il loro corso.

In particolare il *rio Maggiore*, che confluisce nel Borbore subito dopo San Damiano, ha allagato il fondovalle di San Matteo di Cisterna d'Asti; in realtà gli unici problemi per l'abitato, ove il rio è massicciamente arginato, sono però derivati dalle acque di un fosso che ha allagato alcuni edifici nei pressi della confluenza con il rio Maggiore.

Anche il *rio Coassa*, principale affluente di destra del rio Maggiore ha allagato con continuità il suo stretto fondovalle.

Le acque del rio Maggiore e del Borbore hanno poi provocato vasti allagamenti alla loro confluenza nella zona del depuratore di San Damiano causando l'interruzione della viabilità per Asti.

Più a valle analoghi vasti allagamenti si sono ripetuti nei pressi della confluenza del *rio Cravina* (100 cm di acqua nei pioppeti). Tale rio pur non causando alcun danno ad opere antropiche, è esondato già a partire dalla sua testata nei pressi di San Martino Alfieri.

Poco prima della confluenza con il t. Triversa la situazione morfologica (brusca curva del Borbore verso sinistra) e la presenza del rilevato stradale lungo la strada per Celle Enomondo che impedisce il deflusso e la laminazione delle portate non smaltibili, hanno causato una massiccia esondazione delle acque con forte energia nei pressi di tale curva.

Soprapassata la strada per Celle prima del rilevato le acque hanno così allagato i cortili dei tre stabilimenti siti ai piedi della collina mentre i danni più gravi sono stati riportati dall'edificio industriale situato proprio sulla sponda destra del Borbore che è stato investito dalla corrente di deflusso che raggiungeva l'altezza di 50 cm; le acque hanno poi scavalcato il Torrente e sono laminate sulla piana antistante raggiungendo la ragguardevole altezza di 150-200 cm.

Il torrente Triversa ed i suoi tributari

Il torrente Triversa non ha presentato alcun problema a monte della confluenza con i rii Traversola e Stanavasso; il suo alveo non è stato però poi in grado di smaltire l'ulteriore contributo idrico derivante dai due tributari e da quel punto in poi le acque sono fuoriuscite fino alla sua confluenza nel Borbore.

Lo Stanavasso ed il Traversola erano comunque già esondati a monte della confluenza nel Triversa ed in particolare un isolato edificio sito nei pressi di Case Antoniassi è stato allagato da 200 cm di acqua.

Il t. Triversa presenta tra Villafranca e Baldichieri un corso generalmente rettilineo che è stato caratterizzato da una fascia di esondazione di modesta larghezza (50-200 m) anche perché limitata in destra orografica dal rilevato della ferrovia Torino-Genova.

I danni si sono quindi limitati in questo tratto all'allagamento di una cascina nei pressi di Villafranca (70 cm) e del depuratore presso Case Bruciate; notevoli sono invece state le erosioni di sponda in particolare tra il ponte dell'autostrada Torino-Piacenza e la frazione di Case Bruciate. Tracce di deposizione di sedimenti si iniziano ad evidenziare in modo chiaro solo a valle di Case Bruciate.

Nei pressi di Borgovechio il t. Triversa riceve le acque del rio Maggiore di Villafranca che lungo il suo corso ha presentato solo limitati fenomeni di esondazione, ma che nella parte terminale ha prodotto forti erosioni di sponda con danni al tratto di strada che corre di fianco al rio e che collega Cantarana con la statale per Asti.

Notevoli danni ha invece causato il Triversa nei pressi di Baldichieri e della stazione di Baldichieri.

Le acque, anche a causa della ridotta sezione del ponte che collega i due centri, hanno allagato in sponda sx parte degli insediamenti produttivi (altezze stimate nell'ordine del decimetro) e soprattutto gli edifici più vicini al corso d'acqua (200 cm).

In sponda destra le acque fuoriuscite lungo l'ansa posta prima della stazione di Baldichieri hanno invece allagato tutti gli edifici siti nella piana e la stazione medesima (50 cm) spingendosi fino ad un magazzino sito sulla destra della stazione (20 cm); poi hanno in parte seguito il tracciato della ferrovia per lamiare ove questa passa su rilevato.

Tra Baldichieri ed il Molino di Tigliole il Triversa raccoglie le acque del *rio Monale* il quale lungo il suo corso non ha presentato problemi particolari né rigurgito alla confluenza.

In questo tratto il corso del Triversa assume tracciato meandriforme e presenta nuovamente sponde fortemente erose soprattutto in corrispondenza delle anse; la fascia di esondazione aumenta fino a più di 500 m di larghezza e le acque esondate hanno interessato il Molino di Tigliole (3,5 m) ed un secondo fabbricato posto nelle immediate vicinanze (2 m).

A valle del Molino di Tigliole il corso del t. Triversa torna ad essere rettilineo. In questa zona è stata allagata parte dello stabilimento della ditta Alplast spa (50 cm al muretto lungo strada) e la piena ha anche raggiunto due abitazioni situate alla confluenza con il Borbore in Vaglierano Bassa. Esondazioni si sono anche registrate lungo il *canale dei Molini*.

In sinistra, nei pressi della confluenza, un tributario minore ha infine dato problemi di rigurgito causando allagamenti con altezza delle acque dell'ordine del decimetro nei caseggiati posti lungo la strada statale per Asti.



Fig. 18. Comune di Asti. Torrente Bobore. Erosione spondale in sinistra a monte di Vaglierano Bassa.

Il torrente Bobore tra la confluenza con il torrente Trivera e la città di Asti

Dopo avere allagato la piana di Vaglierano danneggiando il ponte che attraversa il canale dei Molini la fascia di esondazione del Bobore si restringe e risulta limitata dalla collina in destra e dal rilevato ferroviario in sinistra.

La piena ha quindi danneggiato le spalle del ponte presso cascina Colombaro e dopo avere distrutto il tratto terminale dell'argine in sinistra ha superato l'argine in destra presso il ponte stradale che condu-

ce a Revignano raggiungendo i 70 cm presso cascina Nuova (Fig. 18).

Nel tratto, a valle del ponte della FFSS. Torino-Genova, in destra, si sono evidenziate tracce di erosione lineare e forti erosioni spondali.

In questo tratto si è anche verificato l'alluvionamento dell'alveo denominato "alveo secco" del t. Bobore e poco prima del ponte della Ferrovia Asti-Chivasso si è determinato un netto taglio di meandro con alluvionamento di tutta la piana alluvionale in destra (inondazione della discoteca); in sinistra l'acqua ha raggiunto il ristorante "La Grotta".

Tra il ponte ferroviario per Chivasso ed il ponte stradale di viale Don Bianco, l'acqua ha tracimato il rilevato arginale in destra danneggiandolo ed asportandolo nei pressi del ponte stradale (altezza media 50 cm) dove la lama d'acqua ha superato la quota d'impalcato del ponte raggiungendo la balaustra in cls della sede stradale.

Nello stesso punto in sponda sinistra l'acqua è invece giunta a lambire il rilevato degli impianti sportivi senza provocare però alcun danno alle infrastrutture.

A valle del ponte di viale Don Bianco l'acqua fuoriuscita in sponda destra ha invaso il Cimitero comunale e alcune abitazioni situate più a valle.

In sinistra, prima del sopraggiungere della piena del fiume Tanaro si erano quindi verificati modesti allagamenti dei campi a sud della città attraverso il vecchio sistema di canali in collegamento con il t.



Fig. 19. Comune di Asti. Torrente Bobore. Erosione in sponda sinistra a monte di C. Palazzetto.

Borbore. A seguito della rottura di un argine in terra in sinistra appena a monte del ponte della ferrovia Torino-Genova l'acqua fuoriuscita dall'alveo ha invaso alcune vie e da qui la zona compresa tra il cavalcavia di corso Alba e la massicciata ferroviaria della linea Asti-Castagnole delle Lanze.

Con il sopraggiungere della piena del Tanaro in questa zona compresa tra la confluenza e il ponte della ferrovia Torino-Genova si è sommata l'azione del corso d'acqua principale con controcorrenti di rigurgito e si è avuto un incremento del fenomeno di esondazione attraverso l'argine sfondato in sinistra.

La conseguenza è stata che le acque del t. Borbore impedito nel loro deflusso verso Tanaro si sono riversate sulla città (Figg. 19, 20, 21).

Torrente Banna

Il bacino del t. Banna, affluente di destra del Po presso la regione Bauducchi di Moncalieri, ha una forma caratteristica a ventaglio allungato in direzione Nord-Sud a seguito di fasi neotettoniche che hanno separato, con andamento pressoché rettilineo detto bacino gravitante sul Po dal settore gravitante verso Est sul Tanaro; a causa di tale conformazione il corso d'acqua principale diventa nettamente individuabile solamente a valle del concentrico di Poirino, dove si concentrano i contributi di tre corsi d'acqua: il rio Verde proveniente dalla zona di Pralormo e Montà d'Alba, il Banna proveniente dalla zona di Villanova d'Asti ed il rio Salussoia che originandosi sulla collina torinese attraversa i territori di Chieri e Riva presso Chieri (Fig. 22).

Nel settore più orientale del bacino, situato in provincia di Asti, si sono verificati allagamenti per traccimazione dei corsi d'acqua appartenenti al sistema di irrigazione e della rete idrica minore. In particolare i principali assi drenanti hanno determinato situazioni di allagamento in corrispondenza di alcune sezioni insufficienti con significativi allagamenti della piana. Tale fenomeno è risultato più evidente a monte degli

attraversamenti ferroviari Torino-Genova e dell'autostrada Torino-Piacenza.

Nel comune di Villanova d'Asti sono stati segnalati danneggiamenti al depuratore e a due ponti del t. Banna (strada vecchia Brassicarda) e sul rio Robeirano per erosione delle spalle dei ponti. Il rio Fossalone ha provocato vasti allagamenti a monte dell'autostrada Torino-Piacenza e all'interno dell'abitato di Villanova d'Asti si sono verificati alluvionamenti di alcune abitazioni. Occorre considerare che all'interno dell'abitato il rio Fossalone risulta essere intubato e quindi il fenomeno ha avuto origine per rigurgito della rete fognaria cittadina. Più a valle l'area inondata è risultata notevolmente ampia alla confluenza del rio Verde e del rio Isolabella nel t. Banna, in prossimità della quale sono state inondate alcune abitazioni situate lungo la S.S. n. 29

Anche altri corsi d'acqua della rete idrica minore hanno evidenziato una fascia di esondazione: rio Borgallo, rio Secco, rio Bottalino, rio della Cascinassa, rio Bannette.

Gli allagamenti diffusi sono dovuti al fatto che l'intero bacino è caratterizzato da una elevata impermeabilità dei terreni; i coefficienti di deflusso elevati ed i tempi di corrivazione ridotti nel tratto a valle di Poirino, dove sezioni idrauliche inadeguate provocano gravi conseguenze sugli abitati. A Santena, a partire dalla mezzanotte di sabato 5 novembre 1994, successive ondate di piena hanno provocato estesi allagamenti del centro abitato (1,4 km² di terreni edificati allagati secondo stime del comune). Il picco degli allagamenti è stato raggiunto attorno alle ore 6 del 6 novembre; il deflusso completo delle acque si è avuto solo dopo oltre 24 ore. Si sono avute esondazioni lungo entrambe le sponde, a cui si sono aggiunti gli effetti dirompenti di tre ondate successive: in sponda destra in corrispondenza del ponte di via Cavour e, 450 metri più a monte attraverso il parco della Villa Cavour, in sinistra idrografica circa 200 m a monte del ponte. Gli allagamenti, che hanno coinvolto l'intera vallata del t. Banna e del Tepice con altezze d'acqua intorno al metro, hanno raggiunto la massima



Fig. 20. Comune di Asti. Torrente Borbore. Centralina del metanodotto alluvionata presso Revignano; l'altezza dell'acqua superava 1.5 m.



Fig. 21. Comune di Asti. Torrente Borbore. Taglio di meandro all'altezza di Revignano.

intensità in corrispondenza del centro storico dove si sono avute altezze superiori ai 2 m (2,35 m tra le vie Cavour e Sambuy) ed hanno provocato una vittima e danni a decine di esercizi commerciali, industrie e abitazioni, a scuole, alla biblioteca, ad uffici pubblici, strade e altre infrastrutture.

I danni più gravi si sono verificati a seguito dell'esondazione del t. Banna in destra idrografica, a monte dell'abitato, in corrispondenza del parco della Villa Cavour; l'ondata d'acqua ha attraversato il centro storico e si è riversata per gran parte lungo l'alveo del rio Tepice. Allagamenti con danni ad edifici civili ed industriali si sono avuti anche a Poirino, presso il ponte di via Torino che costituisce un notevole criticità idraulica e presso la regione Masio, in località Pessione di Chieri e nel settore Est di Chieri con allagamento di alcuni edifici e del cimitero. Durante l'evento alluvionale e nei giorni immediatamente seguenti, seria preoccupazione ha procurato lo sbarramento, del lago della Spina in comune di Pralormo, dove l'opera di sbarramento, costituita da un rilevato in terra, manifestava smottamenti sul parametro di valle a causa delle intense precipitazioni che saturavano il rilevato, mettendo a repentaglio la sta-

bilità dello stesso. Il pericolo del cedimento improvviso del rilevato in terra con conseguente repentino svuotamento dell'invaso portava ad emanare alcune ordinanze di sgombero per 300 famiglie che abitavano a valle dell'invaso. Il cessare delle precipitazioni, gli interventi di protezione dello sbarramento attuati mediante la posa di teli impermeabili, lo svuotamento di parte dell'invaso mediante numerose idrovore dei Vigili del Fuoco e dell'Esercito hanno scongiurato ulteriori cedimenti.

Riferimenti bibliografici

GIAMPANI C., RAMASCO M. (Fotoint., rilevam.), ALIATTA P., SUSELLA G. (Rilevam.) (1995) - *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del torrente Bormida*. Tratto I. Scala 1:10.000. REGIONE PIEMONTE - Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - Banca Dati Geologica - CSI Piemonte.

REGIONE PIEMONTE (1996) *Evento alluvionale del 5-6/11/1994 Processi di dissesto ed effetti indotti nell'area delle "Valli Monregalesi"*. Settore Studi e Ricerche Geologiche - Sistema Informativo Prevenzione Rischi, Collana informativa tecnico-scientifica. Quaderni n. 4, 5.

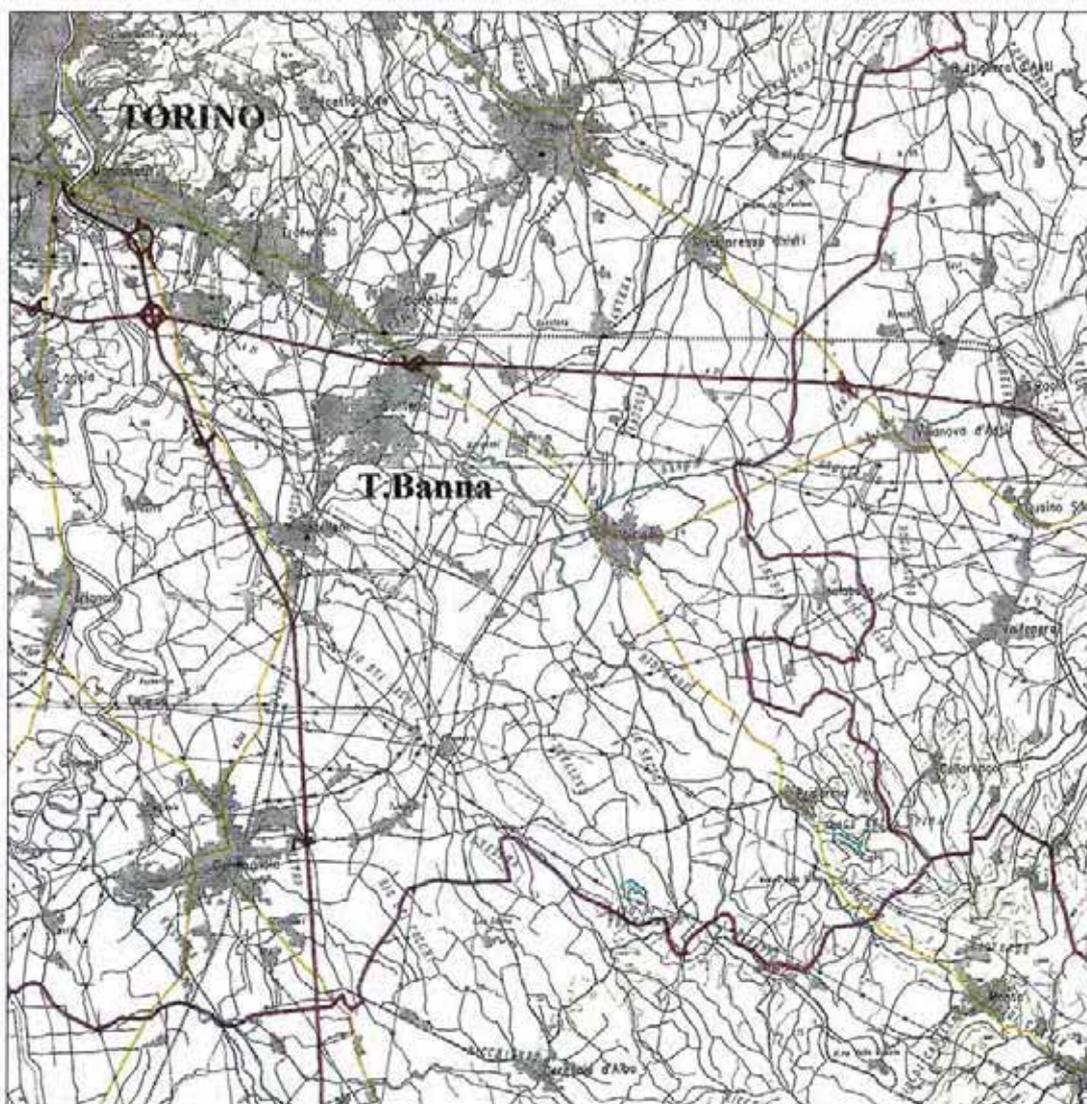


Fig. 22. T. Banna. Schema dell'idrografia del bacino. (Carta Topografica Regionale in scala originale 1:100.000, Regione Piemonte, Assessorato Pianificazione Territoriale - C.S.I. Piemonte).

Processi d'instabilità sui versanti

PREMESSA

Gli ambienti geologici costituenti l'ossatura dei rilievi collinari e alpini del territorio regionale piemontese presentano un'ampia varietà di litotipi di diversa natura ed età. Questa situazione è spiegabile se si rammenta come proprio in questo quadrante europeo si siano concentrate le principali fasi tettoniche tuttora agenti, che hanno determinato la costruzione dell'edificio alpino-appenninico. Questo fatto ha anche creato il presupposto per l'innescò di una contemporanea azione di demolizione del rilievo ad opera dei vari agenti esterni connessi alle variazioni del clima.

In determinati ambiti di questo territorio, la predominanza di certe formazioni geologiche, e le situazioni strutturali e geomorfologiche ad esse associate, hanno determinato le condizioni affinché, sotto l'aspetto dei processi morfodinamici lungo i versanti abbiano preso forma in modo prevalente particolari tipologie di instabilità piuttosto che altre.

L'identificazione e l'analisi di questi diversi raggruppamenti tipologici, nonché una loro tipizzazione a scala regionale sono affrontate per la prima volta in modo organicamente completo nelle Note della Banca Dati Geologica (1990), pubblicazione dell'allora Servizio Geologico della Regione Piemonte predisposta in collaborazione con il CNR-IRPI di Torino e con il supporto informatico del C.S.I.-Piemonte.

Questa "attitudine" territoriale si è manifestata, nel tempo, in modo arealmente palese soprattutto in seguito a quegli eventi idrometeorologici che hanno coinvolto globalmente settori rilevanti della regione, come quanto si è verificato durante l'evento del 1994 oggetto di questo studio monografico.

Le precipitazioni di questo evento (cfr. Cap. 1), nei giorni tra il 2 e il 6 novembre 1994, hanno interessato principalmente, con una progressione che dal Golfo Ligure si è spostata verso la parte settentrionale del Piemonte, le Alpi Liguri, le colline della zona delle Langhe e del Monferrato e, infine, l'area montana tra Ivrea e Varallo Sesia.

In ciascuno di questi ambienti, si sono attivate numerose frane che, in particolare nell'area delle Langhe (Fig. 1), hanno assunto le tipologie e le peculiarità delle fenomenologie che solitamente colpiscono quello specifico ambito territoriale.

Nei capitoli che seguono sono analizzate, in par-

ticolare, due tra le tipologie di instabilità di versante che maggiormente hanno caratterizzato i rilievi piemontesi, ovvero gli *scivolamenti planari* e le *frane a carico delle coperture detritiche*, attraverso l'esame degli ambienti geologici e morfologici maggiormente interessati: la **zona delle "Langhe"**, per entrambe le tipologie, e quelli dell'**Anfiteatro Morenico di Ivrea**, per le frane superficiali.

5.1. PROCESSI D'INSTABILITÀ NELL'AREA DELLE LANGHE

Cenni geologico-strutturali

Dal punto di vista geologico, i rilievi collinari delle Langhe, appartenenti al Bacino Terziario Piemontese, sono rappresentati da successioni ritmiche di rocce sedimentarie terrigene di età compresa tra l'Oligocene ed il Miocene superiore.

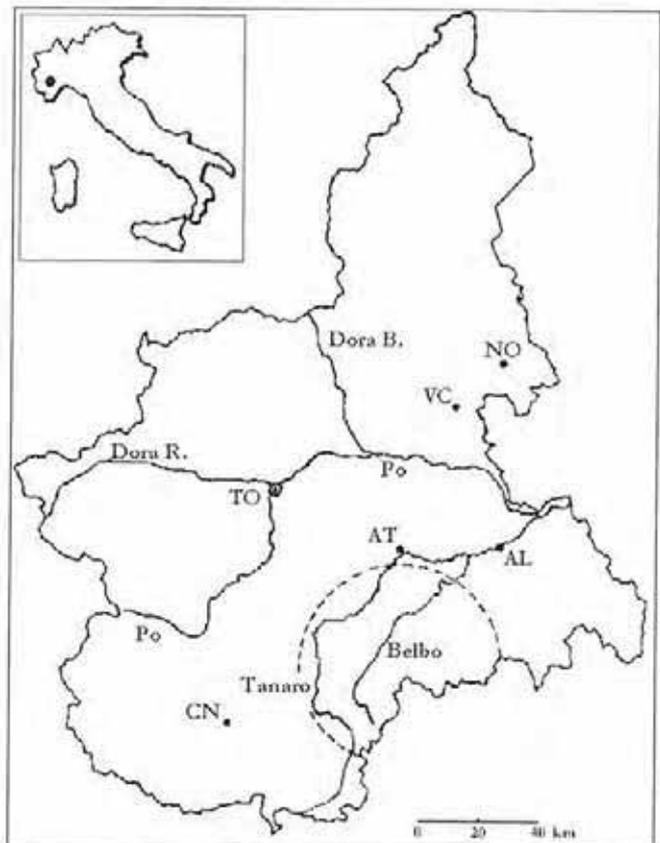


Fig. 1. Inquadramento geografico delle Langhe piemontesi.

Si tratta di *facies* a sedimentazione normale di mare poco profondo passanti ad ambienti di sedimentazione torbiditica conseguenti ad una trasgressione marina che, a partire dall'Oligocene, si è propagata da NE verso SW.

Nella zona centrale la successione Oligo-Miocenica possiede una potenza non inferiore a 4000 m. I litotipi prevalenti sono marnoso-siltosi da grigio-giallognoli ad azzurri ed arenaceo-sabbiosi grigi, gialli e rossastri, potenti anche un paio di metri, ma più frequentemente compresi tra 5 e 50 cm.

Strutturalmente questi depositi sono caratterizzati da una giacitura isoclinale sufficientemente regolare immergente verso NW con un'inclinazione variabile tra 8° e 15°, che ha portato alla formazione di un paesaggio a valli asimmetriche caratterizzate da un versante "lungo" a debole inclinazione conforme alla stratificazione e da uno, opposto "corto", generalmente ripido, inciso sulla testata degli strati (Fig. 2).

Processi di instabilità dei versanti durante l'evento

In questa area particolare (Fig. 1), le piogge della prima decade di novembre hanno determinato, oltre alla crisi generalizzata di tutta la rete idrografica, l'insorgere di un numero talmente elevato di fenomeni franosi, su un territorio così esteso, che non si ha memoria storica di un evento di tale intensità. Per ritrovare qualcosa di analogo, anche se complessivamente non di tale portata, bisogna risalire agli eventi del maggio 1926, maggio 1948, novembre 1968, febbraio 1972 e marzo 1974.

Su questi colline si sono così attivati, in uno spazio temporale relativamente breve, tra le prime ore del mattino di sabato e la notte di domenica 6 novembre, migliaia di movimenti franosi di varia tipologia e dimensione che, interessando centri abitati, singoli edifici, viabilità e infrastrutture, hanno arrecato gravissimi danni, provocando anche alcune vittime (cfr. Tav. 1 fuori testo).

Per quanto concerne l'instabilità dei versanti, si sono identificate essenzialmente tre tipologie di movimento:

1. fenomeni franosi per saturazione e mobilizzazione dei materiali sciolti costituenti le coperture super-

ficiali, sviluppatasi prevalentemente sui versanti più acclivi;

2. fenomeni franosi coinvolgenti il substrato roccioso anche a notevole profondità, sviluppatasi come scivolamenti planari lungo giunti paralleli alle superfici di strato, aventi inclinazione compresa tra 8° e 15°, generalmente coincidente con quella dei versanti;

3. fenomeni franosi coinvolgenti le coperture più potenti e talora parti di substrato più disaggregato, sviluppatasi come scorrimenti rotazionali, su versanti generalmente più acclivi dei precedenti e diversamente orientati.

L'analisi preliminare delle caratteristiche dinamiche ed evolutive di ogni specifica fenomenologia ha indirizzato l'attenzione verso quei processi di instabilità che lasciavano presupporre una recrudescenza dei movimenti. La conseguente valutazione del rischio residuo ha portato alle seguenti considerazioni:

1. le frane per saturazione e mobilizzazione dei materiali sciolti superficiali si sono innescate ed esaurite nel corso dell'evento; si è potuto pertanto, in generale, escludere la mobilizzazione di ulteriori masse instabili poste al contorno delle aree coinvolte, ritenendo che future precipitazioni di una certa consistenza avrebbero provocato l'instabilità di altri settori di versante difficilmente identificabili;

2. gli scivolamenti planari sono stati riconosciuti come le fenomenologie di maggiori dimensioni più ricorrenti e più diffuse arealmente. In molti casi le frane osservate sono risultate essere riattivazioni di fenomeni passati e gli elementi morfostrutturali che le hanno contraddistinte hanno mostrato una netta corrispondenza con quelli precedentemente individuati. In molti altri casi si sono mobilizzati ben localizzati settori di versante all'interno di più antichi e grandi fenomeni gravitativi, senza peraltro coinvolgerli nella loro globalità. Si è riscontrato infine, anche se in percentuale molto minore, lo sviluppo di scivolamenti planari di neoformazione, generalmente caratterizzati da dimensioni non rilevanti. In merito alle caratteristiche evolutive di questo tipo di frane, si è rilevata un'ampia variabilità di situazioni che andavano dalla semplice apertura di fessurazioni, profonde anche 15-20 m e con sviluppo lineare che in alcuni casi raggiungeva alcune centinaia di metri, senza

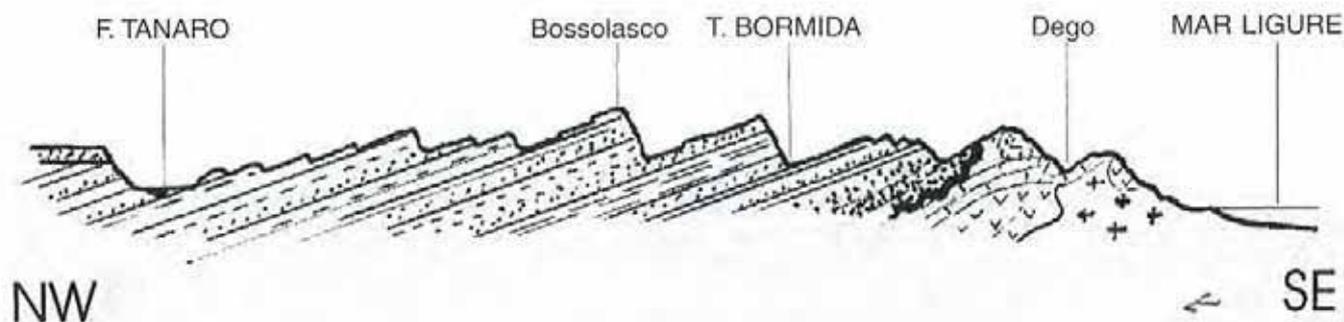


Fig. 2. Profilo schematico dimostrativo della situazione strutturale del substrato nell'area delle Langhe tra il fiume Tanaro e il Mar Ligure. La sezione posta da NW a SE mostra la disposizione, in monoclinale, della successione sedimentaria del Bacino Terziario Piemontese posta in discordanza (verso destra) sui litotipi preoligocenici appartenenti ai Domini Brianzonese e Piemontese.



Fig. 3. Comune di Feisoglio, località Piazza. Poco a valle di una vecchia scarpata si sono delineate alcune fratture perimetrali legate all'attivazione del 1994.

sensibili dislocazioni di massa (Fig. 3, 3 bis) fino, attraverso vari stadi evolutivi intermedi (Fig. 4), allo scivolamento ed allo scompaginamento dell'intera massa dislocata (Fig. 5, 5 bis).

Per tutte le motivazioni elencate, il rischio residuo per queste fenomenologie risultava essere piuttosto elevato, sia a breve sia a lungo termine. Le situazioni rilevate hanno richiesto già nei primi giorni dopo l'evento una particolare specifica attenzione, in quanto hanno evidenziato condizioni di diffusa pericolosità che si sono manifestate progressivamente con processi tardivi che avrebbero potuto evolvere in senso peggiorativo in funzione del deterioramento delle caratteristiche di resistenza dei materiali coinvolti e delle mutate condizioni ambientali;



Fig. 4. Comune di Rocca Cigliè, regione Molle. Ripresa aerea di un ampio settore di versante coinvolto in uno scivolamento planare arrestatosi in una fase di evoluzione "intermedia".



Fig. 5. Comune di Murazzano, località C. Bruciata. Lo spettacolare scivolamento planare che ha interrotto la strada statale tra Murazzano e Bossolasco, può essere preso come esempio di un processo evoluto.

3. gli scivolamenti rotazionali, benché fossero caratterizzati anch'essi da un certo rischio residuo, imputabile alla possibile mobilitazione di settori limitrofi, sono risultati tuttavia in numero limitato e perlopiù localizzati in aree poco antropizzate.

Indagini e studi

In conseguenza di quanto verificatosi, nel corso dell'evento, con l'obiettivo di fornire gli strumenti di conoscenze di base per attuare misure di salvaguardia della pubblica incolumità e pianificare gli interventi di sistemazione, sono state condotte in modo sistematico numerose indagini, coinvolgendo più figure professionali coordinate dal Settore Studi e Ricerche Geologiche-Sistema Informativo Prevenzione Rischi della Regione Piemonte.

Le indagini e gli studi condotti a seguito dell'evento hanno quindi privilegiato la valutazione dell'instabilità inerente gli scivolamenti planari senza peraltro escludere l'esame delle altre tipologie dissestive.

Il lavoro è essenzialmente consistito in una fase di raccolta dati ed in una successiva conduzione di analisi a posteriori al fine di definire i principali fattori influenzanti l'instabilità.

Le attività si sono articolate nel seguente modo:

- *Attività in corso di emergenza*

(a) istituzione di un Gruppo di Lavoro multidisciplinare Regione Piemonte, C.N.R.-IRPI e Politecnico di Torino avente il compito di indirizzare le indagini;

(b) individuazione e mappatura in scala 1:25.000 dei processi di instabilità mediante interpretazione di fotografie aeree scattate pochi giorni dopo l'evento alluvionale, alla scala 1:20.000 (attività svolta in collaborazione con il C.N.R.-IRPI di Torino) (Fig. 10);

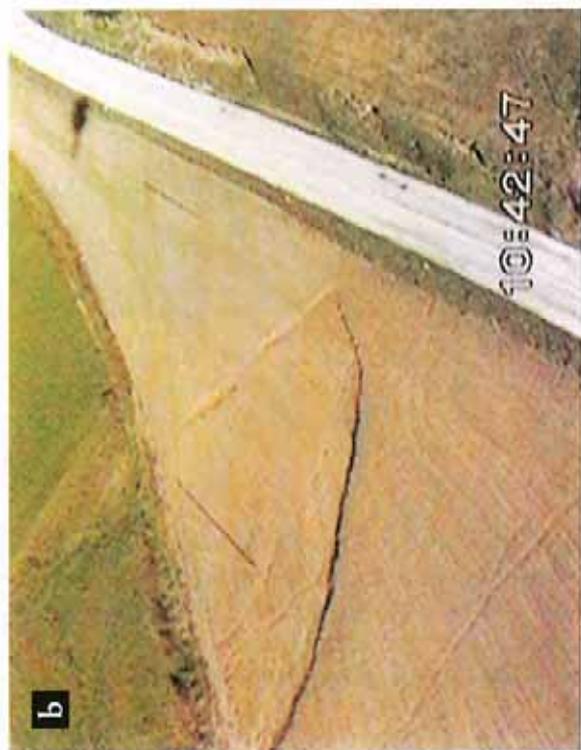
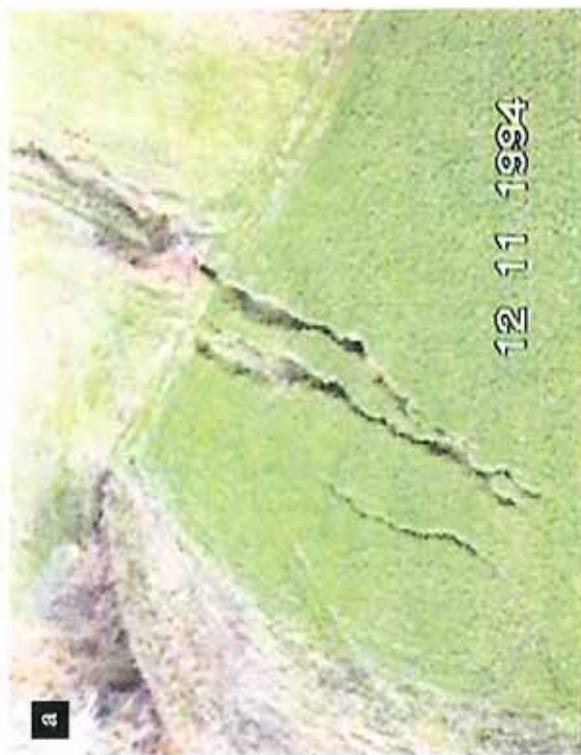


Fig. 3 bis. Frane per scivolamento planare nelle Langhe. Indizi morfologici e tipologie evolutive: a) fratture di trazione legate ad un stato di "incipienza" del movimento; b) fratture di trazione e scarpata di modesto rigetto in zona sommitale di un movimento incipiente; c) limite superiore della langhezza di poco inferiore ad un centinaio di metri, di un settore di versante impegnato da un movimento incipiente; d) limitato movimento, identificabile anche dalle fratture laterali, in un settore già affetto da movimenti pregressi.

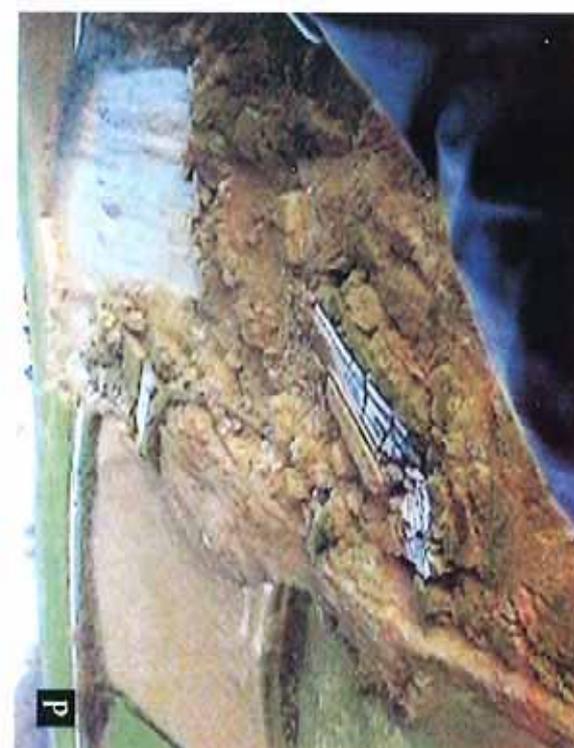
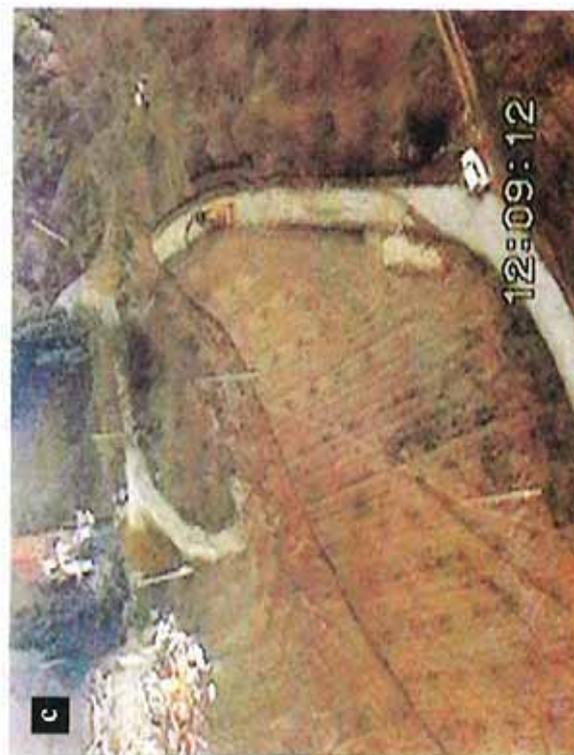


Fig. 5 bis. Frane per scivolamento planare nelle Langhe. Indizi morfologici e tipologie evolutive: a) movimento parzialmente evoluto con intersezione di fratture in zona di nicebia; b) ondulazioni nella parte terminale di un accumulo, collegabili ad un settore di compressione; c) limite laterale sinistro, con evidente traslazione della sede viaria, in un movimento "evoluto"; d) ampia esposizione del piano di scivolamento, con sovrascorrimento di parte del materiale oltre il fianco destro, in un movimento "evoluto".

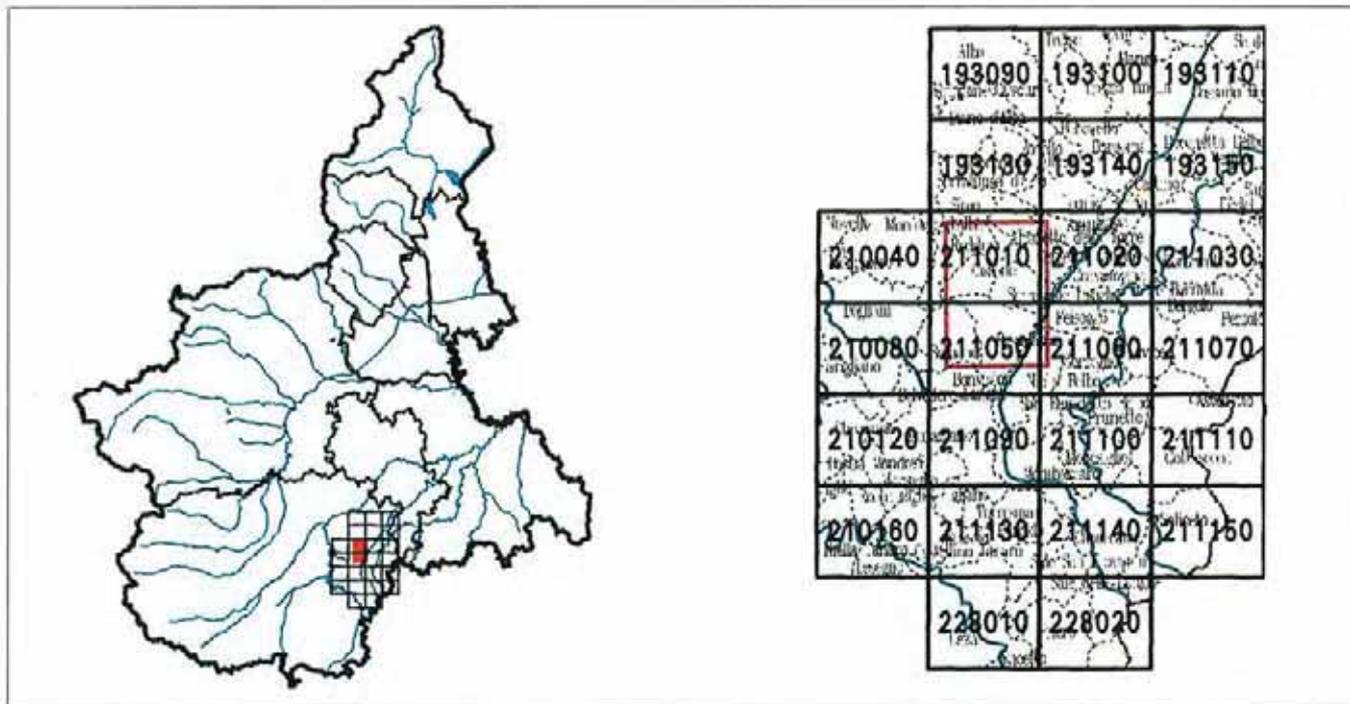


Fig. 6. Quadro delle Sezioni della Carta Tecnica Regionale, in scala 1:10.000, utilizzate come supporto cartografico per l'elaborazione dello studio sugli scivolamenti planari. In rosso è identificata l'area rappresentata nella Tav. 5 fuori testo.

(c) definizione di criteri di raccolta dati e di una metodologia di rilevamento (attività svolta in collaborazione con il C.N.R.-IRPI di Torino);

(d) compilazione di schede tipo con creazione di database specifico.

• *Attività di gestione post-evento*

(a) stesura di cartografie tematiche inerenti i processi di instabilità alla scala 1:10.000, mediante analisi interpretativa delle foto aeree integrata da rilevamento e controlli di terreno (Fig. 5);

(b) analisi retrospettiva dei processi di instabilità, eseguita sulla base dei dati raccolti e delle diverse situazioni esaminate.

5.1.1. Frane per scivolamento planare

Identificazione del processo

Le conoscenze acquisite nel corso degli anni dal Settore Studi e Ricerche Geologiche della Regione Piemonte, anche attraverso l'analisi della letteratura esistente, hanno permesso di collocare le singole frane per scivolamento planare delle "Langhe" Piemontesi in un contesto di dissesto arealmente diffuso, in ragione dell'elevato numero di casi, della tipicità del fenomeno e della ricorrenza nel tempo.

Sia pure in modo puntuale ed episodico, già all'inizio del secolo alcuni Autori avevano posto l'attenzione sugli scivolamenti planari, riportando casi eclatanti già allora conosciuti. Il grave evento alluvionale del 4-6 novembre 1994 ha rifocalizzato l'attenzione su questa problematica, poiché su un'area di 800 km² compresa tra Alba e Ceva (S-N) e Dogliani e Roccaverano (W-E), sono stati individuati circa 800 movimenti franosi, la maggior parte dei quali si sono concentrati in un'area più ristretta di circa 400 km² (Fig. 7).

Le frane per scivolamento planare suscitano notevole interesse per le seguenti caratteristiche:

– *peculiarità geologico-stratigrafiche*

Sono fenomeni che si attivano esclusivamente in formazioni oligo-mioceniche, costituite in prevalenza da litotipi marnosi, marnoso-siltosi ed arenaceo-sabbiosi in successioni ritmiche caratterizzate da una disposizione giaciturale monoclinale poco o nulla variabile.

Gli scivolamenti planari si determinano infatti esclusivamente lungo giunti orientati a NW aventi inclinazioni prossime a quella dei pendii disposti a frana-poggio generalmente compresi tra 8° e 14°.

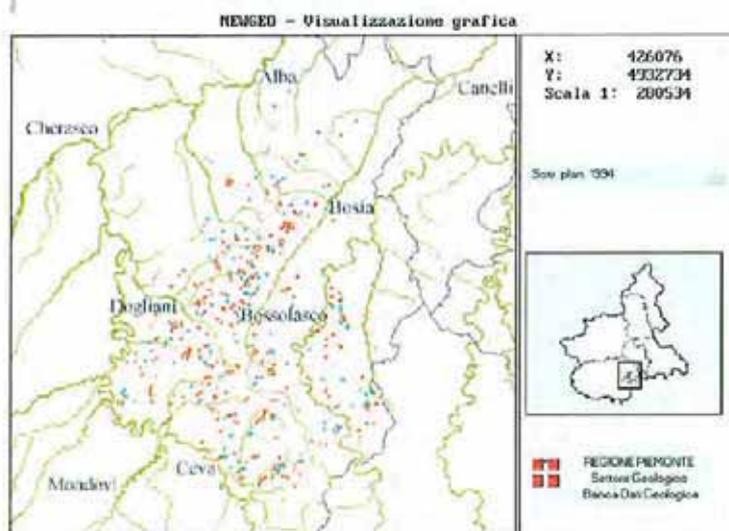


Fig. 7. Distribuzione spaziale delle frane per scivolamento planare durante l'evento alluvionale del novembre 1994.

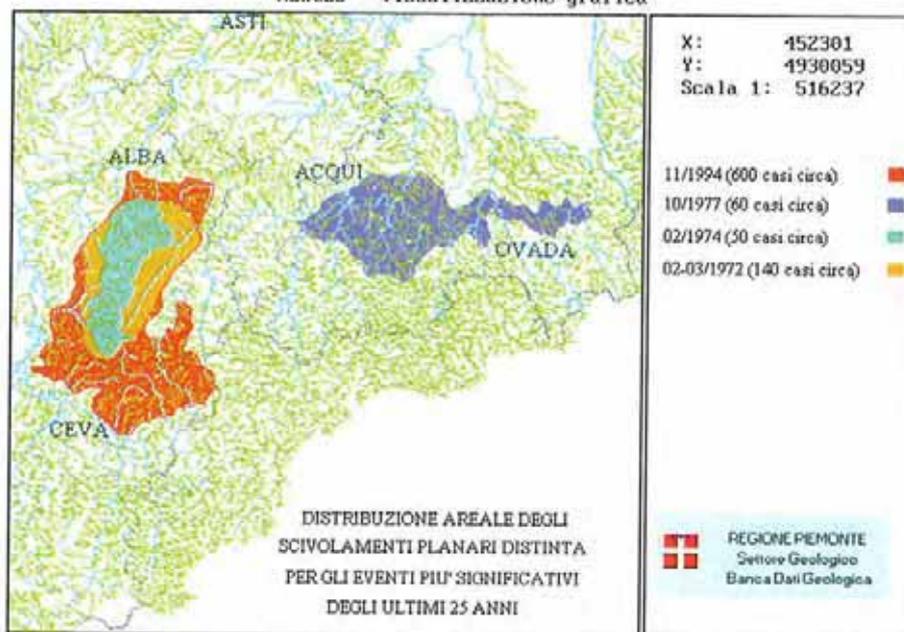


Fig. 8. Distribuzione areale degli scivolamenti planari, distinta per gli eventi più significativi dal 1972.

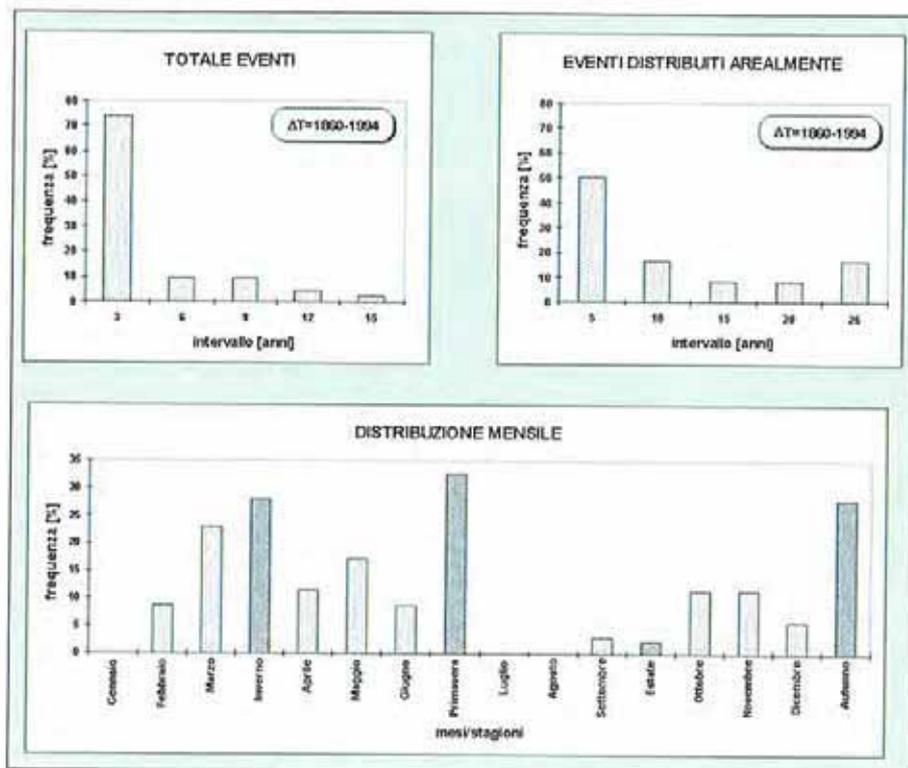


Fig. 9. Distribuzione temporale degli scivolamenti planari nel periodo 1864-1994 derivata dall'analisi dei dati storici del Sistema Informativo Geologico regionale.

- elevato numero di casi riscontrati

Sono stati censiti nel Sistema Informativo Geologico della Regione Piemonte oltre 2000 fenomeni franosi distinti in attivi e quiescenti, la cui localizzazione ben si accorda con la delimitazione geografica delle Langhe Piemontesi; nell'evento del 1994 ne sono stati riconosciuti circa 800 e in quello del 1972, nelle sole regioni di Bossolasco e Serravalle Langhe sono stati distinti 140 differenti settori coinvolti da scivolamenti planari;

- alta ripetitività accertata

La distribuzione spaziale degli scivolamenti planari, distinta per gli eventi più significativi degli ultimi

25 anni, evidenzia che la zona avente baricentro all'incirca in Bossolasco è stata interessata per ben tre volte da eventi di un certo rilievo, ovvero febbraio 1972, marzo 1974 e novembre 1994 (Fig. 8). La distribuzione temporale delle frane per scivolamento planare avvenute nel periodo 1860-1994, ricavata dal Sistema Informativo Geologico della Regione Piemonte, indica come nel 70% dei casi la frequenza di eventi idrometeorologici che hanno innescato fenomeni franosi di un certo rilievo, seppure in differenti settori delle Langhe e con diversa distribuzione spaziale, è di circa 3 anni (Fig. 9). La stessa aumenta fino a 5 anni, per instabilità arealmente più diffusa (coin-

volgenti contestualmente uno o più bacini). Inoltre, la distribuzione mensile degli eventi, calcolata nel medesimo intervallo 1860-1994, sebbene evidenzia una maggior ricorrenza di frane tardo-primaverile ed autunnale, sottolinea come nessun periodo dell'anno, ad eccezione dei mesi estivi, sia esente dal manifestarsi di tali processi;

– caratteristiche evolutive

Il cinematismo passa attraverso una prima fase preparatoria (comparsa in superficie di fratture di trazione più o meno continue nelle parti medio-alte del pendio e di rigonfiamenti del terreno nelle parti inferiori), perdurante nel tempo anche per alcuni decenni, ma che può ridursi a scarsi segnali premonitori anticipanti di poche ore, o minuti, il collasso vero e proprio. Il movimento propriamente detto, cioè la traslazione in massa di uno o più blocchi solidali, dura in genere da alcune ore, nei fenomeni più ampi, fino a pochi minuti in quelli circoscritti. Una terza ed ultima fase comprende movimenti relativi di adattamento e demolizione delle zolle traslate fino a giungere, in tempo sufficientemente breve e per gran parte dei fenomeni, alla costituzione di una copertura detritica continua che oblitera il piano di scorrimento già visibile e nella quale mal si distinguono vaghe prominente derivate dalle masse più voluminose (Govi et al., 1985; Susella, 1996).

Studi e risultati

Come accennato in precedenza, in fase di emergenza, si è reso necessario avere un quadro preliminare complessivo, in merito alle frane che si erano sviluppate nel corso dell'evento.

Per raggiungere questa conoscenza in tempi relativamente brevi è stata eseguita una fotointerpretazione speditiva volta ad individuare i principali corpi franosi e le situazioni di instabilità più significative, poi rappresentate alla scala 1:25.000 (Fig. 10).

Un'analisi generale delle tipologie di movimento che si sono attivate e degli effetti indotti hanno consentito di creare una prima valutazione in relazione alla quale è stato predisposto un *database* adatto a raccogliere tutte le informazioni ricavabili dalla sola fotointerpretazione.

Il lavoro svolto ha dovuto sottostare alla necessità di esecuzione in tempi brevi per poter fornire le informazioni di base a chi operava sul territorio nella gestione dell'emergenza.

Questa prima fase di lavoro ha comunque permesso di classificare 471 fenomeni franosi.

Successivamente, grazie all'esperienza già acquisita in anni di studio sui processi di instabilità dei versanti ed, in particolare, proprio sugli scivolamenti planari, è stato possibile stabilire fin dall'inizio una metodologia di analisi del territorio in relazione a quanto verificatosi. Per ogni singolo fenomeno individuato sono stati quindi adottati ben precisi criteri di rilevamento e raccolta dati sul terreno, stabilendo priorità in relazione allo stato di pericolosità e alle

caratteristiche delle frane individuabili in seno alle cartografie che venivano man mano prodotte con l'attività di fotointerpretazione. Sono state così elaborate specifiche schede riguardanti gli scivolamenti planari (Fig. 11).

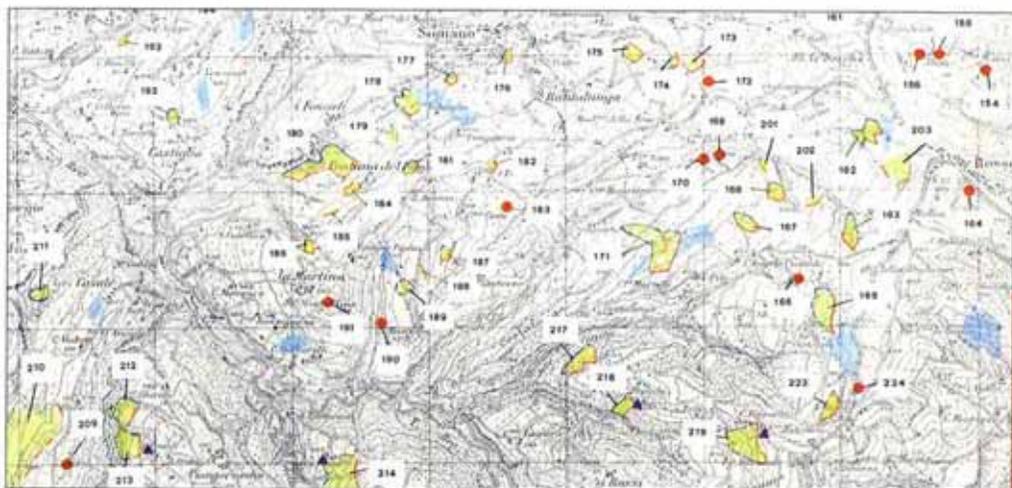
Per ogni frana è stato così possibile raccogliere informazioni sulle sue caratteristiche tipologiche ed evolutive, sulle caratteristiche geometriche e strutturali delle masse traslate e delle zone al contorno, sugli effetti e danni indotti, senza peraltro tralasciare la variabile *tempo* dei movimenti ricavabile da interviste in loco, dall'individuazione dei primi segni premonitori fino al momento del collasso generale. Anche in questo caso i dati sono stati inseriti in un *database* specifico; le informazioni così raccolte, hanno mostrato una buona correlazione con le informazioni ricavate dalle fotografie aeree, confermando la validità dello strumento fotointerpretativo.

Nella seconda fase del lavoro, superata l'emergenza, ci si è resi conto che un evento di questo genere, benché disastroso sul piano economico e sociale, avrebbe rappresentato un'occasione irripetibile di conoscenza di questi fenomeni e che pertanto sarebbe stato fondamentale analizzare il più dettagliatamente possibile quanto verificatosi per poter affinare al massimo gli strumenti della prevenzione e della previsione.

Si è così deciso di riprendere l'analisi fotointerpretativa scendendo nel dettaglio di una rappresentazione al 10.000. Il limite intrinseco dovuto alla scala (1:20.000) della ripresa aerea, è stato in gran parte superato, vuoi dall'affinamento delle capacità fotointerpretative raggiunto dagli operatori, vuoi dalla possibilità, in questa seconda fase, di integrare quanto ricavato dalla fotointerpretazione con una notevole massa di informazioni provenienti dalle attività di gestione dell'emergenza e da rilevamenti specifici di terreno finalizzati a riconoscere gli elementi dubbi o non visibili dalle fotografie aeree.

Il risultato di questo studio si è concretizzato in 24 sezioni alla scala 1:10.000, di cui la Tav. 5 fuori testo rappresenta un esempio, e nel censimento e nella rappresentazione grafica di più di 800 frane. Con questa metodologia di lavoro, oltre i limiti del corpo franoso, sono state rappresentate anche molte caratteristiche geometriche-cinematiche del movimento e sono state cartografate tutte le frane di una certa rilevanza caratterizzate da tipologie di movimento differenti dagli scivolamenti planari. In molti casi sono stati evidenziati settori di versante che, pur non potendo essere definiti con limiti precisi e quindi identificati come frane, tuttavia associavano indizi morfologici di presunta generale instabilità e quindi erano da ritenersi settori a rischio.

Queste cartografie tematiche, oltre alla rappresentazione delle varie frane e delle caratteristiche fisiche che le contraddistinguono, contengono anche molte informazioni inerenti i periodi di passate riattivazioni, gli effetti e danni indotti, nonché le attività di controllo e di monitoraggio che per alcune di queste sono state attuate.

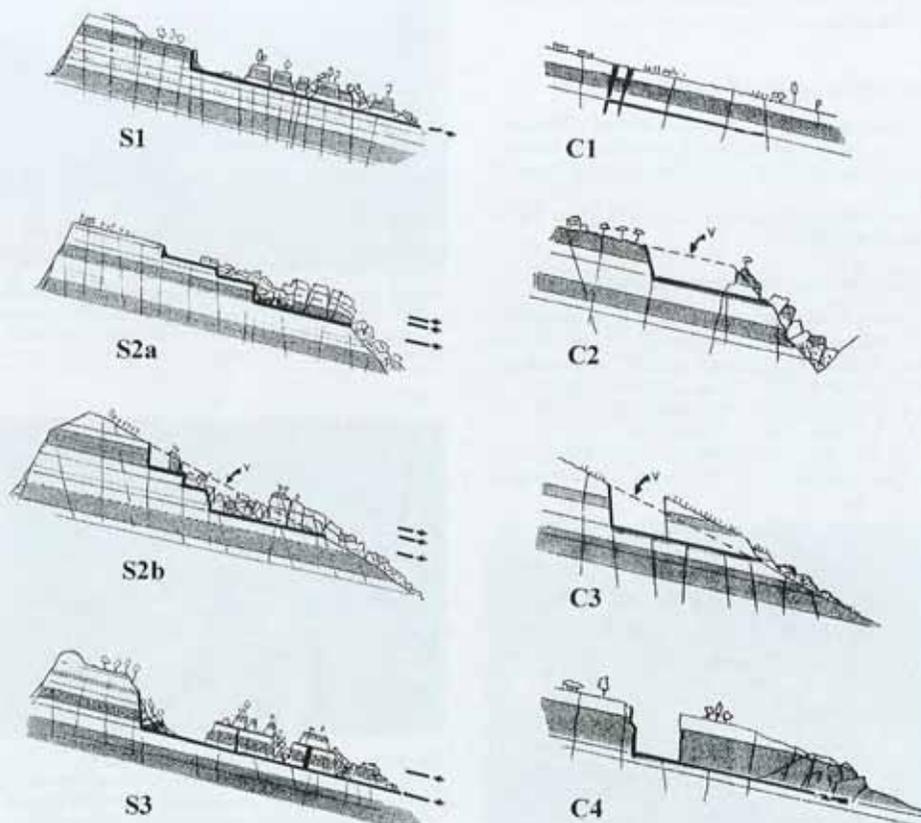


DESCRIZIONE TIPOLOGIA	SIGLA	SIMBOLOGIA	
		Individuazione approssimativa dell'area	Fenomeni di instabilità riconosciuti
FENOMENO INCIPIENTE Caratteri distintivi: apertura di fratture e fessurazioni, anche profonde nel terreno; deboli rigonfiamenti ed ondulazioni.	A		 scarpata principale o/o frattura limite incerto limite certo
FENOMENO EVOLUTO a) che appare confinato al piede. Caratteri distintivi: maggiore apertura delle fratture, buona definizione dei limiti di taglio laterale, significativi fenomeni di rigonfiamento o sovraccorrimento al piede.	B		
FENOMENO EVOLUTO b) libero al piede. Caratteri distintivi: esposizione della superficie di scivolamento, suddivisione in zolle del corpo mobilizzato, formazione di colate al piede.	C		
INDIZIO DI LOCALIZZATA RIATTIVAZIONE RECENTE SU ANTICA FRANA	T		
FRANA NON CARTOGRAFABILE	K		
AREA CON INDIZI MORFOLOGICI DI PRESUNTA INSTABILITÀ (Necessità di accertamenti sul terreno)			

21 Codice identificativo

DANNI ED EFFETTI INDOTTI	SIGLA	SIMBOLOGIA
Centri abitati danneggiati o distrutti	D	
Centri abitati minacciati	E	
Nuclei abitati o singoli edifici danneggiati o distrutti	F	
Nuclei abitati o singoli edifici minacciati	G	
Viabilità danneggiata o distrutta	H	
Viabilità minacciata	I	
Sbarramenti alla rete idrografica minore verificatisi	L	
Sbarramenti alla rete idrografica minore potenziali	M	

Fig. 10. Rappresentazione cartografica alla scala 1:25.000 delle situazioni di instabilità riconosciute attraverso fotointerpretazione speditiva.



Piano di scivolamento

- S1** Piano continuo
S2a Piano a gradoni (versante parallelo);
S2b Piano a gradoni (versante convergente)
S3 Piani multipli

Corpo di frana

- C1** Evoluzione incipiente: apertura di fratture e fessurazioni, locali ondulazioni e rigonfiamento del versante nei tratti inferiori
C2 Evoluzione libera piano-parallela: avviene in versanti con giunti di strato aventi medesima inclinazione del pendio
C3 Evoluzione libera sovrascorrente: avviene in versanti più inclinati dei giunti di strato
C4 Evoluzione confinata: lo spostamento avviene a scapito della deformazione del piede.

Fig. 12. Caratterizzazione tipologica degli scivolamenti planari.

Tutti i dati raccolti mediante l'analisi fotointerpretativa e la raccolta sistematica di dati sul terreno (circa 300 schede di rilevamento) ha portato ai risultati che vengono di seguito sintetizzati.

CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICA

I movimenti sono stati caratterizzati tipologicamente secondo la geometria del piano di scivolamento e del corpo di frana in accordo con lo schema di Fig. 12.

In relazione alle caratteristiche tipologiche è possibile affermare che:

dati derivati dalle schede di rilevamento

- oltre la metà delle frane prese in considerazione si sono manifestate come fenomeni incipienti (Fig. 3 bis, 13) mentre fra le forme evolute, si è rilevato un 26.8% di tipologia "sovrascorrente" (Fig. 14), un 6.7% di tipologia "libera piano-parallela" (Fig. 15) e 11.49% di tipologia "confinata" (Fig. 16);

- il 51% circa dei fenomeni riconosciuti si colloca all'interno di più vasti fenomeni gravitativi rap-



Fig. 14. Comune di Mombarcaro. Lo scivolamento planare, ripreso nell'immagine, è tipologicamente classificabile come "sovrascorrente" così come dimostra la progressione dell'accumulo, in parte, al di sopra della superficie del versante.



Fig. 15. Comune di Mango, località S. Ambrogio. La tipologia "libera piano-parallela", alla quale appartiene questo processo, è definita "libera" dalla presenza di una sovraincisione al piede del movimento e "piano-parallela" dall'evidente parallelismo tra inclinazione degli strati e superficie topografica.



Fig. 16. Cissono, Località Madonna della Cassina. Vista aerea generale della frana per scivolamento planare; in alto la scarpata principale, in basso le ondulazioni derivate dalla compressione e da locale sovrascorrimento.



Fig. 13. Immagine in ripresa obliqua di uno scivolamento planare apparentemente arrestatosi in una fase iniziale, seppure ben delimitato da fratture laterali.

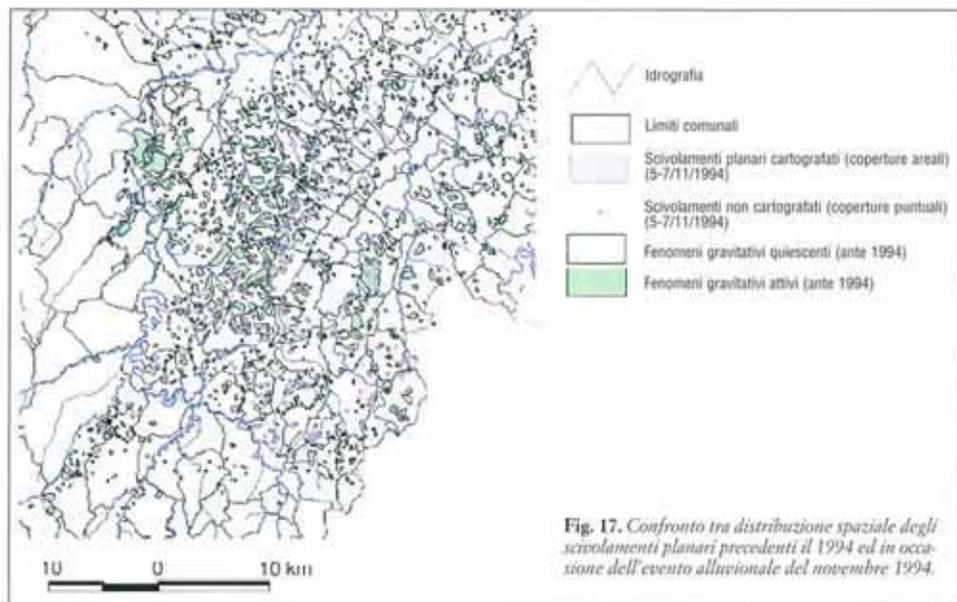


Fig. 17. Confronto tra distribuzione spaziale degli scivolamenti planari precedenti il 1994 ed in occasione dell'evento alluvionale del novembre 1994.

presentati nella cartografia alla scala 1:100.000 (del sistema informativo geologico) rivestendo un significato di locali riattivazioni. L'analisi di quest'ultime rapportate alle formazioni affioranti, mostra che i complessi litologici più colpiti (Fig. 18) sono le formazioni di Murazzano (36.78%), di Lequio (22.69%) e di Cassinasco (19.14%), sia per le loro peculiarità litologiche sia per la maggior estensione areale che le caratterizza. Valori decisamente più bassi si ritrovano nelle formazioni di Cortemilia (6.38%), nella marna di Paroldo (5.67%), nella formazione di Rocchetta (5.07%) e di Monesiglio (3.54%). Queste ultime formazioni hanno una distribuzione areale minore rispetto alle altre, fatta eccezione per quella di Cortemilia che tuttavia è caratterizzata da litologie arenacee più competenti.

dati derivati dalla cartografia tematica alla scala 1:10.000

– il successivo esame delle oltre 800 frane rilevate alla scala 1:10.000 rapportate alle formazioni geologiche coinvolte ha evidenziato le percentuali rappresentate in figura (Fig. 19).

DINAMICA ED EVOLUZIONE

dati derivati dalle cartografie tematiche alla scala 1:10.000

Uno studio fotointerpretativo dell'evento verificatosi nel 1972, integrato da informazioni storiche di archivio contenute nel sistema informativo geologico



Fig. 18. Riattivazioni di frane per scioglimento planare precedenti l'evento del novembre 1994 distinte per formazione (Foglio 1:100.000 n. 81 Ceva).

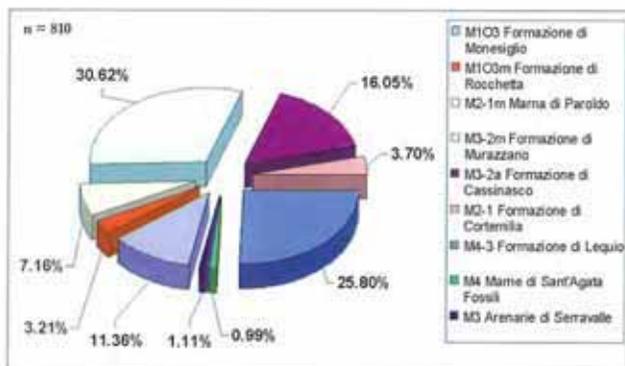


Fig. 19. Distinzione delle frane per scioglimento planare rilevate in funzione delle formazioni geologiche coinvolte.

e da interviste alla popolazione residente, basate su una discreta memoria storica dell'evento, ha consentito di realizzare, per due sezioni significative della carta tecnica regionale alla scala 1:10.000 (Serravalle e Bossolasco), una rappresentazione esaustiva degli effetti indotti da quell'evento. Attraverso il confronto dei quadri conoscitivi desunti per i due eventi (1972-1994), si possono trarre utili considerazioni sulle caratteristiche dinamiche ed evolutive dei processi attivatisi, ovvero:

- a) la percentuale di aree interessate da frane nei due diversi eventi è stata sostanzialmente equivalente;
- b) un significativo numero di frane (62%), aventi dimensioni superiori all'ettaro, si sono riattivate nel novembre 1994, con le seguenti modalità:

- riprendendo, nel 58% dei casi, gli elementi strutturali principali che avevano governato i movimenti del 1972 (Fig. 20),

- ampliando, nel 42% dei casi, settori di frana attivatisi nel 1972 (Fig. 21),

- c) un discreto numero di frane (32%) verificatesi nel febbraio 1972 sempre con dimensione superiore all'ettaro, non ha manifestato segni di movimento nel 1994, fatta esclusione per alcune grandi frane (6%) che hanno fatto registrare piccoli locali assestamenti.

Infine numerose frane di piccole dimensioni ed isolate fratture di trazione si sono manifestate, nel corso dell'evento del 1994, in settori di versante che negli anni precedenti non avevano mostrato segni di movimenti riconoscibili.

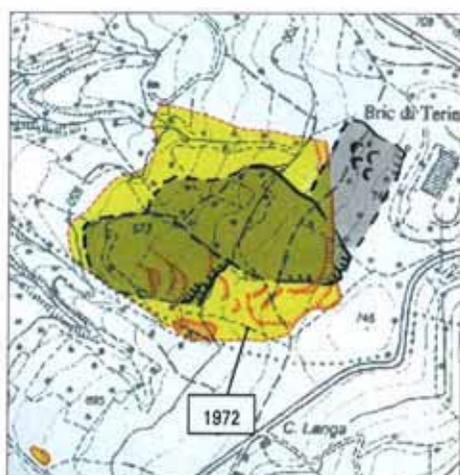
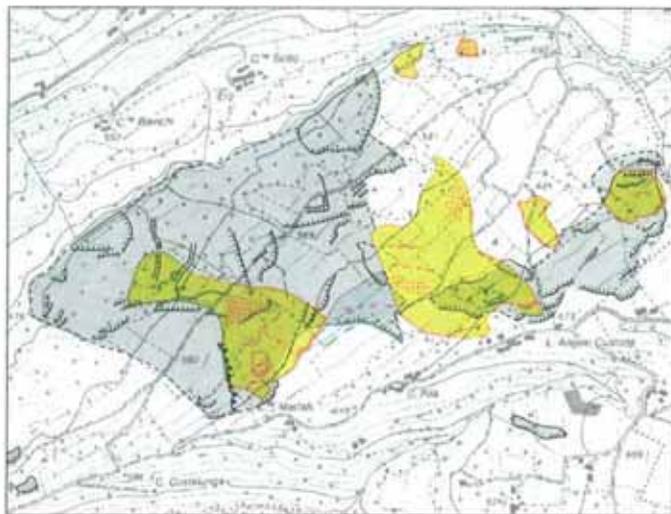


Fig. 20. Stralcio dalla cartografia, in originale a scala 1:10.000, "Gli scioglimenti planari nel territorio delle Langhe piemontesi attivatisi durante l'evento del 4-6 novembre 1994", Regione Piemonte, 1997. In figura sono riportati due esempi (località Case Cagnasso e Bric di Terino) riguardanti la ripresa di elementi strutturali, evidenziatisi nel 1972 (in grigio), da parte di movimenti attivatisi nel 1994 (in giallo).

Fig. 21. Stralcio dalla cartografia, in originale a scala 1:10.000, "Gli scivolamenti planari nel territorio delle Langhe piemontesi attivati durante l'evento del 4-6 novembre 1994", Regione Piemonte, 1997. Nell'immagine, località C. Costalunga, è riportato un esempio di ampliamento di un settore attivatosi nel 1972 (in grigio) da parte di un movimento innescatosi nel 1994 (in giallo).



dati derivati dalle schede di rilevamento

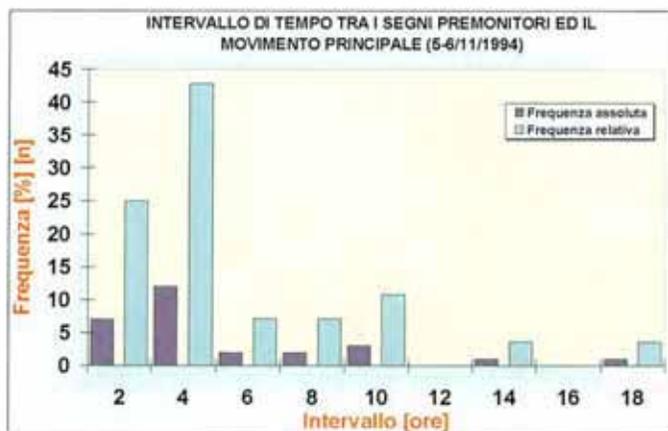
Durante il lavoro di raccolta dati in situ, sono state effettuate numerose interviste tendenti a ricostruire i tempi e la dinamica dei movimenti. In particolare, si sono raccolte alcune interessanti notizie sul momento dell'innesco delle frane, fatto coincidere con la comparsa dei primi segni premonitori (percezione dei primi movimenti, comparsa di lesioni e prime fessurazioni su manufatti o terreni) e sull'ora del collasso, vale a dire il momento in cui si sono avuti i maggiori e più significativi movimenti. Si constata in generale un significativo intervallo di tempo (oltre le 2 ore per il 75% dei casi) tra la comparsa dei primi segni premonitori e la fase di collasso (Fig. 22). Dall'analisi di questi dati (70 casi circa), emerge che la quasi totalità delle frane si è attivata tra il pomeriggio e la notte del sabato 5 novembre con punte

massime tra le ore 20.00 e le ore 24.00 di quello stesso giorno (Fig. 23).

L'esame dei dati di rilevamento ha consentito di ricavare una popolazione di 108 misure utili per valutare l'elongazione, intendendo con questo termine la distanza tra la scarpata principale ed il limite inferiore dell'accumulo o della zona interessata da movimento percettibile. Dalla fig. 24 si nota come oltre il 65% delle misure corrisponda ad elongazioni comprese entro 100 m. Al fine di integrare le informazioni ricavate in campagna è stata inoltre condotta un'indagine sulla stima delle elongazioni mediante interpretazione delle fotografie aeree scattate nei giorni successivi all'evento.

Operando in tal modo sono state determinate 373 misure dell'elongazione. Anche in tale situazione il 50% dei casi corrisponde a valori compresi entro i 100 m (Fig. 24).

Fig. 22. Intervallo di tempo tra la comparsa dei primi segni premonitori ed il movimento principale (fase di collasso).



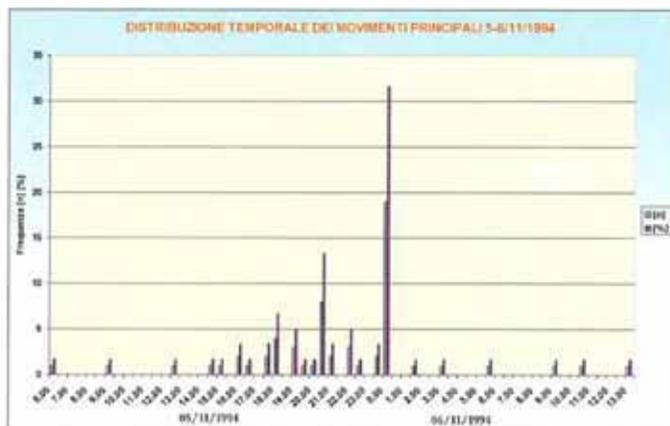


Fig. 23. Distribuzione temporale dei movimenti principali. Il picco in corrispondenza della mezzanotte del 6 novembre si riferisce a dati relativi ad eventi che dalle testimonianze sono avvenuti nella notte tra il 5 ed il 6 novembre. Per semplicità, dunque, sono stati attribuiti alla mezzanotte.

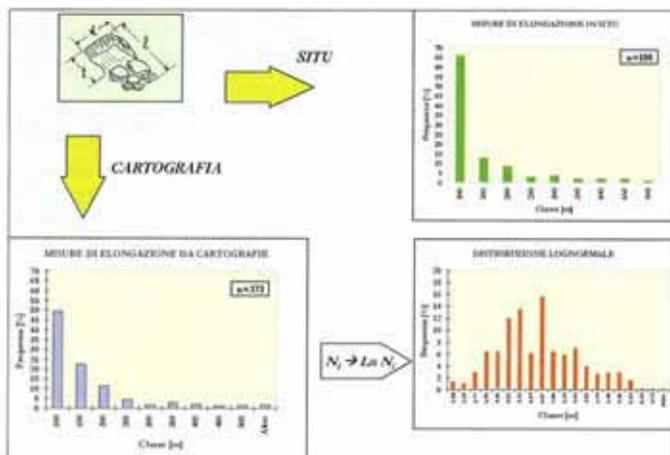


Fig. 24. Distanza tra la scarpata principale ed il limite inferiore dell'accumulo.

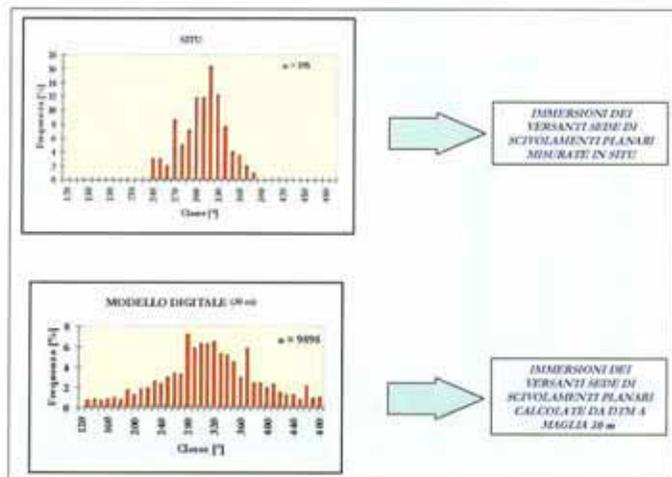


Fig. 25. Confronto tra le immersioni dei versanti interessati da frane per scivolamento planare ottenute da misure in situ e da modello digitale del terreno.

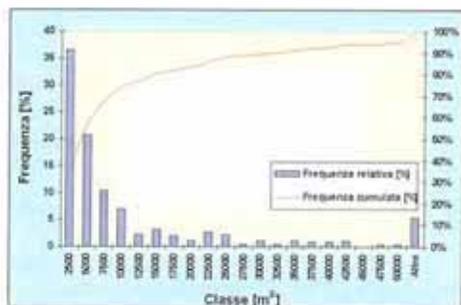


Fig. 26. Dimensioni areali delle frane per scivolamento planare.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E GIACITURALI

Immersione dei versanti

Un'analisi statistica desunta da un modello digitale del terreno (discretizzato da elementi triangolari di 30 m di lato) ha posto in evidenza che circa il 99,7% dei fenomeni franosi verificatisi durante l'evento del 1994 (Fig. 25), ed il 92% delle aree già precedentemente interessate da frane, avvengono in versanti aventi immersione compresa nell'intervallo $210^\circ \pm 40^\circ$ (valori misurati *in situ* per l'evento del 1994: $307^\circ \pm 30^\circ$).

I versanti caratterizzati da questa immersione ($210^\circ \pm 40^\circ$), considerati su tre sezioni, alla scala 1:10.000, significative per il numero di frane (Serravalle, Bossolasco e Murazzano), rappresentano il 68% dell'area totale delle 3 sezioni, ossia 76 km² su 110 circa.

Le aree delle frane attivatesi nel corso dell'evento 1994, sommate alle aree caratterizzate da indici di generale instabilità, hanno interessato una superficie totale di 3,4 km², pari quindi al 4,5% delle aree ricadenti in tale intervallo di immersione.

Dimensioni areali delle frane

Un'analisi statistica fatta sulle stesse tre sezioni al 1:10.000, ha messo in evidenza che il maggior numero di frane per scivolamento planare ha dimensioni inferiori all'ettaro (75%, Figg. 26, 27). Tuttavia se confrontiamo le superfici totali delle frane inferiori all'ettaro con quelle di maggiori dimensioni vediamo che queste ultime coprono una superficie complessiva di ben quattro volte superiore alle precedenti.

C.T.R. 1:10.000	SUPERFICIE	
	< 10.000 m ²	> 10.000 m ²
Serravalle	198.965.128	1.231.247.000
Bossolasco	201.813.326	714.934.000
Murazzano	242.971.000	674.600.000
Totale	643.749.454	2.620.781.000

Fig. 27. Superfici totali delle aree in frana inferiori e superiori ad 1 ha, calcolate sulle C.T.R. 1:10.000 Serravalle, Bossolasco e Murazzano.

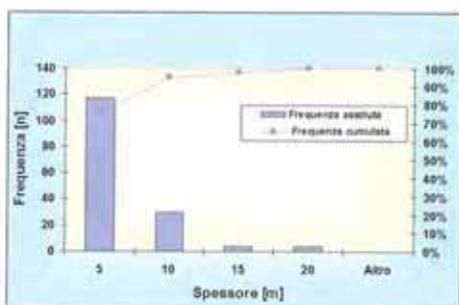


Fig. 28. Spessori masse traslate.

Spessori masse traslate

Il maggior numero di frane considerate a tipologia evoluta (schede di rilevamento) ha spessori inferiori a 5 metri (58,3%). È ancora significativo il numero delle frane caratterizzate da spessori variabili tra 5 e 10 metri (30,1%) mentre si riduce sensibilmente per quelle comprese tra 10 e 15 metri (10,3%) e decresce ulteriormente per frane con spessori superiori a 15 metri (1,5%) (Fig. 28).

Superfici di scivolamento

Le superfici di scivolamento hanno valori di inclinazione normalmente distribuiti attorno a $11^\circ \pm 3,7^\circ$ ed immersione pari a $319^\circ \pm 21^\circ$ (fig. 29); nei giorni immediatamente successivi l'innesco delle frane, le superfici di scivolamento, piane e prive di irregolarità, apparivano in alcuni casi segnate da strie di movimento profonde sino ad un centimetro circa e con sviluppo lineare anche di un centinaio di metri, prodotte da protuberanze o noduli più resistenti all'interfaccia delle masse traslate (Fig. 29 bis). La differenza media tra l'immersione delle strie e l'immersione della superficie di scivolamento e l'immersione del versante è stata misurata rispettivamente in $14,5^\circ$ e $18,5^\circ$.

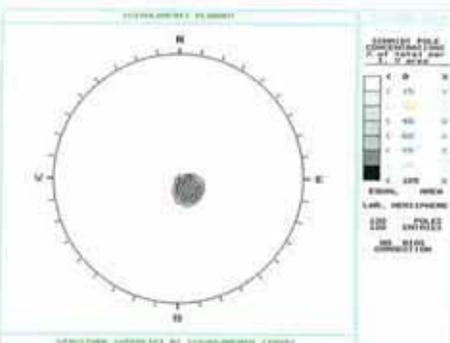


Fig. 29. Stereogramma relativo alle superfici di scivolamento.



Fig. 29 bis. Ripresa ravvicinata di una superficie di scivolamento con, in evidenza, le striature legate al movimento e le zone ossidate dalla preesistente circolazione idrica; l'area fotografata è pari a 0,25 m² circa.

RUOLO DELLE DISCONTINUITÀ SUBVERTICALI

Un aspetto fondamentale per la comprensione del fenomeno di instabilità è consistito nell'individuare i sistemi di discontinuità subverticali che isolano masse instabili e le loro mutue associazioni più frequenti che portano a condizioni predisponenti il collasso. A tal fine, sono state utilizzate diverse tecniche per l'individuazione delle discontinuità: rilievo in situ, fotointerpretazione ed analisi della rete idrografica minore. Il passo successivo è consistito nel cercare di ritrovare le associazioni di discontinuità più frequen-

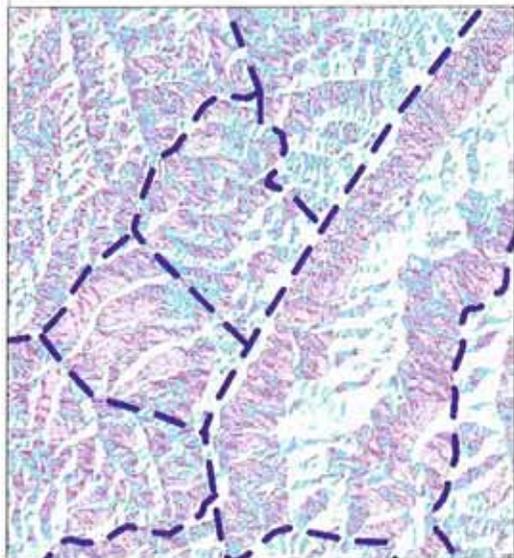


Fig. 30. Suddivisione in domini omogenei, a partire dal modello digitale del terreno.

Analisi idrografia		Sito	
K ₂	17°-35° (26%)	22°-32° (16%)	
K ₅	284°-323° (13%)	294°-335° (14%)	

Fig. 31. Confronto tra i risultati dello studio sui sistemi di discontinuità, eseguito nel dominio geografico-strutturale omogeneo n. 3 avente baricentro all'incirca in Bossolasco, mediante analisi numerica dell'idrografia e misure in situ.

ti che hanno isolato porzioni instabili durante l'evento del novembre 1994, all'interno di zone aventi caratteristiche geografico-strutturali omogenee a grande scala. Utilizzando la rappresentazione cartografica del modello digitale del terreno, sono stati individuati sette domini (Fig. 30), per ciascuno dei quali è stata eseguita la discretizzazione delle direzioni di deflusso delle aste, il calcolo delle direzioni, la stima delle immersioni e relativo confronto con le misure eseguite in campagna sulle discontinuità verticali generalmente coincidenti con le scarpate principali e laterali che hanno svolto un ruolo predominante sulla dislocazione delle frane avvenute nel novembre 1994. È stato perciò possibile ricercare in ogni singolo ambito le associazioni più frequenti di discontinuità. La tabella di Fig. 31 che sintetizza i risultati ottenuti per uno degli ambiti scelti, pone in evidenza il sostanziale accordo tra i due approcci. In particolare si è ricavato che i sistemi di discontinuità K₂ e K₅, aventi la funzione rispettivamente di giunto di trazione e del giunto che libera lateralmente la massa traslata, rappresentano le famiglie più frequenti in entrambi i casi. Tali risultati hanno pertanto permesso di identificare per i differenti ambiti territoriali le associazioni di sistemi di discontinuità che governano la dinamica evolutiva di settori di versante predisposti al dissesto.

CIRCOLAZIONE IDRICA

Le osservazioni effettuate in campagna hanno consentito di definire anche se in prima approssimazione un'ipotesi inerente le modalità di circolazione idrica nel sottosuolo.

La coltre superficiale presente in tutti i casi analizzati, con spessori variabili da alcune decine di cm sino a valori metrici, costituisce certamente, in concomitanza ad elevati apporti idrici, un naturale serbatoio di trattenimento delle acque piovane che, a causa della modesta pendenza dei versanti, tendono ad infiltrarsi piuttosto che a defluire.

La presenza di sviluppati sistemi di discontinuità verticali convoglia l'acqua in direzione degli strati più profondi. L'esistenza di flussi talora anche consistenti è spesso evidenziata dalla presenza, in superficie, di veri e propri inghiottitoi (Fig. 32) e, più in profondità dalla presenza di materiali intasanti rinvenuti ancora aderenti alle principali superfici di frattura apertesi nel corso del movimento franoso (Fig. 33).

L'esistenza di decolorazioni o ossidazioni dei litotipi marnosi e marnoso-arenacei che risultano inte-



Fig. 32. Comune di Mombarcaro. Poco a valle dell'accenno di una frana per scivolamento planare la presenza di un inghiottitoio di neoformazione indica, entro il substrato, l'esistenza di sistemi di fratturazione beanti sede di significativa circolazione idrica.

ressati da circolazioni d'acqua, per spessori centimetrici, nell'intorno delle discontinuità, testimonia non solo l'esistenza di una fitta rete di distribuzione dei flussi idrici lungo vie preferenziali, ma anche una notevole permanenza nel tempo di tale funzione (Fig. 34). La presenza, infine, di piccole fessure verticali che scompongono i singoli strati marnosi, dovute probabilmente a processi di ritiro ed essiccazione di tali materiali in seguito a variazioni periodiche di umidità naturale, veicolano grandi quantità di acqua in conseguenza delle forti pressioni negative indotte al loro interno esercitando una intensa e potente azione di "risucchio" per capillarità.

Si instaura in tal modo una circolazione idrica verso il basso che viene parzialmente interrotta in corrispondenza dei piani di stratificazione delle marne ed, in modo specifico, in corrispondenza alle superfici costituite da elementi più argillosi e che può portare alla completa saturazione di taluni settori piuttosto che altri.

La maggior apertura dei giunti di strato rispetto ad altri sistemi di discontinuità, la presenza di materiali argillosi all'interfaccia fa sì che la circolazione idrica avvenga di preferenza, anche se non in modo arealmente diffuso, lungo tali piani.



Fig. 33. Comune di Saliceto, località Masseria. L'osservazione delle superfici di fratturazione esposte, in zona di scarpata principale, da uno scivolamento planare mostra l'esistenza di un "cemento" detritico presumibilmente già presente, entro la disgiunzione, prima del movimento.



Fig. 34. Particolare del piano di scivolamento in un movimento a componente planare nel quale è evidentissima la presenza di un "crostone" di color ocra legato ad ossidazione per preesistente circolazione idrica entro il substrato.

DANNI ALLE OPERE ANTROPICHE

Relativamente ai danni provocati dall'evento alluvionale, si è notato che la percentuale di edifici minacciati è superiore a quella relativa ad edifici distrutti o danneggiati (Fig. 35, 35 bis). Se si tiene conto che molti insediamenti sono risultati non direttamente interessati dalle frane che si sono attivate, si può ritenere che esista una conoscenza diretta del problema che ha comportato una fisiologica selezione nel tempo delle aree più sicure da adibirsi a residenza. La stessa affermazione perde significato per la viabilità, dove il rapporto si inverte, vale a dire che è maggiore il numero dei casi in cui la viabilità è colpita direttamente invece che minacciata (Fig. 36). Ciò è probabilmente dovuto al fatto che lo sviluppo delle comunicazioni, come necessità di mantenimento delle attività in quest'area, ha subito un significativo incremento rispetto allo sviluppo urbanistico residenziale che si è piuttosto orientato sul recupero dell'esistente;

– l'analisi dei danni arrecati ai centri o nuclei abitati dalle frane da scivolamento planare innescate e/o riattivate durante l'evento del novembre 1994, ha posto in evidenza come la percentuale maggiore di lesioni sia stata registrata per le abitazioni collocate lungo i settori superiori e mediani dei versanti. Al contrario, gli edifici posti al piede o in posizione prossima alla cresta sono risultati percentualmente meno soggetti a danni (Fig. 37). Esaminando la collocazione rispetto al versante dei centri abitati storici sede di Comune si nota che, nell'area più fre-

quentemente colpita da scivolamenti planari, il 64,5% è ubicato in posizione di cresta e solo il 9,7% nei tratti centrali del versante (Fig. 38). La scelta dei siti più idonei alla realizzazione dei centri insediativi deriva quindi dalla conoscenza del fenomeno di instabilità e dalla consapevolezza degli effetti da parte della popolazione;

– la constatazione che i numerosi scivolamenti planari del novembre 1994 non abbiano provocato vittime, come peraltro constatato quasi generalmente anche in altri episodi del passato, fa presupporre che nella popolazione sussista una certa memoria storica del problema che dipende dall'elevata frequenza con cui tale tipologia di frana si ripropone e dal quotidiano rapporto con il territorio, a prevalente vocazione agricola. Ciò ha comportato una accorta selezione delle aree da utilizzarsi a fini insediativi permanenti e dagli stessi motivi deriva probabilmente la sorprendente sensibilità nel percepire e distinguere i segni premonitori di instabilità. Grazie a questa sensibilizzazione al problema e tenuto anche presente che la fase preparatoria delle frane per scivolamento planare può avere durata di diversi anni e che l'intervallo tra la comparsa di segni premonitori ed il collasso è generalmente superiore a 2 ore, si può ritenere che per le Langhe si sia pervenuti ad un aumento della soglia di rischio socialmente accettabile che non deve peraltro esimere dall'approfondire le conoscenze sul problema, considerato che anche in questa zona si assiste ad una crescente richiesta insediativa per motivi turistici.

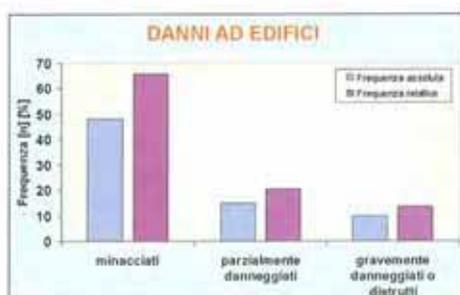


Fig. 35. Danni ad edifici.



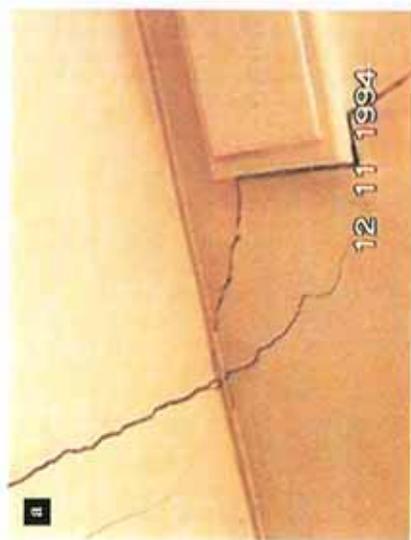
Fig. 36. Danni alla viabilità.



Fig. 37. Cresta danni ai centri abitati in funzione della posizione del versante.



Fig. 38. Posizione dei centri abitati rispetto al versante.



a



b



c



d

Fig. 35 bis. *Frane per scivolamento planare nelle Langhe. Danni a manifesti: a) lesioni a carico della soletta e della parete interna di un edificio coinvolto da un movimento franoso; b) vistosa deformazione di un edificio ad uso agricolo, evidenziata dalla curvatura del colmo del tetto; c) gravissime lesioni ad un edificio che, durante il movimento franoso, ha subito una traslazione superiore a 40 m; d) la scarpata principale di un grande movimento incipiente ha seriamente coinvolto un edificio come è evidenziato, in questa ripresa aerea obliqua, dalla frattura che attraversa il cortile (al centro dell'immagine).*

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 *Dege* 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 *Dege*).

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 sconsiderata: 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 *sviluppi planari* presenti nella zona delle Langhe piemontesi, come illustrato nella Fig. 91. Tale tipologia è stata prescelta in quanto fenomenologica 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 (Carnara, Cardinali, Guzzetti & Reichenbach 1996; Baeza & Corominas 1996; Leroy 1996; Amanti, Cara, Falchetti, 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

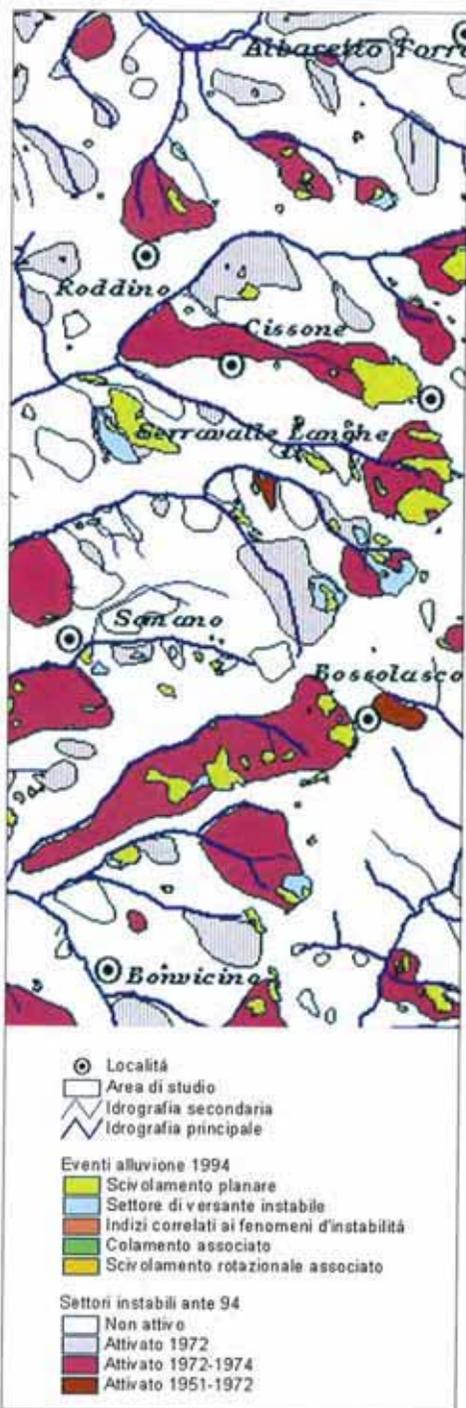


Fig. 91. Localizzazione dell'area di studio caratterizzata da un'estensione di circa 60 km² (lato maggiore: 12 km circa, lato minore: 5 km circa) e comprendente parte dei comuni di Abbasetto della Torre, Bonvicino, Bossolasco, Cissone, Roddino, Serravalle Langhe, Somano. Vengono posti in particolare 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, Cissono, 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, geomecchaniche, idrologiche, ecc.) non sono ancora terminati, affinché il presente studio avesse comunque una sua completezza (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.

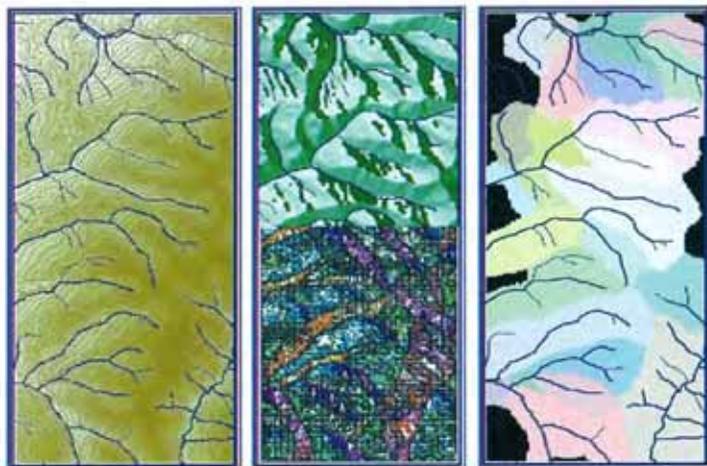


Fig. 92. A sinistra: modello altimetrico digitale del terreno (DTM) sull'area di studio, con evidenziazione delle curve di livello, con intervallo di 25 m, e dell'idrografia principale e secondaria. Al centro: due distinte rappresentazioni cartografiche dell'immersione dei versanti sulla porzione di 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 sottoclassi, 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 sviluppatosi 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.

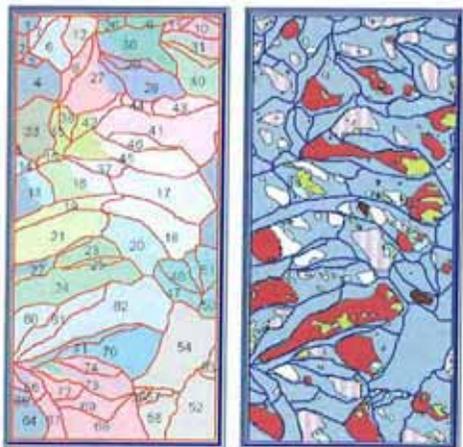


Fig. 93. A sinistra: rappresentazione dei bacini idrografici ottenuti in automatico e delle unità territoriali (*slope-unit*) individuate a partire dagli stessi. A destra: le *slope-unit* ed i movimenti franosi presenti sull'area di studio.

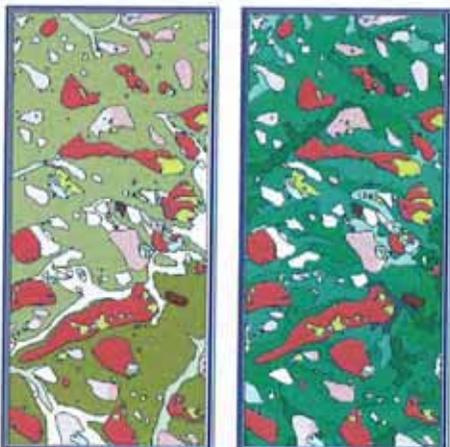


Fig. 94. A sinistra: rappresentazione delle formazioni geologiche, ricavate dalla carta geologica alla scala 1:100.000, e dei movimenti franosi presenti sull'area di studio. A destra: classi di utilizzo del suolo e movimenti franosi.

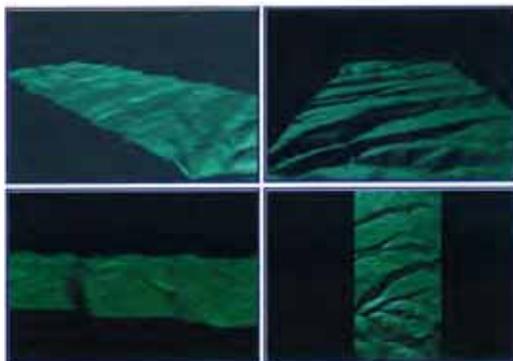


Fig. 95. Quattro diverse visuali inerenti alla realizzazione del modello altimetrico digitale del terreno in versione tridimensionale. In alto a sinistra: visione aerea dell'area di studio con punto di osservazione da sud-ovest verso nord-est. In alto a destra: visione aerea radente dell'area in esame 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 10^0).

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

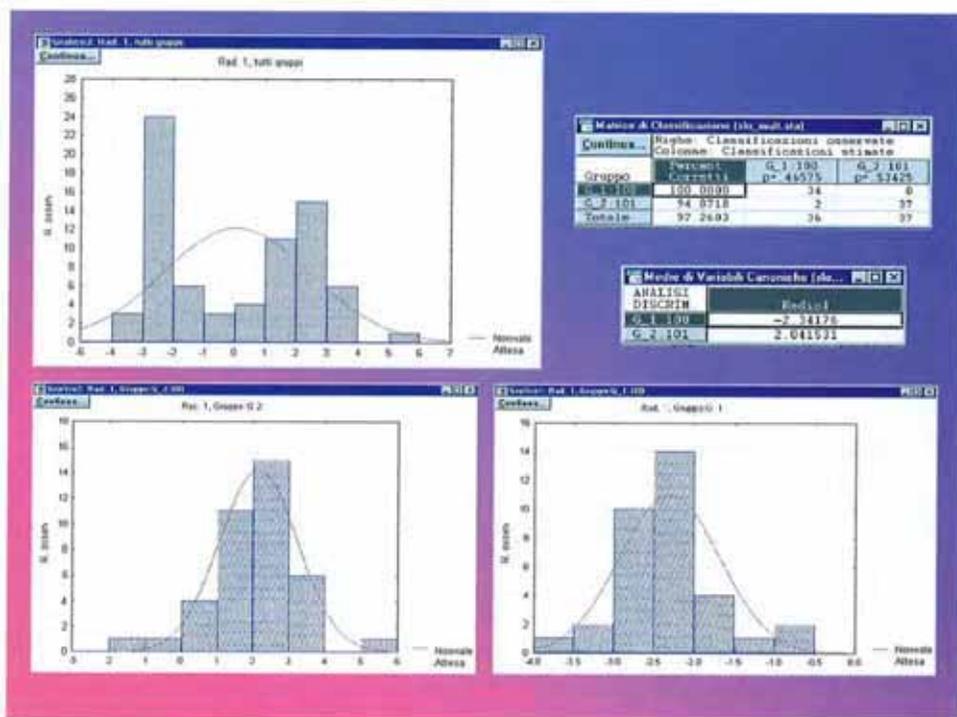


Fig. 96. Raccolta sintetica dei risultati relativi al primo tentativo di svolgimento dell'analisi della funzione discriminante. Le due tabelle riportano rispettivamente la matrice di classificazione, che contiene le indicazioni relative alla percentuale di successo del metodo, ed il valore medio della 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-

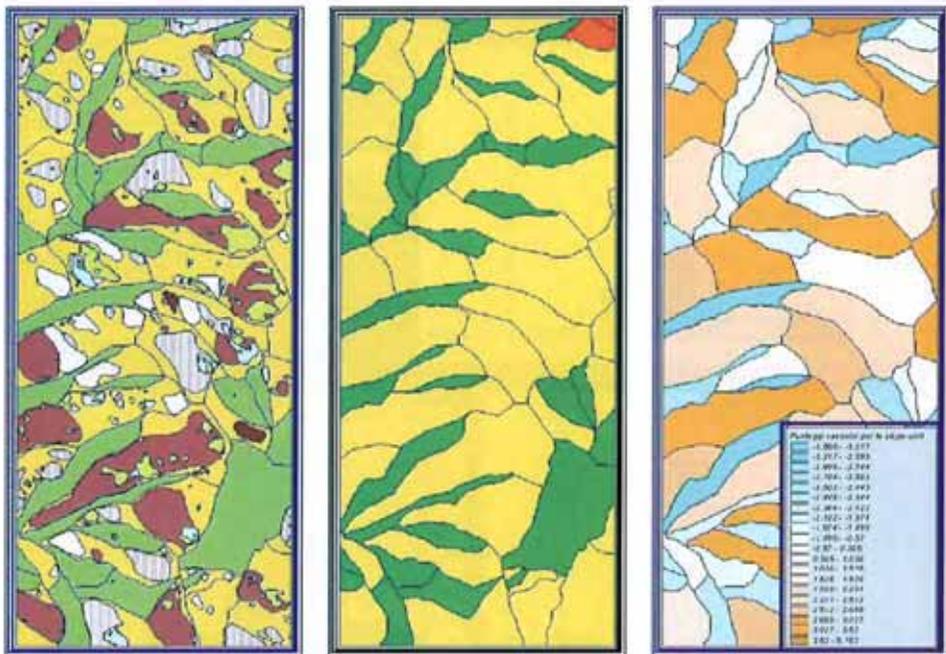


Fig. 97. A sinistra: rappresentazione dei movimenti franosi e della classificazione delle slope-unit, compiuta a monte dell'esecuzione dell'analisi discriminante, in stabili (colorazione verde) oppure instabili (colorazione arancio) sulla base della percentuale di area in frana rilevata su ciascuna unità 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 dichiarato volta 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 (linealmente) 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, Loranze, 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,



Fig. 98. L'anfiteatro d'Ivrea e il tracciato della prima parte dell'itit. 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'Alè; Bo, Borgofranco; Co, Colletterto; Ma, Mazzè; Mo, Mongrando; Sa, Salussola; Sg, S. Giorgio; Zu, Zublena (da Carraro F., 1990).

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 planoaltimetrica, 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 loess, 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 mescolanza 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 mescolanza prevale il materiale "grossolano" la colata è detta detri-

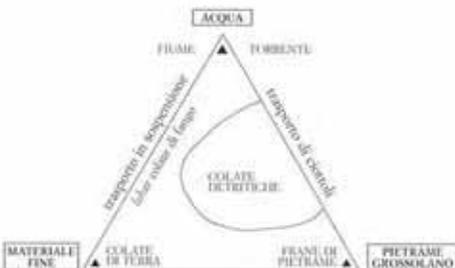


Fig. 99.

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 *labar* nella quale le particelle solide sono di origine vulcanica (cenere 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 sciolante 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 Loranze, 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

N.STRADA	COMUNE	LOCALITA'
C1	Prascorsano	Monte
C2	Prascorsano	Ceraldo
C3	Prascorsano	Pisso
C4	Pratidione	Centro
C5	Pratidione	Cimitero
C6	Rocca Canavese	Centro
C7	Corio Canavese	Ritornato
C8	Corio Canavese	Ritornato
C9	Forno Canavese	Milani
C10	Loranze	Srada Vidracco-Lusnacco
C11	Loranze	Srada Vidracco-Lusnacco
C12	Loranze	Srada Vidracco-Lusnacco
C13	Loranze	Srada Vidracco-Lusnacco
C14	Loranze	Srada Vidracco-Lusnacco
C15	Vico Canavese	Frazione
C16	Vico Canavese	Ronchi
C17	Brosso	Santuario
C18	Boragofranco d'Ivrea	Rio Lorale
C19	Boragofranco d'Ivrea	Rio Lorale
C20	Boragofranco d'Ivrea	Rio dei Mulini
C21	Boragofranco d'Ivrea	Rio dei Mulini
C22	Chiaverano	Bierca
C23	Burelo	Acquadotto
C24	Palazzo Canavese	Rio dei Mulini
C25	Palazzo Canavese	Rio dei Mulini

Fig. 101. Tabella riassuntiva dei campioni prelevati.

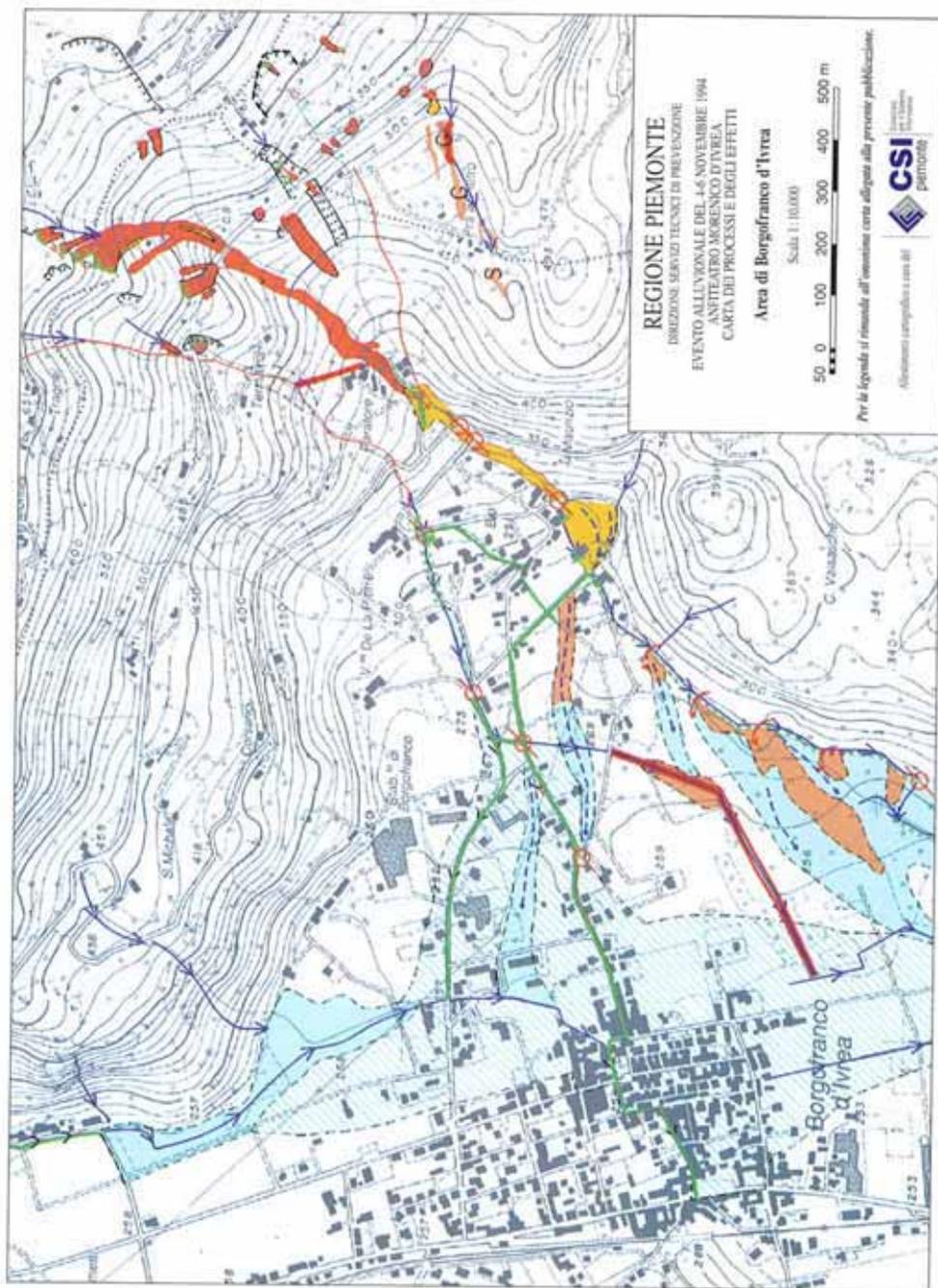


Fig. 102. Carta dell'Anfiteatro Morenico d'Ivrea - Carta dei processi e degli effetti" settori in destra idrografica al fiume Dora Baltea. Stralcio ingrandito alla scala 1:10.000 tratto dalla carta omonima alla scala 1:20.000 in allegato alla presente pubblicazione. (Cfr. Tav. 7 f.t.).

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

Colleterto Giacosa

Il fenomeno dissestivo che ha interessato il concentrico di Colleterto 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 Loranze 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'innescio 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 Colleterto 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).

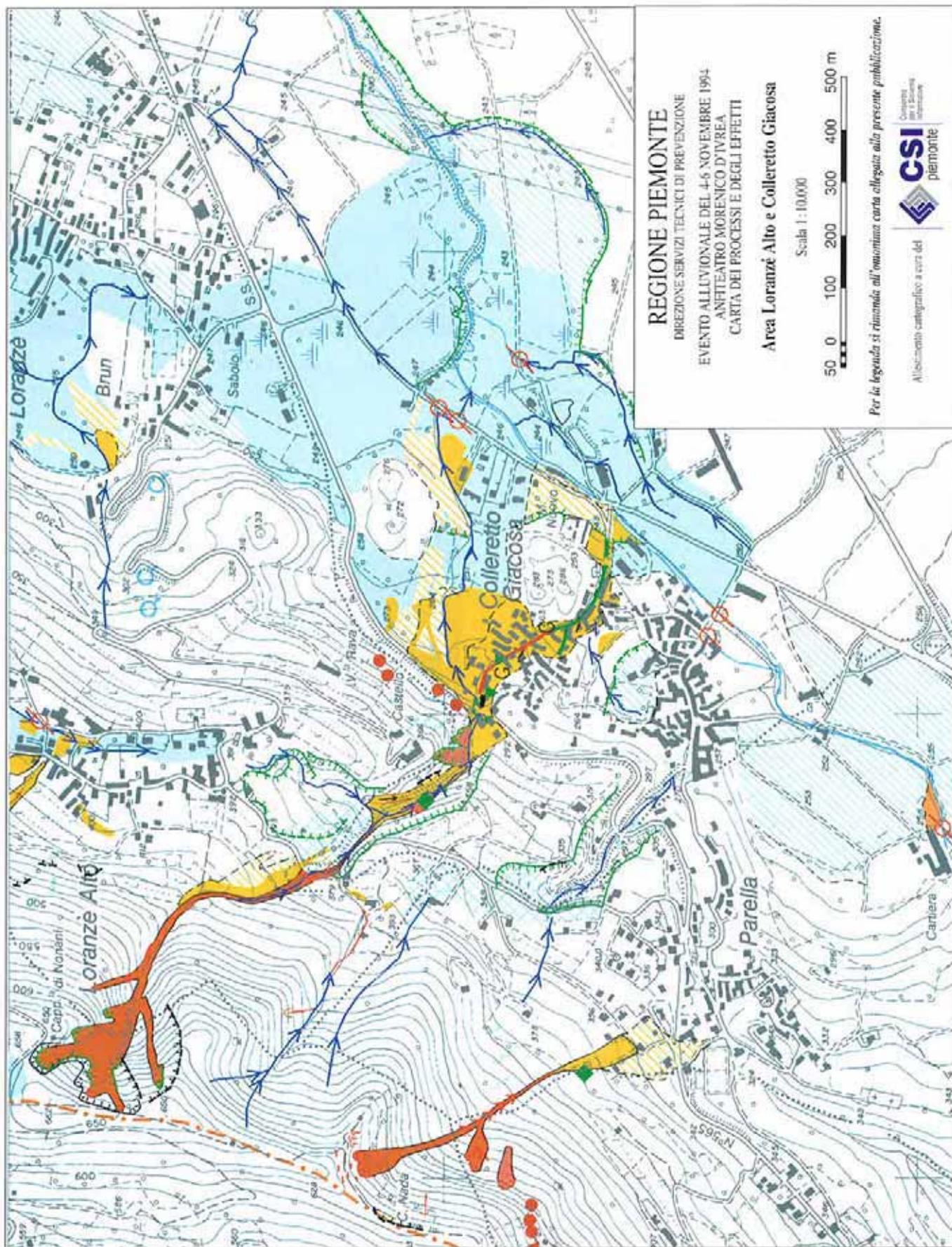


Fig. 107. Carta dell'Anfi teatro Morenico d'Ivrea - Carta dei processi e degli effetti" settori in sinistra idrografica al F. Dora Baltea. Stralcio ingrandito alla scala 1:10.000 tratto dalla carta omonima alla scala 1:20.000 in allegato alla presente pubblicazione. (Cfr. Tav. 7 f.t.).



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 (scivolamenti 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.

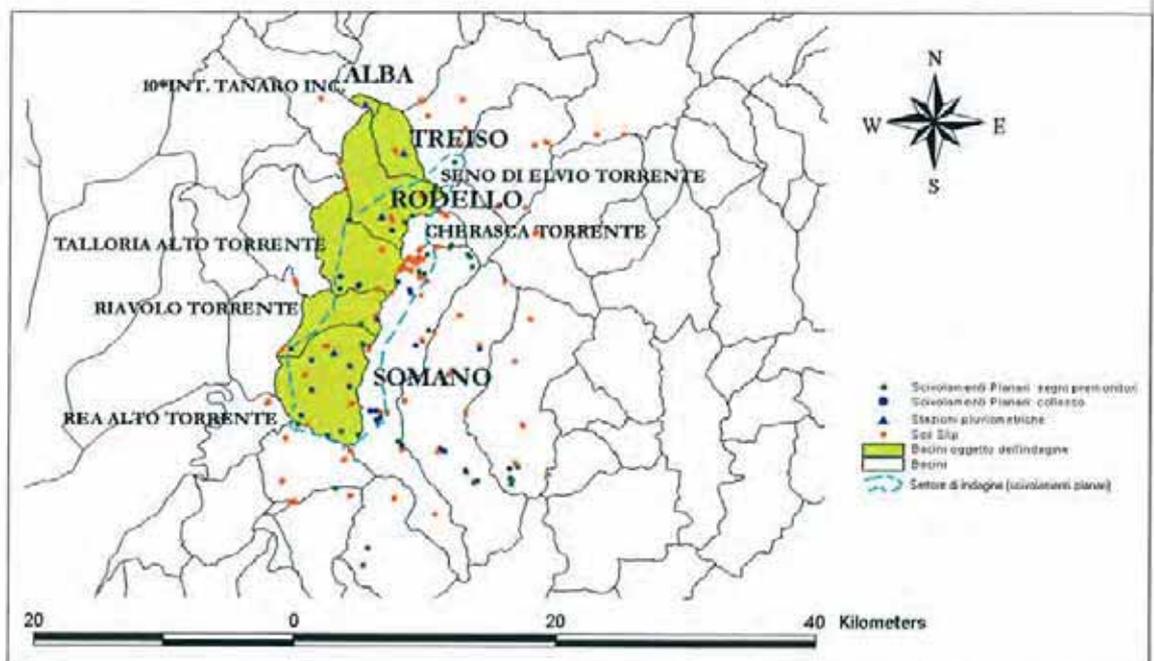


Fig. 109. Settore di studio.

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 critico 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

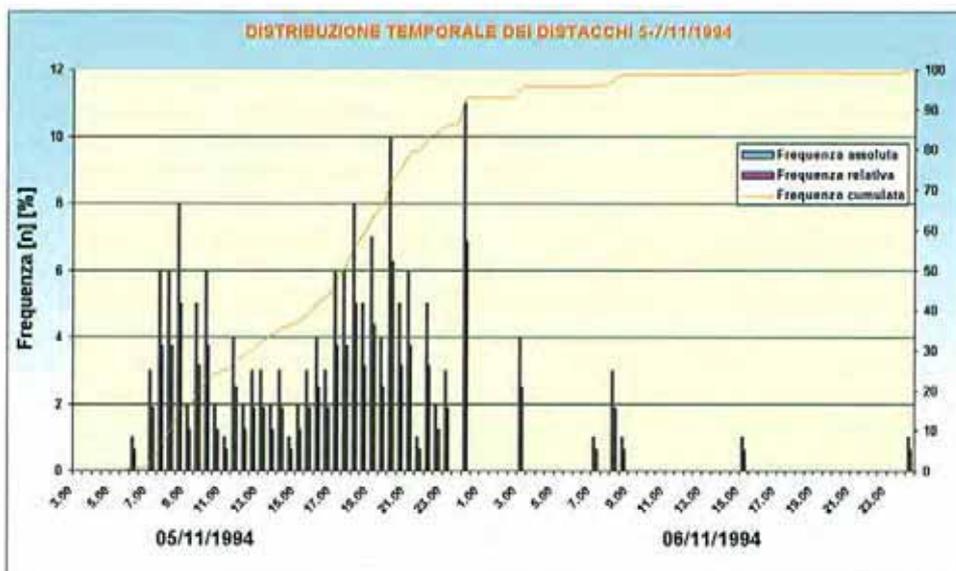


Fig. 110. Distribuzione temporale del movimento principale delle frane per scivolamento planare.

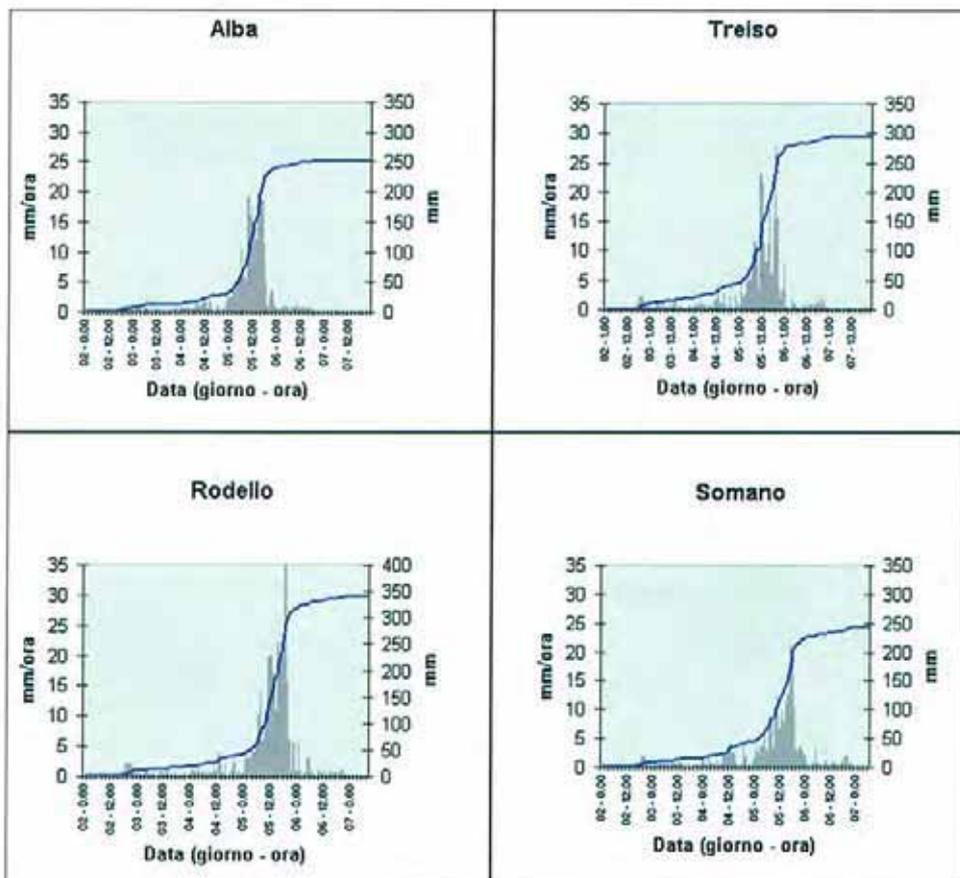


Fig. 111. Pioggia cumulata ed intensità di precipitazione oraria, registrati dalle stazioni di Alba, Treiso, Rodello e Somano durante l'evento meteorologico del novembre 1994.

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.

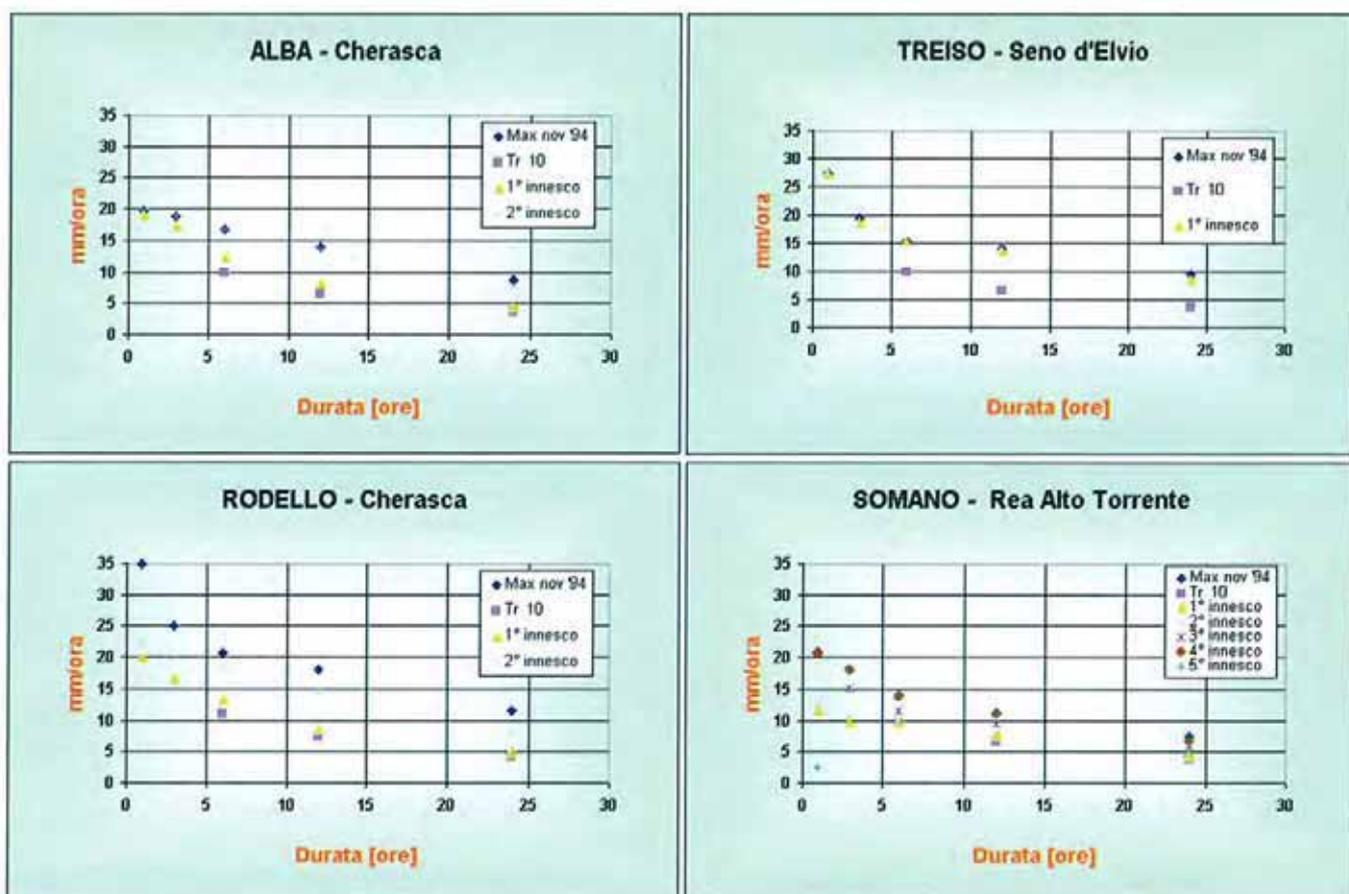


Fig. 112. Precipitazione oraria in funzione della durata, nel caso di associazioni tra stazioni e singoli bacini.

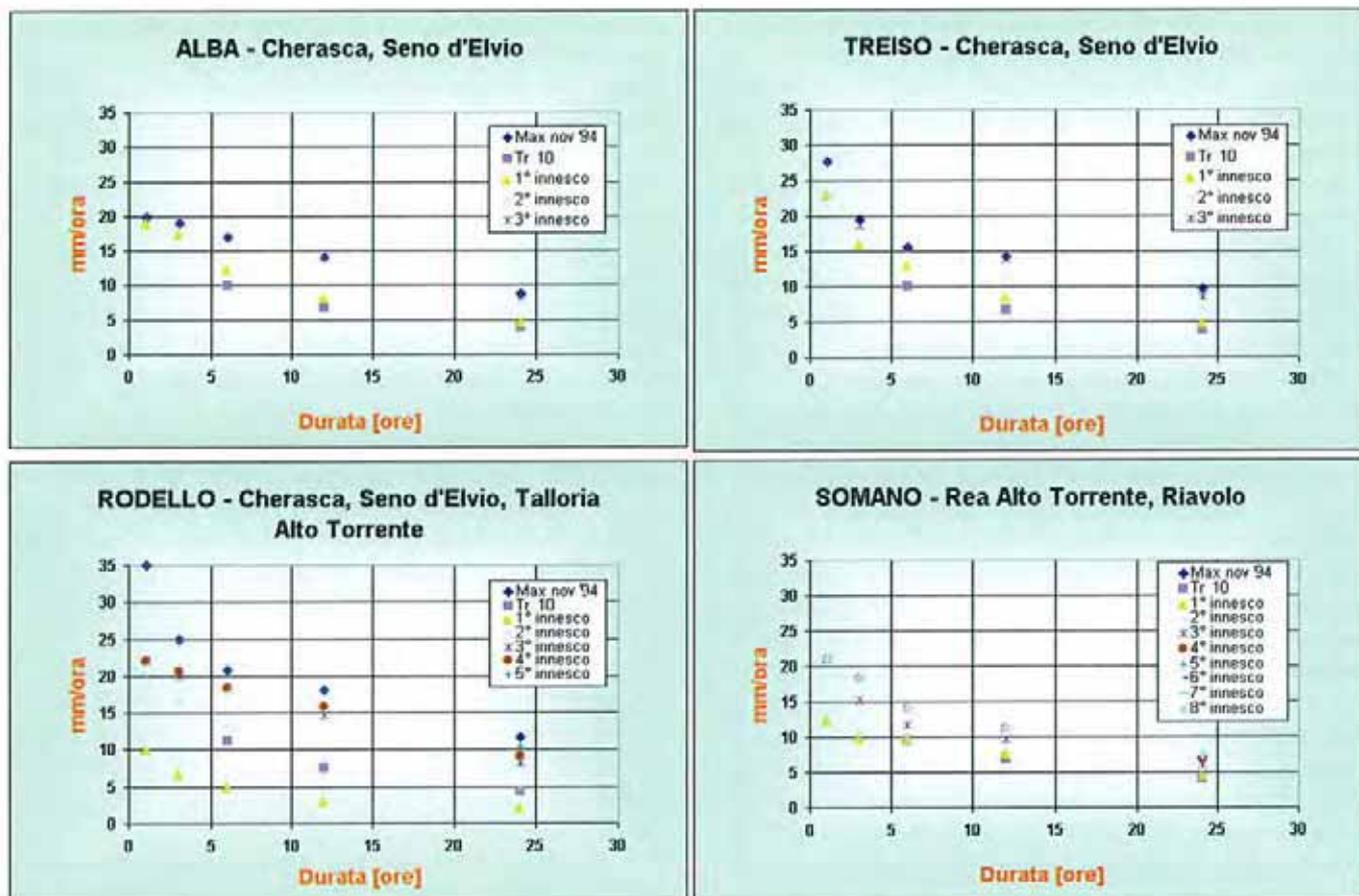


Fig. 113. Precipitazione oraria in funzione della durata, nel caso di associazioni tra stazioni ed aggregazioni di bacini.

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

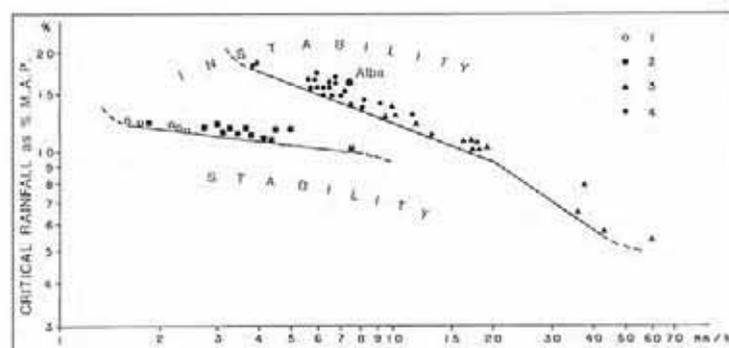


Fig. 114. Relazione tra fase iniziale della franosità in terreni superficiali e parametri idrologici (da Govi et al., 1985).

agli eventi estivi ed autunnali (linea superiore). Tali allineamenti (da considerarsi inviluppi 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'innescò, 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'innescò 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'innescò del movimento franoso e l'inizio significativo dell'evento pluviometrico (flesso della curva cumulata degli apporti pluviometrici);

b) le informazioni relative agli orari di innescò 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 innescò. Dovendo quindi analizzare la relazione tra orari di innescò, 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'innescò.

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 innescò 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 innescò (corrispondenti ad uno o più movimenti franosi);
2. individuazione della precipitazione cumulata dall'inizio dell'evento meteorologico sino alla prima ora di innescò;
3. determinazione della precipitazione media annua della stazione pluviometrica;
4. definizione dell'intervallo temporale compreso tra l'ora del primo innescò 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-

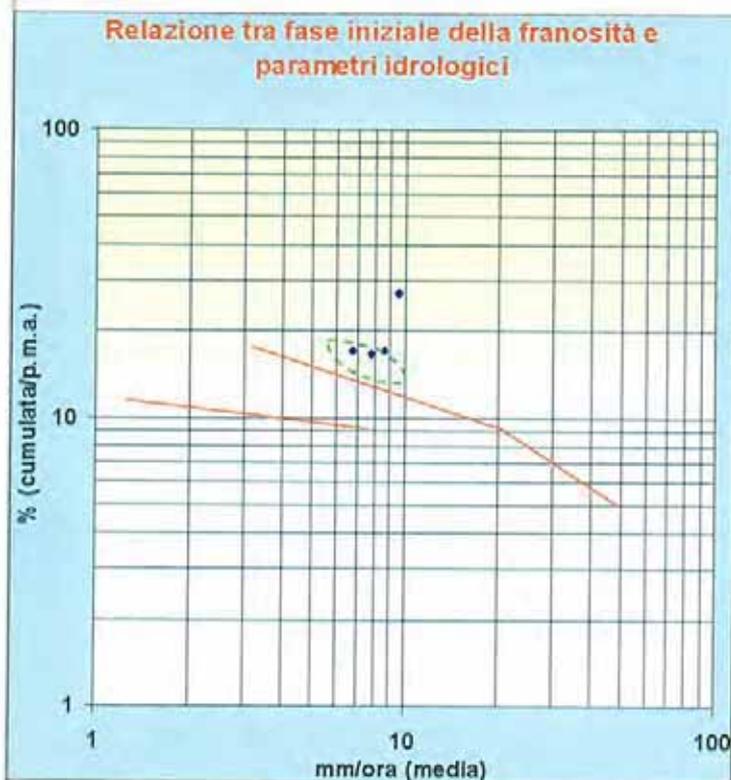


Fig. 115. Rapporto tra la precipitazione cumulata critica e la precipitazione media annua vs intensità oraria critica (da Govi et al. 1985, modificato). Ogni punto, rappresentativo di più primi inneschi di movimenti franosi, si riferisce ad un'associazione bacino-stazione.

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.

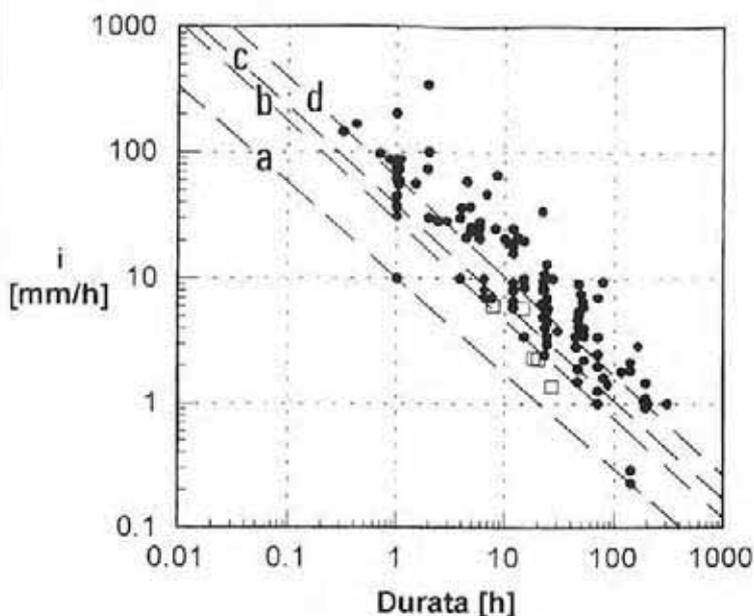


Fig. 116. Intensità e durata di eventi temporaleschi che hanno determinato (pallini pieni) e non hanno determinato (quadratini vuoti) instabilità superficiali (in Clarizia et al., 1996).

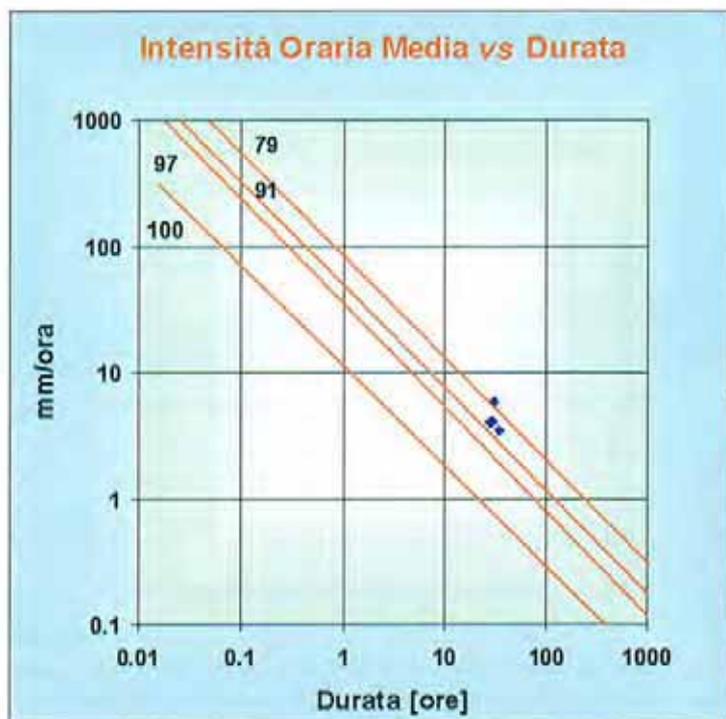


Fig. 117. Relazione tra l'intensità oraria media e la durata dell'evento sino al momento dell'innesco dei movimenti considerati. Ogni punto si riferisce ad un'associazione bacino-stazione; i quattro casi presi in esame si collocano nel campo di instabilità e più in particolare oltre la linea C che circonda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

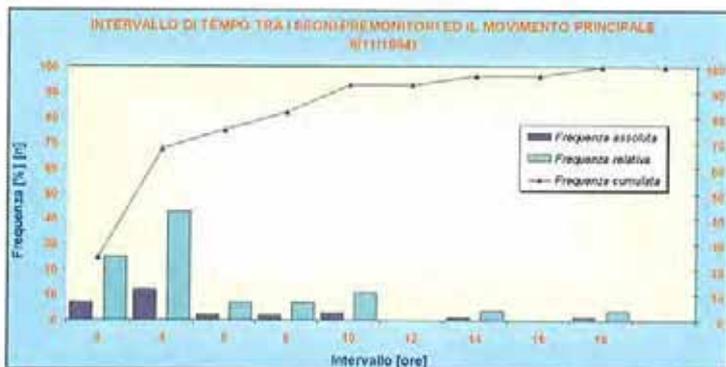


Fig. 118. Intervallo di tempo tra comparsa dei primi indizi di movimento e la fase di collasso.

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-

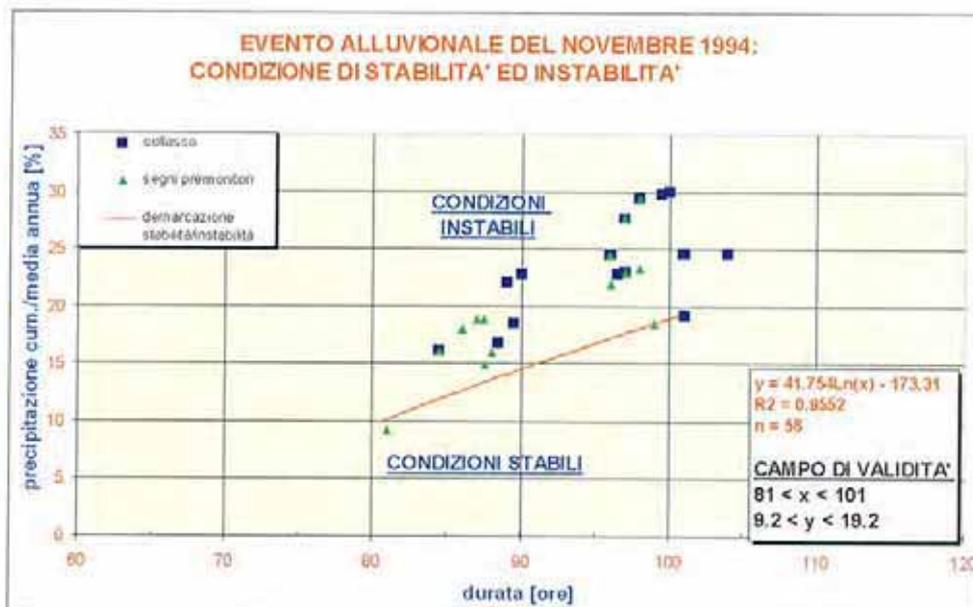
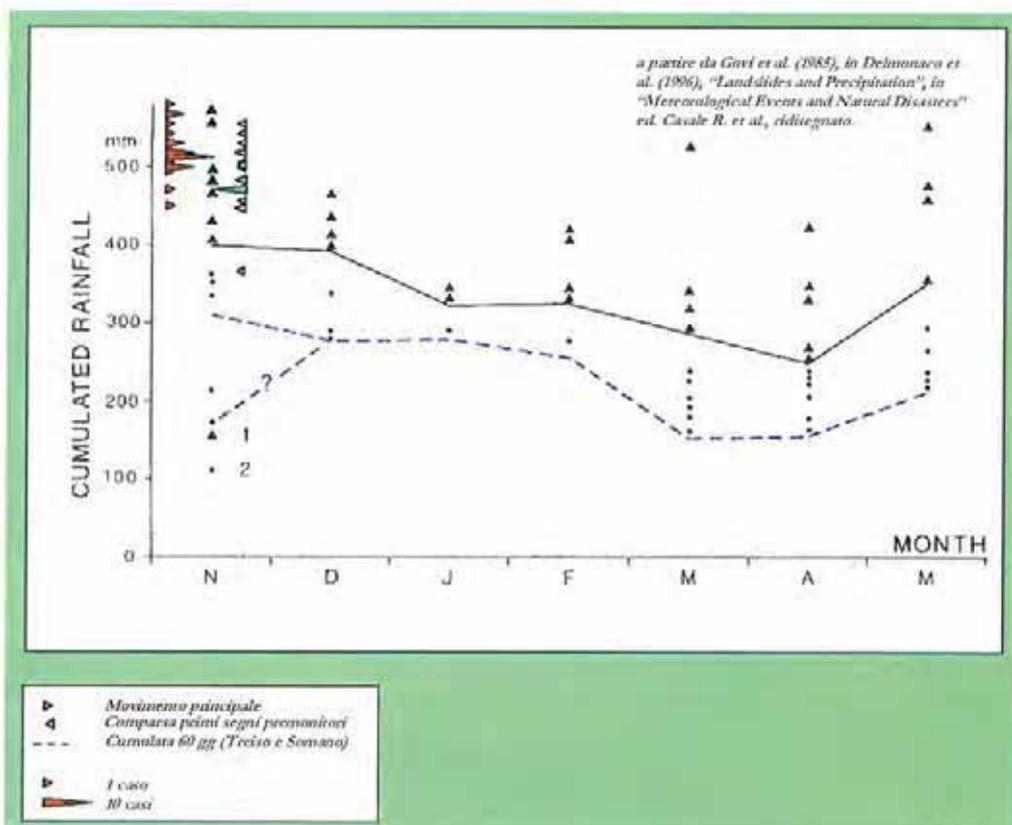


Fig. 119. Relazione tra la durata dell'evento idrometeorologico e le precipitazioni.

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'innescarsi 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. Senmeset, 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 E. (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., GULLA 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 & Wiczorek 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 E. (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. Picm., 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.

Aspetti fisico-meccanici

PREMESSA

La maggior parte delle frane, che coinvolgono depositi stratificati a franapoggio, a debole inclinazione, si mobilitizza su superfici coincidenti con i piani di sedimentazione caratterizzati da specifica «debolezza intrinseca».

La debolezza del materiale, in cui si sviluppa il piano di scivolamento, risulta dipendere dall'ambiente di sedimentazione, dall'azione dei processi chimico-fisici post-deposizionali nonché da particolari condizioni tensionali sin-sedimentarie e/o successive.

In una sequenza sedimentaria è, perciò, necessario individuare quei livelli stratigrafici più predisposti al raggiungimento delle condizioni di rottura in relazione al loro rapporto con gli strati adiacenti o, semplicemente, per la loro natura.

Solitamente questo orizzonte più vulnerabile si differenzia dai livelli circostanti per requisiti che difficilmente sono rilevabili mediante l'esame visivo del materiale estratto da perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo, ma che possono essere posti in evidenza ricorrendo a rilievi in sito atti a descrivere ed inquadrare il corretto contesto geologico-strutturale entro cui tali livelli si collocano. La definizione delle caratteristiche fisico-chimiche può essere invece effettuata a partire da sistematiche prove di laboratorio condotte sul materiale prelevato sul terreno.

Con l'intento di ampliare ed approfondire le conoscenze sugli scivolamenti planari, il Settore Studi e Ricerche della Regione Piemonte, ha condotto contestualmente due differenti indagini inerenti la classificazione geotecnica delle marne Oligo-Mioceniche e la caratterizzazione delle superfici di scivolamento lungo cui avviene la traslazione dei corpi franosi.

CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA DELLE MARNE OLIGO-MIOCENICHE

Parte dell'attività svolta dalla Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione della Regione Piemonte consiste nella gestione ed istruttoria delle leggi di salvaguardia del territorio di propria specifica competenza. Alla Direzione pervengono pertanto documentazioni tecniche, relazioni, studi indagini ecc.

La raccolta dei dati geotecnici inerenti le marne delle Langhe è avvenuta facendo riferimento a tale documentazione disponibile presso gli archivi tecnico amministrativi della Direzione. Si tratta in genere di relazioni, rapporti elaborati da studi professionali, da laboratori geotecnici riconosciuti.

Sono stati pure analizzati diversi studi e rapporti interni predisposti durante circa 20 anni di attività della Direzione, facendo ricorso al proprio laboratorio geotecnico.

È stata privilegiata la raccolta dei dati inerenti le proprietà fisiche, le analisi granulometriche, i limiti di Atterberg, le qualità indici. Tale scelta è stata motivata dalla propensione specifica del lavoro che è consistita nell'identificazione e classificazione dei "materiali" marnosi.

Sono state altresì raccolte alcune determinazioni disponibili inerenti la resistenza al taglio di tali materiali. Si è operato in modo molto accurato non prendendo in considerazione quelle prove che presentavano incongruenze sperimentali o non corrispondevano a criteri di rappresentazione dei risultati definiti da normative, raccomandazioni e standard operativi (Raccomandazioni AGI sulle prove geotecniche di laboratorio, edizione 1990, e 1994). In particolare sono stati considerati i risultati di prove triassiali CIU e CID e prove di taglio diretto.

Tab. 1. Determinazioni sperimentali, distinte in funzione della formazione geologica di appartenenza. Tutti i dati riportati fanno esclusivamente riferimento al sub-strato e non alla copertura e/o suoli più o meno rimaneggiati.

Formazione	Granul.	Limiti	CaCO ₃	T.D.	U.U.	C.I.U. e C.I.D.	W
Marne di S. Agata Fossili	138	136	63	25	2	6	154
Marne di Paroldo	28	28		14			25
Formazione di Murazzano	4	15	9				12
Formazione di Cassinasco	11	2	2				2
Formazione di Cortemilia	24	22	7	2		1	8
Marne di Cessole	10	9	13				
Formazione di Cremolino	6	5	6				2
Formazione di Rocchetta	13	13	5	7			2
Formazione di Monesiglio	9	9	4	2			8
Formazione di Lequio	29	32	9	5	2	3	16
Marne ed arenarie Elveziane	1	1		1			1
Gessoso solfifera	3	3					
Arenarie di Serravalle	30	22		6			7
Formazione di Termo Forà	5	5		2			1
Marne a pteroidi	17	12		2			12
Marne (Tortoniano)	7	16		4			35
Totale	339	336	118	70	4	10	286

Sono stati invece trascurati i dati inerenti la compressibilità di tali materiali perché carenti e spesso non rigorosamente determinati.

RESULTATI

Dall'analisi delle determinazioni sperimentali (Tab. 1) raccolte ed elaborate in senso globale si può osservare quanto segue:

1) Il contenuto in carbonato è stato determinato nella preponderanza dei casi su un unico campione prelevato dal materiale da sottoporre ad analisi granulometrica. I dati inerenti il tenore in carbonati risentono quindi di una certa aleatorietà in quanto si è assunto implicitamente che non sussistano variabilità di tale parametro nell'ambito del medesimo campio-

ne dal quale sono stati ricavati diversi provini da sottoporre alle prove di classificazione e di resistenza al taglio. I valori del contenuto in carbonati sono distribuiti normalmente (Fig. 39) con media pari a 22.2 e scarto quadratico medio pari a 9.8.

2) Le distribuzioni delle percentuali in limo ed in argilla derivate dalle prove granulometriche dei campioni esaminati sono normali (Figg. 41 e 42), la distribuzione delle percentuali in sabbia (Fig. 40) è di tipo log normale. L'esame dei valori caratteristici consente di individuare mediamente un "materiale tipo" costituito dal 11% di sabbia, il 62% di limo e il 27% circa di argilla. Si tratterebbe quindi, in accordo con il diagramma triangolare di Fig. 43, di una marna siltosa-argillosa (terminologia ricorrentemente impiegata nella legenda delle carte geologiche alla scala



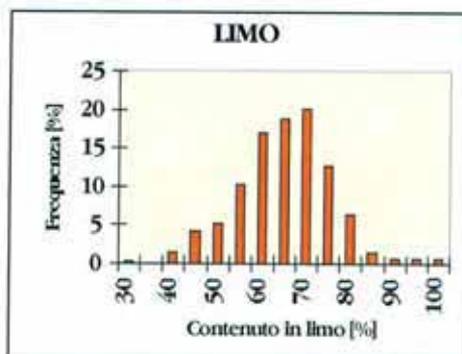
$n = 118$
media = 22.2 %
mediana = 21.7 %
moda = 19
dev. Std. = 9.8 %

Fig. 39. Distribuzione statistica del tenore in carbonati.



media = 11.2 %
mediana = 7 %
dev. std. = 11.6 %

Fig. 40. Distribuzione statistica delle percentuali in sabbia.



media = 62.9 %
mediana = 63 %
dev. std. = 10.7 %

Fig. 41. Distribuzione statistica delle percentuali in limo.

1:100.000 per descrivere i termini marnosi affioranti nelle zone in studio).

3) Correlando tra loro i valori del Limite Liquido (LL) ed Indice Plastico (IP) si ottiene per interpolazione lineare (Fig. 44) la seguente equazione:

$$IP = 0,8467 LL - 17,52$$

con: $R^2 =$ coefficiente di correlazione = 0.8158

Si tratta di una retta con pendenza positiva posta generalmente al di sopra della retta A e poco più inclinata (Fig. 44).

4) La distribuzione dei valori del LL (Fig. 45) e di IP (Fig. 46) risultano sufficientemente normali. I valori medi ricavati sono LL = 43.9% e IP = 19.7%.

5) Impiegando il sistema di classificazione USCS, si ricava che il sottogruppo più rappresentativo è costituito da argille di bassa plasticità, ovvero CL (41.2%) e che il 70% circa delle determinazioni totali, faccia riferimento (Fig. 44) ad argille e limi organici e inorganici di bassa plasticità (CL, ML, OL).

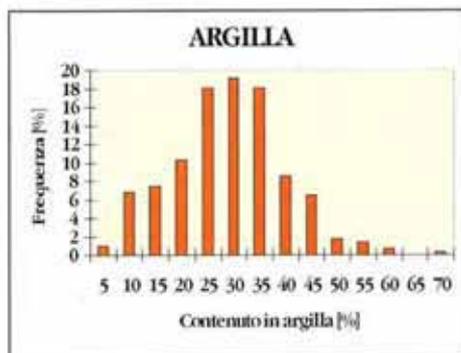
6) I dati inerenti le prove di taglio diretto sono

relativi sia a un limitato numero di campioni rimaneggiati sia a un notevole numero di campioni indisturbati; per quest'ultimi la direzione di applicazione dello sforzo di taglio era parallela ai piani di sedimentazione. Con il termine "resistenza ultima" si è inteso il valore minimo della resistenza ottenuta al termine di un solo "fondo corsa" in un'unica direzione, corrispondente ad uno spostamento tangenziale pari a circa 6-8 mm. La maggior parte delle prove su campioni indisturbati, sono state effettuate impiegando apparecchiature di taglio "convenzionali" con provino prismatico di dimensioni 6*6*2 cm. I risultati delle prove sono sintetizzati nella Fig. 47 ove vengono riportate anche le determinazioni sperimentali ottenute impiegando l'apparecchiatura di taglio anulare.

Interpolando linearmente (Fig. 47) i dati di resistenza "ultima" relativi ai campioni indisturbati si sono ottenute due diverse equazioni inerenti: l'involuppo di tutti i valori (a) e l'involuppo dei valori minimi (b):

$$\tau = 0,454 \sigma' + 0,0753 \quad (a)$$

con: $R^2 =$ coefficiente di correlazione = + 0.9242



media = 27 %
mediana = 27 %
dev. std. = 10 %

Fig. 42. Distribuzione statistica delle percentuali in argilla.

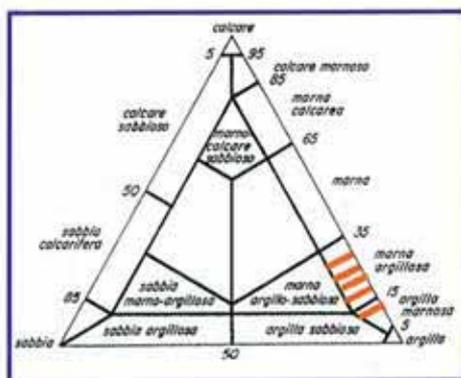


Fig. 43. Diagramma triangolare a tre componenti: sabbia, argilla e calcare. L'area tratteggiata in rosso si riferisce alla popolazione di dati sperimentali trattati.

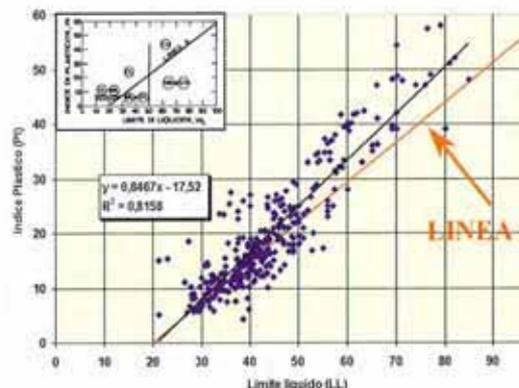


Fig. 44. Interpolazione lineare dei valori dell'indice plastico in funzione del limite liquido.

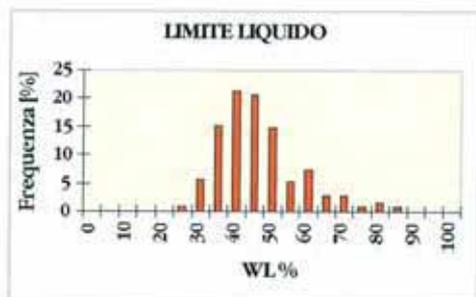


Fig. 45. Distribuzione statistica dei valori del limite liquido.

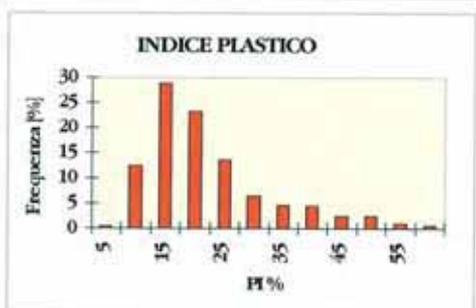


Fig. 46. Distribuzione statistica dei valori dell'indice plasti-

che interpretata in termini di angolo di attrito ultimo fornisce i seguenti valori: $\phi'_r = 24.44^\circ$ e $c'_r = 0.0753 \text{ kg/cm}^2$.

$$\tau = 0.3406 \sigma' \quad (b)$$

con: $R^2 =$ coefficiente di correlazione = + 0.9903

che interpretata in termini di angolo di attrito ultimo fornisce i seguenti valori: $\phi'_r = 19^\circ$ e $c'_r = 0 \text{ kg/cm}^2$.

7) Dalle prove triassiali CIU e CID sono stati ricavati i soli parametri inerenti la resistenza di picco valutati in corrispondenza del massimo valore di $(\sigma'_1 - \sigma'_3)$.

Per quanto attiene la fase di rottura si osserva che generalmente le curve $\sigma'_1 - \sigma'_3$ VS ϵ_a denotano un comportamento fragile, con valore massimo della resistenza raggiunto per deformazioni assiali variabili tra il 3% ed il 5%. Nelle prove CIU le pressioni neutre indotte hanno generalmente raggiunto un valore massimo (positivo) per deformazioni massime dell'ordine del 1,5 ÷ 2%.

Interpolando linearmente i dati (Fig. 48), si ottiene la seguente equazione:

$$t = 0.5851 s' + 0.3022$$

con: $R^2 =$ coefficiente di correlazione = 0.9261

che interpretata in termini di angolo di attrito efficace e coesione efficace fornisce:

$$\phi^* = 30.33 \text{ e } c^* = 0.30 \text{ kg/cm}^2.$$

Dove t ed s' (AGI 1990, 1994) rappresentano: $t = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$ ed $s' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$.

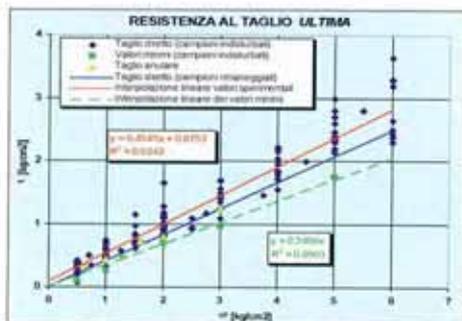


Fig. 47. Interpolazione lineare dei valori di resistenza al taglio "ultima" ottenuti da prove di taglio diretto, nello stesso diagramma sono anche riportati i valori di resistenza al taglio ricavati da prove di taglio anulare.

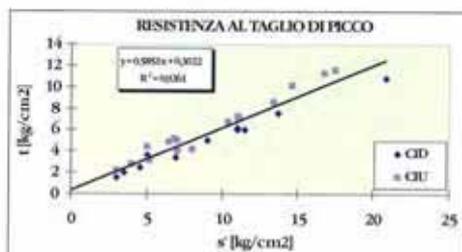


Fig. 48. Interpolazione lineare dei valori di resistenza di picco ottenuti da prove triassiali.

Considerazioni sui risultati

Una classificazione rigorosa delle Marne Oligo-Mioceniche richiederebbe, anche a causa delle differenti caratteristiche litologiche delle formazioni, campioni in numero molto superiore a 340 ed aventi distribuzione spaziale più ampia e diffusa; pur tuttavia l'analisi dei risultati pone in evidenza una certa omogeneità delle determinazioni sperimentali che suggerisce una generale significatività dei dati raccolti.

Caratterizzazione delle superfici di scivolamento

Avvalendosi, in un primo tempo della collaborazione dell'Università di Genova e, successivamente, del Politecnico di Torino, a partire dagli anni 90 il Settore Studi e Ricerche Geologiche avviò, un'indagine specifica su alcuni siti sede di movimenti avvenuti nell'intervallo di tempo; ottobre 1977 - maggio 1994. Lo scopo primario dello studio consisteva nella caratterizzazione dei livelli a scapito dei quali si era prodotto lo scorrimento delle masse traslate, focalizzando le indagini nell'intorno delle superfici di scivolamento che venivano riportate alla luce mediante lo scavo di trincee e pozzetti esplorativi (Fig. 49) opportunamente ubicati (Fig. 50).



Fig. 49. Pozzetto esplorativo scavato a margine della scarpata laterale della frana di Cascina Valanche (Somano). La foto mette in evidenza la superficie di scivolamento.

Per tutti i siti, scelti in base alla precisa necessità di poter disporre di movimenti franosi in cui fossero visibili ampi tratti delle superfici di scivolamento, sono stati condotti e sviluppati i seguenti studi (Rapporti Inediti):

- analisi morfodinamica del movimento franoso effettuata tramite l'esame comparato delle forme e dei loro mutui rapporti spazio-temporali, impiegando aerofotografie eseguite in periodi successivi;

- caratterizzazione dell'ammasso roccioso e dei principali sistemi di discontinuità ricorrendo alle tecniche usualmente utilizzate per il rilievo di ammassi di bassa e media resistenza;

- individuazione e caratterizzazione delle superfici di scivolamento.

- determinazioni sperimentali in laboratorio sui campioni prelevati sul posto

L'osservazione diretta di un movimento avvenuto nel corso degli studi (cascina Armandi presso Monastero Bormida, gennaio 1994, Fig. 51) ha consentito di ricavare utili indicazioni sugli stadi evolutivi susseguenti il collasso, sul comportamento dei materiali e sul rimodellamento della superficie di scivolamento.

Il materiale marnoso costituente il livello superiore della superficie di scivolamento alcuni giorni dopo l'evento appariva destrutturato e suddiviso in una serie di fitti piani paralleli suggerendo la possibilità di avvenuti fenomeni di rigonfiamento. Lo scavo di alcuni pozzetti superficiali a partire dal piano di "rottura" evidenziava un marcato contrasto tra l'elevato contenuto in acqua della superficie di scivolamento e la quasi assenza di umidità nello strato immediatamente sottostante.

Durante l'estate 1996, a circa un anno e mezzo di distanza dall'evento alluvionale del novembre '94, è stata eseguita una analoga campagna d'indagine (A.A.VV. 1996) su alcune frane distribuite sul territorio (Fig. 52).

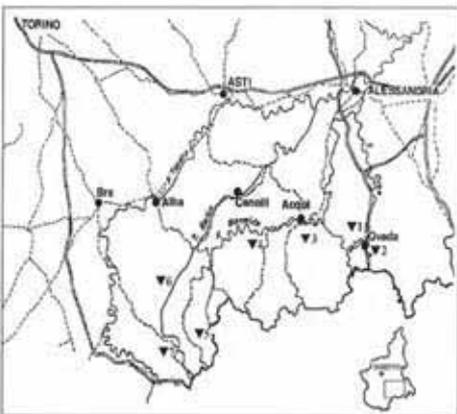


Fig. 50. Area di indagine ed ubicazione dei siti sede di fenomeni di tipo traslativo: 1 Cascina Piazzolo (AL), 2 Tagliolo (AL), 3 Lussito (AL), 4 Cascina Armandi (AT), 5 Gottasecca (CN), 6 Prato Noero (CN).



Fig. 51. Scivolamento planare di Cascina Armandi, gennaio 1994. La foto è stata scattata alcuni giorni dopo l'innescio del movimento franoso. In primo piano la superficie di scivolamento che appare perfettamente liscia e umida; in secondo piano (segnalato da una freccia) il settore di versante che verrà coinvolto durante l'evento del novembre 1994.

In entrambe gli studi le superfici di scivolamento, coincidenti con giunti paralleli alla stratificazione, sono state individuate in modo inequivocabile facendo ricorso a ricostruzioni stratigrafiche di dettaglio ed a correlazioni di carattere topografico e geometrico con le porzioni affioranti delle superfici stesse. Di grande aiuto per la precisa localizzazione è anche stata la presenza di sottili livelli di materiale rammollito a tetto della superficie di scivolamento, che in buon numero di casi, in particolare per i movimenti meno recenti, costituiva un piano contro il quale si arrestava lo sviluppo degli apparati apicali delle radici.

La presenza di una circolazione idrica in corrispondenza alla superficie di scivolamento rappresenta senza dubbio un forte indicatore in quanto, spesso, anche a distanza di periodi piovosi, si è constatato, durante lo scavo delle trincee esplorative, che la

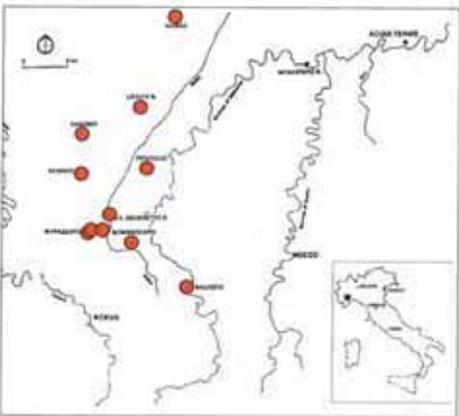


Fig. 52. Area oggetto di studio durante l'estate 1996: ubicazione dei siti di indagine.

maggior percentuale di umidità veniva rilevata in corrispondenza alla superficie di scivolamento. I campioni disturbati raccolti nel corso delle indagini, sono stati prelevati manualmente, nella maggior parte dei casi, in corrispondenza della scarpata principale; mediante lo scavo di pozzetti, profondi anche alcuni metri, nei materiali di detrito depositatisi a ridosso della nicchia di distacco, fino a raggiungere le superfici di scivolamento.

Le frane sono state scelte in modo da rappresentare sia la più ampia casistica di tipologie, sia le differenti formazioni geologiche.

L'analisi dei risultati conseguiti nel corso degli anni e sistematicamente riportati nelle tabelle 3 e 4, ha consentito di trarre le seguenti considerazioni:

- l'esame degli elementi morfostrutturali effettuato mediante l'interpretazione di aerofotografie ha messo in risalto che la maggior parte degli scivolamenti studiati si sono attivati su pendii interessati da evidenti indizi di precedenti fenomeni gravitativi tipologicamente simili agli attuali;

- i materiali marnosi evidenziano caratteristiche di resistenza molto variabili in funzione del loro grado di imbibizione. Valutazioni effettuate mediante lo sclerometro e il pocket penetrometer, per quanto semi-empiriche, rivelano insospettiti drastici decadimenti talora prossimi a due ordini di grandezza passando da materiali con contenuti in acqua pari a 10-13% a contenuti prossimi al 30-40%. Il solo aspetto in affioramento consente di ricavare alcune stime qualitative sulle caratteristiche meccaniche del materiale che appare nella prima condizione, simile ad una roccia sufficientemente consistente ed omogenea, mentre, nella seconda condizione, si presenta destrutturato, rammollito e completamente privo di consistenza assumendo le caratteristiche di un terreno. Gli stadi intermedi sono caratterizzati dalla disgregazione del sedimento lungo più piani paralleli alle superfici di sedimentazione che possono disgregarsi ulteriormente in numerose microscaglie separate l'una dall'altra, ma ancora organizzate secondo una struttura "laminata". Da un'attenta osservazione ad occhio nudo si può verificare che lungo i bordi e le superfici delle singole scaglie si rinvengono tracce di matrice argillosa più o meno rammollite;

- dal rilievo lito-stratigrafico (Fig. 53) eseguito sulle frane è emerso che la superficie di scivolamento si colloca quasi sempre al contatto marna-marna.

- in corrispondenza del piano di rottura è stato spesso riconosciuto un livelletto (R= rammollito) di materiale decisamente meno consistente (maggiore contenuto d'acqua) rispetto agli strati adiacenti, destrutturato e contenente microscaglie di materiale integro (Fig. 54).

È appunto lungo tale "livello" dello spessore di pochi centimetri (0.5-2.5 cm) che si sviluppa il fenomeno di rottura. La maggior parte di tali materiali può essere definita in accordo con il sistema di classificazione USCS come "argille e limi inorganici ed organici di bassa compressibilità" a cui corrispondo-

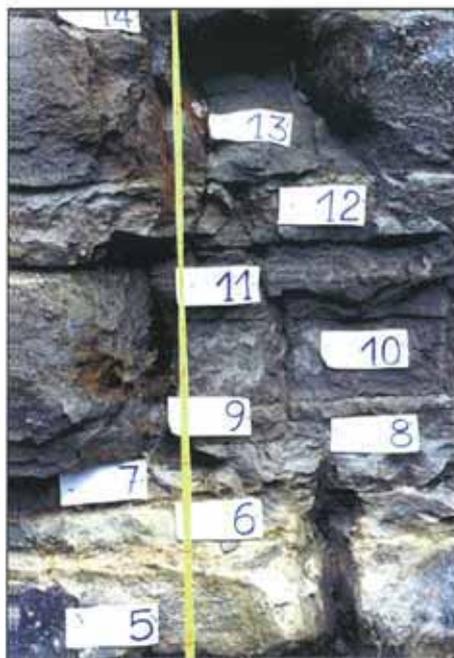


Fig. 53. Esempio di descrizione lito stratigrafica di dettaglio (frana di San Benedetto Belbo – località Borgoletto, scarpata principale, fianco destro – foto Simeoni).

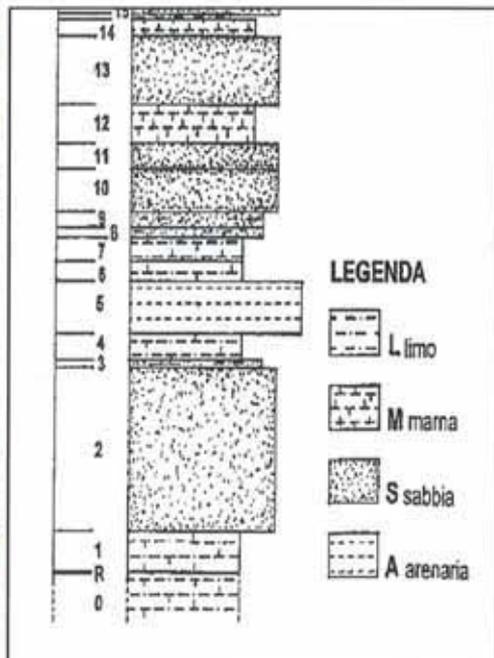


Fig. 54. Aspetto in affioramento del piano di scivolamento (frana di Cascina Valanche in Somano). La superficie di scivolamento è interposta a due strati marnosi in corrispondenza di un livello R di consistenza plastica. Tale livello destrutturato e rammolito si lascia facilmente infiggere dalla cazzuola (scarpata principale).

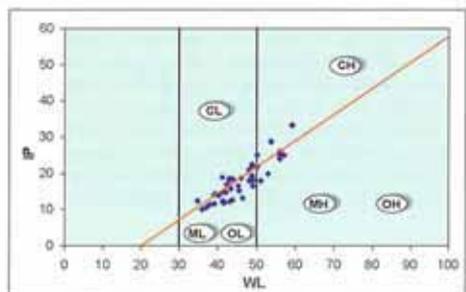
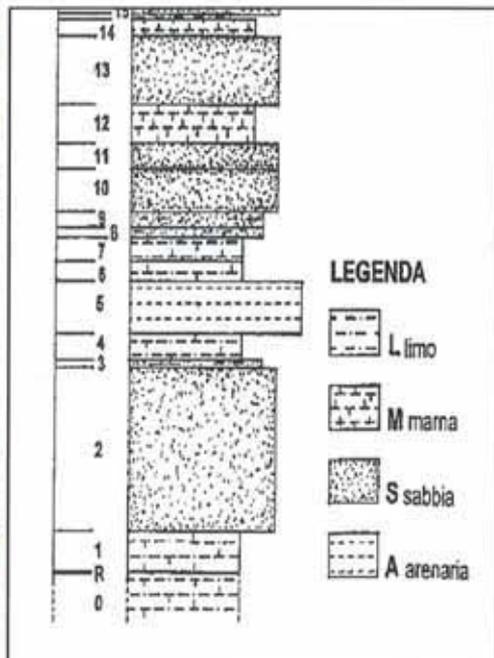


Fig. 55. Carta di plasticità inerente tutti i campioni raccolti nel corso delle indagini.

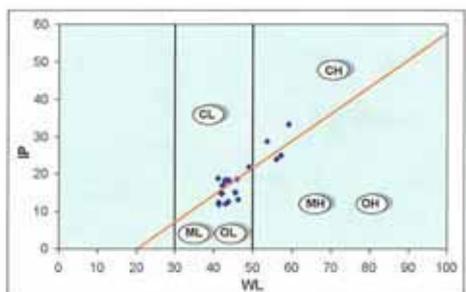


Fig. 56. Carta di plasticità relativa ai campioni prelevati sui piani di rottura (livello R, definito in accordo con lo schema A di tabella 4).

no valori di limite liquido generalmente inferiore al 50% e variabili tra 41-45% ed indice plastico generalmente inferiore al 30% e variabile nell'intervallo 12-33% (Figg. 55 e 56);

- in alcuni, anche se limitati casi, sono stati rinvenuti lungo i piani di scivolamento indizi di movimenti di origine tettonica tali quindi da far presupporre la possibilità che questi depositi stratificati abbiano già subito precedenti scorrimenti interstrato (ad es. frana 78, ove l'assenza di materiale rammollito R ha favorito l'individuazione lungo la superficie di scivolamento di fibre mineralizzate di chiara origine tettonica, Fig. 57).

- in molti casi è stato possibile riconoscere la continuità del livello R, meno consistente, anche a monte della scarpata principale.

- le difficoltà di campionamento del sottile "livello" entro cui si colloca la superficie di scivolamento ha fatto sì che si disponga di un numero molto limitato di valutazioni delle resistenze al taglio di tale materiale. Nella tavola I, che segue, sono state raccolte le poche determinazioni sperimentali disponibili in letteratura, per la maggior parte, ricavate a partire da campioni rimaneggiati

- la constatazione che il contenuto in carbonati apprezzato in corrispondenza del livello immediatamente sottostante la superficie di scivolamento fosse minore di quello determinato in corrispondenza del livello rammollito e destrutturato ha spinto l'Università di Genova (Vallarino A. 1995) a studiare gli effetti della decalcificazione sui parametri di resistenza al taglio delle marne. A tal proposito è stato indagato il materiale marnoso posto a letto del piano di scorrimento della frana avvenuta alla già citata cascina Armandi (AT) nel febbraio 1994 e riattivata nel successivo mese di novembre. Sono state effettuate prove di taglio diretto su campioni ricostituiti e decalcificati artificialmente in laboratorio. L'alterazione, infatti, comporta un aumento del contenuto in minerali argillosi espandibili ed una diminuzione di quello in carbonati (Hawkins A.B. *et al.*, 1988). I risultati ottenuti confermarono la diminuzione della resistenza al taglio e l'aumento dell'indice di plasticità riscontrati da Hawkins A.B. & McDonald C. (1992), ma l'en-

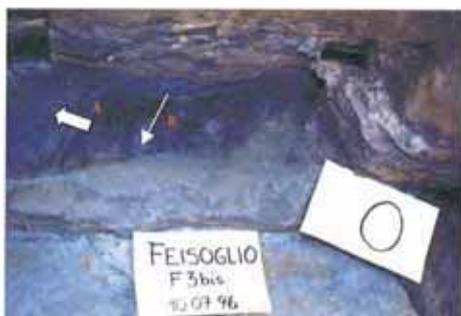


Fig. 57. Frana di Madonna degli Angeli in Feisoglio. Fibre mineralizzate di color ruggine presenti sulla superficie di scivolamento e disposte perpendicolarmente (B) alla direzione (A) del movimento franoso (foto Simeoni).

tità dell'effetto non è risultato comunque sufficiente per spiegare i bassi valori di resistenza che si devono mobilizzare lungo la superficie di rottura;

- in tutti i casi la superficie di scivolamento esposta all'aria per più tempo è apparsa ammorbidita e rigonfiata in seguito all'azione delle acque meteoriche ed allo scarico tensionale. Nel caso specifico della frana di cascina Armandi la superficie si è deteriorata nel giro di alcuni giorni. Partendo dall'evidenza che il piano di scivolamento si origina in corrispondenza di un livello sede di prolungata permanenza d'acqua (ne sono prova le placche di ossidazione visibili in superficie) e costituito da materiale rigonfiante, il Politecnico di Torino (Osella A. 1995) ha condotto analisi diffrattometriche ed effettuato osservazioni al SEM (*Scanning Electron Microscope*) sulle marne prelevate in corrispondenza della superficie di scivolamento. Campioni di materiale immersi in acqua per un periodo di 48 ore, hanno dato origine alla formazione di piani preferenziali di "saldatura", evidenziati da un sistema di fessure sub-parallele ai piani di sedimentazione e quindi alla superficie di scivolamento. Sono state inoltre eseguite analisi difrat-

Tavola I. Risultati delle determinazioni sperimentali ottenute su campioni prelevati in corrispondenza delle superfici di scivolamento e sottoposti a prove di taglio diretto. Vengono fornite informazioni: sulle percentuali in sabbia, limo e argilla (S, L, A), sui limiti di Atterberg (WL, WP, IP), sull'umidità naturale (WN), sugli angoli di attrito di picco e ultimo (dove per ultimo si intende il valore minimo ottenuto al termine di uno spostamento tangenziale totale pari a 6-8 mm), sui valori delle coesioni di picco e ultime e sulle condizioni dei campioni (R = rimaneggiato, I = indisturbato).

Le parentesi riportate accanto alle località sono riferite alla fonte bibliografica, ovvero: (1) Forlati F., Stoppa T. (1982); (2) Del Lotto P., Frassoni A. (1996); (3) Vallarino A. (1995).

Località	Coordinate		S %	L %	A %	WL %	WP %	IP %	WN %	Ph ₃₀ (°)	Ph ₂₀ (°)	C _p (Mpa)	C _u (Mpa)	Campione
	X	Y												
(1) CASCINA PIAZZOLO (OVADA)	471102	4945085	2	71	27	43.7	25	18.3	-	26.2	23.8	0.02	0.02	R
(2) MURAZZANO	425972	4925386	4	78	18	45	27	18	17	27	22	0.005	0	R
			12	65	23	44	25	21	39	27	25	0	0	R
(3) GOTTASECCA	434401	4924209				35.6	26.4	9.1	17.4	26	26	0.02	0.018	I
			2	65	33	41.3	22	19	-	24	23.8	0.01	0.01	R

tometriche sia su campioni raccolti sulla superficie di scivolamento, nella zona integra sottostante, sia in prossimità della superficie "sfaldatura" del campione immerso in acqua. I risultati hanno dimostrato una maggiore presenza di smectite (minerale argilloso espandibile) e clorite sulle superfici del piano di scivolamento e di "sfaldatura" ed una maggior percentuale di illite, calcite e quarzo, invece, nel campione preso nella zona sottostante la superficie di scivolamento (tab. 2). L'osservazione al SEM della superficie di "sfaldatura" rilevò inoltre una disposizione delle particelle piuttosto irregolare e dall'aspetto spugnoso riferibile alla tipica struttura "aperta" dei minerali argillosi espandibili che, sottoposti a cicli di umettazione ed essiccamento, rispettivamente rigonfiano e collasano.

Come già ricordato, anche durante la campagna di indagini condotta nell'estate 1996, vennero prelevati numerosi campioni adiacenti i piani di scivolamento. Oltre alle usuali determinazioni sperimentali vennero eseguite specifiche analisi mineralogiche mediante diffrattometria che misero in evidenza un elevato contenuto di minerali argillosi espandibili (smectite) in prossimità della superficie di scivolamento con valori variabili nell'intervallo 19-34. Tra le cause scatenanti il fenomeno di instabilità si attribuì, quindi, un ruolo non trascurabile ai processi di rigonfiamento di tipo osmotico. L'entità del processo venne indagata a livello macroscopico mediante una Tesi di dottorato in Ingegneria geotecnica (Simeoni 1998)

condotta in seno al Politecnico di Torino. I risultati di numerose prove di rigonfiamento eseguite con diverse condizioni al contorno, variando il contenuto della salinità del fluido interstiziale, hanno evidenziato insospettiti elevati valori delle pressioni di rigonfiamento dell'ordine dei 1000-2000 kPa. Tali evidenze sperimentali, associate all'esperienza maturata sul fenomeno franoso da Simeoni le fanno affermare che: «L'instabilità è imputabile alle condizioni al contorno, intesa non come semplice incremento delle pressioni interstiziali nelle fessure, ma come insorgenza di un gradiente osmotico, da cui derivano le pressioni di rigonfiamento. Tali pressioni decadono a mano a mano che procede la formazione delle fessure ed il distacco della zolla. L'entità delle pressioni osmotiche, valutabili per i sedimenti marnosi coinvolti nei processi gravitativi, risulta tale da giustificare da sola il processo di instabilità, indipendentemente dalle variazioni che possono attribuirsi all'angolo di attrito». È opinione di chi scrive che le proprietà rigonfianti dei materiali costituenti la superficie di scivolamento e le conseguenti pressioni osmotiche esercitate per specifiche condizioni al contorno, possano rappresentare un'efficace chiave interpretativa dell'innescio degli scivolamenti planari. Ciò chiaramente non significa che il processo di rigonfiamento debba essere inteso come l'unico meccanismo capace di determinare l'instabilità, ma vada correttamente interpretato come un processo scatenante concorrente o, in alcuni casi, alternativo ad altri.

Tab. 2. Risultati delle analisi mineralogiche con valori in % in peso (Osella A. 1995). Sm = smectite, Ch = clorite, I = illite, S = serpentino, Cc = calcite, D = dolomite, Qz = quarzite, K-F = K-feldspato, Pl = plagioclasti, A = campione prelevato sulla superficie di scivolamento del corpo di frana, A-1 = campione prelevato nella zona sottostante (parte integra) alla superficie di scivolamento del corpo di frana, A-2 campione prelevato sulla superficie di "sfaldatura" del corpo di frana, dopo immersione in acqua.

Campioni	Sm	Ch	I	S	Cc	D	Qz	K-F	Pl
A	30	20	10	19	4	tr	8	2	7
A-1	15	11	15	11	10	5	16	4	13
A-2	25	14	13	10	8	4	10	4	12

Tab. 3. Dati generali sulle frange indagate, inerti: l'ubicazione, la formazione geologica coinvolta, le date di innesco o riattivazione e le informazioni di carattere giacitura.

Sito	Comune	Formazione	Coordinate UTM		Data innesco (d) Riattivazione (r)	Vernazze		Superficie di svoltamento		Scarpata principale		Valori medi dei sistemi di discontinuità che hanno dato origine a scarpate minori o han- no contribuito a liberare late- ralmente le porzioni instabili		Spessore
			X	Y		IMM	INC	IMM	INC	IMM	INC	IMM	INC	
Cascina Piazzolo	OVADA	Cosole	471102	4945086	16/10/1980 f	347°	18°	9°	14°	303°	85°	289°-84°	16°-85°	7.2
Cascina Aurrea	TAGLIOLO MONTEFERRATO	Cremolino	473025	4943114	6/10/1977 f	343°	8°	5°	16°	340°	80°	270°-80° ²		4.8
Lunibio	ACQUI TERME	Cremolino	458407	4944884	20/05/1903 f 03/1957 r 6/10/1997 f	13°	15°	15°	15°	313°	81°	288°-79° 108°-79°	208°-73° 248°-73°	6.5
Cascina Armanelli	MONASTERO BORMIDA	Govemella	446588	4943221	5/02/1994 f	345°	12°	349°	12°	345°	86°	282°-83°		2.5
Gaitrasacca	GOTTASECCA	Monesiglio	414401	4924209	02/1972 f	318°	10°	326°	10°	342°	85°	296°-86°	11°-86°	256°-87°
Prato Nuovo	BOSSOLANCO	Murazzano	424803	4932973	13/03/1972 f 3/11/1994 r	294°	11°	314°	11°	313°	85°			8.0

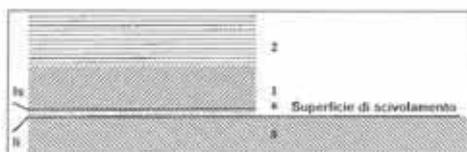
Sito	Comune	Formazione	Coordinate UTM		Data innesco (d) Riattivazione (r)	Vernazze		Superficie di svoltamento		Scarpata principale		Valori medi dei sistemi di discontinuità che hanno dato origine a scarpate minori o han- no contribuito a liberare late- ralmente le porzioni instabili		Spessore
			X	Y		IMM	INC	IMM	INC	IMM	INC	IMM	INC	
Casc Galla	MIANGO n. 6	Lequio	431263	4946679	5/11/1994 f	550°	10°	557°	12°	290°	89°	30°-89°		10
Mad. D. Angeli	FESOGGIO n. 78 (Gbia)	Casinacco	429301	4935538	5/11/1994 f	310°	10°	308°	8°	293°	60°	269°-69°	25°-81°	7.10
Casa Valanche	SOMANO n. 177	Murazzano	421191	4931794	5/11/1994 f	324°	11°	319°	10°	340°	89°	34°-89°		3.6
Bospaletto	S. BENEDETTO B. n. 235	Casinacco	424851	4927249	5/11/1994 f	255°	19°	310°	11°	310°	80°	210°85°		6
Lunetta	NIELLA BELBO. n. 243 **	Casinacco	426045	4925610	5/11/1994 f	324°	13°	330°	12°	283°	80°	8°-22°		3
C. Fotecchello	MURAZZANO n. 277	Murazzano	422357	4924472	5/11/1994 f	330°	12°	314°	8°	298°	70°	138°-82°		6.7
Coose: Via Berrìa	LEQUIO BERRIA n. 63 *	Murazzano	430910	4940221	5/11/1994 f	8°	12°	337°	14°	328°	80°	80°-89°	240°-89°	10
Casa Nuova	RODDINO n. 120 *	Lequio	422546	4936795	5/11/1994 f	350°	18°	320°	8°	300°	80°	30°-80°		15
Contalunga	MONTECARARO n. 245 *	Casinacco	426070	4924360	5/11/1994 f	307°	10°	325°	5°	305°	60°	286°-64°	196°-85°	6
Cosana	SALICETO n. 363 **	Monesiglio	433376	4921709	3/11/1994 f	255°	32°	335°	11°	298°	83			230°-80°
Casa Fascinea	MURAZZANO n. 273 **	Murazzano	422697	4923722	5/11/1994 f	320°	18°	315°	11°	310°	87°			221°-69°

* = predetto impossibile

** = predetto effettuato in corrispondenza della zona trattata per difficoltà di campioamento nell'interno della scarpata principale

Tab. 4. Tabella di sintesi relativa alle caratteristiche dei materiali prelevati nell'intorno della superficie di scivolamento. La nomenclatura dei campioni prelevati in sito fa riferimento allo schema A riportato a più pagina. Vengono fornite informazioni sulla composizione granulometrica dando le percentuali in Ghiaia, Sabbia, Limo e Argilla, sulla natura dei due strati separati dalla superficie di scivolamento (Ma = Marna argillosa - Mas= Marna argillo sabbiosa - S = Sabbia), sull'umidità naturale, sui limiti di Atterberg, sul tenore in carbonato, sull'indice di consistenza (IC) sul coefficiente di attività colloidale (A) e sulla classificazione USCS.

Località	Cate- gorie	Composizione granulometrica				Giunto	Atterberg			CaCO ₃	IC	A	USCS
		G%	S%	L%	A%		WL	WP	IP				
(1993) Cascina Piazzolo Comune di OVADA	R R 0	2.0 2.5	71.0 68.5	27.0 29.0	Ma/Ma	43.70 39.10	25.00 24.60	18.30 14.50	23.10 20.90 31.72		0.67 0.5	CL CL	
(1988) Cascina Piazzolo Comune di OVADA	R I 0	1.0 3.0	64.0 69.0	35.0 28.0	Ma/Ma	43.60 43.40 45.20	30.90 27.60 28.70	12.70 13.80 16.30			0.36 0.56 0.53	ML e OL ML e OL ML e OL	
(1992) Cascina Piazzolo Comune di OVADA	R R	1.5 2.5	70.5 67.5	28.0 30.0		42.20 43.00	25.20 24.30	17.00 18.50			0.61 0.62	CL CL	
Lussino - Comune di ACQUI TERME	I R 0	7.0 11.0 0.5	62.0 38.0 68.0	31.0 31.0 31.5	Ma/Ma	58.90 42.90 48.90	24.70 24.80 23.80	14.20 18.10 16.60	25.10 15.50 10.40		0.46 0.58 0.53	CL CL ML e OL	
Cascina Aurora - Comune di TAGLILOLO MONF.	I R	1.0 5.0	49.0 69.0	9.5 26.0	S/Ma	N.F. 42.90	N.F. 30.70	N.F. 12.20	9.92 23.10	2.0	0.47	ML e OL	
Prato Nocero Comune di BOSSOLASCO Trincea 2	I R 0	37.5 5.5 34.0	32.5 69.0 (60.0(L+S))	10.0 25.5	S/Ma	N.F. 46.30	N.F. 33.02	N.F. 13.28	18.04 12.46 8.40		0.52	SM-SC ML e OL	
Prato Nocero Comune di BOSSOLASCO Trincea 1	R R 0	0.3 3.3	2.7 55.4	62.2 41.3	S/Ma	33.68 39.20	24.96 25.80	28.72 33.40	18.01 12.46 8.91		0.82 0.80	CH CH	
Cascina Armandi - Comune di MONASTERO BORM. A monte zolla trasata	I R 0	43.0 1.0 0.5	49.5 62.0 68.5	7.5 24.0 25.5	S/Ma	16.24 33.18 15.00	N.F. 41.20 48.70	N.F. 28.70 29.40	N.F. 12.50 19.30	9.15 15.00 9.00	0.64 1.75	0.52 0.76	ML e OL ML e OL
Cascina Armandi - Comune di MONASTERO BORM. A ridosso scarpata principale	I R R 0	45.0 1.0 1.0 1.0	47.5 66.0 62.0 63.5	7.5 33.0 24.0 22.5	S/Mg S	14.83 40.36 33.18 18.80	N.F. 43.90 41.20 48.80	N.F. 27.10 28.70 31.20	N.F. 18.80 12.00 22.50	9.15 11.70 15.00 8.90	0.28 0.64 1.70	0.57 0.52 0.78	ML e OL ML e OL ML e OL
GOTTASECCA	I R	2.0	65.0	33.0	M2/Ma	41.10	22.0	19.00	19.50		0.56	CL	
Casc Gale Comune di MANGO frana n. 6	I R 0	4.0 1.3 1.5	66.0 65.7 73.5	30.0 33.0 25.0	Ma/Ma	25.00 25.00 23.00	36.00 36.00 36.00	30.00 32.00 31.00	26.00 24.00 25.00	44.40 39.80 20.90	1.19 1.57 1.32	0.86 0.75 1.00	MH e OH MH e OH MH e OH
Borgaletto - Comune di S. BENEDETTO BELBO frana n. 255	I R 0	5.0 2.0 1.0	74.0 73.0 79.0	21.0 25.0 20.0	Ma/Ma	18.00 32.00 20.00	53.00 57.00 49.00	33.00 32.00 31.00	20.00 25.00 18.00	13.40 3.80 3.80	2.00 1.00 2.00	0.96 1.00 0.90	MH e OH MH e OH MH e OH
FEISOGGIO frana n. 78 (Obis)	I R 0	2.0 2.0	60.0 65.0	38.0 33.0	S/Ma	18.45 17.95	51.00 51.00	33.00 33.00	18.00 18.00	15.10 21.80	1.80 1.83	0.47 0.54	MH e OH MH e OH
SOMANO frana n. 177	I Is R R I I 0	2.0 1.2 1.0 2.0	32.0 61.8 66.0 66.0	36.0 37.0 33.0 32.0	Ma/Ma	19.24 19.24 42.18 17.95 17.95	48.00 30.00 49.00 48.00 30.00	30.00 28.00 27.00 27.00 25.00	18.00 22.00 22.00 21.00 25.00	35.40 35.40 29.50 23.60 23.60	1.60 1.40 0.30 1.43 1.28	0.50 0.39 0.30 0.64 0.78	ML e OL CL/CH CL CL CL/CH
MURAZZANO frana n. 277	I R R 0	8.0 5.0	68.5 73.0	23.5 22.0	Ma/Ma	19.02 15.69	41.70 40.20	29.65 26.10	12.05 14.10	8.00 3.00 5.75	1.88 1.73	0.51 0.64	ML e OL ML e OL
MURAZZANO frana n. 273	R R	4.26 17.85	18.24 13.15	55.7 33.5	MaS/MaS	41.90 36.90	26.90 26.30	15.00 10.60	14.20 27.90		0.68 0.68	ML e OL ML e OL	
Lametta - Comune di NIELLA BELBO frana n. 243	I R R 0	9.0 1.0 3.5	69.0 58.9 72.0	22.0 41.1 24.5	Ma/Ma	25.04	35.80 42.00 48.80	29.70 27.20 30.30	10.10 14.80 18.50	11.00 0.50	1.15	0.46 0.36 0.75	ML e OL ML e OL ML e OL
Cosana - Comune di SALICETO frana n. 363 Pozzetto 1	I R R 0	13.47 1.0 6.73	14.53 13.00 13.25	61.0 66.0 66.0	MaS/MaS	41.30 45.90 38.90	26.30 25.60 27.20	15.00 18.30 11.70	14.20		1.36 0.92 0.84	ML e OL CL ML e OL	
Cosana - Comune di SALICETO frana n. 363 Pozzetto 2	I R R 0	13.0 0.44	25.0 11.06	46.5 73.0	MaS/MaS	34.70 45.40 37.80	22.30 30.20 26.30	12.40 5.50 11.50	0.75 9.25		0.80 0.74	CL ML e OL ML e OL	



- I = strato a tetto della superficie di scivolamento
 Is e Is = interfacce rispettivamente inferiore e superiore
 R = livello rimaneggiato
 0 = strato a letto della superficie di scivolamento

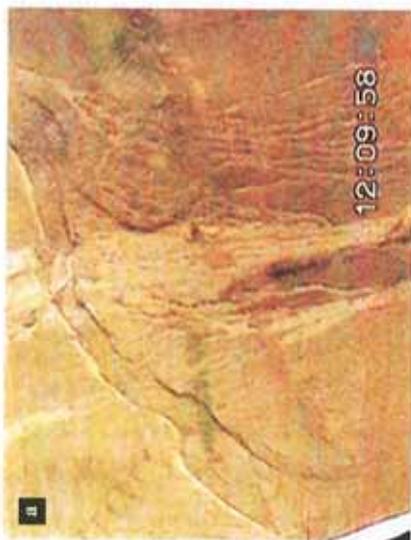


Foto per scivolamento planare nelle Langhe. Aspetti particolari: a) particolare della zona di innescio con "incrinamento" a trincea di una porzione di versante; b) ripresa aerea dell'insieme delle solle dislocate durante un movimento; la zolla al centro dell'immagine, di un'altezza prossima ai 10 m, conserva al tetto una porzione di manto bituminoso della strada distrutta; c) zolle di neoformazione, a seguito dell'evento 1994, sopportanti coperture detritica derivante da più antichi movimenti frastosi; d) curiosa immagine, in una ripresa dall'alto, della parte inferiore di un pozzo ad uso agricolo, troncato dal movimento, rimasta preservata entro il substrato al di sotto del piano di scivolamento.

5.1.2. Frane per mobilitazione delle coperture detritiche

Premessa

Questa tipologia di processi si sviluppa con maggior frequenza in ambiente prealpino ed in zone collinari, coinvolgendo per lo più limitate porzioni di terreni non coerenti della copertura superficiale che le acque di infiltrazione hanno portato alla saturazione. La particolare pericolosità di questi fenomeni è da mettere in relazione con la loro rapidità di sviluppo e con la difficoltà di prevederne l'ubicazione, ma, anche, con l'elevata densità di distribuzione dei singoli fenomeni, le cui traiettorie di discesa sul versante hanno così una notevole probabilità di interferire con aree antropizzate.

Identificazione del processo

Processo naturale tra i più veloci la frana per mobilitazione delle coltri superficiali (definita in letteratura «frana per saturazione e fluidificazione dei terreni sciolti superficiali») si attiva e si esaurisce nello spazio di pochi minuti, a volte qualche decina di secondi. Per tale processo, classificabile ad "azione istantanea", sono state stimate velocità comprese tra 2 e 9 m/s (Fukuoka et al.; 1977, Govi et al., 1985).

Con il termine *mobilitazione delle coperture detritiche* si comprende, a volte in modo imperfetto, sia il fenomeno franoso in senso stretto, sia la successiva evoluzione, peraltro non sempre presente, da una attività puramente di tipo franoso ad un'altra strettamente legata e sconfinante nei processi torrentizi, con l'incanalamento del materiale entro incisioni pressenti.

In occasione di particolari condizioni meteorologiche, porzioni di terreno superficiale si staccano dagli strati sottostanti, o dal tetto del substrato roccioso sul quale giacciono e, muovendosi su una superficie in genere sub-planare, traslano verso il basso evolvendo a volte in colata.

L'analisi dei diversi casi osservati sul terreno in seguito all'evento alluvionale del novembre 1994 ha consentito di delineare le seguenti quattro casistiche:

A) porzioni della coltre di alterazione superficiale che seppur delimitate e scomposte da fratture, hanno subito traslazioni di limitata entità tali da non esporre la superficie di movimento, mantenendo, in definitiva, una loro originale integrità, pur evidenziando un incipiente sovrascorrimento del bordo inferiore sul piano campagna (*incipient translational soil-slide*, Varnes, 1978);

B) porzioni della coltre di alterazione superficiale che hanno subito traslazioni di una certa entità, tale da esporre completamente la superficie di movimento nella zona di distacco. L'accumulo, nella sua parte preservata, è costituito da zolle disumite che hanno mantenuto singolarmente la loro integrità grazie anche all'effetto coesivo svolto dagli apparati radicali (*translational soil-slide*, Varnes 1978);

C) porzioni della coltre di alterazione superficiale che, a seguito della traslazione iniziale e della destrutturazione della massa, degenerano in colata. La discesa della massa determina, sovente, forme di erosione lungo la traiettoria con conseguente presa in carico di altro materiale detritico. L'accumulo, di norma in forma lobata, è in genere ben identificabile (*earth-flow*, Varnes, 1978);

D) porzioni della coltre di alterazione superficiale che, a seguito della traslazione iniziale e della destrutturazione della massa, degenerano in colata estremamente fluida in cui il materiale viene trasportato "in sospensione". Il flusso, disponendosi su ampia sezione laminare, progredisce con scarso attrito nei confronti della superficie topografica, il che non comporta forme erosive sul terreno. In questo caso, non esiste accumulo identificabile in quanto il materiale viene completamente disperso lungo ed alla base del versante (*disintegrating soil-slip*, Kesseli, 1943) (Figg. 58 e 59).

Il fenomeno, escluso l'incipiente, è quindi caratterizzato da una nicchia di distacco, da un "corridoio di discesa", che nei casi B e D costituisce semplicemente una sorta di "zona di transito" che sovente si mostra sgombra da detrito e non particolarmente danneggiata, e da una zona di accumulo più o meno delimitata.

In sintesi, si può parlare di vera e propria traslazione di un corpo detritico che mantiene in un primo momento una sua relativa geometria originale seguita, talora, dal colamento (più o meno fluido) della massa coinvolta. In particolare, la *traslazione* determina il momento e la localizzazione precisa dell'inesco, mentre il *colamento* determina la direzione e la velocità di movimento.

Sovente la coesistenza dei diversi meccanismi di movimento, identificati nelle quattro casistiche sopra evidenziate, colloca tali fenomeni nell'ambito delle frane complesse (Cruden & Varnes, 1996).

Indagini e studi

Le piogge cadute nella prima decade di novembre, prima persistenti e poi intense, hanno creato le condizioni affinché su tutto il territorio regionale interessato dall'evento alluvionale si attivassero frane per mobilitazione di porzioni dello strato detritico superficiale. Ma per particolari condizioni meteorologiche e geologiche il Piemonte sud orientale è stata l'area più interessata da questo tipo di frana.

L'analisi della distribuzione sul comparto meridionale del territorio regionale, condotta in particolare modo tramite fotointerpretazione, ha dimostrato in tutta la sua chiarezza, come non ci sia stato bacino idrografico di qualsiasi dimensione che non sia stato colpito da questo processo.

Sin dai primi giorni seguenti l'evento alluvionale 1994, si è provveduto a realizzare un primo documento di lavoro rivolto alla mappatura delle frane coinvolgenti le coltri superficiali.

La diffusione è stata così elevata che lo stesso con-

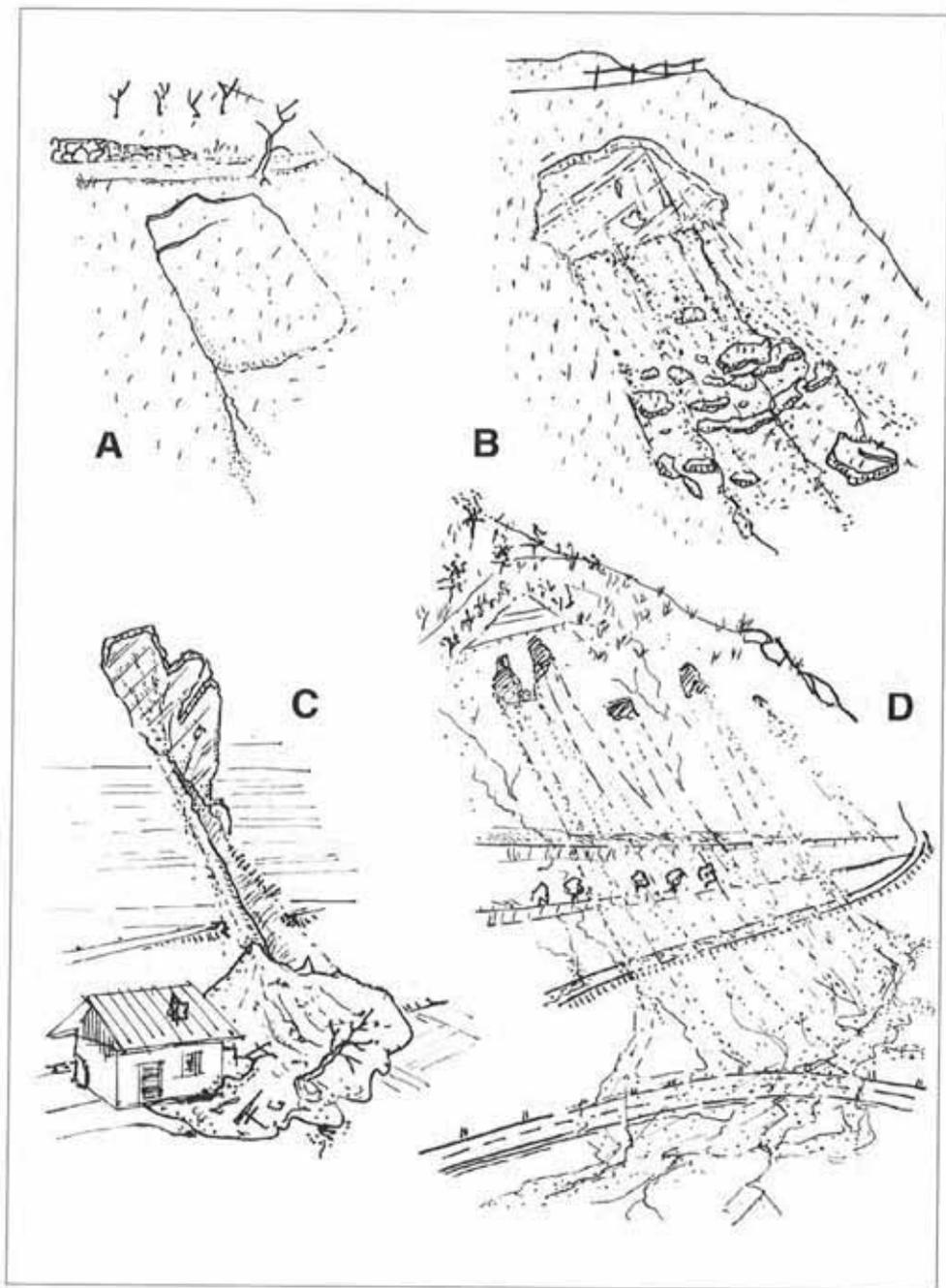


Fig. 58. Schema delle 4 casistiche relative a frane per mobilizzazione delle coperture detritiche superficiali individuate nella zona collinare delle Langhe.



Fig. 59. Esempi (A, B, C, D) di dissesto riferibili allo schema della figura precedente.



teggio areale è stato reso difficile se non impossibile, in termini assoluti, dalla complessità di certe attivazioni che hanno interessato più "individui" contigui per cui non si è cartografato ogni singolo episodio, ma sovente si sono dovuti delimitare insiemi di più episodi.

Su basi della C.T.R. fotoridotte in scala 1:20.000 si è innanzitutto provveduto a individuare e delimitare le geometrie di frana nell'area maggiormente interessata operando, attraverso la copertura aereo-fotografica, anch'essa in scala 1:20.000, ripresa in bianco e nero nei giorni seguenti l'evento alluvionale. La ricerca ha interessato le Langhe nella loro interezza, ovvero i bacini del fiume Bormida di Millesimo, del torrente Belbo e dei tributari minori Tinella, Cherasca, Tallora, Rea e altri direttamente confluenti in Tanaro, e Uzzone affluente in destra nel Bormida.

La superficie di quest'area è di 1100 km² circa e in questo ambito sono stati individuati 2701 processi singolarmente riconoscibili e 1295 insiemi indistinti nei quali sono comprese, indicativamente, da almeno 2 ad alcune decine di nicchie di distacco.

Nella Fig. 60 di seguito proposta viene riportato a titolo esemplificativo uno stralcio della cartografia numerica prodotta.

I risultati di questa ricerca sono anche schematizzati, assieme ad altri tipi di dissesto, nella "Carta dei processi nell'area delle Langhe" contenuta, quale fine-

stra di dettaglio, nella tavola di sintesi "Carta dei processi geologici e danni associati" allegata, come Tavola 1, fuori testo. Una elaborazione dei dati desumibili dalle aereofotografie ha permesso di ricavare il quadro territoriale delle densità dei fenomeni per km².

L'elaborazione ha preso in considerazione le sezioni in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale che interessano tutta l'area indagata ed ha comportato per ciascuna di queste l'individuazione di 2 settori significativamente coinvolti entro i quali effettuare il conteggio.

Dall'analisi dei risultati emergono chiaramente le zone nelle quali si è avuto il massimo di concentra-

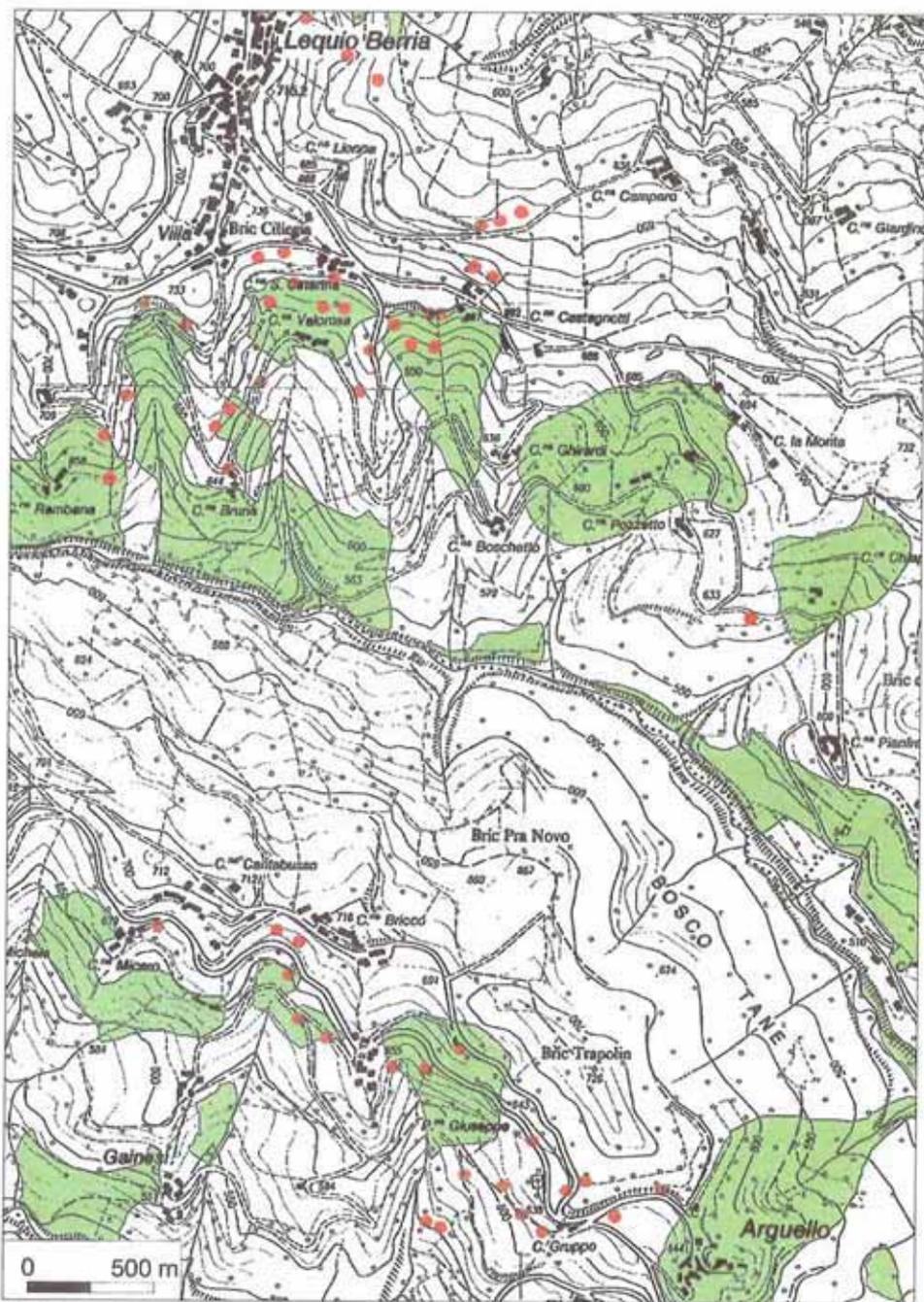


Fig. 60. Processi di mobilitazione delle coltri detritiche superficiali: stralcio della cartografia numerica prodotta da fotointerpretazione su immagini dell'area delle Langhe, in rosso sono identificati singoli processi e in verde gli involucri di individui non distinti.

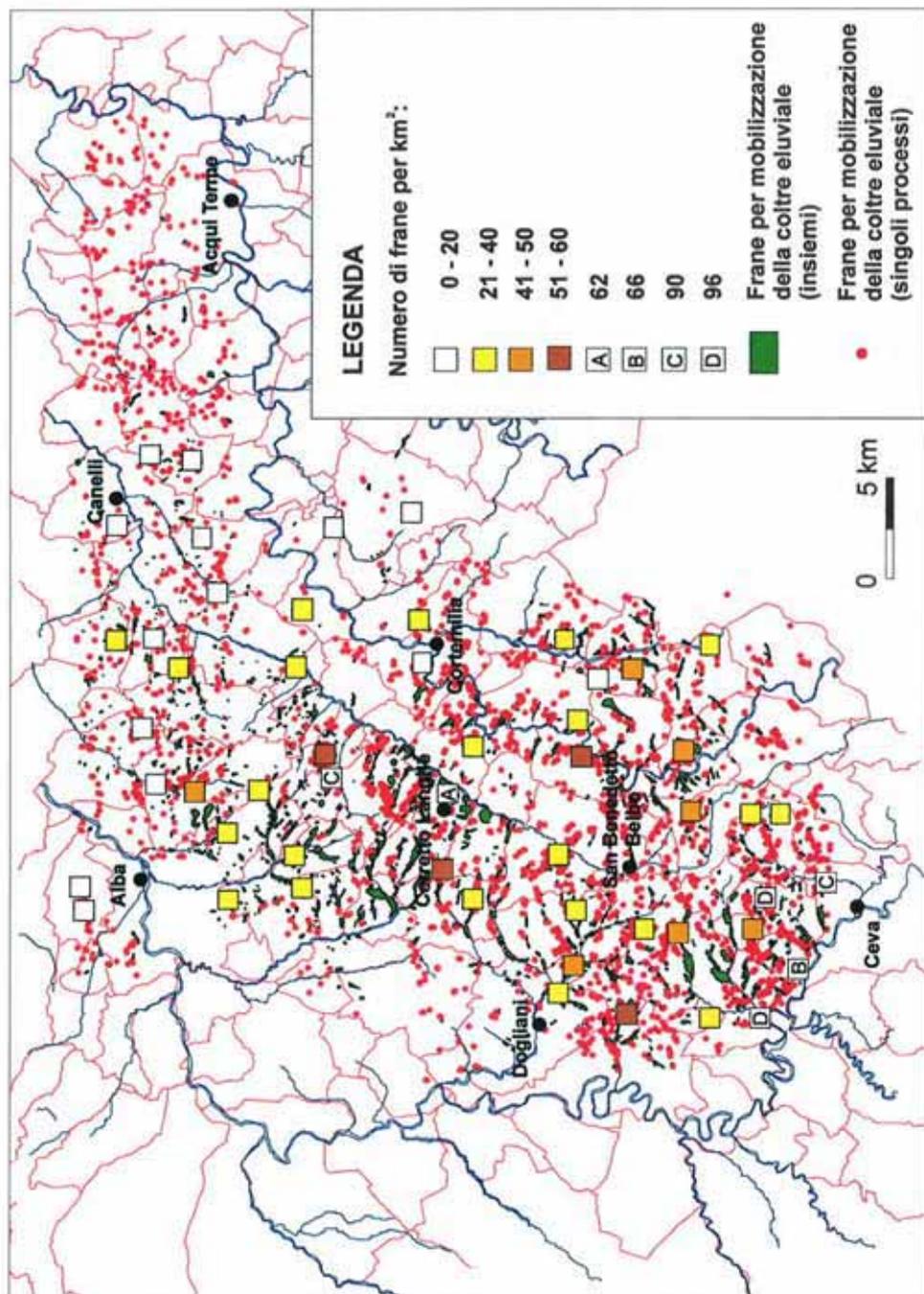


Fig. 61. Quadro territoriale della densità delle frane per mobilitazione delle coltre detritiche superficiali nell'area delle Langhe.

zione: l'una situata nell'area di Cerreto Langhe, in sinistra della valle Belbo, e l'altra a Sud, tra Ceva e Bastia Mondovì, sul fianco destro della valle Tanaro.

In quest'ultimo settore sono state eseguite indagini di dettaglio che hanno consentito una miglior caratterizzazione di tale tipologia di frana.

Nel testo è riportato, quale esempio di studio, uno stralcio (Fig. 62) estratto da originali di rilevamento condotto mediante analisi di fotografie aeree e relativo alla zona terminale del torrente Bovina e alla parte settentrionale della città di Ceva.

In tale tavola, da originale in scala 1:10.000, sono cartografate, in un'area di circa 4 km² oltre 200 frane, con un massimo di 96 processi su 1 km², interessanti le coltri alterate superficiali che hanno in parte coinvolto viabilità ed edificato. È molto interessante osservare come, dove la presenza di un reticolato idrografico minimamente sviluppato lo consenta, il materiale franato, incalanandosi in alveo, assuma le caratteristiche cinematiche di una vera colata torrenziale interessando al termine l'apparato di conoide.

Sono evidenti le molteplici interruzioni stradali, il

coinvolgimento di edifici, dell'area ferroviaria nei pressi della stazione di Ceva e, non meno gravi, le attivazioni della rete idrografica minore sotto forma di colate detritiche violente, improvvise e pericolose per la viabilità di fondovalle, come denotano i segni sui conoidi e le testimonianze raccolte in loco. L'analisi permette inoltre di definire taluni "involuppi", che individuano e sottolineano una posizione altimetrica comune delle zone di innesco di individui contigui, interpretabili come variazioni di pendenza nello stesso versante, tra aree coltivate.

Al fine di raccogliere sistematicamente tutte le informazioni significative su tale tipologia di frana è stata, inoltre, messa a punto congiuntamente da Regione Piemonte e CNR-IRPI di Torino, una specifica metodologia di rilevamento che pone l'attenzione su:

1. caratteristiche della zona d'innescio (contesto morfologico, parametri geometrici, uso del suolo);
2. danni;
3. ora di attivazione del fenomeno;
4. altre notizie



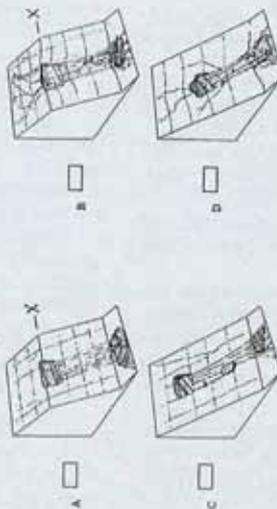
Fig. 63. Particolare del fotogramma aereo relativo al settore collinare cartografato in fig. 62.

Espresso allunquennale 5/6-11-1994
SCHEMA DI RILEVAZIONE FRANE PER SATURAZIONE E FLUIDIFICAZIONE
DEI TERRENI SCIOLTI SUPERFICIALI

Codice processo
Strisciata
Comune _____/Prov. _____/Volto 11/70 nov. 94 s/n. _____
Localita' _____/Rev. 25.000 _____/Sec. C.T.R. _____

1) CARATTERISTICHE DELLA ZONA D'INTERESSO

1.1 Contesto morfologico



X= Orlo di scarpata
artificiale agricolo
naturale rilevato
altro

1.2 Riferenze



1.3 Geometria

1.4 Uso del suolo nell'area di attivazione

a prato
a coltivato
a bosco
vigneto
frusteto
altro

2) DANNI

2.1 Nella zona di interesse (a) 2.2 Lungo la traiettoria (b)

	Interessati		Parzialmente danneggiati		Gravemente danneggiati o distrutti	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Edifici	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Viabilità	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Manufatti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Altro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

3) TEMPI

3.1 Ora di distacco _____ dei _____/_____/_____/_____

4) ALTRE NOTE

4.1 Cause antropiche hanno convogliato acqua a monte
4.2 Sono presenti fessure di trazione a monte
4.3 E' stato coinvolto parzialmente il substrato

5) OSSERVAZIONI

Data _____/_____/_____ Rilievatore/i _____

Fig. 64. Esempio della scheda di rilevamento.

I criteri ispiratori della specifica modalità operativa sono stati sintetizzati in una scheda di rilevamento che riporta in modo organico gli elementi significativi utili alla caratterizzazione del processo (Fig. 64).

Sono stati quindi condotti indagini e studi, operando su due fronti:

– rilievo in campagna, effettuato subito dopo l'evento alluvionale,

– analisi comparate tra informazioni raccolte direttamente sul terreno e residenti nel Sistema Informativo geologico della Regione Piemonte (archivi alfanumerici e coperture Arcinfo).

• Aspetti previsionali

Le caratteristiche peculiari delle frane per mobilitazione delle coltri superficiali le identificano, nell'ambito delle varie tipologie di dissesto, come processi per i quali il grado di pericolosità è strettamente collegato alle caratteristiche cinematiche, alla velocità di sviluppo e alla difficoltà di prevederle l'ubicazione, sia in termini di zona di innesco, sia in termini di successiva evoluzione sul versante.

La causa scatenante, costituita da piogge a volte anche brevi, ma intense, spesso molto localizzate (non registrabili quindi dalla rete di monitoraggio pluviometrico) non consente di allertare gli organismi preposti alla gestione territoriale in tempi utili tali da permettere l'attuazione di opportune azioni di salvaguardia.

A titolo esemplificativo va ricordato che nel solo territorio della regione Piemonte le frane per mobilitazione delle coltri superficiali hanno causato, dall'inizio del secolo fino ad oggi, più di 100 vittime, pari a quasi il 50% di tutti i decessi determinati da processi di instabilità dei versanti.

Il 25% dei casi di morte verificatisi durante l'evento alluvionale del 1994 è da imputarsi, infatti, a tali fenomenologie dissestive.

La bibliografia citata nel testo dimostra come, nel corso degli anni, il problema legato a questo tipo di frane sia stato affrontato ricavando una serie di indicazioni previsionali che seppure molto utili per identificare, in modo qualitativo, gli ambiti entro i quali il processo si attiva e si evolve non consentono di ricavare indicazioni applicative atte a prefigurare gli scenari e delimitare le zone predisposte a questo tipo di fenomenologia.

La mappatura e l'informatizzazione di queste frane effettuata nei giorni successivi all'evento alluvionale del 1994 nella zona collinare delle Langhe ha consentito di ricavare un quadro rappresentativo di quanto verificatosi a seguito dell'evento e, nel contempo, di effettuare una valutazione di un documento previsionale preesistente, costituito da cartografie tematiche alla scala 1:100.000 e denominate "Carte dei settori di versante vulnerabili da fenomeni franosi per fluidificazione dei terreni della copertura superficiale".

Questo documento, realizzato dall'IRPI-CNR di Torino (Govi et al. 1981) e successivamente elaborato,

ai fini della predisposizione della cartografia numerica, dalla Regione Piemonte (Regione Piemonte, 1990) deriva da una ricerca che ha preso in considerazione i movimenti gravitativi prodottisi nei terreni di copertura analizzando settori diversi tra loro per litologia, morfologia, altimetria, copertura vegetale e piovosità media.

La ricerca ha messo in evidenza che esiste una stretta correlazione tra frane ed altezze di precipitazione, infatti:

- i valori critici di pioggia che innescano i primi processi di instabilità variano da luogo a luogo principalmente in funzione della piovosità media annua e della stagionalità

- in aree caratterizzate da condizioni confrontabili per presenza di terreni clauvo colluviali, per pendenze comprese tra 20° e 40°, per coperture vegetali di scarsa efficienza protettiva, i fenomeni franosi possono innescarsi e svilupparsi a vari livelli di gravità solo se vengono superati determinati valori critici di precipitazione caratteristici per ciascuna zona (per entità e tempi di ritorno), in stretta relazione alla locale quantità di precipitazione media annua.

In base ai risultati acquisiti, attraverso una operazione di incrocio tra la carta delle pendenze della copertura vegetale, dei suoli e delle isoiete, erano stati individuati i settori maggiormente vulnerabili da questo tipo di dissesto.

Allo scopo quindi di ottenere a posteriori una sorta di "collaudo" di questo primo documento previsionale si è proceduto ad un confronto con gli strati informativi relativi all'evento del novembre 1994. Essendo consapevoli che il grado di dettaglio tra i due diversi documenti è decisamente diverso a causa, non solo della diversa scala di rilevamento, ma, anche, per i differenti strumenti tecnologici impiegati per la conduzione dei lavori, si può ritenere che i risultati ottenuti confermino, a distanza di anni, una certa validità dell'approccio previsionale delineato circa vent'anni fa.

L'esempio riportato nel testo e relativo ad una parte dell'area collinare delle Langhe evidenzia una certa corrispondenza areale tra le due diverse famiglie di dati in ragione di un valore del 43% di sovrapposizione tra il soggetto "Settori vulnerabili" e quello "Areali 1994", che scende al 37% se il confronto viene fatto con le "Ubicazioni puntuali 1994".

Si riporta, come nota, che la stessa elaborazione proposta per l'area di Coazze (To), situata in ambiente alpino nel settore centro-occidentale del Piemonte, mostra una minore coincidenza pari al 22%.

• Geomorfologia ed elementi geomorfici dei versanti coinvolti da mobilitazione delle coltri superficiali

L'osservazione in loco di versanti interessati dalle frane per mobilitazione della copertura mostra in modo palese come questo fenomeno si ubichi in settori ben determinati del pendio. La caratteristica morfologica del versante condiziona in modo deter-

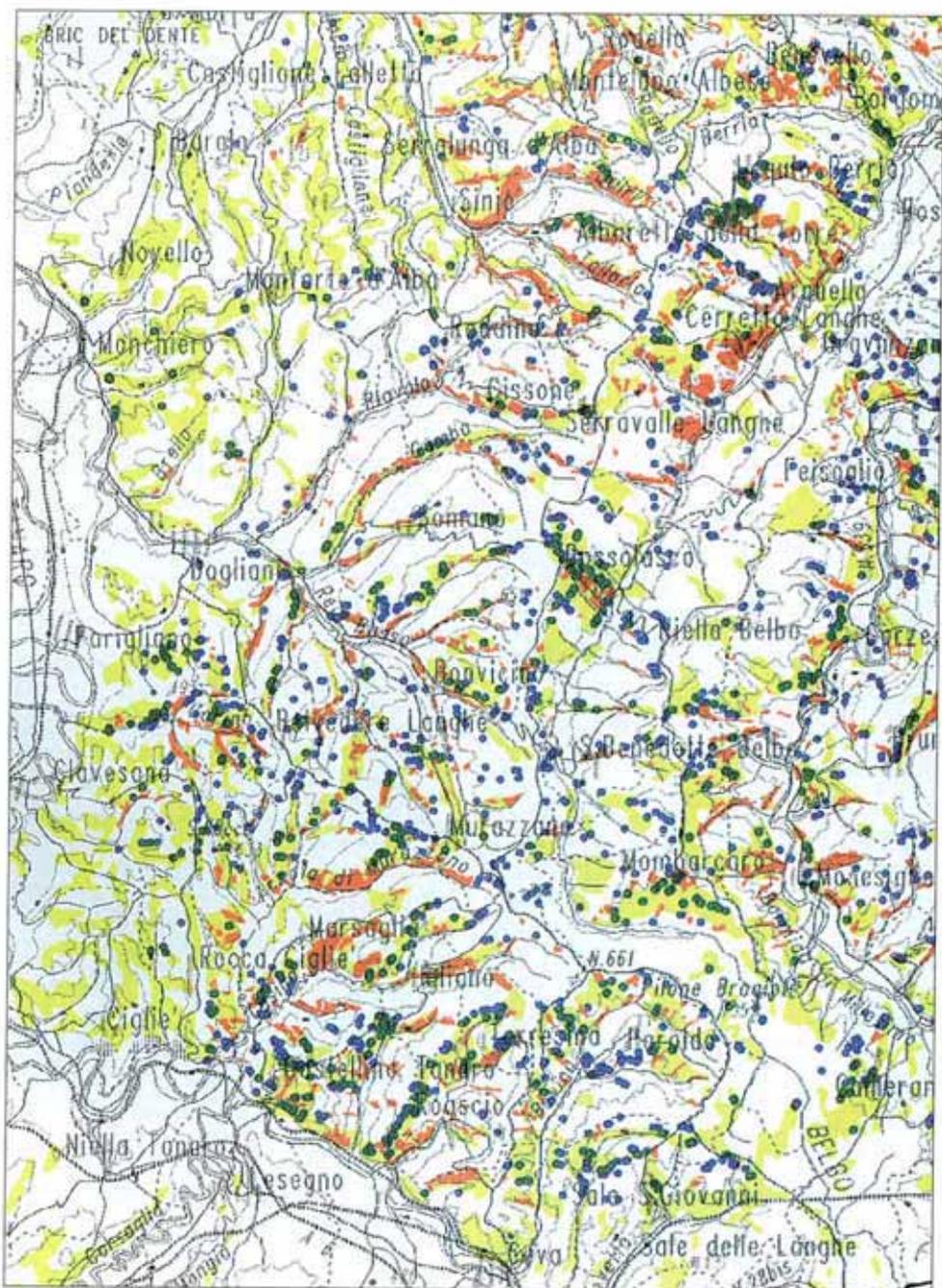


Fig. 65. Proposta comparativa tra "Settori vulnerabili per fenomeni franosi per fluidificazione dei terreni sciolti di copertura" (in giallo) e "Frane per mobilitazione delle coperture superficiali a seguito dell'evento alluvionale 1994" (in rosso: dati areali, in blu: dati puntuali).

minante la possibilità di attivazione del processo.

In letteratura sono riportate analisi condotte in modo sistematico che indicano che la pendenza è compresa tra 16° e 45° con un picco tra i 25° e i 35° (Govi et al., 1985); inoltre le peculiarità della zona di disgiunzione superiore indicano in genere la presenza di un cambio netto di pendenza: più moderata immediatamente a monte e più sensibile in corrispondenza della nicchia di distacco.

Un ruolo importante hanno le concavità del terreno sviluppate parallelamente alle linee di maggior pendenza, gli avvallamenti e le depressioni locali entro cui possono concentrarsi maggiori quantità d'acqua ed i terrazzi sia di modellamento antropico, sia naturale. In quest'ultimo caso i movimenti si innescano nel tratto ad elevata acclività immediatamente sottostante la superficie piana che favorisce la concentrazione e la penetrazione nel terreno di elevati apporti idrici.

Particolari situazioni morfologiche puntuali, esistenti nell'area ove il fenomeno di colata si attiva, possono moderare o accentuare quelli che sono gli effetti e di conseguenza il danno che ne deriva.



Fig. 66. Lombardia, Valtellina, Loc. Val Tartano (17-7-1987). Danni gravissimi ad edifici con numerose vittime a seguito di colata rapida incanalata di materiale derivante da frane di mobilizzazione della coltre detritica (Catenacci, 1993).

Laddove il movimento viene a confluire entro anche effimere incisioni, si identifica una concentrazione di materiale e un conseguente aumento della velocità e dello spessore della massa; in tal caso la forza d'urto diviene distruttiva e quando coinvolge edifici ne provoca la parziale o totale distruzione (Fig. 66).

Con riferimento al quadro geomorfologico delineato dall'esame della letteratura sull'argomento, è stato eseguita, mediante elaborazioni delle informazioni contenute nella scheda di rilevamento sopra citata, una analisi i cui risultati vengono di seguito esposti.

Contesto geomorfico

Con l'intento di verificare l'influenza di alcune caratteristiche morfologiche del tratto di pendio sede del movimento, sono stati distinti in scheda le seguenti quattro diverse situazioni:

a) Pendio piano caratterizzato da una significativa variazione di pendenza. La zona di innesco del movimento si colloca immediatamente a valle del tratto meno acclive,

b) Pendio caratterizzato da una debole concavità generale e da una significativa variazione di pendenza. La zona di innesco del movimento si colloca immediatamente a valle del tratto meno acclive,

c) Pendio piano continuo,

d) Pendio continuo, caratterizzato da una debole concavità generale

Su un campione di 234 frane censite, si sono ottenuti i risultati illustrati dalla tabella seguente che mettono in evidenza come circa l'85% dei movimenti descritti sia condizionato dalla particolare configurazione del versante caratterizzato da accentuate variazioni di pendenza. Questa constatazione acquisisce maggiore importanza in quanto:

- L'ambito campionario analizzato può essere considerato come una estrazione assolutamente casuale

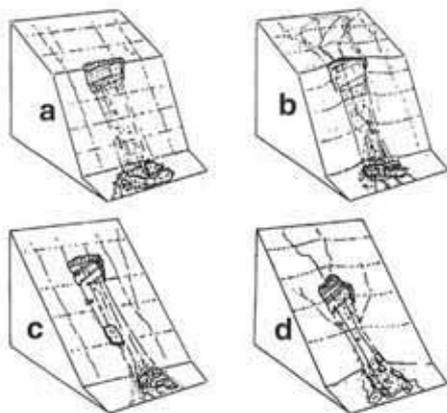
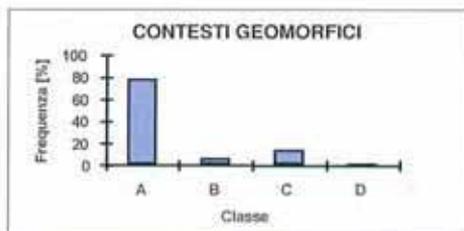


Fig. 67. Differenti contesti geomorfici in relazione al settore di innesco.



Contesto Geomorfo	Freq. [n]	Freq. [%]
Versante piano parallelo con accentuata variazione di pendenza (A)	183	78.2
Versante debolmente concavo con accentuata variazione di pendenza (B)	15	6.4
Versante piano parallelo continuo (C)	32	13.7
Versante debolmente concavo continuo (D)	4	1.7

Fig. 68. Analisi dei differenti contesti geomorfici e determinazione delle frequenze relative ai casi A, B, C, D.

dell'intera casistica dei movimenti di mobilitazione della coltre superficiale verificatasi nell'area delle Langhe,

- I risultati ottenuti confermano quantitativamente quanto osservato nel corso di altri eventi e riportato in letteratura,
- Dall'esame delle fotografie aeree scattate in seguito all'evento alluvionale è spesso possibile individuare specifici allineamenti o involuppi delle nicchie dei movimenti che separano l'intero versante in settori aventi diversa pendenza e configurazione.

Nel seguito, con riferimento allo schema di Fig. 69, vengono riportate le elaborazioni effettuate sui valori di pendenza misurati nelle immediate vicinanze della zona di distacco differenziandole in funzione dei diversi contesti geomorfici.

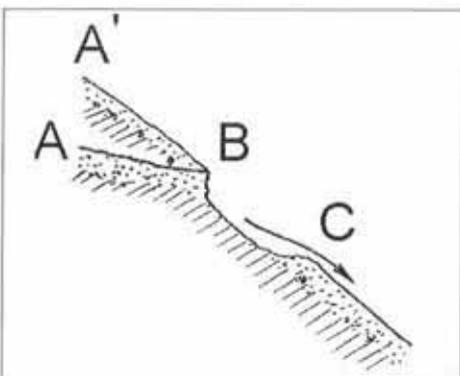


Fig. 69.

Particolare importanza è stata riservata al contesto geomorfico A nel quale ricade circa l'80% dei casi considerati.

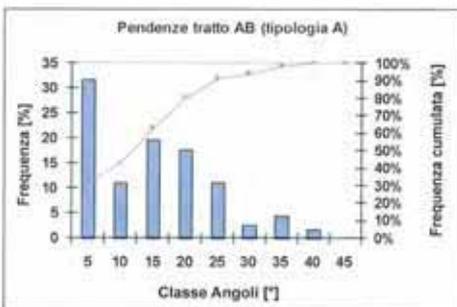
Contesto geomorfico A

TRATTO AB

Relativamente alla pendenza del tratto immediatamente sovrastante il coronamento (AB in figura) l'elaborazione dei dati evidenzia (tabella) che l'intero campione risulta poco disperso, caratterizzato da pendenze moderate e da un valore medio di circa 13°.

Dall'istogramma emerge che la pendenza più rappresentativa è compresa nella classe di estremi 0° (piano superiore orizzontale) e 5° e che oltre l'80% del campione considerato ha una pendenza inferiore ai 20°. La media, invece, ha il valore di 13°.

Questa configurazione, già evidenziata da Govi et al. (1985), trova conferma dai dati quantitativi sopra riportati i quali sottolineano come la presenza di una zona a debole pendenza, e quindi caratterizzata da scarso deflusso superficiale e per contro alta infiltrazione, immediatamente sovrastante l'area di innescio sia aspetto fortemente condizionante la stabilità del pendio al di sotto della variazione di pendenza nel punto B.

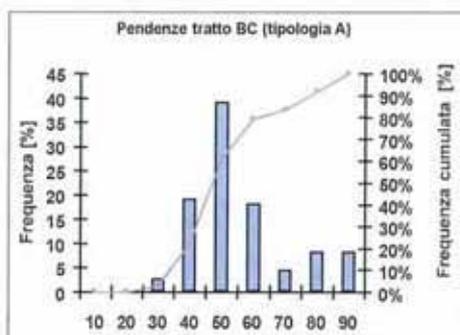


PENDENZA TRATTO AB [°]		
Media	13	Asimmetria 0.6
Mediana	12	Minimo 0
Moda	2	Massimo 42
Dev. Std.	9.7	Numero 183
Curiosi	-0.1	

Fig. 70.

TRATTO BC

Il tratto BC rappresenta la porzione di pendio identificabile come sede di innescio del fenomeno franoso. In questo caso il valore medio di inclinazione si ha per 52° circa e al di sotto dei 20° non si sono rilevate frane del tipo previsto nel contesto morfologico A.



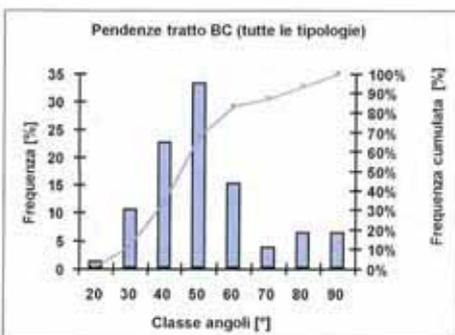
PENDENZA TRATTO BC [°]			
Media	51.8	Asimmetria	0.9
Mediana	48	Minimo	20
Moda	40	Massimo	90
Dev. Std.	15.5	Numero	183
Curtosi	0.03		

Fig. 71.

Analisi complessiva sui 4 contesti geomorfici

TRATTO BC

Al fine di verificare se il dato di inclinazione, del tratto BC (tratto di innesco), uguale a 20° potesse essere considerato come "valore soglia" al di sotto del quale non si registra instabilità, per frane di questo tipo, si è estesa l'analisi ad una elaborazione complessiva dei dati relativi ai 4 contesti.



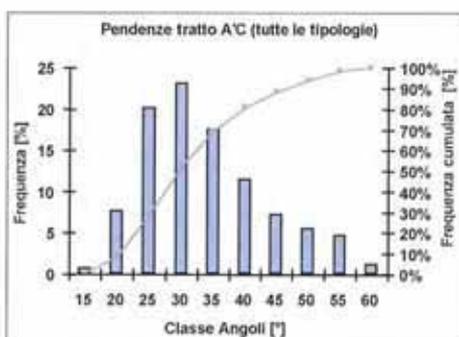
PENDENZA TRATTO BC [°]			
Media	48	Asimmetria	0.9
Mediana	45	Minimo	16
Moda	45	Massimo	90
Dev. Std.	16.1	Numero	234
Curtosi	0.3		

Fig. 72.

L'esame dei risultati conduce ad una constatazione molto importante: il valore minimo al di sotto del quale non si sono verificati processi si riduce di 4° passando, rispetto al solo contesto geomorfico A, da 20° a 16°. Di contro la media si attesta sul valore di 48° in accordo con quanto riportato, in merito alla inclinazione del versante nel punto di innesco, in Suter Sardo et al. (1996).

TRATTO COMPLESSIVO A/C

L'attenzione è stata poi rivolta alle inclinazioni relative al tratto di versante complessivo compreso tra i punti A' e C del profilo schematico in Fig. 69, comprendendo anche i contesti geomorfici di tipo A e B per i quali è stata assunta, per ogni singolo processo, la media tra l'inclinazione del tratto AB e del tratto BC.



PENDENZA TRATTO A/C [°]			
Media	31.8	Asimmetria	0.74
Mediana	30	Minimo	14
Moda	25	Massimo	59.5
Dev. Std.	9.6	Numero	233
Curtosi	-0.02		

Fig. 73.

Dall'esame dell'istogramma relativo al tratto A/C e dalla tabella associata, si ricava la conferma del fatto che, mediamente, in versanti aventi inclinazione minore di 14° non si sono riscontrati casi di mobilitazione.

I risultati derivanti dalla elaborazione dei dati del rilevamento indicano un valore medio di inclinazione dei versanti interessati da mobilitazione delle coltri superficiali pari a 32° circa e quindi in buon accordo con Govi et al. (1981, 1985) che riportano inclinazioni medie di versante comprese, in un caso, tra 25° e 35° e, nell'altro, tra 30° e 40°.

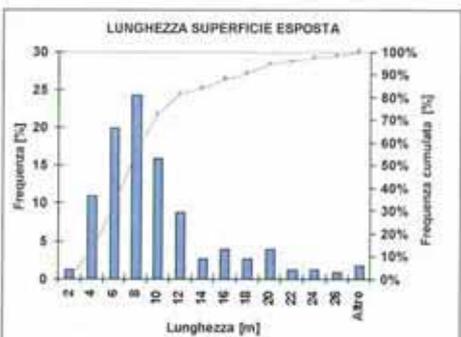
Caratteristiche geometriche

A partire dalle schede di rilevamento, sono stati analizzate le caratteristiche geometriche delle frane per mobilitazione delle coltri superficiali facendo riferimento allo schema seguente:



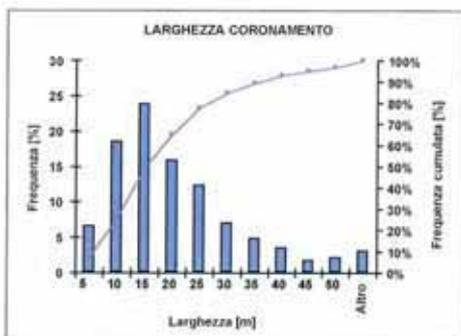
Fig. 74.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi univariate eseguite:



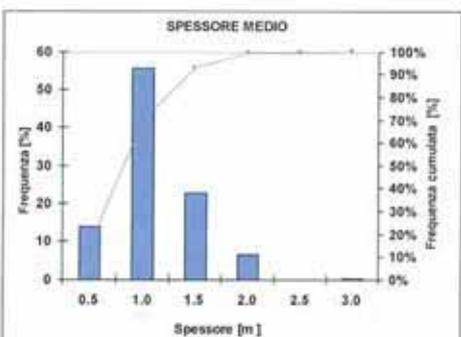
LUNGHEZZA l [m]			
Media	9,5	Asimmetria	3,9
Mediana	7,5	Minimo	2
Moda	7	Massimo	70
Dev. Std.	7,2	Numero	226
Curtosi	25,5		

Fig. 75.



AMPIEZZA d [m]			
Media	19,1	Asimmetria	1,9
Mediana	15,5	Minimo	2,5
Moda	12	Massimo	92
Dev. Std.	13,4	Numero	226
Curtosi	5,2		

Fig. 76.



SPESSORE h [m]			
Media	0,98	Asimmetria	1,18
Mediana	1	Minimo	0,3
Moda	1	Massimo	3
Dev. Std.	0,4	Numero	226
Curtosi	2,6		

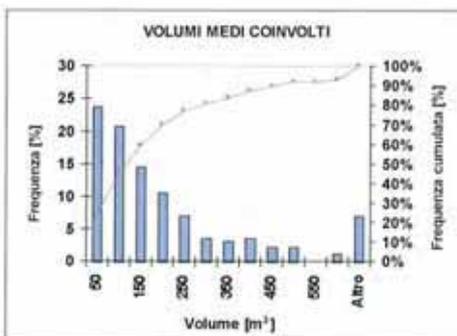
Fig. 77.

Sulla base delle tabelle ed istogrammi precedenti, si possono formulare alcune sintetiche osservazioni:

- il 72 % delle frane rilevate mostra che il lato l di superficie esposta è minore o uguale ai 10 m, con una media di 9,5 m;
- il 77 % delle frane rilevate ha un'estensione del coronamento della nicchia principale inferiore ai 25 m, con una media di 19,1 m;
- il 93 % delle frane rilevate ha uno spessore inferiore a 1,5 m, con una media di poco inferiore a 1 m circa.

Anche in questo caso i risultati sono abbastanza in accordo con quanto riportato da Govi et al. (1985) e Sutura Sardo et al. (1996), che riferiscono di uno spessore coinvolto medio tra 50 cm e 75 cm ed una ampiezza compresa tra 10 m e 20 m.

Il valore del rapporto medio tra ampiezza e lunghezza essendo prossimo a 2 indica una predominanza, per quanto concerne la zona di innesco, di forme "tozze". Ciò potrebbe essere spiegato, anche, ricordando che a fianco di individui nei quali il rapporto a/l è effettivamente maggiore di 1 esiste una diffusa situazione di complessità per alcune attivazioni che, interessando settori contigui, ha costretto sovente a considerare come unico un insieme di più episodi.



VOLUME MEDIO V [m³]			
Media	193	Asimmetria	2,7
Mediana	119	Minimo	3,3
Moda	44	Massimo	1720
Dev. Std.	226	Numero	226
Cartosi	10,5		

Fig. 78.

Per quanto riguarda l'analisi dei volumi mobilizzati, nell'evento alluvionale del 1994, si può notare che l'84 % circa delle frane rilevate ha un volume, calcolato nella zona di nicchia, minore o uguale a 350 m³, con un valore medio di 200 m³ circa.

Tali valori indicano che, globalmente, questi volumi sono riconducibili a fenomeni di modesta entità dal punto di vista delle masse coinvolte, ma l'elevata velocità che queste raggiungono durante l'evoluzione

ne del moto contribuisce ad incrementare in modo esasperato l'energia cinetica del sistema.

È da rilevare inoltre che, in alcuni casi (10% delle frane studiate) si ha un parziale coinvolgimento del substrato, inteso sia come semplice esposizione di tale superficie sia come un suo effettivo interessamento nella massa traslata.

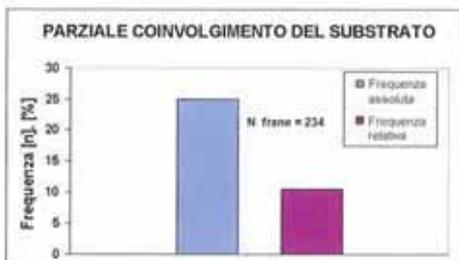


Fig. 79.

- Condizionamenti di natura antropica

Nel corso del rilevamento dei dati relativi ai processi e agli effetti sono state cartografate molte frane per mobilitazione dei terreni detritici superficiali la cui area di distacco era posta in corrispondenza, o almeno in relazione, a punti di emergenza di sistemi di raccolta o di drenaggio delle acque meteoriche o scorrenti sul versante (fig. 80).

Ciò porta a dire come purtroppo si vadano creando sempre più frequentemente condizioni artificiali, sul territorio, che possono promuovere l'attivazione di questo tipo di processo franoso.

Si è già detto che la causa scatenante sia da ricercarsi nella repentina e concentrata immissione di acqua



Fig. 80. Valle Corsaglia, Comune di Frabosa Soprana. Frana superficiale con evoluzione in colata, autoalimentata dal materiale rimobilizzato durante la discesa. È evidente la posizione della zona di innesco motivata dall'esistenza della strada provinciale che collega la valle Corsaglia con la valle Maudagna.

in corrispondenza di settori particolarmente "fragili" nei confronti del fenomeno.

Un'alta percentuale, di queste situazioni, è da porsi in relazione alla bocca di uscita di tombinature e sottopassi stradali posti al termine di lunghi tratti di canalette drenanti ampie superfici in pendio; altre volte si è riconosciuta come sufficiente la concentrazione di acque derivate da grondaie.

È bene comunque sottolineare che se il surplus idrico forzatamente ed artificialmente convogliato entro un rio minore può creare difficoltà allo smaltimento, maggiore può essere il grado di dissesto idrogeologico determinato dal rilascio su punti del pendio non interessati dalla presenza di incisioni naturali.

A conferma di quanto indicato, è rappresentativo l'istogramma seguente, dal quale si evince che il 27% delle frane analizzate ha subito un convogliamento di

acqua a monte dovuto ad interazioni di natura antropica.

L'analisi dei diversi processi indica che un ruolo molto importante, sulla ubicazione della zona di innescò, è svolto dalle caratteristiche morfologiche locali di quel settore di versante.

Dai dati raccolti è stato possibile suddividere la tipologia della zona di attivazione con particolare riferimento alla natura del cambio di pendenza che, come si è visto al paragrafo "Caratteristiche geometriche del processo", è causa fortemente condizionante sulla individuazione della zona di distacco.

Nella diagramma di Fig. 82 sono contraddistinte 6 tipologie riconosciute dell'orlo di scarpata a partire dal quale si attivano gran parte delle frane per mobilitazione delle coltri alterate superficiali.

L'analisi della ripartizione percentuale relativa permette alcune considerazioni:

- il 60% ca. delle attivazioni si è prodotto in corrispondenza di scarpate derivanti da modificazioni operate artificialmente che vengono quindi ad assumere un notevole ruolo di condizionamento;

- più di 1/3 della casistica (35%) è legato alla presenza di rilevati o scarpate connessi alla viabilità. In tale veste la strada può assumere un duplice ruolo sia per l'accentuazione della pendenza, a valle del manufatto, indotta dal rilevato, sia come infrastruttura che può determinare convogliamento e concentrazione delle acque ruscellanti;

- i terrazzamenti agricoli, presenti con una percentuale che arriva al 27%, svolgono anch'essi un ruolo determinante e non si nota una particolare differenza tra il fatto che il "terrazzo" coltivabile sia o no sostenuto da un muro a secco.

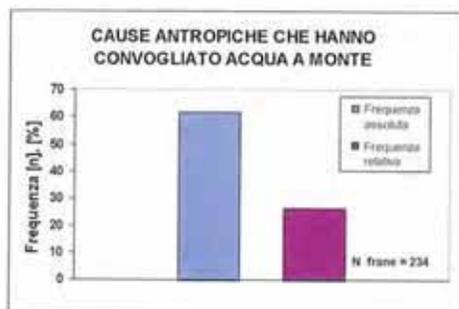


Fig. 81.

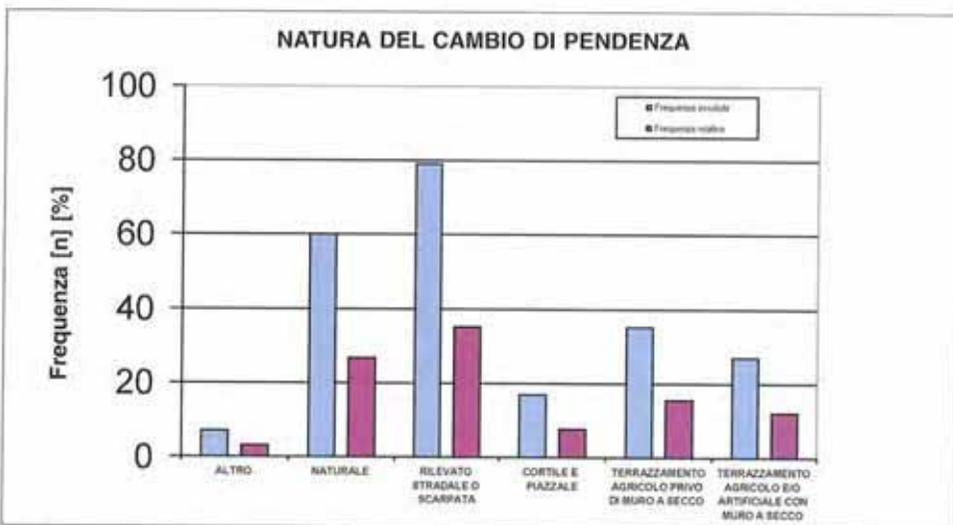


Fig. 82.

• Uso del suolo

Il rilevamento eseguito sulle frane per mobilitazione di porzioni delle colture superficiali a seguito dell'evento alluvionale, ha interessato anche l'accertamento delle condizioni di utilizzo del suolo nella zona e al momento dell'innescio.

L'analisi sui dati dell'uso del suolo mette in evidenza come tra le aree vulnerate quelle non soggette a specifiche coltivazioni (prato ed incolto) siano rappresentate con una percentuale prossima al 60%; quelle soggette ad altri tipi di conduzione agricola (coltivo generico, vigneto, frutteto) sono state interessate in misura del 30% ca.

Lo scarso coinvolgimento di aree boscate mette in evidenza come questo tipo di vegetazione svolga una funzione protettiva nei riguardi della instabilità della coltre superficiale.

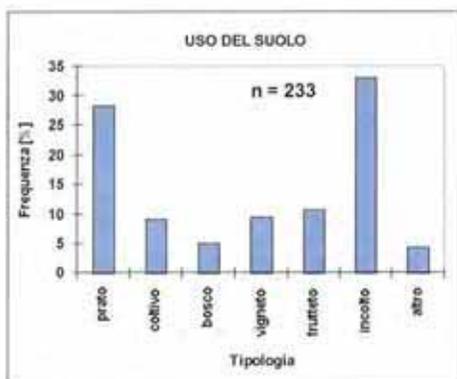


Fig. 83.

• Danni

Le frane per mobilitazione delle coperture a causa della loro diffusione areale e della alta densità producono un grande impatto sia sull'ambiente naturale, sia su quello antropico.

Quando particolarmente concentrate provocano sicuramente un danno sensibile in certe realtà dell'ambito agricolo, in particolare laddove sono presenti colture pregiate (es. vigneti); inoltre, possono determinare condizioni di interferenza con altre attività naturali come, ad esempio, lo sbarramento temporaneo di piccoli tributari della rete idrografica.

Più grave è il coinvolgimento di manufatti, edifici o presenza umana; sono almeno 18 le persone che hanno perso la vita a causa di questi fenomeni durante l'evento alluvionale del 1994 in località diverse del Piemonte.

La velocità e la densità della massa in movimento, quando poi concentrate in seppure poco accennate depressioni, possono provocare la distruzione parziale o completa immediata dell'edificio che venga a trovarsi sulla traiettoria di discesa, in tal caso esistono scarse possibilità di salvezza per le persone presenti

L'alta fluidità del materiale permette a questo di adattarsi ad ogni forma ed ostacolo aggirandolo e quando non si hanno demolizioni si possono creare condizioni di occupazione ed accumulo entro vani e porzioni dei piani bassi degli edifici.

Nella storia recente dei danni per questo tipo di frana nel territorio regionale, si registrano numerose vittime sepolte e morte per soffocamento o trauma; durante l'evento alluvionale che nell'agosto del 1978 colpì la valle d'Ossola si poté osservare, entro un edificio lesionato, la massa terrosa invasiva che aveva sepolto e ucciso una donna in procinto di trovare salvezza attraverso una finestra.

La frana responsabile del fatto si era attivata ad una distanza di poche decine di metri ed il volume era di poco superiore al centinaio di metri.

Danni alle persone

Come detto in premessa l'evento alluvionale del novembre 1994 ha causato, per frane della coltre detritica superficiale, 18 vittime sul territorio regionale.

Il numero più alto si è registrato a Varallo Sesia, in provincia di Vercelli, dove nella tarda serata (poco dopo le ore 24) di sabato 5 novembre una frana si è abbattuta sul centro abitato. La mobilitazione di una porzione di circa 500 m³ di terreni appartenenti alla coltre detritica eluviale, per cause collegabili a diversione dei deflussi superficiali lungo una soprastante strada, è evoluta in colata mobilizzando, nella discesa, altro materiale per complessivi 2000 m³ ca., ed investendo alcuni edifici posti al piede del pendio. Nel disastro hanno trovato la morte 14 persone tutte presenti entro un unico edificio completamente distrutto (cfr. Cap. 2).

Le altre vittime si sono avute nella zona delle Langhe o in zone limitrofe, in provincia di Cuneo. Come descritto più avanti nel testo un modesto processo franoso ha provocato, nella distruzione di un edificio agricolo, la morte di due persone in comune di Feisoglio; altra vittima si è avuta a Neive, in località Case Valera, anche in questo caso nel coinvolgimento di un edificio.

Diversa evoluzione ha avuto il fenomeno franoso che si è verificato a Torre Mondovì. Sempre nella serata del 5 novembre il distacco di una parte del rilevato della soprastante strada provinciale, anche in questo caso per probabile saturazione dei materiali di riporto a causa di concentrazione di acque superficiali, ha provocato la discesa, e l'incanalamento in un piccolo rio, di una colata molto fluida che, raggiunti gli edifici posti poche decine di metri a valle, investiva una donna che si trovava in quel momento nella via comunale.

Danni a manufatti: elaborazione dei dati

A partire dall'ambito campionario è stata condotta una valutazione dei danni distinguendo la tipologia interessata (edifici, viabilità, manufatti e altro), la posizione dell'infrastruttura danneggiata rispetto all'a-

rea coinvolta dal processo (in zona di distacco oppure lungo la traiettoria del moto).

In alcuni casi, lo stesso episodio franoso ha provocato più danni di tipologia diversa.

Per questo motivo le segnalazioni registrate sono 331.

L'istogramma seguente riporta la tipologia di infrastrutture interessata da tale tipo di fenomeno franoso.

Il 43% del campione dei danni rilevati risulta a scapito della viabilità, una percentuale inferiore (19%) riguarda edifici o altri manufatti, mentre il 38% è stato classificato come *altro*, comprendendo in tale categoria coltivazioni in genere e tutto quanto non classificabile entro le altre tipologie.



Fig. 84.

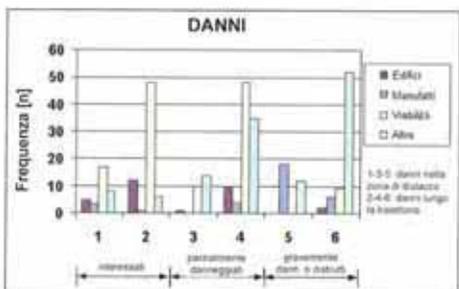


Fig. 85.

Infine, come ricordato, è stata effettuata una suddivisione dei danni in funzione sia del livello di gravità sia della posizione rispetto all'area coinvolta dal processo.

L'istogramma precedente sintetizza tali informazioni, evidenziando che:

- il 70% circa dei danni si è avuto lungo la direttrice di movimento ed il restante 30% circa in prossimità della zona di distacco;

- per quanto attiene i soggetti interessati si nota come la viabilità, dato il suo articolato sviluppo caratteristico di tali aree sensibilmente abitate, risulti la categoria di strutture più coinvolta ma, per contro, soggetta, data la specificità del movimento franoso, a

danni funzionali o di lieve entità. Tale processo procura, di norma, temporanee interruzioni al transito che trovano soluzione con lo sgombero del materiale franato;

- infine si può notare come per gli edifici si abbia un alto coinvolgimento per loro presenza lungo la traiettoria; fatto comprensibile se legato alla energia cinetica acquisita dalla massa in movimento durante la discesa.

Una interpretazione in chiave fisico-meccanica

Le frane per mobilitazione delle coperture detritiche vengono considerate fenomeni gravitativi che si sviluppano con differenti fasi di movimento per traslazione e flusso. L'entità delle percentuali d'argilla hanno grande influenza, insieme alla frazione limosa, sulla densità e sulla viscosità del fluido intergranulare e sulle caratteristiche di resistenza dell'intero materiale.

Affinché si produca il fenomeno di instabilità, è necessario che si generino delle sovrappressioni interstiziali all'interno del materiale tali da portare alla liquefazione.

In altre parole, in condizioni drenate in terreni sciolti, in un certo istante la pressione dell'acqua interstiziale e la deformazione aumentano improvvisamente (troppo rapidamente perché possa verificarsi drenaggio) e il terreno liquefa. A questo punto anche una riduzione della velocità di applicazione del carico non può evitare questo fenomeno (Lindenberg & Koning, 1981).

Chi scrive ritiene che in una certa misura la liquefazione intervenga in corrispondenza di zone localizzate, innescando così processi di decadimento delle caratteristiche di resistenza. Il cinemismo iniziale che si viene a generare (libertà a monte dovute alle spinte idrauliche dell'acqua di infiltrazione e perdita della componente d'attrito alla base dovuta alla liquefazione) avrebbe così la possibilità di evolvere in colata, qualora il processo di liquefazione continuasse.

Con riferimento alla classificazione legata al cinemismo proposta in 5.2., è possibile dare un'interpretazione in chiave fisico-meccanica, considerando i diversi gradi di evoluzione dell'attività di liquefazione responsabili della dinamica e delle caratteristiche del moto di tali fenomeni franosi.

La suddivisione schematica riportata di seguito classifica ulteriormente le diverse tipologie in ordine crescente di intensità e diffusione del processo di liquefazione che determina un aumento del grado di "destrutturazione" dello scheletro solido e quindi influenza i meccanismi evolutivi dei movimenti franosi.

Nella intera casistica è quindi rappresentata la situazione di passaggio da materiali essenzialmente "solidi" a materiali "liquidi" aventi differente grado di viscosità.

Per la tipologia A (*incipient translational soil-slide*), si può parlare di sovrappressioni interstiziali che innescano la liquefazione nell'intorno di una ristret-

ta fascia posta all'interfaccia della superficie su cui si produce il movimento. La propagazione delle fratture nella massa traslata e/o le mutate condizioni di afflusso/delflusso idrico fanno sì che si possano abbattere le sovrappressioni determinando l'arresto del movimento.

Nella tipologia B (*translational soil-slides*) l'azione di liquefazione è più continua nel tempo rispetto alla precedente. Tale azione rimane generalmente circoscritta ad una limitata fascia posta all'interfaccia della superficie di movimento. In altri termini non rigorosi è come se le varie zolle disumite "galleggiasse" su un fluido in movimento a scarsa componente viscosa.

La tipologia C (*earth-flow*) rappresenta la degenerazione del processo di liquefazione che interessa in modo discontinuo e disomogeneo, tutta la massa traslata. L'eccesso di pressione interstiziale è mantenuto da ripetuti carichi "auto-non drenati" (Hutchinson 1988), come risultato di mescolamento e capovolgimento della struttura del materiale in moto. Il movimento ha luogo in forma di colata e i processi erosivi determinati e la presa in carico di altro materiale durante il moto sono dovuti all'azione frizionale esercitata dallo scheletro solido a tratti conservato.

La tipologia D (*disintegrating soil-slip*) è determinata da un'azione di liquefazione estesa e continua entro tutta la massa. La destrutturazione dello scheletro solido è pressoché completa e la componente liquida governa il tipo di moto. La componente viscosa è del tutto trascurabile e non viene esplicata nessuna azione erosiva apprezzabile dai grani in sospensione; ciò spiega l'assenza di forme di accumulamento arretratosi il moto.

Da quanto sopra, si evidenzia che il problema principale nel riconoscimento del comportamento meccanico del terreno, a fronte di un tale tipo di fenomeno, consiste nell'identificazione del ruolo giocato dall'acqua. È chiaro che l'acqua è il motore principale che innescia il movimento, ma resta da verificare sperimentalmente il ruolo della liquefazione del materiale, cioè del brusco decadimento delle tensioni efficaci.

Il problema della formulazione di un modello semplificato che riesca ad interpretare il processo di liquefazione non è ancora stato affrontato in modo esauritivo in letteratura.

Alcuni (Ellen & Fleming, 1987) propongono un semplice approccio capace di cogliere il passaggio da un comportamento di tipo traslativo ad uno di colata, espresso come rapporto tra il contenuto d'acqua del terreno in situ ed il limite liquido.

Diversi Autori fanno invece riferimento a schemi semplificati relativi all'equilibrio limite di un pendio infinitamente esteso, soggetto anche all'azione dell'acqua in regime stazionario con flusso parallelo al pendio.

In alcuni casi (Dietrich e Montgomery, 1994) il modello introduce anche parametri idrologici e idraulici per tenere in conto la capacità del terreno di drenare e assorbire una precipitazione assegnata di intensità costante.

Casi particolari territorialmente significativi

Le piogge della prima decade del novembre 1994 sono iniziate in modo sensibile già nel pomeriggio del giorno 2.

Le registrazioni operate dalle stazioni meteorologiche della rete automatica regionale mostrano un interessamento generalmente distribuito dal sud al nord Piemonte con maggiori altezze di pioggia ad iniziare dalle zone meridionali della provincia di Cuneo.

Dopo un periodo di 2 giorni le piogge sono diventate, il venerdì, improvvisamente più intense. Durante la notte successiva e dal mattino di sabato 5, in certe stazioni della zona della media ed alta valle Tanaro, si sono oltrepassati i 25 mm/ora.

Si possono situare in quell'intervallo le prime attivazioni di frane per saturazione e fluidificazione della copertura eluvio colluviale: ne sono esempio alcuni casi rilevati nell'area di Ceva che testimoniano raccolte in loco indicate riferirsi alle ore 8 del sabato.

Durante il pomeriggio dello stesso giorno e verso



Fig. 86. Valle Tanaro, Località Rocchini. Accumulo di una frana superficiale conservato integro dagli apparati rodicchi, sbarra su la strada statale n. 28 pochi istanti dopo la sua discesa, alle ore 15 di sabato 5 novembre 1994.