

## Aspetti fisico-meccanici

### PREMESSA

La maggior parte delle frane, che coinvolgono depositi stratificati a franapoggio, a debole inclinazione, si mobilita 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 triassali 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 <sub>3</sub>	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 tralasciati i dati inerenti la compressibilità di tali materiali perchè carenti e spesso non rigorosamente determinati.

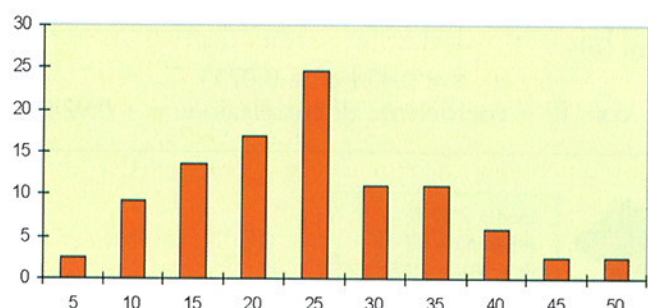
#### RISULTATI

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-

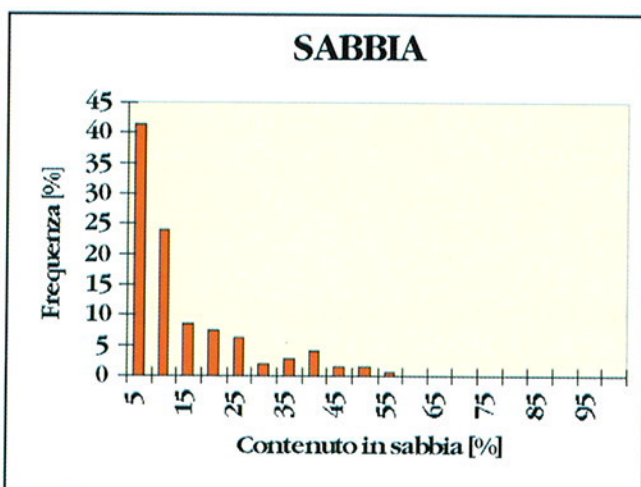
ne dal quale sono stati ricavati diversi provini da sottoporre alle prove di classificazione e di resistenza al taglio. I valori del contenuto in carbonati sono distribuiti normalmente (Fig. 39) con media pari a 22.2 e scarto quadratico medio pari a 9.8.

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 silty-argillosa (terminologia ricorrentemente impiegata nella legenda delle carte geologiche alla scala



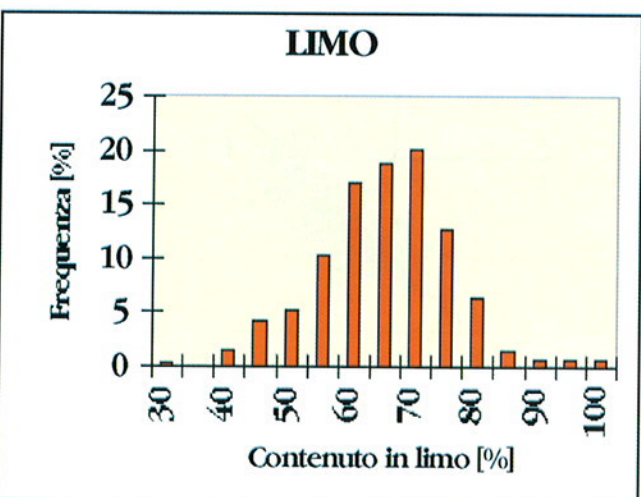
**n = 118**  
**media = 22.2 %**  
**mediana = 21.7 %**  
**moda = 19**  
**dev. Std. = 9.8%**

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).

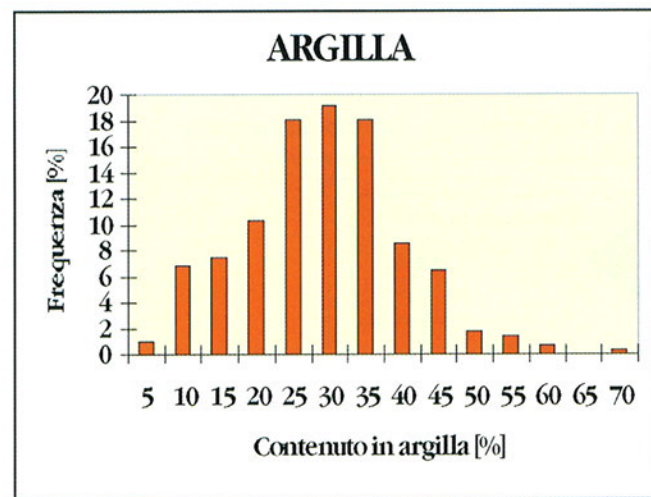
6) I dati inerenti le prove di taglio diretto sono

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.

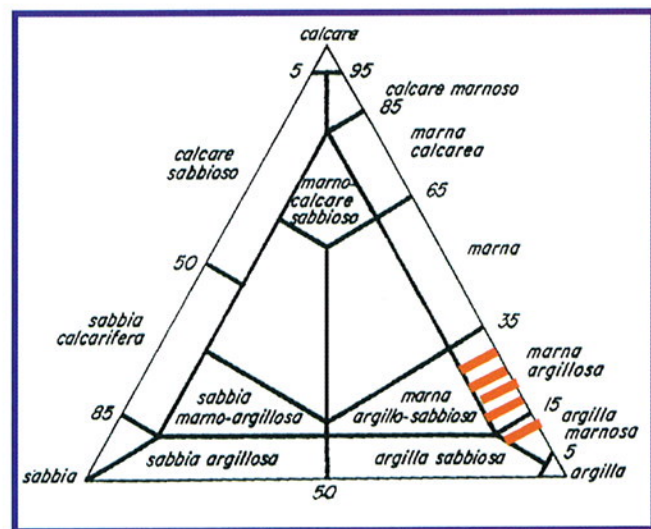


Fig. 43. Diagramma triangolare a tre componenti: sabbia, argilla e calcare. L'area tratteggiata in rosso si riferisce alla popolazione di dati sperimentali trattati.

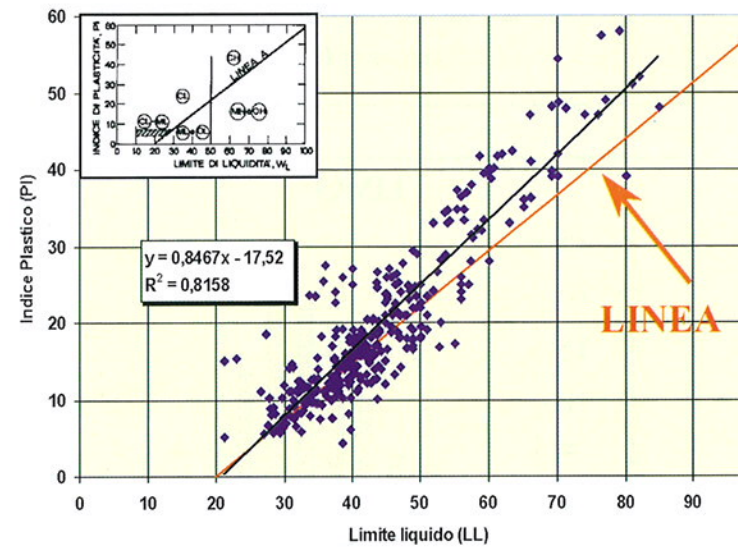
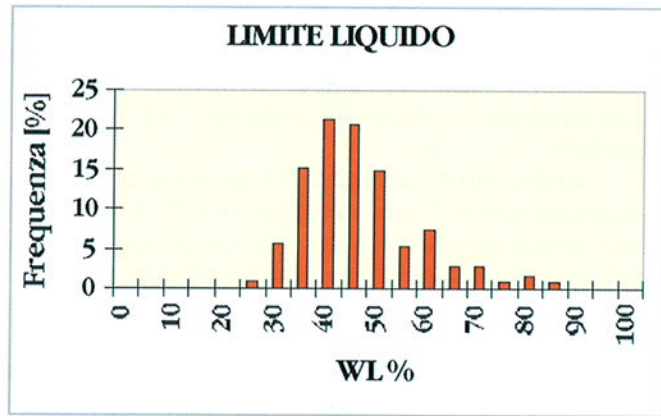
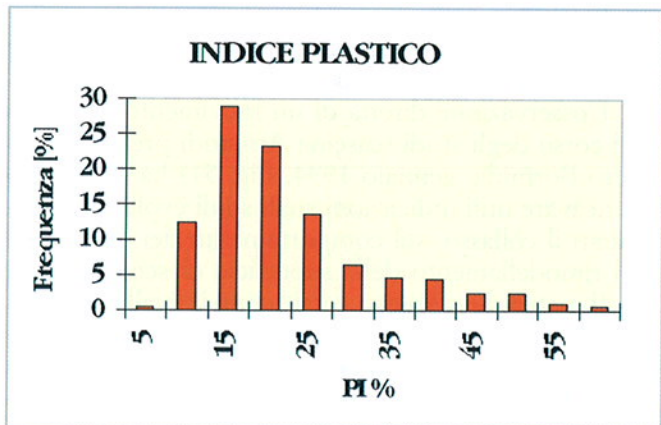


Fig. 44. Interpolazione lineare dei valori dell'indice plastico in funzione del limite liquido.



$n = 324$   
 media = 43.9  
 mediana = 41.55  
 moda = 45  
 dev. std. = 11.4

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



$n = 324$   
 media = 19.7  
 mediana = 17  
 moda = 11  
 dev. std. = 10.7

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:  $R^2 = \text{coefficiente di correlazione} = + 0.9903$

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  $\epsilon_a$  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:  $R^2 = \text{coefficiente di correlazione} = 0.9261$

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  $s' = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ .

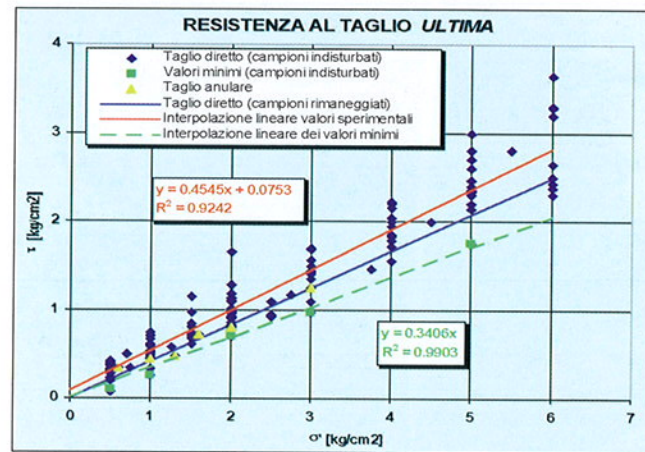


Fig. 47. Interpolazione lineare dei valori di resistenza al taglio "ultima" ottenuti da prove di taglio diretto, nello stesso diagramma sono anche riportati i valori di resistenza al taglio ricavati da prove di taglio anulare.

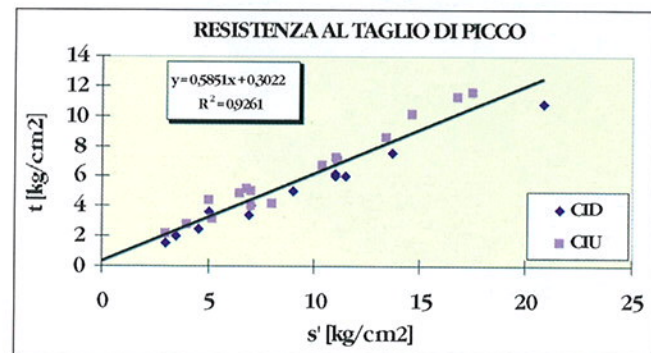


Fig. 48. Interpolazione lineare dei valori di resistenza di picco ottenuti da prove triassiali.

### 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).

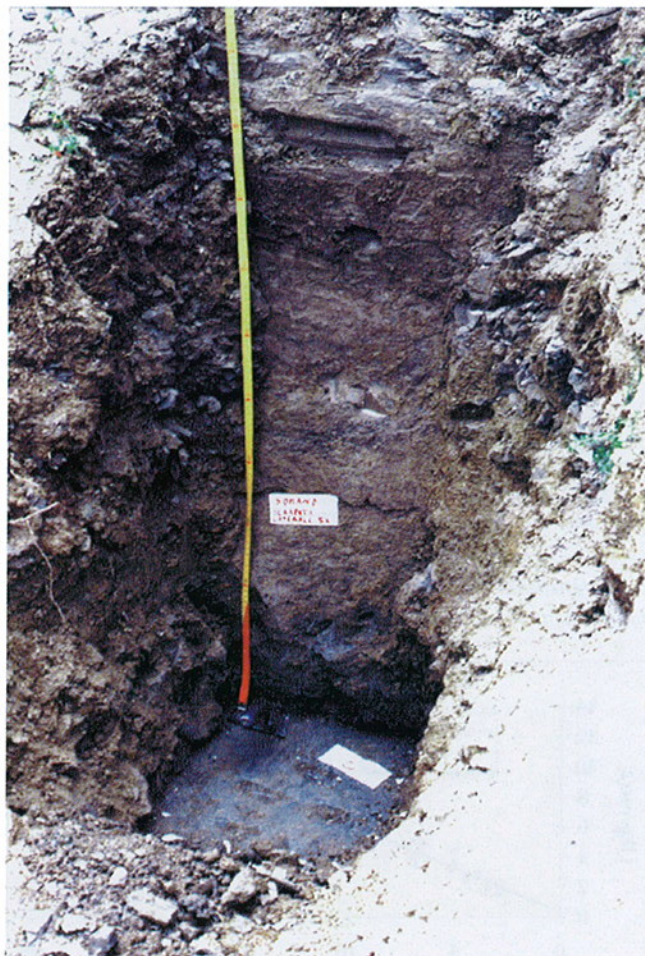


Fig. 49. Pozzetto esplorativo scavato a margine della scarpata laterale della frana di Cascina Valanche (Somano). La foto mette in evidenza la superficie di scivolamento.

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 spatio-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 (AA.VV. 1996) su alcune frane distribuite sul territorio (Fig. 52).

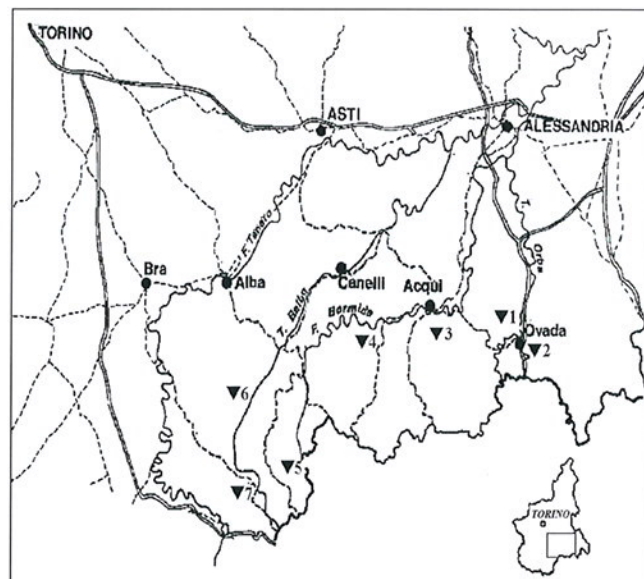
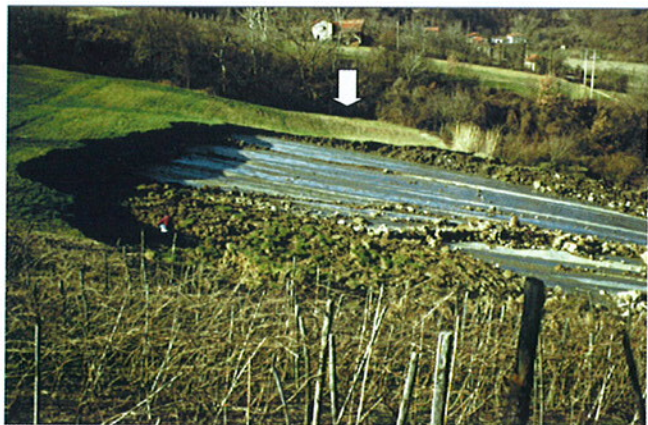


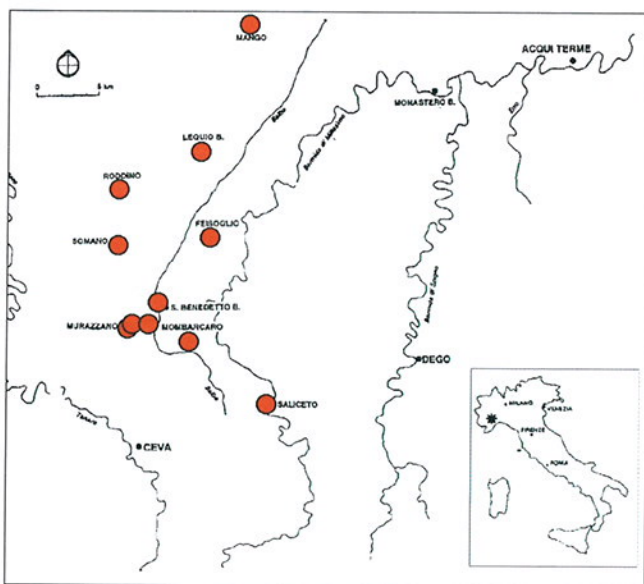
Fig. 50. Area di indagine ed ubicazione dei siti sede di fenomeni di tipo traslativo: 1 Cascina Piazzolo (AL), 2 Tagliolo (AL), 3 Lussito (AL), 4 Cascina Armandi (AT), 5 Gottasecca (CN), 6 Prato Noero (CN).



**Fig. 51.** Scivolamento planare di Cascina Armandi, gennaio 1994. La foto è stata scattata alcuni giorni dopo l'insorgere 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 geolitologiche.

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, rilevano 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 rinvenivano 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 (maggior 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-

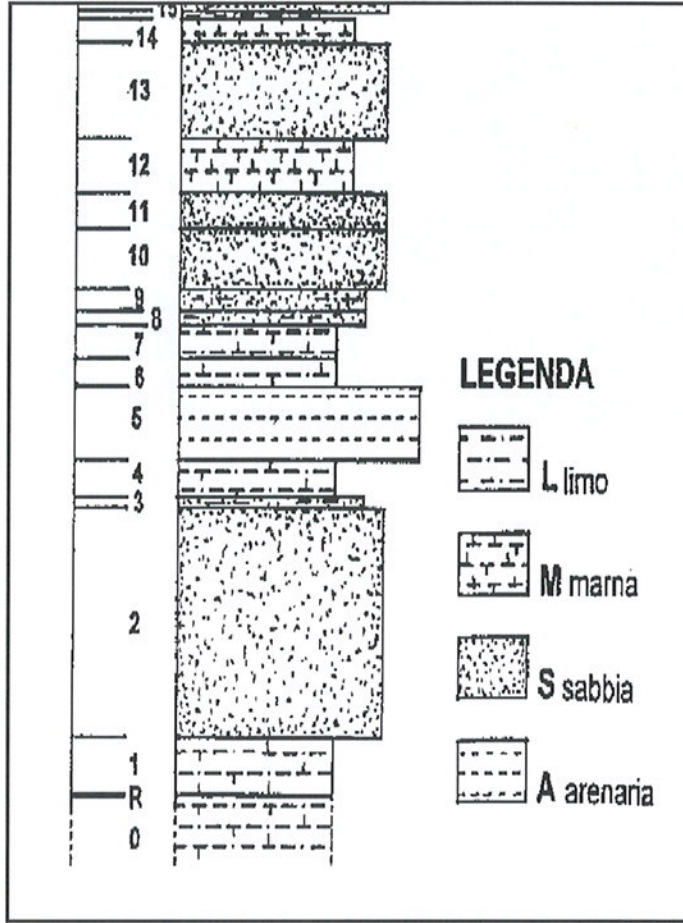
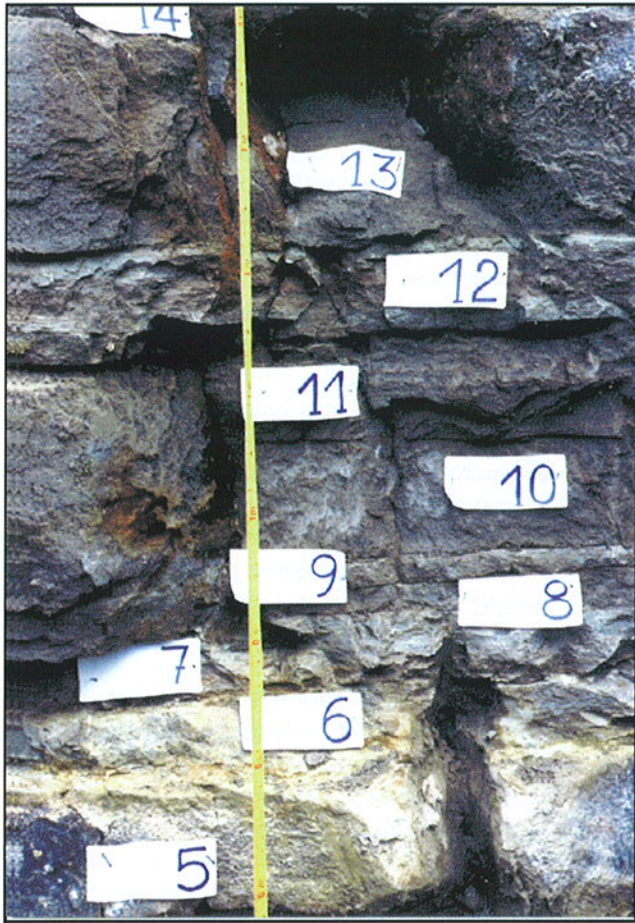


Fig. 53. Esempio di descrizione lito stratigrafica di dettaglio (frana di San Benedetto Belbo – località Borgaletto, scarpata principale, fianco destro – foto Simeoni).



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 rammollito si lascia facilmente infiggere dalla cazzuola (scarpata principale).

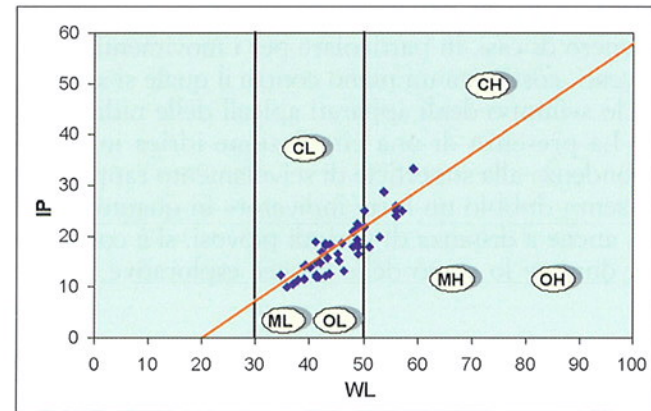


Fig. 55. Carta di plasticità inerente tutti i campioni raccolti nel corso delle indagini.

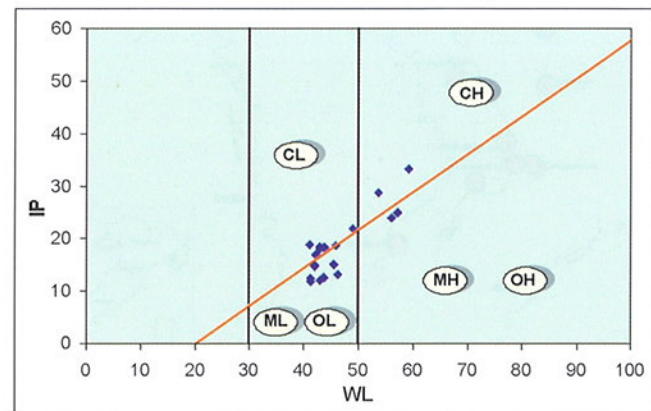


Fig. 56. Carta di plasticità relativa ai campioni prelevati sui piani di rottura (livello R, definito in accordo con lo schema A di tabella 4).

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 limitativo di valutazioni delle resistenze al taglio di tale materiale. Nella tavola 1, 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. & Me Donald C. (1992), ma l'en-

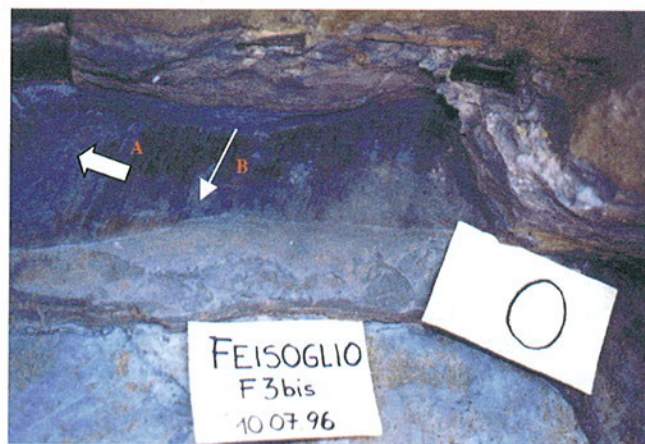


Fig. 57. Frana di Madonna degli Angeli in Feisoglio. Fibre mineralizzate di color ruggine presenti sulla superficie di scivolamento e disposte perpendicolarmente (B) alla direzione (A) del movimento franoso (foto Simeoni).

tità dell'effetto non è risultato comunque sufficiente per spiegare i bassi valori di resistenza che si devono mobilitare 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 “sfaldatura”, evidenziati da un sistema di fessure sub-parallele ai piani di sedimentazione e quindi alla superficie di scivolamento. Sono state inoltre eseguite analisi diffrat-

**Tavola 1.** 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 <sup>i</sup> <sub>p</sub> (°)	Ph <sup>i</sup> <sub>u</sub> (°)	C <sup>p</sup> (Mpa)	C <sup>u</sup> (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	423972	4925386	4	78	18	45	27	18	17	27	22	0.005	0	R
			12	63	25	44	23	21	39	27	23	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	41.1	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, calcio e quarzo, invece, nel campione preso nella zona sottostante la superficie di scivolamento (tab. 2). L'osservazione al SEM della superficie di "sfaldatura" rivelò 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 collassano.

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'innescò 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 frane indagate, inerenti: l'ubicazione, la formazione geologica coinvolta, le date di innesco o riattivazione e le informazioni di carattere giaciturale.

Sito	Comune	Formazione	Coordinate UTM		Data innesco (i) Riattivazione (r)	Versante		Superficie di scivolamento		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		
Cascina Piazzolo	OVADA	Cessole	471102	4945086	16/10/1980 i	347°	18°	9°	14°	305°	85°	16°-85°	7.2
Cascina Aurora	TAGLIOLO MONFERRATO	Cremolino	473025	4943134	6/10/1977 i	343°	8°	5°	16°	340°	80°	270°-86°?	4.8
Lussito	ACQUI TERME	Cremolino	458407	4944884	20/05/1905 i 03/1957 r 6/10/1997 i	13°	15°	15°	15°	313°	81°	288°-79° 106°-79°	6.5
Cascina Armandi	MONASTERO BORMIDA	Cortemilia	446588	4943221	5/02/1994 i 5/11/1994 r	345°	12°	349°	12°	345°	86°	282°-83°	2.5
Gottasecca	GOTTASECCA	Monesiglio	434401	4924209	02/1972 i	318°	10°	326°	10°	342°	85°	296°-86°	7.0
Prato Noero	BOSSOLASCO	Murazzano	424805	4932973	13/03/1972 i 5/11/1994 r	294°	11°	314°	11°	313°	85°	255°-80°	8.0

Sito	Comune	Formazione	Coordinate UTM		Data innesco (i) Riattivazione (r)	Versante		Superficie di scivolamento		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		
Casa Gala	MANGO n. 6	Lequio	431263	4946679	5/11/1994 i	350°	10°	357°	12°	290°	89°	30°-89°	10
Mad. D. Angeli	FEISOGGIO n. 78 (3bis)	Cassinasco	429301	4933538	5/11/1994 i	310°	10°	308°	8°	290°	60°	269°-69°	7.10
C.na Valanche	SOMANO m. 177	Murazzano	421191	4931794	5/11/1994 i	324°	11°	319°	10°	340°	89°	34°-89°	3.6
Borgaletto	S. BENEDETTO B. n. 235	Cassinasco	424851	4927249	5/11/1994 i	255°	19°	310°	11°	310°	80°	210°-85°	6
Lunetta	NIELLA BELBO. n. 243 **	Cassinasco	426045	4925610	5/11/1994 i	324°	13°	330°	12°	285°	80°	8°-22°	3
C. Fometello	MURAZZANO n. 277	Murazzano	422357	4924472	5/11/1994 i	330°	12°	314°	8°	298°	70°	138°-82°	6.7
Ciosse- Via Berria	LEQUIO BERRIA n. 62 *	Murazzano	430910	4940221	5/11/1994 i	8°	12°	337°	14°	328°	80°	80°-89°	10
C.na Nuova	RODDINO n. 120 *	Lequio	422346	4936793	5/11/1994 i	350°	18°	320°	8°	300°	80°	30°-80°	15
Costalonga	MOMBARCARO n. 245 *	Cassinasco	426070	4924360	5/11/1994 i	307°	10°	325°	5°	305°	60°	286°-64°	6
Cosana	SALICETO n. 363 **	Monesiglio	435376	4921709	5/11/1994 i	255°	32°	335°	11°	298°	83	250°-80°	6.5
C.na Fascinea	MURAZZANO n. 273 **	Murazzano	422657	4925722	5/11/1994 i	320°	18°	315°	11°	330°	87°	221°-69°	12

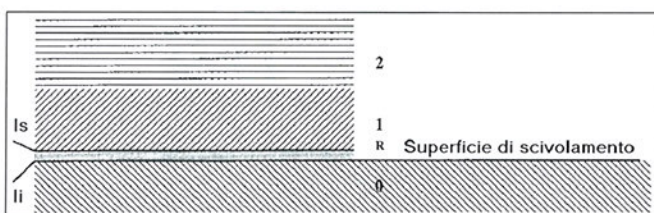
\* = prelievo impossibile

\*\* = prelievo effettuato in corrispondenza della zolla traslata per difficoltà di campionamento nell'intorno della scarpata principale

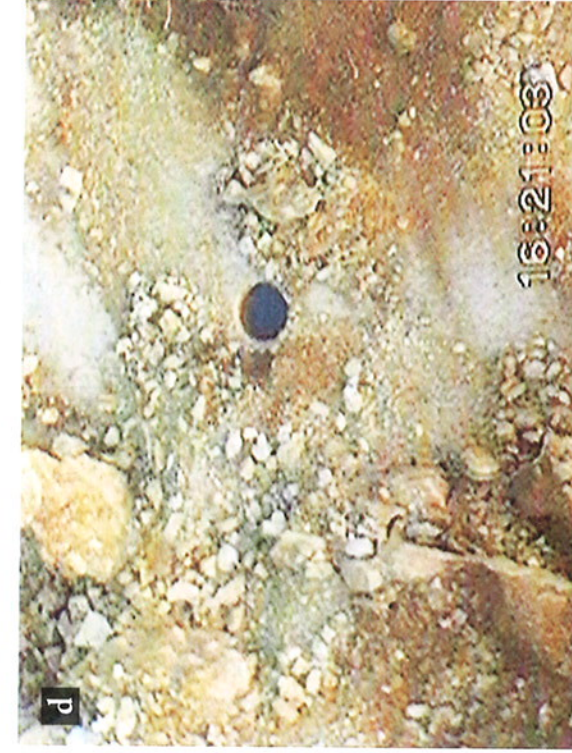
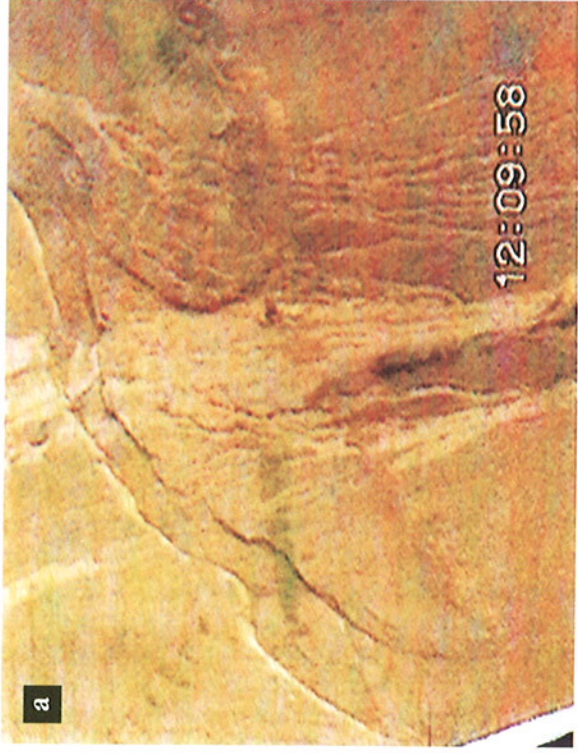
Processi d'instabilità  
sui versanti

**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 piè 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	Campioni	Composizione granulometrica				Giunto	WN	Atterberg			CaCo3	IC	A	USCS
		G%	S%	L%	A%			WL	WP	IP				
(1993) Cascina Piazzolo Comune di OVADA	R		2.0	71.0	27.0	Ma/Ma		43.70	25.00	18.30	23.10		0.67	CL
	R										20.00			
	0		2.5	68.5	29.0			39.10	24.60	14.50	31.72		0.5	CL
(1988) Cascina Piazzolo Comune di OVADA	R		1.0	64.0	35.0	Ma/Ma		43.60	30.90	12.70			0.36	ML e OL
	1		3.0	69.0	28.0			43.40	27.60	15.80			0.56	ML e OL
	1		70.0	30.0				45.20	28.70	16.50			0.55	ML e OL
(1992) Cascina Piazzolo Comune di OVADA	R		1.5	70.5	28.0			42.20	25.20	17.00			0.61	CL
	R		2.5	67.5	30.0			43.00	24.50	18.50			0.62	CL
Lussito - Comune di ACQUI TERME	1		7.0	62.0	31.0	Ma/Ma		38.90	24.70	14.20	25.10		0.46	CL
	R		11.0	58.0	31.0			42.90	24.80	18.10	15.50		0.58	CL
	0		0.5	68.0	31.5			48.90	32.30	16.60	10.40		0.53	ML e OL
Cascina Aurora - Comune di TAGLILOLO MONF.	1	1.0	49.0	40.5	9.5	S/Ma		N.F.	N.F.	N.F.	9.92			
	R		5.0	69.0	26.0		18.45	42.90	30.70	12.20	23.10	2.0	0.47	ML e OL
Prato Noero Comune di BOSSOLASCO Trincea 2	1		57.5	32.5	10.0	S/Ma		N.F.	N.F.	N.F.	18.04			SM-SC
	R		5.5	69.0	25.5			46.30	33.02	13.28	12.46		0.52	ML e OL
	0		34.0	66.0 (L+A)							8.40			
Prato Noero Comune di BOSSOLASCO Trincea 1	R	0.3	2.7	62.2	34.7	S/Ma		53.68	24.96	28.72	18.03		0.82	CH
	R		3.3	55.4	41.3			59.20	25.80	33.40	12.46		0.80	CH
Cascina Armandi - Comune di MONASTERO BORM. A monte zolla traslata	1		43.0	49.5	7.5	S/Ma	16.24	N.F.	N.F.	N.F.	9.15			
	R	1.0	13.0	62.0	24.0		33.18	41.20	28.70	12.50	15.00	0.64	0.52	ML e OL
	0	0.5	5.5	68.5	25.5		15.00	48.70	29.40	19.30	9.00	1.75	0.76	ML e OL
Cascina Armandi - Comune di MONASTERO BORM. A ridosso scarpata principale	1		45.0	47.5	7.5	S/Mg	14.85	N.F.	N.F.	N.F.	9.15			
	R		1.0	66.0	33.0		40.56	45.90	27.10	18.80	11.70	0.28	0.57	ML e OL
	R	1.0	13.0	62.0	24.0	S	33.18	41.20	28.70	12.00	15.00	0.64	0.52	ML e OL
	0	1.0	13.0	63.5	22.5		18.80	48.80	31.20	22.50	8.90	1.70	0.78	ML e OL
GOTTASECCA	1										19.50			
	R		2.0	65.0	33.0	M2/Ma		41.10	22.0	19.00			0.56	CL
Case Gala Comune di MANGO frana n. 6	1		4.0	66.0	30.0		25.00	56.00	30.00	26.00	44.40	1.19	0.86	MH e OH
	R		1.3	65.7	33.0	Ma/Ma	23.00	56.00	32.00	24.00	39.80	1.37	0.75	MH e OH
	0		1.5	73.5	25.0		23.00	56.00	31.00	25.00	20.90	1.32	1.00	MH e OH
Borgaletto - Comune di S. BENEDETTO BELBO frana n. 235	1		5.0	74.0	21.0		18.00	53.00	33.00	20.00	13.40	2.00	0.96	MH e OH
	R		2.0	73.0	25.0	Ma/Ma	32.00	57.00	32.00	25.00	3.80	1.00	1.00	MH e OH
	0		1.0	79.0	20.0		20.00	49.00	31.00	18.00	3.80	2.00	0.90	MH e OH
FEISOGGIO frana n. 78 (3bis)	1		2.0	60.0	38.0		18.45	51.00	33.00	18.00	15.10	1.80	0.47	MH e OH
	0		2.0	65.0	33.0	S/Ma	17.95	51.00	33.00	18.00	21.80	1.83	0.54	MH e OH
SOMANO frana n. 177	1		2.0	52.0	36.0		19.24	48.00	30.00	18.00	35.40	1.60	0.50	ML e OL
	Is		1.2	61.8	37.0		19.24	50.00	28.00	22.00	35.40	1.40	0.59	CL/CH
	R					Ma/Ma	42.18	49.00	27.00	22.00	29.50	0.30		CL
	Ii		1.0	66.0	33.0		17.95	48.00	27.00	21.00	23.60	1.43	0.64	CL
	0		2.0	66.0	32.0		17.95	50.00	25.00	25.00	23.60	1.28	0.78	CL/CH
MURAZZANO frana n. 277	1		8.0	68.5	23.5		19.02	41.70	29.65	12.05	8.00	1.88	0.51	ML e OL
	R					Ma/Ma					3.00			
0		5.0	73.0	22.0		15.69	40.20	26.10	14.10	5.75	1.73	0.64	ML e OL	
MURAZZANO frana n. 273	R	4.26	18.24	55.7	21.8	MaS/MaS		41.90	26.90	15.00			0.68	ML e OL
	0	17.85	13.15	53.5	15.5			36.90	26.30	10.60	27.90		0.68	ML e OL
Lunetta - Comune di NIELLA BELBO frana n. 243	1		9.0	69.0	22.0		25.04	35.80	25.70	10.10	11.00		0.46	ML e OL
	R			58.9	41.1	Ma/Ma		42.00	27.20	14.80	0.50	1.15	0.36	ML e OL
	0		3.5	72.0	24.5			48.80	30.30	18.50			0.75	ML e OL
Cosana - Comune di SALICETO frana n. 363 Pozzetto 1	1	13.47	14.53	61.0	11.0			41.30	26.30	15.00	14.20		1.36	ML e OL
	R	1.0	13.00	66.0	20.0	MaS/MaS		43.90	25.60	18.30			0.92	CL
	0	6.75	13.25	66.0	14.0			38.90	27.20	11.70			0.84	ML e OL
Cosana - Comune di SALICETO frana n. 363 Pozzetto 2	1	13.0	25.0	46.5	15.5			34.70	22.30	12.40	0.75		0.80	CL
	R					MaS/MaS		45.40	30.20	15.20	5.50			ML e OL
	0	0.44	11.06	73.0	15.5			37.80	26.30	11.50	9.25		0.74	ML e OL



- 1 = strato a tetto della superficie di scivolamento
- Ii e Is = interfacce rispettivamente inferiore e superiore
- R = livelletto rimaneggiato
- 0 = strato a letto della superficie di scivolamento



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

**Processi d'instabilità  
sui versanti**

### 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 preesistenti.

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 disunte 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'innescio, 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).

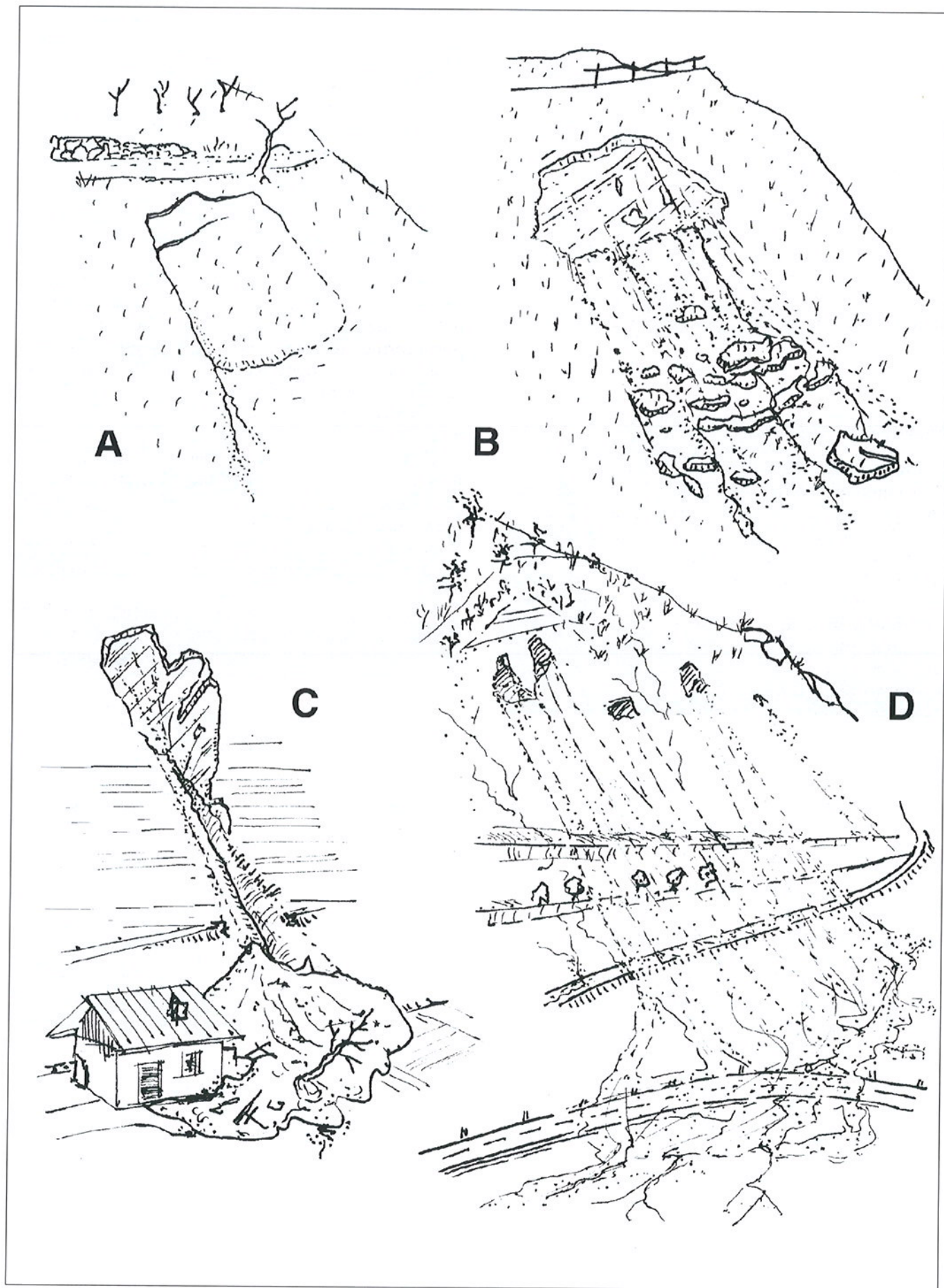
#### Indagini e studi

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-



Processi d'instabilità  
sui versanti

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, Talloria, Rea e altri direttamente confluenti in Tanaro, e Uzzone affluente in destra nel Bormida.

La superficie di quest'area è di 1100 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>.

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-

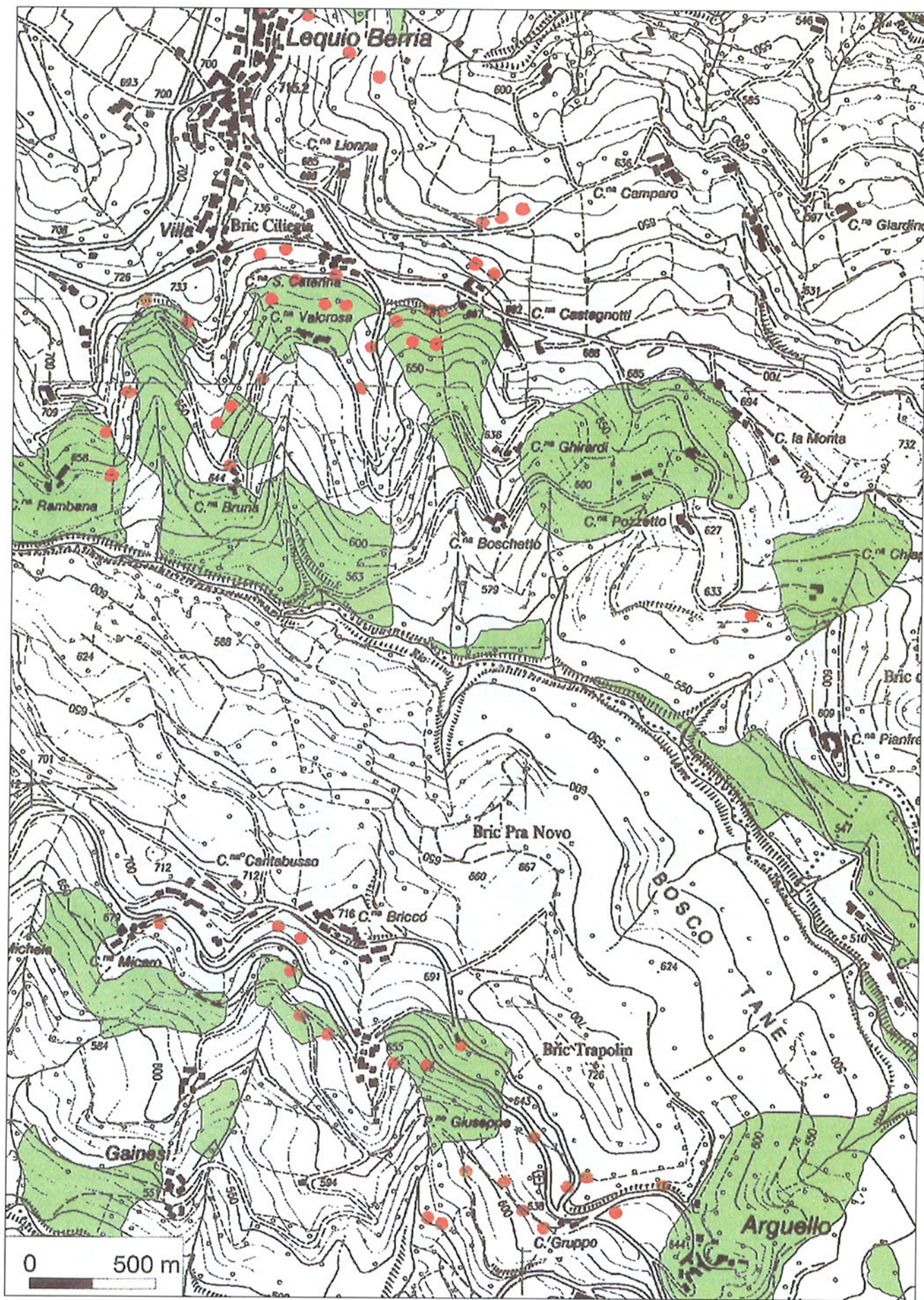


Fig. 60. Processi di mobilizzazione delle coltri detritiche superficiali: stralcio della cartografia numerica prodotta da fotointerpretazione su immagini dell'area delle Langhe, in rosso sono identificati singoli processi e in verde gli involucri di individui non distinti.

Processi d'instabilità  
sui versanti



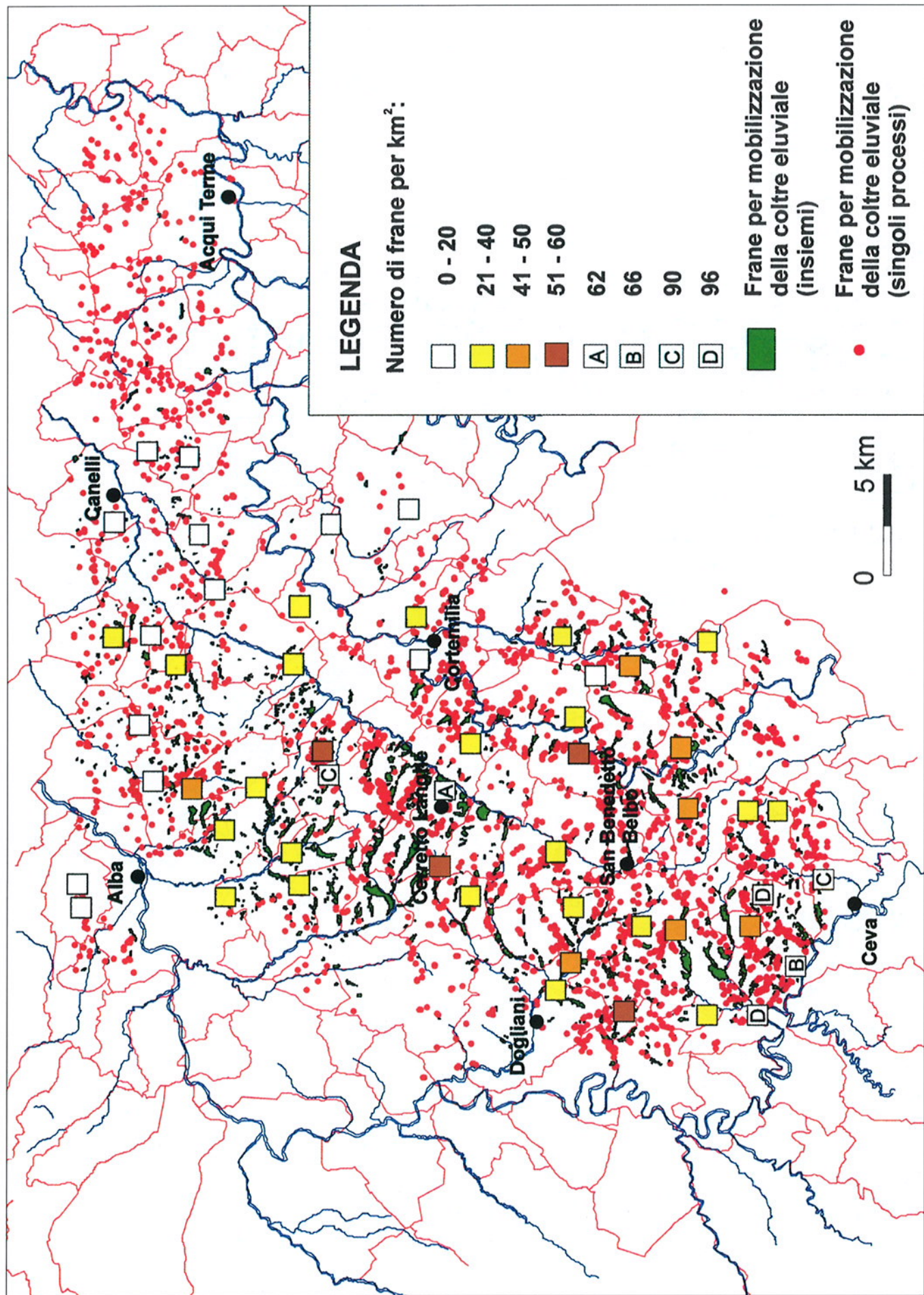


Fig. 61. Quadro territoriale della densità delle frane per mobilitazione delle coltri detritiche superficiali nell'area delle Langhe.

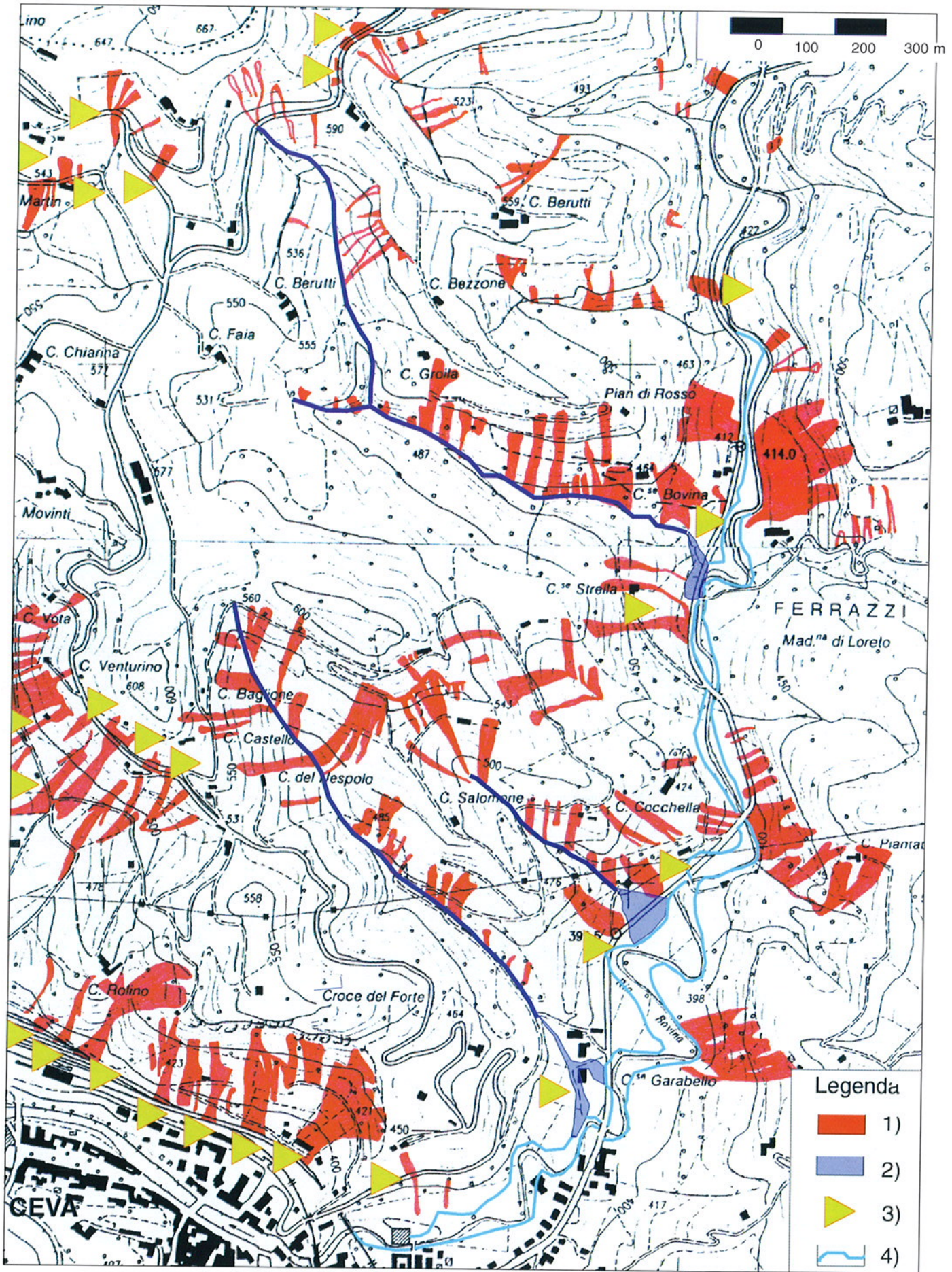


Fig. 62. Diffusione areale delle frane per mobilizzazione della copertura detritica nei dintorni di Ceva, Cn. Legenda: 1) processo franoso; 2) traiettoria e deposito del materiale incanalato; 3) danno ad edificio, viabilità stradale o ferroviaria; 4) campo di inondazione del Torrente Bovina.

Processi d'instabilità  
sui versanti

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 km<sup>2</sup> oltre 200 frane, con un massimo di 96 processi su 1 km<sup>2</sup>, 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, incalmandosi in alveo, assuma le caratteristiche cinematiche di una vera colata torrentizia 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'innesco (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.

REGIONE PIEMONTE  
 Settore prevenzione del rischio  
 Geologico, Meteorologico e Sismico

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
 Istituto di Ricerca per la Protezione  
 Idrogeologica nel Bacino Padano - Torino

Evento alluvionale 5/6-11-1994  
 SCHEDA DI RILEVAZIONE FRANE PER SATURAZIONE E FLUIDIFICAZIONE  
 DEI TERRENI SCIOLTI SUPERFICIALI

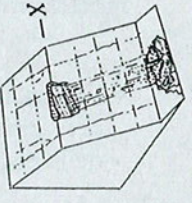
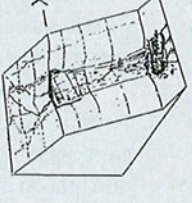
Codice processo

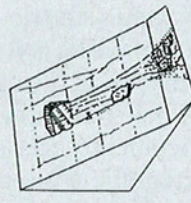
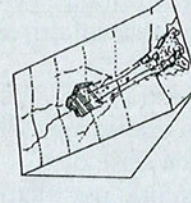
Strisciata       Fot.

Comune \_\_\_\_\_ Volo 11/20 nov. 94 B/N \_\_\_\_\_  
 Localita' \_\_\_\_\_ Tav. 25.000 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Sez. C.T.R. \_\_\_\_\_

1) CARATTERISTICHE DELLA ZONA D'INNESCO

1.1 Contesto morfologico

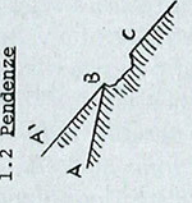
A    B  

C    D  

X= Orlo di scarpata  artificiale  naturale

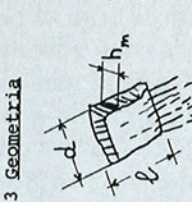
agricolo  rilevato  altro

1.2 Pendenze



AB = \_\_\_\_\_ m  
 BC = \_\_\_\_\_ m  
 (A'C = \_\_\_\_\_ m)

1.3 Geometria



l = \_\_\_\_\_ m  
 d = \_\_\_\_\_ m  
 h media = \_\_\_\_\_ m

Fig. 64. Esempio della scheda di rilevamento.

1.4 Uso del suolo nell'area di attivazione

a prato   vigneto

a coltivo   frutteto

a bosco   altro

2) DANNI

2.1 Nella zona di innesco (a)

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

2.2 Lungo la traiettoria (b)

3) TEMPI

3.1 Ora di distacco \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

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 \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ Rilevatore/i \_\_\_\_\_

Processi d'instabilità sui versanti

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 prevederne 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 elabora-

to, 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 eluvio 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-

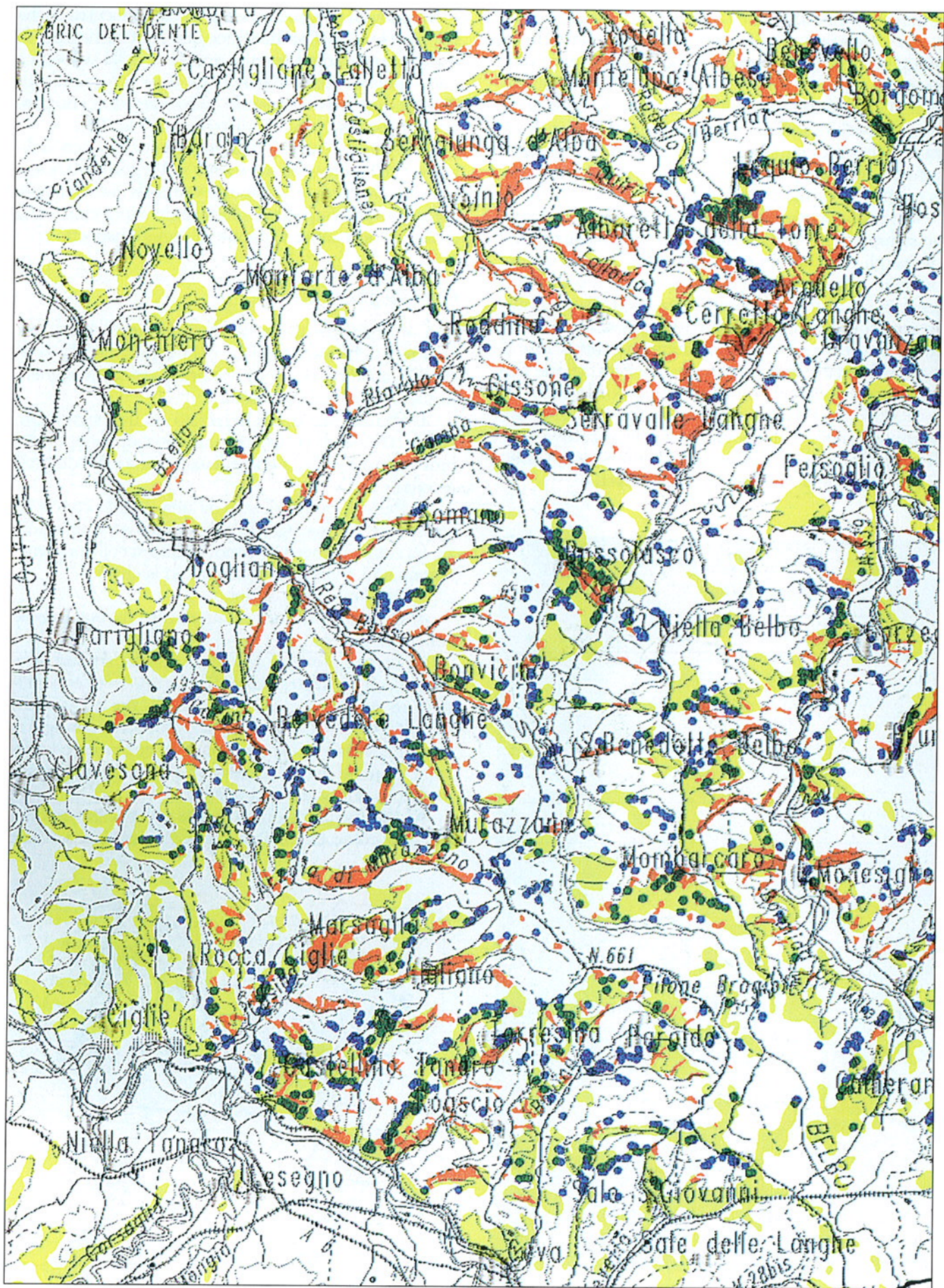


Fig. 65. Proposta comparativa tra "Settori vulnerabili per fenomeni franosi per fluidificazione dei terreni sciolti di copertura" (in giallo) e "Frane per mobilitazione delle coperture superficiali a seguito dell'evento alluvionale 1994" (in rosso: dati areali, in blu: dati puntuali).

minante la possibilità di attivazione del processo.

In letteratura sono riportate analisi condotte in modo sistematico che indicano che la pendenza è compresa tra  $16^\circ$  e  $45^\circ$  con un picco tra i  $25^\circ$  e i  $35^\circ$  (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 mobilitazione 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 distinte 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

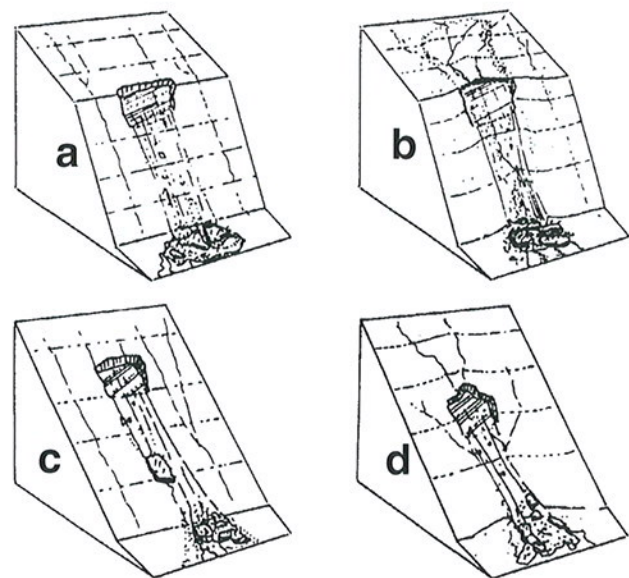
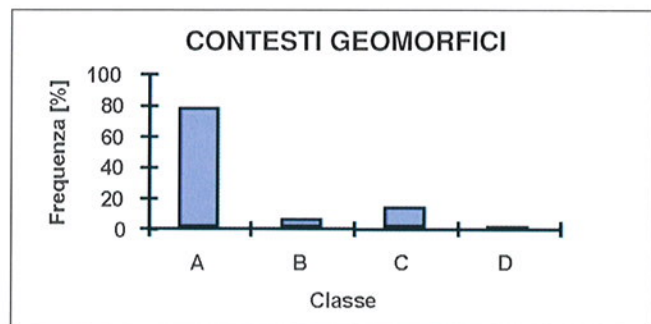


Fig. 67. Differenti contesti geomorfici in relazione al settore di innesco.



Contesto Geomorfico	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 verificatesi 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.

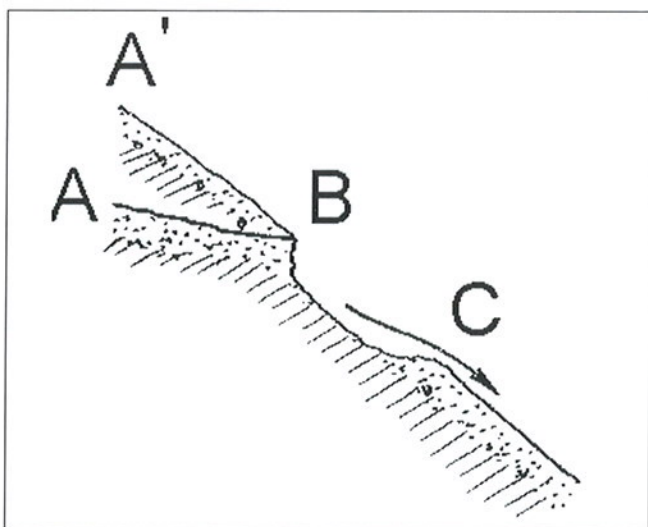


Fig. 69.

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

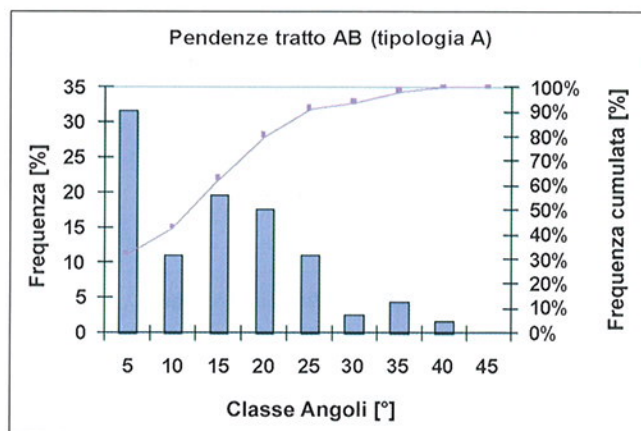
#### Contesto geomorfico **a**

##### 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 innesco sia aspetto fortemente condizionante la stabilità del pendio al di sotto della variazione di pendenza nel punto B.



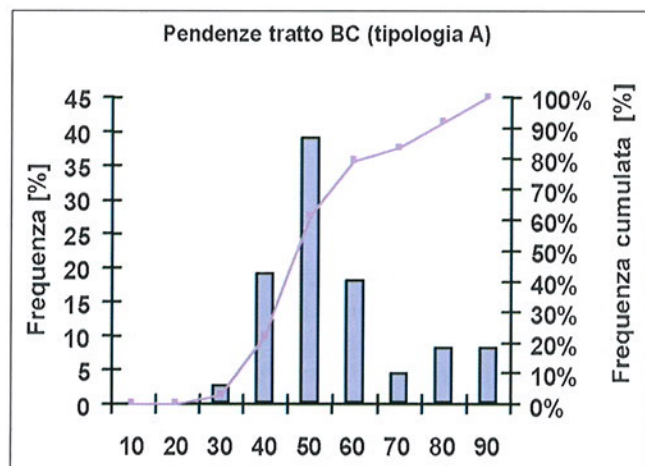
PENDEZZA TRATTO AB [°]			
Media	13	Asimmetria	0.6
Mediana	12	Minimo	0
Moda	2	Massimo	42
Dev. Std.	9.7	Numero	183
Curtosi	-0.1		

Fig. 70.

##### TRATTO BC

Il tratto BC rappresenta la porzione di pendio identificabile come sede di innesco 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**.





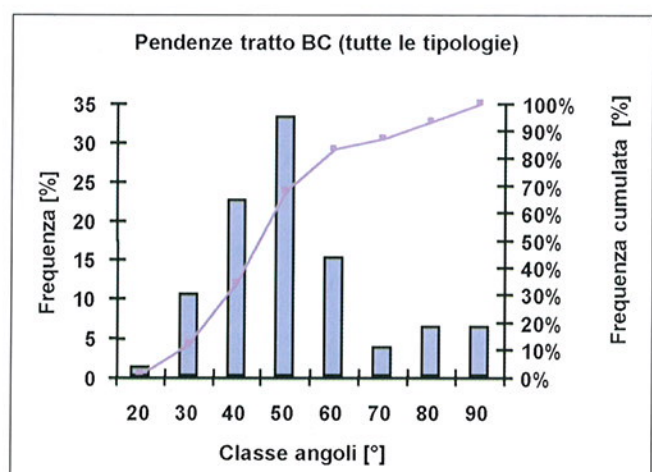
PENDENZA TRATTO BC [°]			
Media	51.8	Asimmetria	0.9
Mediana	48	Minimo	20
Moda	40	Massimo	90
Dev. Std.	15.5	Numero	183
Curtosi	0.03		

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.



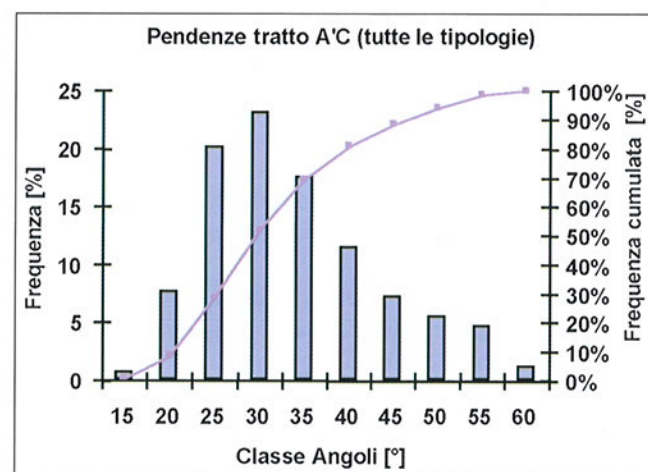
PENDENZA TRATTO BC [°]			
Media	48	Asimmetria	0.9
Mediana	45	Minimo	16
Moda	45	Massimo	90
Dev. Std.	16.1	Numero	234
Curtosi	0.3		

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 Sutera 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:

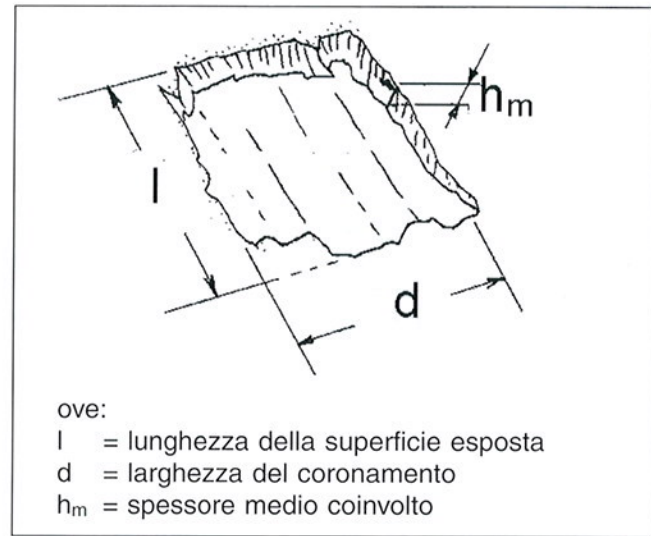
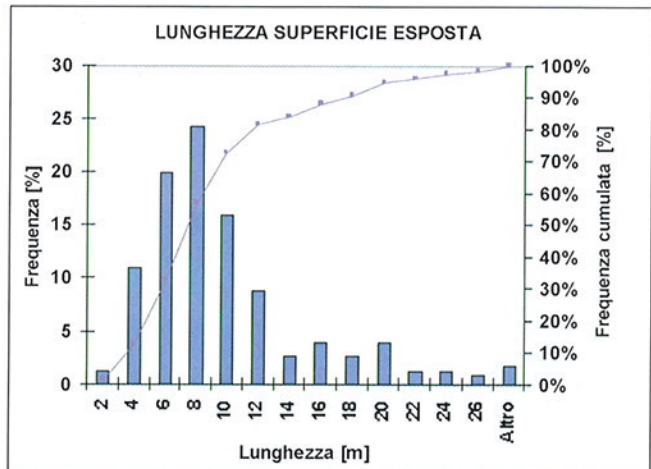


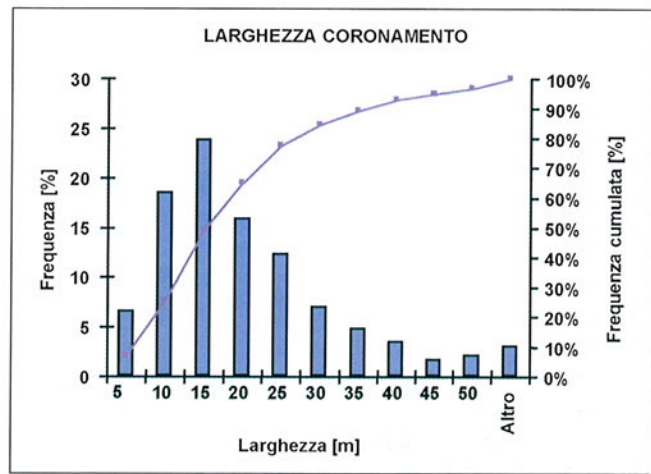
Fig. 74.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi univariate eseguite:



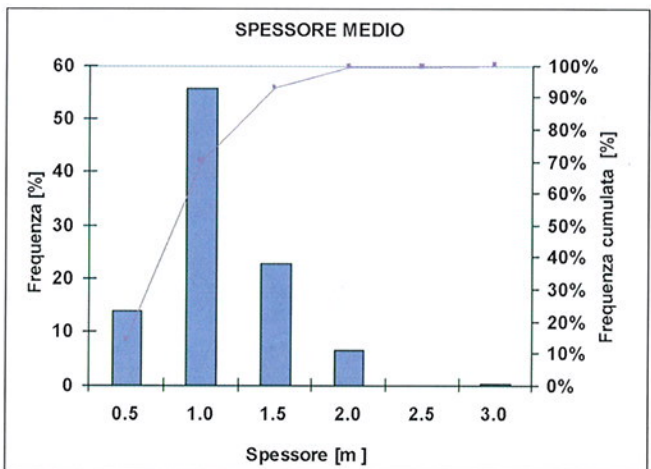
LUNGHEZZA $l$ [m]			
Media	9.5	Asimmetria	3.9
Mediana	7.5	Minimo	2
Moda	7	Massimo	70
Dev. Std.	7.2	Numero	226
Curtosi	25.5		

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.

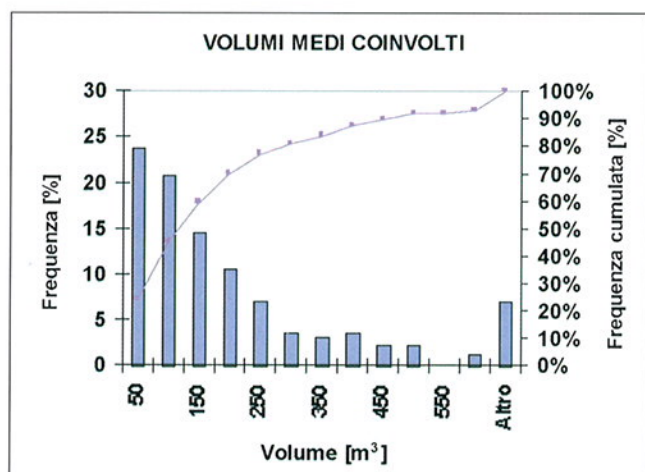
Processi d'instabilità sui versanti

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
Curtosi	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'evoluzio-

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.

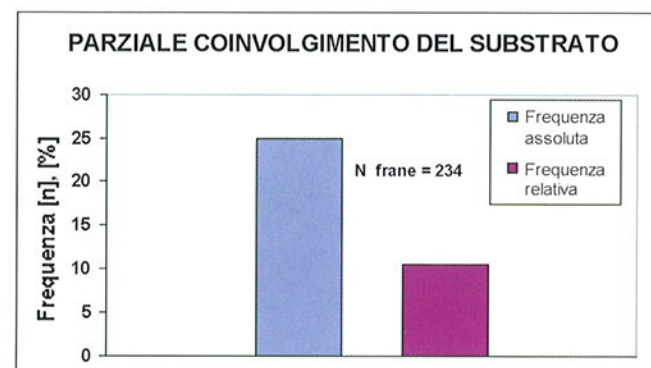


Fig. 79.

- 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 tombature 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

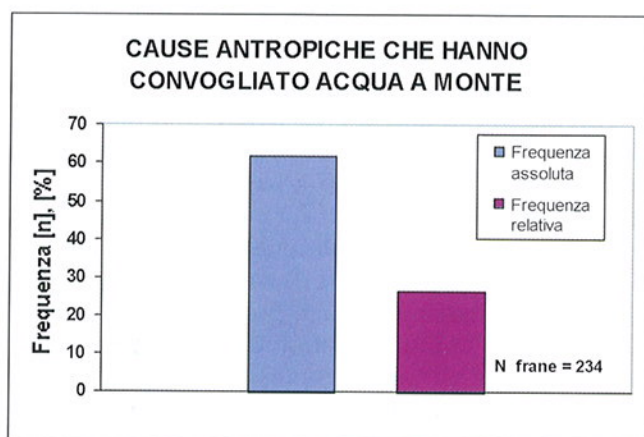


Fig. 81.

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.

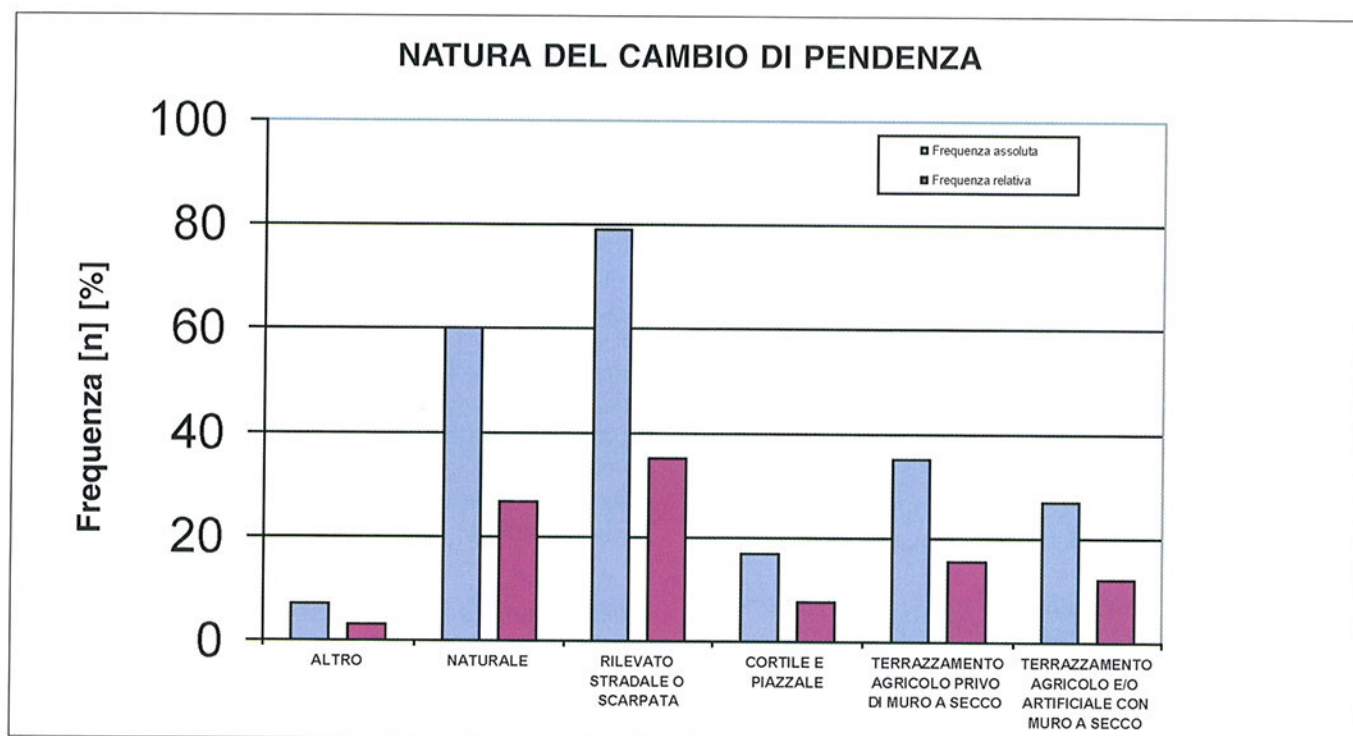


Fig. 82.

- Uso del suolo

Il rilevamento eseguito sulle frane per mobilitazione di porzioni delle coltri 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.

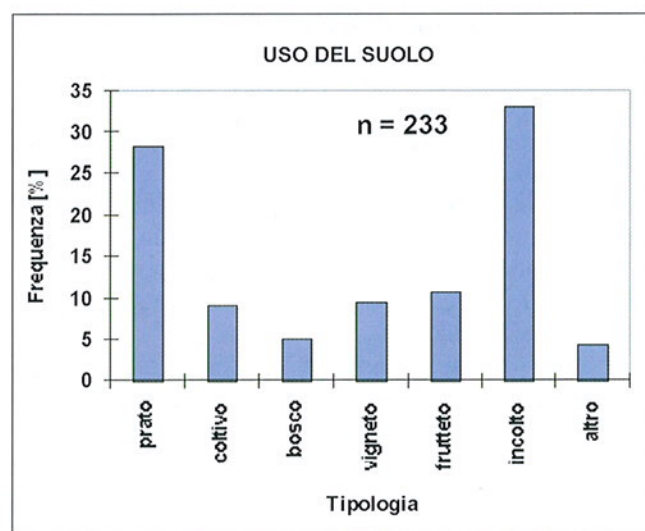


Fig. 83.

- 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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.

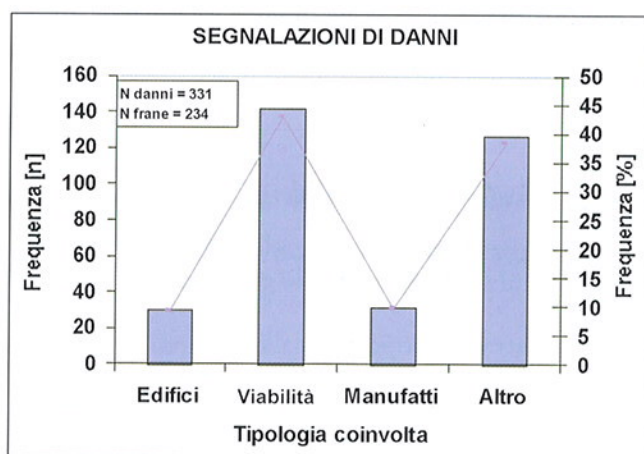


Fig. 84.

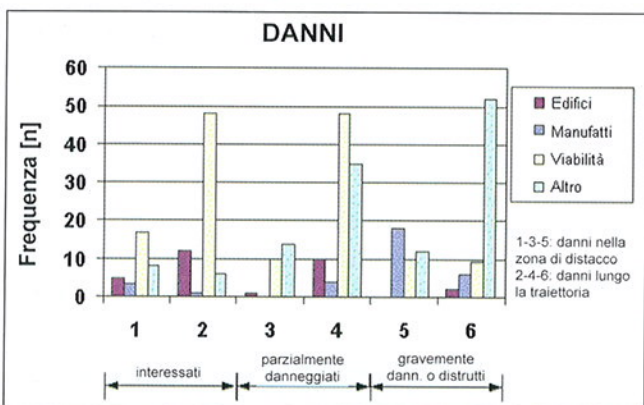


Fig. 85.

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 cinematismo 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 cinematismo 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/deflusso idrico fanno sì che si possano abbattere le sovrappressioni determinando l'arresto del movimento.

Nella tipologia *B* (*translational soil-slide*) 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 disunite "galleggiassero" 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 pressochè completa e la componente liquida governa il tipo di moto. La componente viscosa è del tutto trascurabile e non viene esplicitata nessuna azione erosiva apprezzabile dai grani in sospensione; ciò spiega l'assenza di forme di accumulo una volta arrestatosi 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 innesca 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 testimonianze raccolte in loco indicano riferirsi alle ore 8 del sabato.

Durante il pomeriggio dello stesso giorno e verso



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

la sera si è poi avuta una parossistica attivazione di questo processo nell'area collinare delle Langhe.

Con il passare delle ore il culmine della perturbazione, di provenienza sud occidentale, si spostava verso il nord del territorio regionale interessando il Monferrato e l'arco alpino con relative zone pedemontane poste a nord di Torino, risultavano così colpite da questo tipo di frana, anche le valli comprese tra il Pellice e la valle Sesia.

Al termine dell'evento alluvionale una vastissima parte della rete viaria di ogni livello della zona collinare delle Langhe, soprattutto, e dell'area delle Valli Monregalesi (bacini settentrionali delle alpi Liguri) risultava danneggiata (o, in qualche caso distrutta) dalle colate rapide conseguenti alle migliaia di frane di mobilitazione (Fig. 86).

Nelle zone meridionali alpine, ove affiorano litotipi scistososi (calcesisti e scisti permiani) oppure calcareo dolomitici (Serie Brianzonese), la litologia non ha apportato apparentemente una diversificazione tipologica del fenomeno, per contro lo stesso non appare in tutta la sua evidenza e con la densità che si riscontra nelle aree collinari poste in destra del fiume Tanaro.

Nelle ore pomeridiane e preserali del sabato 5 novembre la strada statale n. 28 della valle Tanaro, nel suo tratto tra Garessio e Ceva, come peraltro la viabilità provinciale delle adiacenti valli Mongia e Casotto (principalmente), erano inagibili per ripetute interruzioni da accumuli di colate detritiche che avevano invaso la carreggiata o anche, come nel caso di Priola (valle Tanaro), la sottostante linea ferroviaria.

Ma nelle stesse ore un quadro catastrofico si era manifestato poco più a Nord nelle valli minori delle Langhe, territorio ospitante i tributari di destra del fiume Tanaro.

Particolarmente colpita risultava, nella zona meridionale di quest'area, la città di Ceva; in particolare la parte di edificato posto a monte della zona ferroviaria, ai piedi del versante della Rocca del Forte e sul lato sinistro della vicina valle del torrente Bovina, oltre ai fianchi vallivi di questa e di altre valli minori limitrofe.

In Ceva numerosi episodi di frane per saturazione e scivolamento delle coltri superficiali con collegate colate detritico-terrose, con lunghezze superiori a 100 m, provocavano gravi danni a muri di controripa interessando ed interrompendo la viabilità locale ed il traffico ferroviario sulla linea Torino-Savona; alcuni edifici risultavano coinvolti in modo anche serio (Fig. 87).

Numerose interruzioni erano segnalate sulla strada statale n.28 tra Ceva e Nucetto in località Rocchini.

Altre situazioni simili si riscontravano in abitati posti al piede di versanti con pendenze sensibili.

È il caso di San Michele Mondovì, nella parte di recente e nuovo edificato posta a levante, così come la sottostante strada provinciale che in località Rocchini subiva numerose interruzioni.

Particolarmente spettacolare è stato questo tipo di processo sull'imbutiforme versante sottostante l'abitato di Cerreto Langhe (Fig. 88).

In questo luogo gran parte delle coperture giacenti sul ripido pendio e ricoprenti il substrato, costituito dalle testate della serie marnoso arenacea qui disposta a reggipoggio, si sono mosse confluendo, per ragioni di ordine morfologico, verso il centro del versante trascinando, nella loro discesa i materiali giacenti sul pendio.

Ne è stata danneggiata la strada a tornanti che dal centro abitato scende al fondovalle del torrente Belbo anche se l'evidente fluidità del materiale non ha provocato asportazioni di tratti del manufatto; durante il rilevamento dei dati di terreno si sono misurate tracce fangose sui tronchi di alcuni alberi di alto fusto, posti nel settore medio inferiore del versante, che lasciavano presumere altezze della massa in movimento, in alcuni luoghi, fino a 3 metri.

Come già citato al paragrafo sui "Danni", in provincia di Cuneo si dovevano registrare anche alcune vittime: due anziani coniugi erano travolti ed uccisi assieme ad alcuni capi di bestiame nel crollo di una



**Fig. 87.** Città di Ceva, stazione ferroviaria. Nell'immagine, ripresa da elicottero, sono rappresentati gli effetti derivanti dall'attivazione di diffuse frane superficiali sul versante sud della Rocca del Forte. Le colate detritiche hanno gravemente danneggiato la sede ferroviaria, infrastrutture ed edifici posti nelle vicinanze.





**Fig. 88.** *Comune di Cerretto Langhe. L'immagine mostra l'ampio settore di versante coinvolto da diffuse frane superficiali.*



**Fig. 89.** *Comune di Feisoglio, località Sprella. L'immagine mostra la porzione di edificio distrutta da una frana della copertura detritica superficiale la sera del sabato 5 novembre 1994. Nell'occasione hanno trovato al morte due persone che al momento si trovavano nell'edificio agricolo.*

stalla a Feisoglio, altre vittime erano segnalate a Neive e a Torre Mondovì.

Nel caso di Feisoglio, località Sprella Soprana, si è riscontrato che il processo franoso era di ridotte dimensioni sia per quanto riguarda il volume detritico sia per la traiettoria di caduta; l'edificio coinvolto era infatti addossato al piede della scarpata, ciò nonostante l'energia della massa movimentata è risultata sufficiente a provocare la demolizione del manufatto (Fig. 89).

A seguito della movimentazione di innumerevoli processi di frana delle coltri superficiali detritiche, e a seguito del confluimento di detti materiali nelle incisioni di versante, molte delle aste di ordine inferiore, afferenti agli alvei del fiume Bormida e del torrente Belbo, vedevano trasformata la violenta attività torrentizia, che le stava interessando, in attività per fenomeni di colata che avrebbero coinvolto tutta l'asta e gli apparati di conoide (cfr. Cap. 3).



**Fig. 90.** Immagine aerea ravvicinata di una frana di mobilizzazione della coltre alterata nella quale è evidente l'estrema fluidificazione del materiale detritico. Gli altri indizi visibili in foto (fratture, scarpate) sono legati ad altri processi franosi di diversa tipologia.

Processi d'instabilità  
sui versanti