

**La pericolosità geologica
per instabilità dei versanti
nell'Alta Val Cordevole**

PROGETTO CARG - VENETO

Indice

■	Introduzione	5
■	1. Inquadramento pluviometrico dell' Alto bacino del Cordevole	6
	1.1 Fonti dei dati	7
	1.2 Analisi pluviometrica	7
■	2. Inquadramento geografico geologico e strutturale	10
■	3. Sviluppo degli insediamenti nell'alta valle del Cordevole	16
■	4. Raccolta dati e principali tipologie di frana	22
■	5. Approccio metodologico	36
	5.1 Analisi dei dati e risultati ottenuti	37
	5.2 Il Metodo Deterministico	39
	5.3 Il Metodo Statistico	44
	5.4 Validazione Statistica	57
■	6. Frana del Chertz: indagini e risultati preliminari	58
	6.1 Appendice I. Il modello "weight of evidence"	70
	6.2 Appendice II: Il test del χ^2 :	73
	6.3 Appendice III: Stratigrafia sondaggio Chertz	74
■	Bibliografia	75

Introduzione

Lo studio metodologico sulla pericolosità geologica nell'area del Foglio "Marmolada" è stato realizzato nell'ambito del Progetto CARG (Progetto Nazionale della nuova cartografia geologica e geotematica) con una convenzione tra il Servizio Geologico d'Italia (ora APAT) e la Regione del Veneto, con il contributo di cui alla L. 305/89.

Lo studio è stato realizzato dalla Regione del Veneto e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - Sezione di Padova, con la collaborazione del personale delle citate strutture e il coordinamento del Servizio Geologico d'Italia:

- per la Regione del Veneto: Segreteria all'Ambiente e Territorio, segretario regionale Roberto Casarin; Direzione Geologia e Attività Estrattive, dirigente regionale Andrea Costantini e con responsabile del progetto Federico Toffoletto, direttore per la fotointerpretazione e la geomorfologia Enrico Schiavon, responsabile dell'informatizzazione Riccardo Campana;
- per il CNR - IRPI sede di Padova: coordinatore scientifico, Alessandro Pasuto, hanno eseguito rilievi ed elaborazioni Fabrizio Tagliavini e Matteo Mantovani.

Il sondaggio geognostico è stato realizzato con il personale ed i mezzi del Servizio Forestale Regionale di Belluno.

La documentazione conoscitiva è stata acquisita da diverse strutture, regionali e non: Carta della Vegetazione e Carta dell'Uso del Suolo del Dipartimento Regionale Foreste ed Economia Montana; Inventario Fenomeni Franosi della Regione del Veneto (responsabile del progetto Alberto Baglioni); dati stazioni meteorologiche e catasto sistemazioni idraulico-forestali (ARPAV), Provincia di Belluno.

L'area di studio ricade interamente nella Provincia di Belluno e comprende l'alta valle del Torrente Cordevole con i Comuni di Pieve di Livinallongo del Col di Lana e Rocca Pietore.

Detta area comprende in tutto o in parte le seguenti tavolette I.G.M.I., alla scala 1:25.000: "Corvara in Badia", "S. Cristina Valgardena", "M. Marmolada", "Badia". Per i rilievi di campagna sono state utilizzate le sezioni della carta tecnica regionale, alla scala 1:10.000: "Piz Boè", "Passo di Campolongo", "Settsass", "Passo Pordoi", "Arabba", "Livinallongo del Col di Lana", "La Marmolada" e "Rocca Pietore".

I rilievi geologici e gli elaborati tematici sono stati eseguiti negli anni 2003 - 2005.

Si ringrazia il Servizio Geologico d'Italia (APAT) per aver consentito la realizzazione del progetto e in particolare il direttore del Dipartimento Difesa del Suolo, Leonello Serva, il dirigente del Servizio CARG, Fabrizio Galluzzo, la responsabile della gestione tecnico-amministrativa, Maria Teresa Lettieri, gli esperti geologi Marco Amanti e Vittorio Chiessi.

1. Inquadramento pluviometrico dell' Alto bacino del Cordevole

A cura di Andrea Crepaz, Anselmo Cagnati e Mauro Valt ARPAV-Centro Valanghe di Arabba, Via Pradat 5 32020 Arabba di Livinallongo (Belluno) cva@arpa.veneto.it

1.1 Fonti dei dati

Al fine di caratterizzare l'alto bacino del Cordevole da un punto di vista pluviometrico sono stati utilizzati i dati di alcune stazioni automatiche presenti nell'area ubicate a quote diverse. Le caratteristiche delle stazioni, gestite dall'ARPAV tramite il Centro Meteorologico di Teolo (CMT) e il Centro Valanghe di Arabba (CVA) sono riportate in tabella 1.

Località	Quota (m)	Periodo di funzionamento	Tipo di stazione	Ente gestore
Arabba	1645	1985-2004	Meteo	ARPAV-CMT
Passo Pordoi	2142	1985-2004	Meteo	ARPAV-CMT
Monti Alti Ornella	2250	1985-2004	Nivometeo	ARPAV-CVA

Tab. 1 ■ Caratteristiche delle stazioni di riferimento

Per le suddette stazioni non sono purtroppo disponibili serie storiche trentennali, periodo normalmente ritenuto significativo per condurre un'adeguata analisi statistica, ma si dispone tuttavia di vent'anni di dati, che già costituiscono una serie indicativa. Per tale motivo, come serie di controllo, sono state utilizzate serie quarantennali ('51-'90) di precipitazione delle stazioni gestite dall'ex Magistrato alle Acque, site ad Arabba ed Andraz.

1.2 Analisi pluviometrica

Per quanto riguarda il regime pluviometrico (Fig. 1), l'alto bacino del Cordevole è caratterizzato da massimi valori di precipitazione nei mesi estivi (Giu/Lug/Ago) e autunnali (Ott/Nov) con un minimo invernale (Dic/Gen/Feb/Mar). Tale regime viene confermato dalla media quarantennale '51-'90 dei dati dell'ex Magistrato alle Acque; tuttavia emerge in questa serie storica che le precipitazioni invernali risultavano superiori, tanto nella stazione di Arabba che di Andraz, a testimonianza della scarsità di neve caduta nell'ultimo decennio sul versante meridionale delle Alpi Orientali.

La stazione in quota posta a Passo Pordoi mostra un comportamento simile a quello di Arabba, ma con precipitazioni mediamente inferiori durante il periodo invernale e maggiori nei mesi estivi. Tale informazione può essere giustificata dall'influenza del vento in alta quota durante gli eventi nevosi invernali, che porta ad una sottostima delle precipitazioni da parte dei pluviometri e dalla maggiore incidenza degli eventi di instabilità estiva nella zona del Pordoi rispetto alla conca di Arabba, benché la distanza sia molto limitata.

La precipitazione totale media annua risulta essere di 1023 mm ad Arabba (contro 1092 mm della stazione del Magistrato), distribuiti mediamente su 110 giorni piovosi (giorni con precipitazione, pioggia o neve, maggiore di 1 mm), mentre al Pordoi si raggiungono mediamente 971 mm (114 gg. piovosi) a conferma delle due



Inquadramento pluviometrico dell'Alto bacino del Cordevole

1 Inquadramento pluviometrico dell' Alto bacino del Cordevole

ipotesi pocanzi espresse. Ad Andraz il valore medio annuale su 40 anni si attesta su 1067 mm.

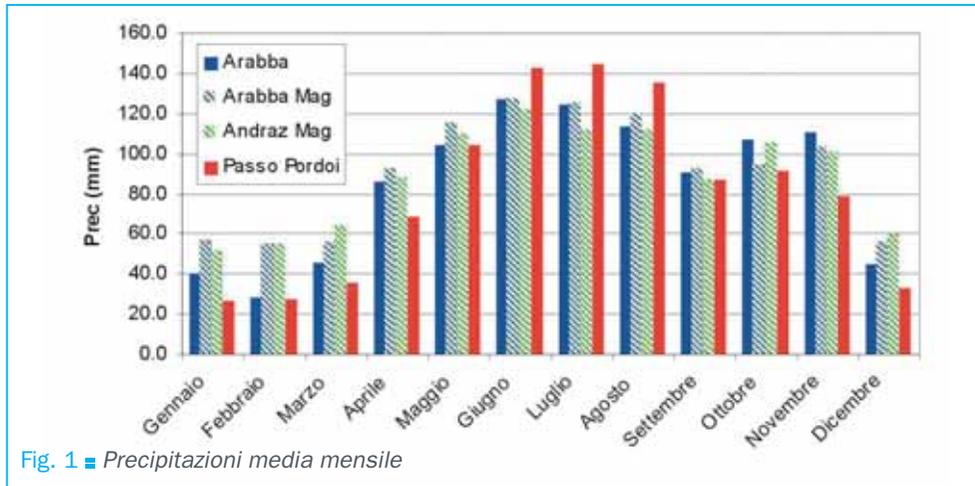


Fig. 1 ■ Precipitazioni media mensile

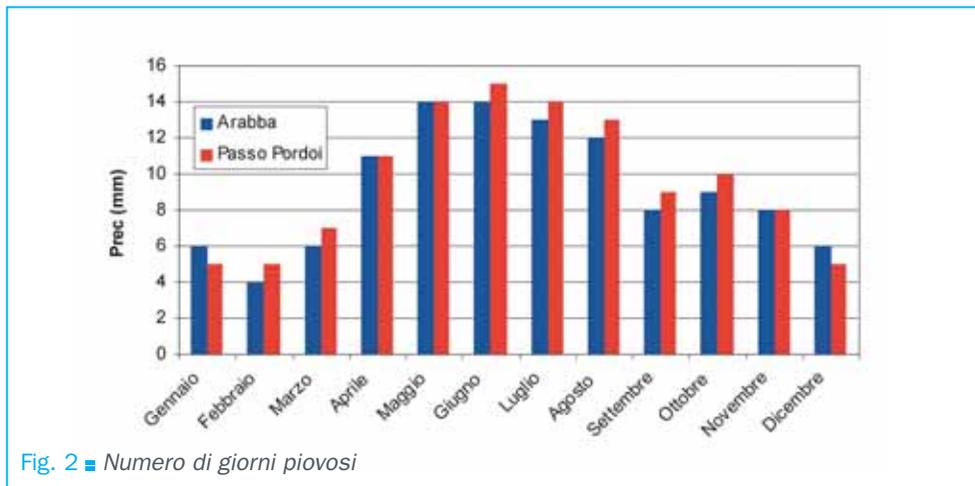


Fig. 2 ■ Numero di giorni piovosi

Per quanto riguarda la distribuzione dei giorni piovosi (Fig. 2) si nota che i mesi di Maggio, Giugno, Luglio e Agosto sono quelli con il maggior numero di giorni piovosi (12/15), determinati dall'instabilità termoconvettiva con frequenti rovesci e temporali; i mesi autunnali presentano un minor numero di giorni piovosi, ma nel contempo con precipitazioni più consistenti, quindi di maggiore intensità. I mesi invernali mediamente non presentano mai più di 6 giorni piovosi.

Per i dati nivologici sono disponibili i valori cumulati di neve fresca registrati ad Arabba dal 1972 al 2005. Tali dati sono riferiti all'anno idrologico (ad es. il 2004 comprende la neve fresca caduta dal 1 Ottobre 2003 al 30 settembre 2004). Da questi dati, come già accennato, si evince un drastico calo delle precipitazioni nevose negli anni '90, rispetto agli anni '70 e metà degli anni '80, con l'eccezione del 2001 e del 2004 (Fig. 3). Ad Arabba risultano cadere mediamente 365 cm di neve fresca annui, distribuiti in ugual misura nei mesi fra Novembre ed Aprile.

Per dare un'idea della distribuzione stagionale del manto nevoso in quota, sono

state calcolate su 20 anni le medie decadali di altezza del manto nevoso a Monti Alti di Ornella (2250 m) (Fig. 4). Si può notare come solamente dalla terza decade di Giugno alla seconda di Settembre a 2250 m il terreno sia libero da neve; bisogna tuttavia tenere in considerazione il fatto che la stazione è posta sul pendio esposto a Nord.

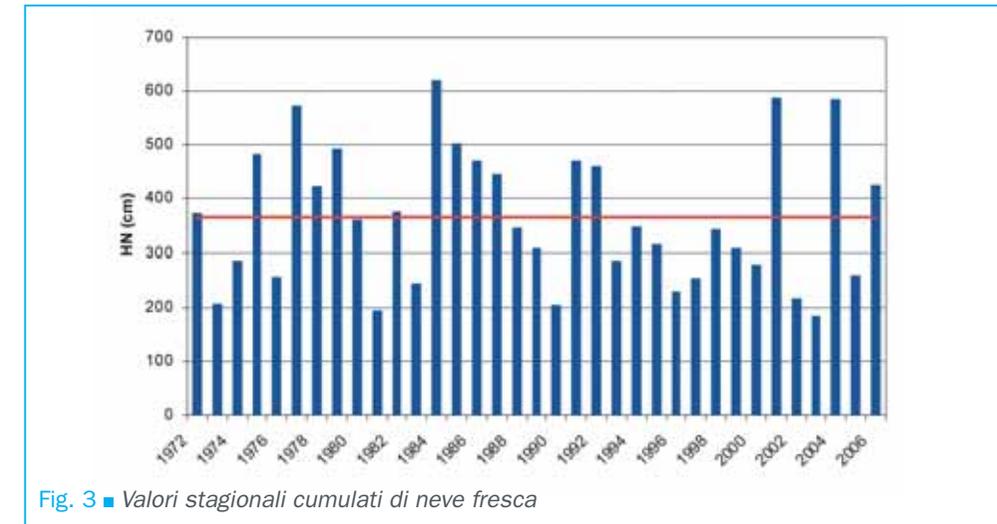


Fig. 3 ■ Valori stagionali cumulati di neve fresca

Gli spessori maggiori del manto nevoso sono raggiunti nel mese di Aprile (nella seconda decade di Aprile con un valore medio attorno ai 147 cm), per poi decrescere a Maggio.

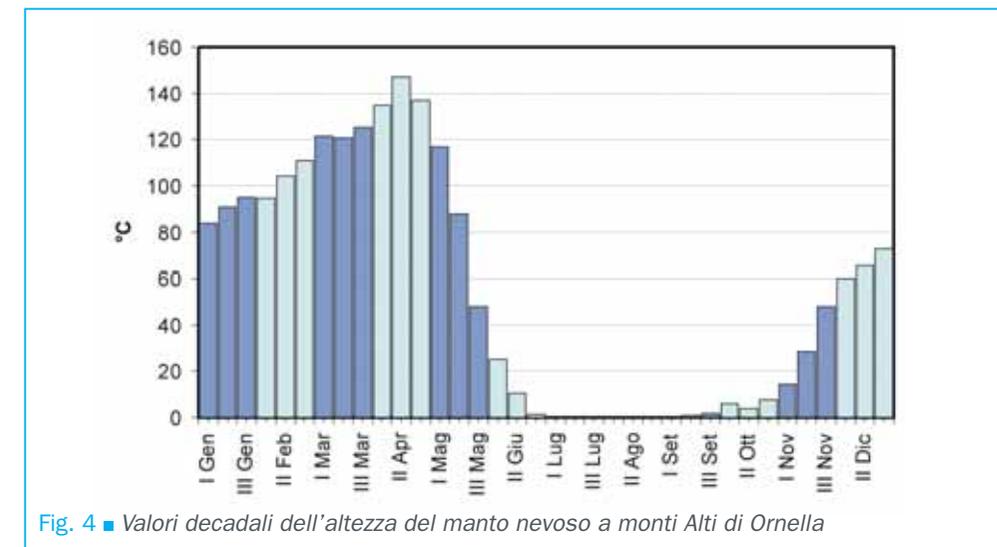


Fig. 4 ■ Valori decadali dell'altezza del manto nevoso a monti Alti di Ornella

2. Inquadramento geografico geologico e strutturale

L'area indagata è rappresentata dalla parte più settentrionale del bacino del Torrente Cordevole, nel settore che va dal Passo Pordoi alla confluenza con il Rio Andraz, in prossimità dell'abitato di Digionera. L'estensione della zona di studio non copre completamente la parte veneta rappresentata all'interno del Foglio 028 "Marmolada", ma, essendo questo un foglio sperimentale e non essendo prevista alcun tipo di riproduzione a stampa, si è preferito analizzare un'area ricadente all'interno del comune di Livinallongo del Col di Lana (Fig. 5). La superficie è di circa 90 km², le quote più elevate sono rappresentate dai 3152 m s.l.m. del Piz Boè e, lungo la catena del Padon, dai 2727 m del Sasso di Mezzodì, 2557 m del Sasso del Cappello e dai 2534 m del Sasso Beccè. La quota più bassa è posta a 1150 m lungo l'asta del Torrente Cordevole, a valle degli abitati di Salesei e Davedino, dove è stata posta la sezione di chiusura del bacino.

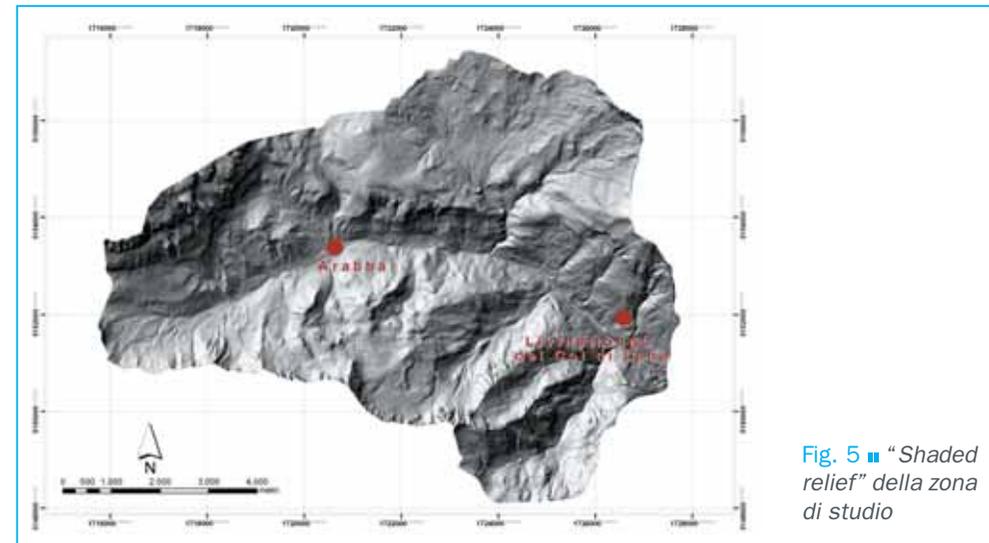


Fig. 5 ■ "Shaded relief" della zona di studio

La valle del Cordevole presenta dei fianchi con caratteristiche morfologiche differenti in funzione della litologia e della struttura. Il versante in sinistra idrografica si presenta con una forma concava, nel tratto caratterizzato dalla presenza di rocce dolomitiche; scendendo poi verso i Prati del Pordoi, dove affiora prevalentemente la Formazione di S. Cassiano, che mostra una spiccata struttura flyshoide, esso assume una forma convessa, con valori di pendenza non uniformi ed evidenti gradini morfologici in corrispondenza dei quali sono presenti numerose scarpate di frana sia principali sia secondarie (Fig. 6).

Dal punto di vista tettonico la struttura più evidente che caratterizza l'alto bacino del Torrente Cordevole è l'Anticlinale del Cordevole il cui asse segue grosso modo la direzione del corso d'acqua e ha il fianco nord interessato dalla Linea di Livinè. Quest'ultima struttura è caratterizzata da un piano di movimento inclinato verso NE di circa 25°, che ha portato al locale raddoppio della serie affiorante.

In questo tratto di valle affiora quasi tutta la serie dolomitica che va dal Permiano superiore al Trias. Nelle zone più elevate, al limite settentrionale dell'area, affiorano pure alcuni lembi delle formazioni giurassico-cretaciche.

Inquadramento geografico
geologico e strutturale



Fig. 6 ■ Scarpe di frana in corrispondenza di un cambio di pendenza strutturale, visibili in località "Prati del Pordoi" (F.ne di La Valle, F.ne di S. Cassiano).

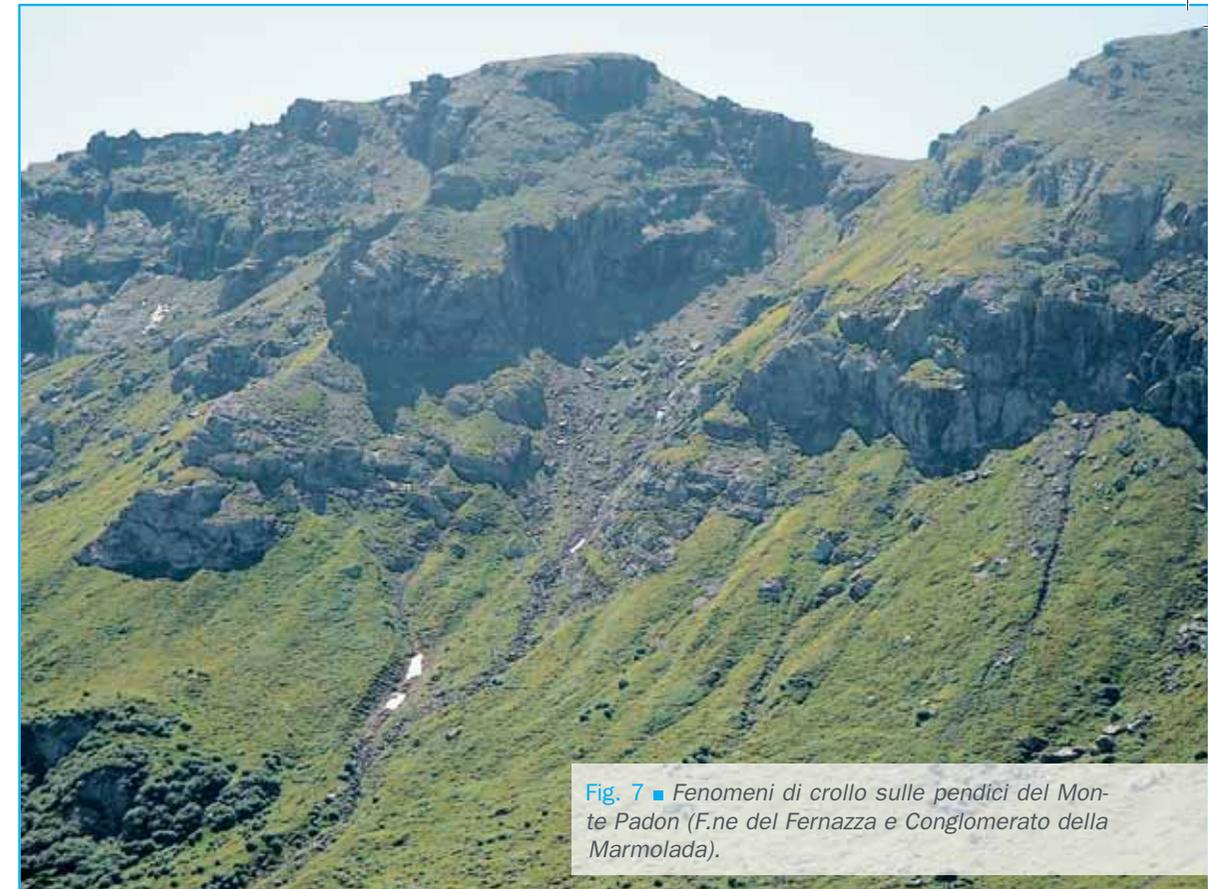


Fig. 7 ■ Fenomeni di crollo sulle pendici del Monte Padon (F.ne del Fernazza e Conglomerato della Marmolada).

12

Dal punto di vista dell'analisi della pericolosità geologica è stato necessario accoppiare le formazioni affioranti in classi litologico-tecniche caratterizzate da comportamenti simili per quanto riguarda le proprietà meccaniche e quindi, di conseguenza, la predisposizione al dissesto. Per tale motivo sono stati indicativamente individuati 5 complessi litologici:

■ **Complesso arenaceo-conglomeratico-tufaceo**

Comprende i litotipi arenaceo-quarzosi del Permiano superiore (Arenarie di Val Gardena), i calcari nodulari selciferi e le tufiti della Formazione di Livi-nallongo (Ladinico inf.) e i conglomerati con elementi carbonatici, lavici e tufacei delle vulcaniti del Ladinico sup. Queste litologie, seppure caratterizzate da elevata competenza, sono altamente alterabili e degradabili e presentano, a tratti, qualità geomeccaniche complessivamente scadenti anche per l'elevato grado di fratturazione. Si può quindi ritenere che siano prevalentemente predisposte a fenomeni di crollo e scivolamento lungo piani di stratificazione.

■ **Complesso calcareo-dolomitico**

Il complesso è costituito da potenti successioni di dolomie e calcari massicci, poco stratificati, di varia natura e di colore generalmente chiaro. Esso comprende le formazioni triassiche quali la Dolomia Principale, la Dolomia Cassiana, la Dolomia del Dürrenstein, il Calcarea della Marmolada e la Formazione di Contrin, oltre alla serie calcarea giurassico-cretacea. Anche in questo caso i fenomeni di dissesto prevalenti sono rappresentati dai crolli (Fig. 7). In ambienti ad elevata escursione termica, come il territorio in esame, e laddove le rocce siano molto tettonizzate, sono frequenti fenomeni

13

di crioclastismo che alimentano potenti falde detritiche che, a loro volta, possono rappresentare aree sorgenti per fenomeni di *debris flow*.

■ **Complesso arenaceo-argilloso e calcareo-marnoso**

Comprende essenzialmente formazioni ad alternanze litologiche quali quella di S. Cassiano (Ladinico sup. – Carnico sup.), la Formazione di Werfen (Scitico) la Formazione di Raibl (Carnico sup.), la Formazione di La Valle (Ladinico) e il Conglomerato di Richtofen (Anisico inf.). Questi litotipi sono associati, in tutte le Dolomiti, a fenomenologie di colata (Fig. 8). Possono essere anche eventi dallo spessore rilevante che coinvolgono oltre che il substrato, anche la copertura di alterazione che, generalmente, è piuttosto potente.

■ **Complesso eruttivo**

Raccoglie le rocce effusive del Permiano superiore e una parte delle vulcaniti ladiniche. Le prime sono costituite da porfidi quarziferi massicci rossastri, mentre le vulcaniti comprendono lave basaltiche e andesitiche e soprattutto tufiti jaloclastitiche. Le rocce appartenenti a questo complesso si presentano generalmente massicce ma interessate da un reticolo di fratturazione molto sviluppato. Sono quindi predisposte a fenomeni di crollo le cui volumetrie possono essere anche cospicue.

■ **Complesso gessoso**

Comprende la Formazione a Bellerophon del Permiano superiore e parte della Formazione di Werfen. I litotipi rappresentati sono generalmente calcari bituminosi, calcari marnosi, dolomie evaporitiche e gessi, tutti piuttosto erodibili e quindi predisposti al dissesto. La presenza di gessi e di evaporiti in

2 Inquadramento geografico geologico e strutturale

genere comporta la possibilità di creazione di cavità sotterranee dovute alla loro dissoluzione. In corrispondenza a queste formazioni possono pertanto attivarsi sprofondamenti, generalmente improvvisi, per crollo di cavità sotterranee. Non sono escluse comunque anche differenti tipologie di dissesto quali colamenti e/o scivolamenti.

Per quanto riguarda i depositi quaternari essi sono rappresentati da estese coperture detritiche che derivano dal disfacimento del substrato roccioso e sono quindi litologicamente ben differenziate. I depositi morenici sono perlopiù stadiali, data la quota elevata dell'area di studio. Molto estesi sono inoltre i depositi di origine gravitativa legati anche a processi periglaciali attuali quali il soliflusso. Lungo il fondovalle sono infine presenti depositi alluvionali attuali e recenti del Torrente Cordevole.

Dal punto di vista climatico, facendo riferimento alla stazione di Arabba che può essere considerata baricentrica rispetto all'area di studio, si è in presenza di un regime tipico delle alte vallate alpine. Le precipitazioni sono abbondanti con una media annua di circa 1150 mm; la distribuzione mostra un massimo a luglio (circa 140 mm) e un minimo a gennaio (47 mm). Il periodo di innevamento si protrae da ottobre a fine aprile (148 giorni). Le temperature medie mensili mostrano un minimo a gennaio e un massimo a luglio. Le medie mensili delle massime giornaliere sono sempre superiori

allo zero, tranne a gennaio; le medie mensili delle minime sono superiori a zero solo da maggio ad ottobre. E' evidente che questo si riflette direttamente sui processi di gelifrazione; in media si hanno oltre 130 giorni all'anno con alternanza di gelo e disgelo nelle 24 ore. L'escursione termica giornaliera desunta dalle medie mensili varia tra 8° e 11°, mentre quella annua è di 18.6°C.

14

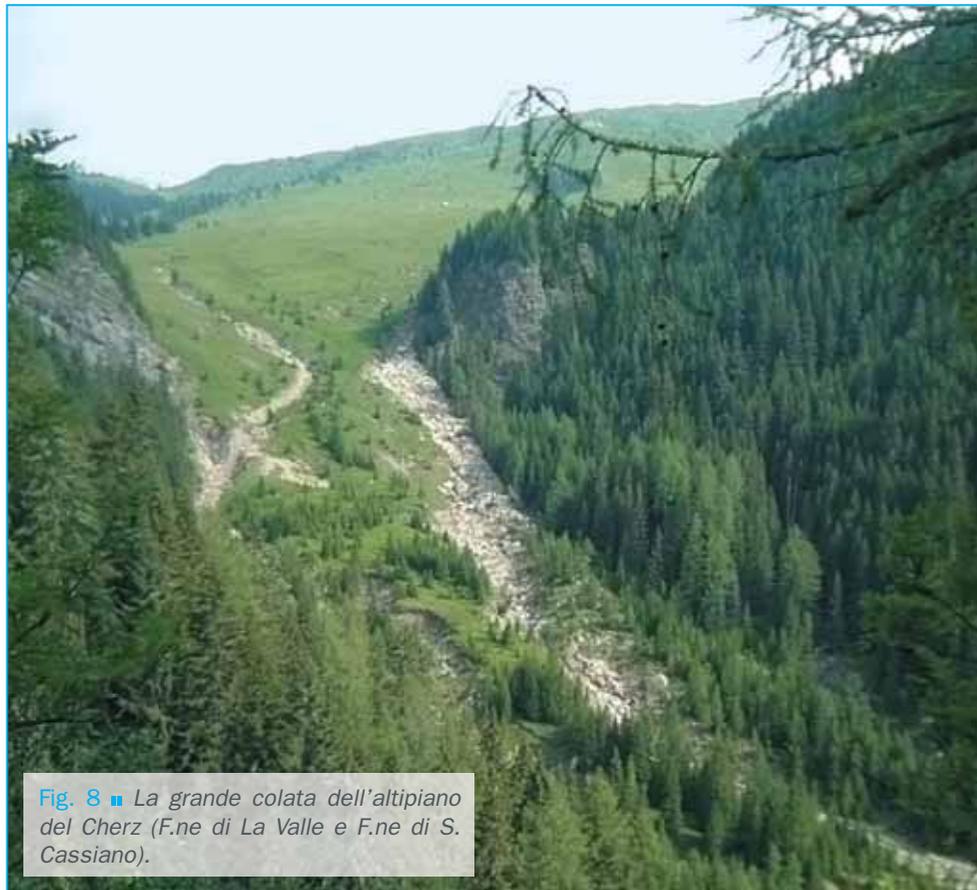


Fig. 8 ■ La grande colata dell'altipiano del Cherz (F.ne di La Valle e F.ne di S. Cassiano).

15

3. Sviluppo degli insediamenti nell'alta valle del Cordevole

L'area considerata dal progetto di pericolosità geologica del Foglio Marmolada rientra quasi integralmente nel territorio comunale di Livinallongo del Col di Lana. Fa eccezione il settore di sud-est, limitato alla dorsale di Col Toront – Col Torcoi – Sass di Roi, corrispondente alla testata ed al fianco destro della Val Davedino, che appartiene al comune di Rocca Pietore.

In quest'ultima amministrazione rientrano gli abitati di Moè, Digionera, Roschei e altri minori.

La struttura insediativa del comune di Livinallongo è, invece, caratterizzata dalla presenza di numerosi centri abitati di piccole dimensioni, distribuiti per la maggior parte lungo l'arteria stradale principale, S.S. n. 48 delle Dolomiti, che percorre l'alta valle del Cordevole da Salesei al P.so Pordoi, in sinistra idrografica. Tra questi centri i maggiori sono la sede comunale di Pieve ed Arabba.

Altre località abitate sono dislocate solo nelle valli minori di Ornella e di Davedino.



Fig. 9 ■ Abitato di Arabba

vedi legenda a pag 19

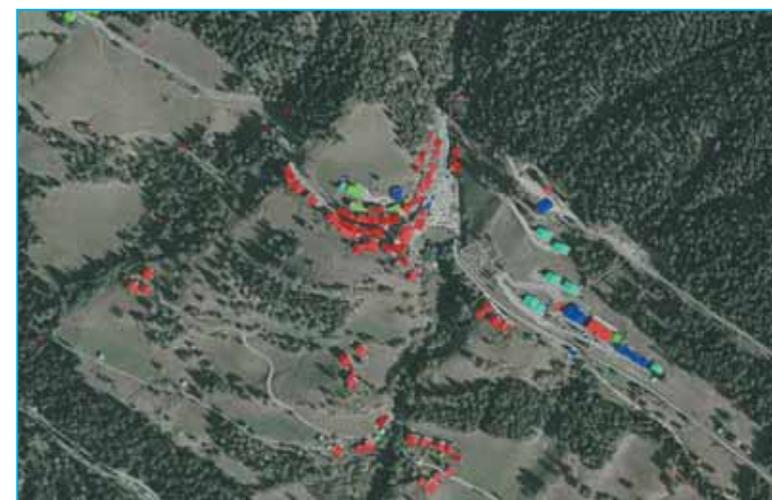


Fig. 10 ■ Abitato di Pieve di Livinallongo del Col di Lana

vedi legenda a pag 19

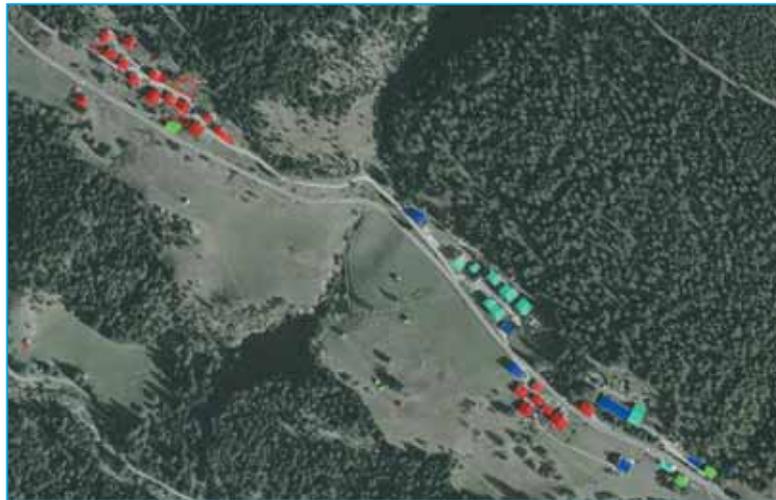


Fig. 11 ■ Abi-
tato di Livinè
Brenta

vedi legenda a pag 19



Fig. 12 ■ Abita-
to di Ornella

vedi legenda a pag 19

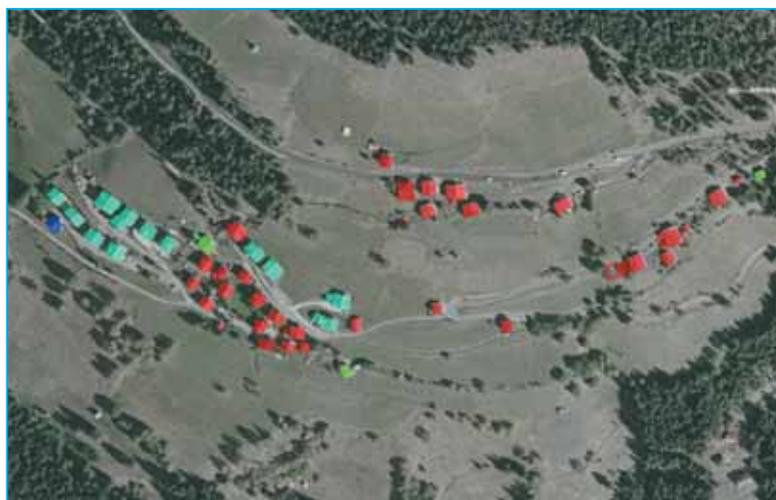


Fig. 13 ■ Abita-
to di Salesei

vedi legenda a pag 19

Legenda figg.9/10/11/12/13

- Edifici presenti nel catasto austriaco (1849-1956)
- Edifici presenti nel catasto austriaco e non più esistenti
- Edifici presenti in cartografia IGM (1963)
- Edifici presenti in CTR (1980)
- Edifici di recente costruzione (2003)

La destinazione prevalente del suolo urbanizzato è quella residenziale, ad esclusione della frazione di Arabba dove sono molto rilevanti le attività collegate al turismo.

Le classi di età degli edifici corrispondono ai più significativi periodi storici di formazione dell'insediamento. Da notizie derivate dai documenti del piano regolatore comunale (1999), si evince che gli edifici costruiti prima dell'800 sono ubicati solo in località Sottinghiazza e che non esistono edifici costruiti tra il 1801 ed il 1900. E' verosimile, tuttavia, che in tali periodi fossero presenti fabbricati rurali non propriamente dedicati alla residenza stabile.

Rappresentano sicuramente la maggior parte del vecchio patrimonio edilizio, gli edifici costruiti tra il 1901 e gli anni immediatamente successivi alla 2° Guerra Mondiale. Fa eccezione, anche in questo caso, l'abitato di Arabba nel quale è concentrata gran parte degli stabili edificati dopo il 1946 e, con lo sviluppo del comprensorio sciistico della Sella Ronda, in tempi recentissimi.

Oltre agli edifici residenziali nel territorio sono estremamente diffusi fabbricati rurali, realizzati perlopiù in legno o in legno e pietra, e destinati al ricovero delle attrezzature un tempo necessarie principalmente al mantenimento delle aree a pascolo e a stalle. Queste costruzioni sono dislocate su tutto il territorio considerato, con maggiori concentrazioni sui versanti esposti a sud per la loro migliore esposizione.

La conservazione del territorio agricolo e, quindi, anche l'utilizzo dei relativi fabbricati è, tuttavia, pratica in via di esaurimento per lo sviluppo turistico della zona sia nei periodi estivi sia in quelli invernali.

Come accennato Arabba rappresenta un polo di attrazione turistica nel quale si sono concentrate le maggiori attività del campo: edifici residenziali, alberghi ed attrezzature. Anche in alcune località minori, situate sulla viabilità principale, quali Brenta, Alfauro e al P.so di Campolongo, in tempi recenti si sono sviluppati nuclei di abitazioni e strutture turistiche.

Le immagini riportate sono relative agli abitati del capoluogo di Pieve di Livinallongo, Salesei, Livinè – Brenta, Ornella, Arabba e mostrano la stabilità urbanistica di alcune località e lo sviluppo di quelle a scopi turistici.

Allo scopo sono stati presi in considerazione: catasto austriaco (1849 – 1956), cartografia I.G.M. (1963), Catasto dei Centri Storici (1980), Carta Tecnica Regionale (1983), Ortofoto 2003.

La zona in esame è stata anche interessata da molti episodi relativi alla Grande Guerra, della quale sono tuttora evidenti le tracce lasciate dagli eventi che hanno caratterizzato le operazioni militari in alta montagna.

I sentieri di accesso alle vette, le gallerie, le trincee restano evidenti testimonianze, come lo sono le profonde modifiche morfologiche sul territorio dovute alla guerra di "mina", in particolare, sull'intero massiccio del Col di Lana.

3 Sviluppo degli insediamenti nell'alta valle del Cordevole

Le foto mostrano le recenti sistemazioni effettuate a cura del Servizio Forestale regionale di Belluno



Fig. 14 ■ Camminamento in prossimità del Col di Lana

20



Fig. 15 ■ Camminamento in prossimità del Col di Lana

21

Il percorso che collega il dente del M. Sief al Col di Lana, lungo circa 400 m, e denominato Gratweg o Camminamento "C" fu ultimato dagli austriaci forzatamente il 21 maggio del 1916. Lo stesso passa sul lato destro del Dente lungo il lato del T. Cordevole, intersecando nei pressi del pendio che sale al Col di Lana il Camminamento "B" (Bergsappe) che scendeva fino alla Rothschanze in direzione dell'abitato di Sief. Lungo il Gratweg sono ancora visibili due dei tre accessi ai trafori di cresta con i quali i due eserciti dettero vita alla sanguinosa e fallimentare guerra di mine con cinque esplosioni iniziate il 17/04/1916 e terminate il 21/10/1917 con la grande esplosione austriaca di parte del M.Sief, che ha prodotto una profonda voragine lungo le creste denominata oggi La Mina e visibile sia dalla Valparola che da Arabba.

4. Raccolta dati e principali tipologie di frana

Per una corretta zonizzazione della Pericolosità la fase di lavoro di campagna e quindi di raccolta dati è particolarmente impegnativa e delicata; nel Foglio Pericolosità Marmolada, in particolare è stata posta grande attenzione nel rilevamento di tutti i fenomeni di dissesto presenti e per ognuno di essi si è cercato definirne le caratteristiche tipologiche, geometriche, cinematiche e di assegnare, anche in relazione alla documentazione storico-bibliografica raccolta, una determinata ricorrenza temporale. Per agevolare il lavoro di campagna è stata quindi preparata una “scheda di rilevamento” (Fig. 16) che fosse semplice da compilare ma che, al contempo, contenesse tutte le informazioni necessarie per la determinazione della pericolosità così come previsto dall’indirizzo metodologico. Questa scheda prevedeva anche una campitura per bozze e appunti, che sono stati in seguito digitalizzati in modo tale da poter essere associati al *data base* del progetto GIS. In questo modo tutte le informazioni, i dati e le fotografie raccolte per ogni singola frana, sono stati associati al corrispondente poligono per essere quindi consultabili ed interrogabili in qualsiasi momento.

INDICAZIONE	DATA	FOTOGRAFIA
380	06-0204	52-53
VELOCITÀ	DEFORMAZIONE GEOMETRICA	PROFONDITÀ
< 10 cm/aa	> 15 m	50- m

NOTE - RIMARCHE

Без оброчес.

The sketch shows a cross-section of a slope. On the left, there are horizontal lines representing layers, with an arrow pointing to 'bolomia Cassiana'. In the center, there's a dashed line and an arrow pointing to 'DGPV'. On the right, there's a small structure or feature labeled 'Riduzione'. At the bottom, there's a label 'F. me. S. Cassiana' with an arrow pointing downwards.

Fig. 16 ■ Scheda utilizzata in campagna per il rilevamento dei fenomeni franosi.

L'alto bacino del Cordevoles è estesamente interessato da fenomeni di dissesto di diversa tipologia. La distribuzione dei dissesti risente non solo degli aspetti morfologici dei versanti ma anche della litologia affiorante, per cui è evidente una differenziazione tipologica in base alle diverse formazioni geologiche presenti. Anche la struttura favorisce lo sviluppo di particolari tipologie di fenomeni come le Deformazioni Gravitative Profonde di Versante.

Raccolta dati e principali tipologie di frana

Per la classificazione di tutti questi movimenti franosi è stata utilizzata la classificazione proposta da Cruden e Varnes (1996).

Nella zona di indagine si è potuto distinguere le seguenti tipologie di frana:

- crolli;
- scivolamenti, prevalentemente rotazionali;
- colamenti, distinti in colamenti di terra, colamenti di terra e detrito e debris flow;
- DGPV (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante).

■ Frane per crollo

Sono interessati da crolli i settori più elevati del bacino, dove affiorano la

Dolomia Cassiana e la Dolomia Principale e quindi le pareti del Gruppo del Sella, del Settsass e del Sass Beccè (Fig. 17). La stessa tipologia si ritrova lungo la catena del Padon costituita da tufiti e agglomerati vulcanici, Col de Cuc, Sasso del Cappello, Col de Pausa, Le Forfes, Belvedere, Sass de Mezzodì.

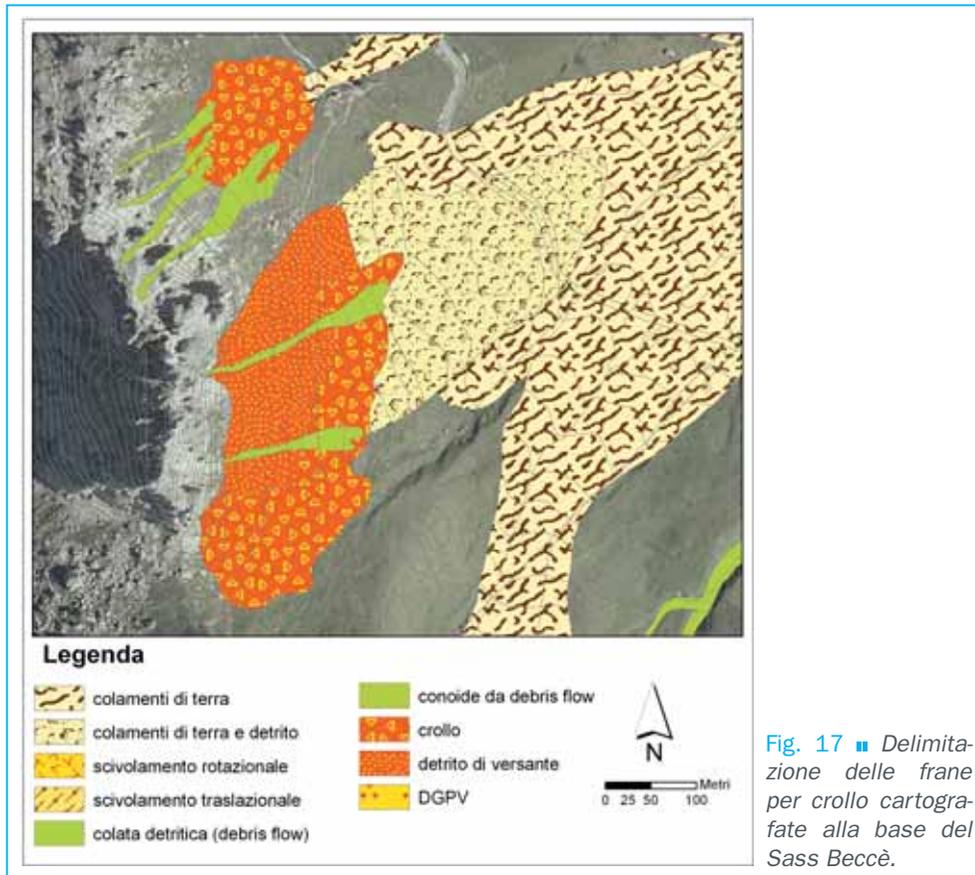


Fig. 17 ■ Delimitazione delle frane per crollo cartografate alla base del Sass Beccè.

Le volumetrie dei blocchi dipendono generalmente, oltre che dalla litologia della roccia sorgente, anche e soprattutto dalla fatturazione che la caratterizza; per il calcolo della pericolosità si è generalmente preso in considerazione la dimensione massima dei blocchi presenti all'interno dell'accumulo in modo tale da considerare la magnitudine massima attribuibile sulla scorta delle evidenze geomorfologiche. Le pareti del Sass Beccè per esempio, la cui cima ha una quota di 2534 m, sono caratterizzate da valori di pendenza compresa tra i 30-40° e sono state interessate da diverse frane per crollo con blocchi che arrivano fino a 5 m di diametro.

Oltre al diametro dei blocchi è stata anche considerata la velocità di evoluzione del fenomeno non tanto in funzione del tempo di caduta in se ma soprattutto in relazione alla prevedibilità del distacco.

Sulla base di queste considerazioni si è cercato di attribuire una classe di pericolosità ai fenomeni cartografati; nella tabella 2 sono riportati, a titolo di esempio, i pesi attribuiti a ciascuno dei parametri coinvolti nel calcolo, per i

due fenomeni rilevati alla base del Sass Beccè e mostrati in figura 17.

Tipologia	Codice frane	Natura del materiale	Severità Geometrica	Velocità	Magnitudo	Frequenza	Pericolosità
Crollo	1	roccia	3	3	9	attiva	4
Crollo	2	roccia	3	3	9	1-50	4

Tab. 2 ■ Parametri per la determinazione della pericolosità dei fenomeni presenti in figura 17.

Spesso gli accumuli di crollo presenti alla base delle pareti rocciose sono ripresi e rimaneggiati da altre tipologie di dissesto, quali ad esempio i colamenti, in questo caso, essendo l'ultimo processo attivo il colamento, questi sono stati descritti nel paragrafo dedicato a tali tipologie di dissesto.

■ Frane per colamento

Nella zona di studio le frane per colamento possono coinvolgere interi versanti, i movimenti si esplicano in maniera lenta lungo fasce di deformazione laterali e basali che a volte possono esplicarsi in vere e proprie superfici di scivolamento. Questi dissesti sono molto diffusi in tutto il territorio ma particolarmente localizzati in due aree ben distinte, e precisamente nel versante meridionale del Gruppo del Sella e nell'altopiano del Chertz. Dal punto di vista geolitologico, queste aree sono costituite prevalentemente dalla Formazione di S. Cassiano e dalla Formazione di La Valle che, come spiegato in precedenza, presentano una struttura di tipo flyschoidale, con strati calcarenitici coerenti alternati a banchi marnosi pseudocoerenti; l'elevata instabilità della frazione pseudocoerente si estende a sua volta alla frazione coerente, provocandone il franamento e l'inglobamento nel flusso viscoso.

Le frane per colata presenti nella valle sono per la maggior parte attive e producono i danni maggiori alle infrastrutture viarie (Fig. 18). E' evidente però che le problematiche relative a questi fenomeni lenti differiscono notevolmente da quelle legate a colate di detrito (*debris flow*), per questa ragione si è cercato di differenziare i fenomeni in base alla dinamica e alla reologia dei materiali.



Fig. 18 ■ Evidenze di fenomeni di colata lungo la strada statale 48 che sale al Passo Pordoi.

Dal punto di vista morfologico le evidenze sul terreno possono essere più o meno chiaramente interpretabili in relazione all'età del fenomeno considerato, al suo grado di attività e alla persistenza della forma. Le scarpate sono spesso sottolineate da lacerazioni della cotica erbosa.

A volte l'innesco di questi fenomeni avviene per fenomeni di scorrimento rotazionale che evolve successivamente in flusso grazie anche al progressivo decadimento delle caratteristiche geotecniche dei materiali parentali. In questi casi sono comuni anche vistose contropendenze (Fig. 19) che possono determinare dei piccoli invasi o ristagni d'acqua che vanno ad aggravare ulteriormente le condizioni di stabilità del versante.



Fig. 19 ■ Contropendenza in corrispondenza della testata di un colamento a monte dell'abitato di Arabba.

Il corpo della colata si incanala generalmente all'interno di impluvi o depressioni presenti sul versante determinando una tipica morfologia di vallecchia a fondo piatto (Fig. 20) all'interno della quale è presente una via preferenziale di drenaggio delle acque superficiali e sub-superficiali.



Fig. 20 ■ Vallecole a fondo piatto riempite di materiale di colata. Da notare la presenza di vegetazione igrofila che testimonia presenza d'acqua.

La parte inferiore delle colate è caratterizzata da diminuzione di pendenza e da una morfologia a ventaglio che in alcuni casi tende ad ostruire la valle principale. Un esempio evidente è il grande conoide presente allo sbocco della valle del Ru de Fontane, lungo la strada che sale al Pordoi.

Un aspetto particolare dei fenomeni di colata, di cui si è già fatto cenno, è la presenza, all'interno dei materiali prevalentemente argillosi, di clasti calcareo-dolomitici, appartenenti a vecchi accumuli di frane di crollo o scioglimento. La situazione strutturale che favorisce questa fenomenologia è rappresentata dalla sovrapposizione di litotipi competenti a comportamento fragile come la Dolomia Cassiana su formazioni prevalentemente duttili come la Formazione di S. Cassiano; in questi casi gli accumuli di materiali dolomitici presenti alla base delle ripide pareti rocciose possono essere rimobilizzati da fenomeni di colamento che tendono ad inglobarli (Fig. 21) e a dare luogo ad una colata di terra e detrito. La situazione strutturale appena



Fig. 21 ■ Fenomeno di colamento che rimobilizza l'accumulo di un vecchio crollo.

descritta costituisce un fattore predisponente in quanto condiziona sostanzialmente il reticolo di flusso idrico sotterraneo, concentrando il deflusso al contatto tra i materiali competenti con elevata permeabilità secondaria e i litotipi argilloso-marnosi, praticamente impermeabili. Alla base degli accumuli detritici sono quindi presenti importanti venute d'acqua che contribuiscono ad attivare i fenomeni di instabilità nelle sottostanti formazioni flyshoidi.

In tutta la valle sono state registrate numerose situazioni come questa, sia sotto le pareti del Sella, che del Settsass e del Sass Beccè (Figg. 22 e 23). È evidente che situazioni simili, presenti anche in prossimità di infrastrutture importanti e frequentate, come l'ossario del Pordoi, sono caratterizzate, ai fini del calcolo della pericolosità, da un valore piuttosto elevato. Questo anche in relazione alla possibilità di crolli e rotolamento dei massi inglobati nella colata. Durante il rilevamento si è cercato quindi di differenziare, laddove possibile, le colate di terra e detrito, a cui sono stati assegnati valori di pericolosità più elevati. Un esempio è riportato in figura 24 che rappresenta un estratto della carta della pericolosità in cui compare la zona dell'altopiano del Chertz e il fenomeno illustrato nelle figure 22 e 23.



Fig. 22 ■ Complesso sistema di colate di terra e detrito alla base del Settsass. Il cerchio evidenzia il particolare riportato in figura 23.



Fig. 23 ■ Particolare della colata di terra e detrito di figura 22. Sono chiaramente visibili i clasti dolomitici inglobati in una matrice argillosa.

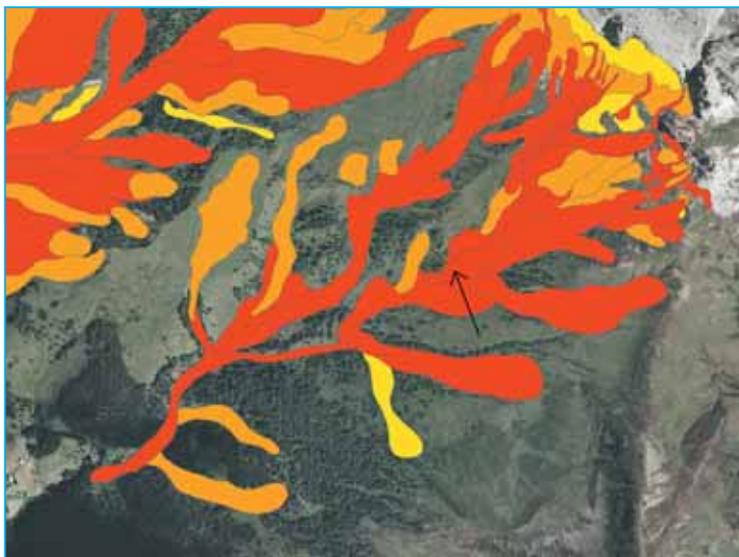


Fig. 24 ■ Particolare della carta della pericolosità nella zona dell'altopiano del Cherz. Da notare la colata di terra e detrito, campita in rosso (P4), al centro dell'immagine (cfr. Figg. 22 e 23).

La zona del Cherz e in particolare la grande colata che si incanala all'interno della profonda valle tra gli abitati di Cherz e Contrin, è stata oggetto di un'indagine approfondita con l'installazione preliminare di un sistema di monitoraggio realizzato essenzialmente attraverso alcuni inclinometri e una rete di capisaldi GPS.

Tipologia colamento	Codice frane	Natura del materiale	Severità Geometrica	Velocità	Magnitudo	Frequenza	Pericolosità
di terra	25a	m. fine	2	2	4	attiva	3
di terra e detrito	25b	m. fine e roccia	2	2	4	1-50	4
di terra	25c	m. fine	2	1	2	attiva	2
di terra	25d	m. fine	2	1	2	1-50	3
di terra	25e	m. fine	2	1	2	1-50	2
di terra	25f	m. fine	2	2	4	1-50	4
di terra	25g	m. fine	2	2	24	1-50	4

Tab. 3 ■ Esempio di calcolo della pericolosità per i fenomeni di colata di figura 24.

■ Colate detritiche (Debris Flow)

Un discorso a parte va fatto per i fenomeni di colata detritica, diffusamente presenti nell'area di studio e caratterizzati, al pari dei fenomeni di crollo, da elevata pericolosità.

Le aree sorgenti si trovano in zone generalmente con pendenze superiori ai 20° poste alla base delle ripide pareti dolomitiche che formano i rilievi più elevati e sono costituite da detrito generato dalla degradazione meccanica della roccia. Questo detrito si muove seguendo preferenzialmente impluvi naturali e prendendo in carico il materiale che incontra lungo il percorso. I depositi hanno dunque una forma allungata e nella parte finale assumono geometrie lobate. Alcuni *debris flow* hanno formato veri e propri conoidi in corrispondenza a variazioni di pendenza (Fig. 25); nella figura è chiaramente



Fig. 25 ■ Conoide da debris flow che interessa le pareti del Gran Dolada.

4 Raccolta dati e principali tipologie di frana

visibile il conoide molto sviluppato, attivato solo nella sua parte centrale da colate recenti. In alcuni casi il deposito viene inglobato da colamenti di terra che prendono in carico il detrito secondo il meccanismo spiegato in precedenza.

Un esempio significativo è quello relativo alla cresta del Gran Dolada, sul versante sud-orientale del Piz Boè, dove numerosi fenomeni di *debris flow* interessano le potenti falde detritiche e convogliano i materiali all'interno della conca di Plan Boè (Fig. 26).

La presenza di apparati deposizionali così sviluppati è stata ritenuta significativa perchè testimonianza di una rilevante attività passata e quindi di un'elevata ricorrenza temporale.

Per questo motivo nella carta dei dissesti, sono stati riportati non solo i *debris flow*, intesi come processi, ma anche i conoidi edificati prevalentemente da colata detritica che rappresentano solamente una forma. Questo proprio perchè la loro rappresentazione cartografica può costituire un'utile informazione aggiuntiva sulla possibilità di sviluppo di tali processi e sulla loro ricorrenza temporale.

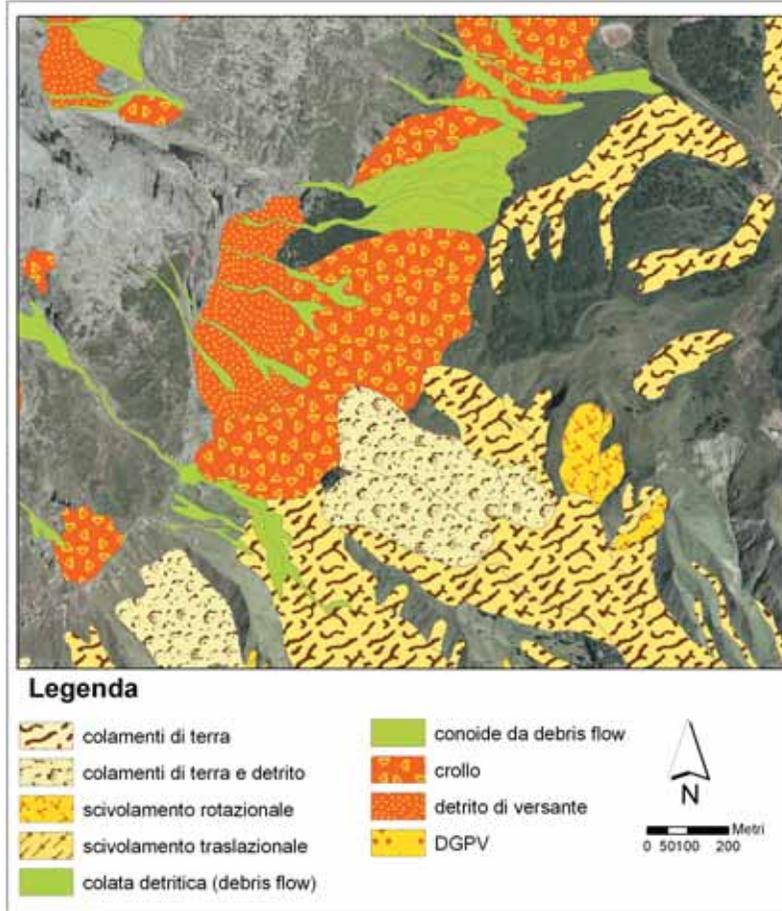


Fig. 26 ■ Carta dei dissesti della zona del Gran Dolada.

In tabella 4 vengono riportati, a titolo di esempio, i parametri utilizzati per la determinazione della pericolosità, mediante l'impiego del metodo svizzero, di alcuni degli elementi riportati in figura 26.

Tipologia	Codice frane	Natura del materiale	Severità Geometrica	Velocità	Magnitudo	Frequenza	Pericolosità
Debris f.	3	roccia	3	3	9	1-50	4
Debris f.	4	roccia	2	3	6	1-50	4
Conoide da debris flow	5	roccia	3	3	9	50-n	4

Tab. 4 ■ Esempio di calcolo della pericolosità per due fenomeni di debris flow e un conoide di figura 26.

Durante i rilevamenti di campagna si è avuto modo di verificare alcune particolarità di cui si è tenuto conto durante l'elaborazione mediante il modello statistico bivariato. Prima di tutto si è notata una certa relazione tra la presenza di grossi blocchi all'interno del detrito (maggiore severità geometrica) e la prossimità di faglie trassensive; sembra evidente che queste strutture, proprio per le loro caratteristiche cinematiche, favoriscono l'abbondante produzione di detrito anche di pezzatura rilevante, determinando una maggior disponibilità di materiale per l'innescò di fenomeni di *debris flow*.

Si è inoltre rilevata una sostanziale differenza tra i *debris flow* presenti in sinistra idrografica rispetto quelli che interessano il versante nord della dorsale del Padon. Tale differenza è da attribuire in primo luogo alle differenze litologiche e geotecniche dei materiali affioranti, oltre ovviamente alle condizioni microclimatiche. Le rocce che originano il detrito in destra idrografica appartengono al dominio delle tufiti (Formazione del Fernazza, Caotico Eterogeneo e Conglomerato della Marmolada), l'alterazione delle quali produce generalmente un detrito piuttosto fine (sempre ghiaioso e ciottoloso, ma mai a grossi blocchi), il quale ha un comportamento dinamico (mobilitazione e runout) sostanzialmente diverso da quello derivante dalle dolomie affioranti sul lato opposto della valle. Tale coltre detritica difficilmente si struttura in conoidi e quando ciò si verifica le forme non sono mai così evidenti come sul versante sinistro.

Tutte queste considerazioni sono state estremamente utili nel definire il ruolo dei vari fattori predisponenti il dissesto e quindi nella scelta dei tematismi di base da utilizzare nell'analisi statistica fatta nella seconda fase dello studio.

■ Frane per scivolamento

Questa tipologia di fenomeno è molto diffusa nelle sequenze sedimentarie a comportamento prevalentemente plastico, quali quelle arenaceo-marnose della Formazione di S. Cassiano. Tali dissesti si verificano per rottura progressiva lungo superfici di neoformazione; il movimento rotazionale avviene rispetto ad un asse parallelo al versante, lungo una superficie curvilinea, concava verso l'alto. In genere la parte anteriore dell'accumulo di frana viene a trovarsi nelle peggiori condizioni di equilibrio, presentando delle fessure, come nel caso dei fenomeni presenti nei pressi del Ru de Vaus (Fig. 27). Tra la scarpata principale e la superficie topografica superiore del corpo

già ruotato, sono presenti evidenti contropendenze, dove si raccolgono le acque superficiali.

Oltre a questi sono stati comunque riconosciuti anche casi interessanti lungo la S.S. 48 delle Dolomiti al km 78 e nei pressi dell'Ossario del Pordoi. Tali fenomeni, come descritto in precedenza, costituiscono la fase iniziale di fenomeni ben più complessi che evolvono poi in colate di terra e detrito che a volte arrivano ad interessare strutture antropiche a vocazione turistica presenti nella zona (Fig. 28).

Nella zona del Ru de Vaus un fenomeno principale di scivolamento, suddiviso, a causa di spostamenti differenziali, in sei distinti corpi secondari, converge in un unico punto verso valle, creando un evidente rigonfiamento che altera notevolmente le condizioni di deflusso superficiale, favorendo la presenza di ristagni e piccoli invasi. L'accumulo dei materiali di frana sui terreni sottostanti contribuisce ad attivare processi di sovraccarico non drenato che determinano fenomeni di fluidificazione e colata nelle litologie arenaceo-marnose delle Formazioni di S. Cassiano.



Fig. 28 ■ Prati del Pordoi: le frane rotazionali hanno coinvolto infrastrutture turistiche (piloni di seggiovia)

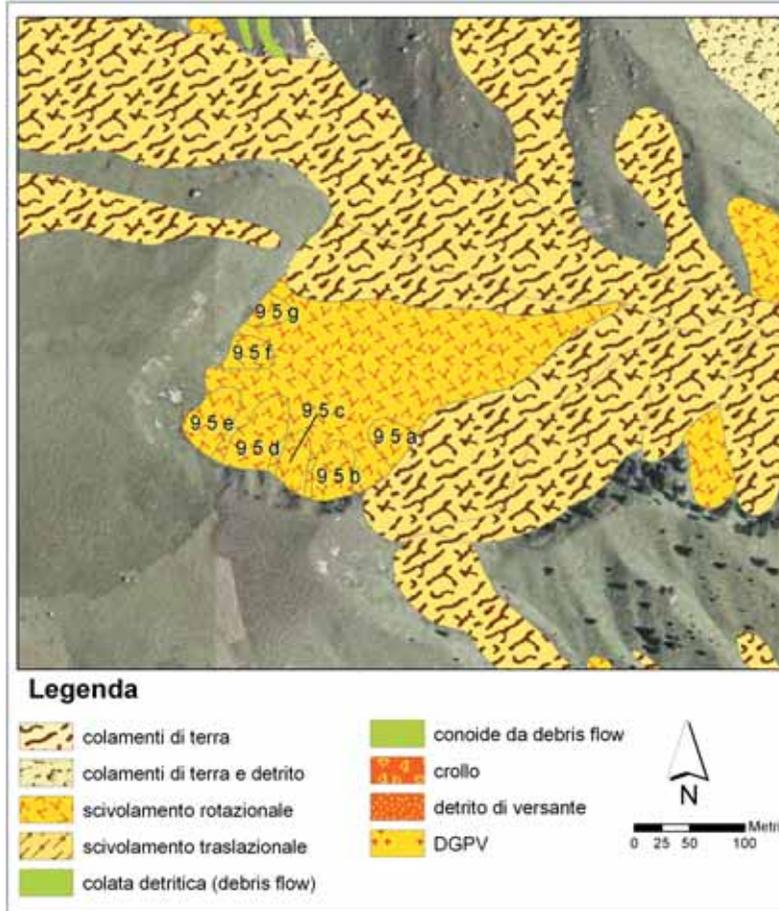


Fig. 27 ■ Delimitazione di frane per scivolamento nei pressi del Ru de Vaus.

In tabella 5 viene riportata la parametrizzazione utilizzata per il calcolo della pericolosità relativamente all'area del Ru de Vaus, illustrata nelle due figure precedenti.

Tipologia scivolamento	Codice frane	Natura del materiale	Severità Geometrica	Velocità	Magnitudo	Frequenza	Pericolosità
Rotazionale	95a	m.fine	3	2	6	attiva	4
Rotazionale	95b	roccia	3	2	6	attiva	4
Rotazionale	95c	m.fine	3	2	6	attiva	4
Rotazionale	95d	m.fine	3	2	6	attiva	4
Rotazionale	95e	m.fine	3	2	6	attiva	4
Rotazionale	95f	m.fine	3	2	6	attiva	4
Rotazionale	95g	m.fine	3	2	6	attiva	4

Tab. 5 ■ Esempio di parametrizzazione adottata per il calcolo della pericolosità relativamente all'area di Ru de Vaus (cfr. Fig. 27).

■ Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

Nell'alto bacino del Torrente Cordevole sono state rilevate anche diversi fenomeni di DGPV che rivestono grande interesse, non tanto per le condizioni di pericolosità che inducono, quanto per la spettacolarità del paesaggio che determinano. Il fenomeno in se, come detto, non costituisce un elemento di elevata pericolosità: anche se la severità geometrica può essere considerata massima, la velocità e la ricorrenza temporale sono talmente ridotte da non determinare nessun tipo di pericolo per l'uomo e le infrastrutture.

E' da sottolineare comunque che queste tipologie di dissesto sono generalmente accompagnate da fenomeni franosi "collaterali", quali scivolamenti, debris flow o colamenti, che possono assumere una dinamica estremamente rapida tale da costituire una seria minaccia per gli elementi vulnerabili presenti. E' quindi necessario porre la massima attenzione nel rilevamento

4 Raccolta dati e principali tipologie di frana

di questi processi e soprattutto dei fenomeni collaterali che li accompagnano, analizzando in dettaglio tutte le evidenze morfologiche che siano indizio di movimento.



Fig. 29 ■ DGPV di Bec de Rocés. Da notare, alla base del corpo dolomitico dislocato, scarpate di colata attive.

Un importante esempio di DGPV è il Bec de Rocés (Fig. 29), che occupa l'omonima cima posta in corrispondenza dello spartiacque fra la Val Cordevole e la Val Badia; il corpo di frana si allunga prevalentemente in direzione E-W verso Passo Campolongo, ma una importante porzione di materiale si propaga anche verso sud in direzione di Plan Boè. Il corpo principale è costituito da giganteschi blocchi di Dolomia Cassiana che vengono dislocati grazie alla plasticità della Formazione di S. Cassiano sottostante. L'origine dei blocchi dolomitici può essere individuata nel Col de Stagn che rappresenta l'estrema propaggine orientale del Piz Boè. È evidente che il sovraccarico causato dalla dislocazione di questi enormi blocchi ha indotto nella sottostante Formazione di S. Cassiano, una sostanziale variazione nel reticolo di flusso idrico sotterraneo. Questo ha indubbiamente favorito lo sviluppo dei colamenti, anche importanti, che sono presenti sia nel versante veneto che in quello altoatesino e che determinano, a tratti, condizioni di instabilità soprattutto per i piloni degli skilift presenti in zona.

Caratteristica reologica di questa tipologia deformativa è la lentezza del movimento e la mancanza di una superficie di scivolamento continua. Anche se le dimensioni sono molto estese e i volumi coinvolti estremamente ingenti non siamo in presenza di condizioni di pericolosità elevate. A questo

riguardo, in tabella 6 vengono riportati i parametri utilizzati nel calcolo della pericolosità per il fenomeno in questione.

Tipologia	Codice frane	Natura del materiale	Severità Geometrica	Velocità	Magnitudo	Frequenza	Pericolosità
D.P.G.V.	489	roccia	3	1	3	50-n	2

Tab. 6 ■ Parametrizzazione adottata per il calcolo della pericolosità relativamente alla DGPV del Bec de Rocés (cfr. Fig. 29).

5. Approccio metodologico

5.1 Analisi dei dati e risultati ottenuti

Tutti i dati raccolti, sia durante i rilevamenti di campagna, sia attraverso l'analisi fotointerpretativa e la consultazione delle diverse banche dati utilizzate, sono stati informatizzati utilizzando un sistema informativo territoriale, in grado di gestire, analizzare ed elaborare grandi quantità di dati e rappresentarli attraverso la produzione di mappe referenziate geograficamente.

Il trattamento dei dati è iniziato dalla digitalizzazione, sia su base aerofotogrammetrica che topografica alla scala 1:10000, rasterizzata e georeferenziata, di tutti i dissesti censiti. Si è scelto di riportare tutti i dati anche su ortofotografie per facilitarne la lettura e renderne più immediata la fruizione. Anche il *database* associato è stato strutturato in modo tale da poter essere consultato ed interrogato anche da *end user* non esperti. Questa è stata una scelta legata alla possibilità di utilizzazione di questi strumenti con finalità pianificatorie, da parte degli enti pubblici coinvolti: non solo la Regione, ma anche i comuni, le comunità montane ecc. E' evidente che, per gli scopi del Progetto CARG, e cioè la produzione di una carta della pericolosità geologica alla scala 1:50000, il trasferimento delle informazioni a possibili *end user*, non era tra le priorità del programma di studi. D'accordo con la Regione Veneto si è comunque deciso di effettuare i rilevamenti di base ad una scala sufficientemente dettagliata per poterli poi digitalizzare ed organizzare attraverso l'utilizzo di un GIS. Ciò ha consentito di ottenere un prodotto finale scientificamente rigoroso e adeguato ad un utilizzo diversificato e multi-utente.

Ovviamente tutti i dati implementati nel GIS sono stati opportunamente georeferenziati e ad ogni elemento è stato associato un livello informativo (Fig. 30), costituito non solo da descrizioni testuali, ma anche da immagini, grafici ed altri dati raccolti durante lo svolgimento della convenzione. Per la ricerca nel *database* del GIS sono state implementate delle "query" che permettono di interrogare ognuno degli elementi cartografati per estrarne i dati che lo caratterizzano.

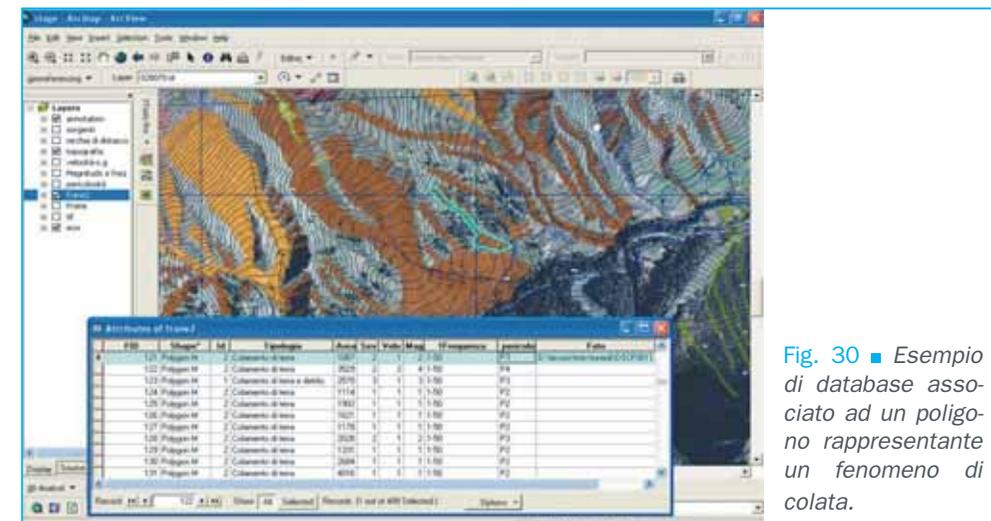
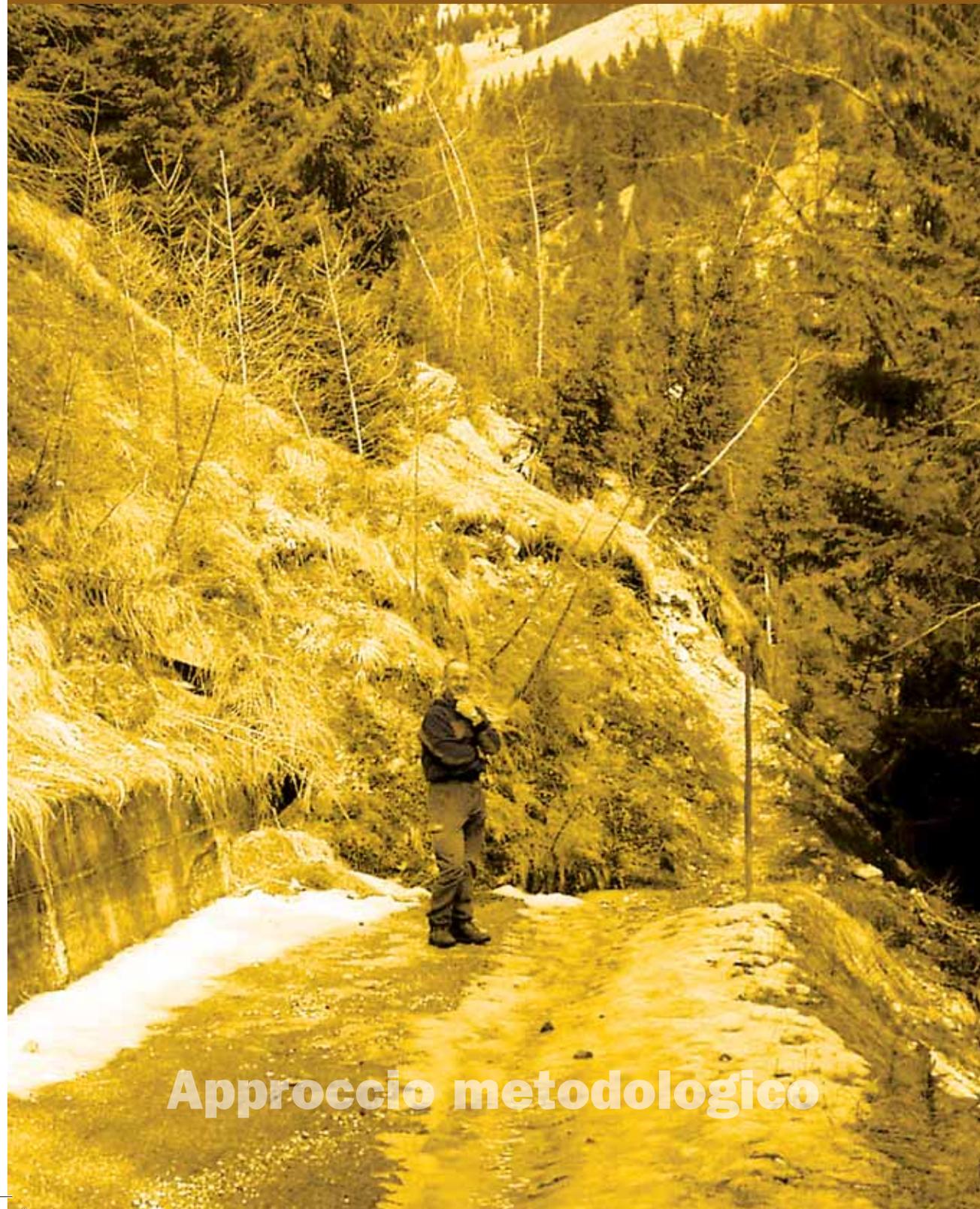


Fig. 30 ■ Esempio di database associato ad un poligono rappresentante un fenomeno di colata.

di dissesto che ha permesso di ottenere una corretta valutazione dei livelli di pericolosità. Si è ricorsi a differenti fonti bibliografiche che hanno consentito l'integrazione, il confronto e un maggior dettaglio delle informazioni reperite durante la fase di rilevamento di campagna. Tali notizie sono state estratte dall'archivio IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia), dalla documentazione a corredo dei piani regolatori comunali disponibili presso la Regione del Veneto, dall'archivio del CNR-IRPI di Padova, da articoli di giornale, relazioni tecniche, pubblicazioni, archivi di precedenti progetti (SCAI – Studio Centri Abitati Instabili, AVI – Aree Vulnerate Italiane) e da interviste alla popolazione. Esse sono state poi verificate sul terreno con sopralluoghi mirati per integrarle con dati sulla attività, geometria e possibile evoluzione dei fenomeni di dissesto.

A seguito di questa prima analisi, sostanzialmente di archivio, ha preso avvio la parte di indagine che ha visto l'utilizzo della metodologia svizzera, la quale, però, è stata opportunamente modificata e semplificata al fine di rendere i risultati quanto più immediati e operativi possibile, tenendo conto che i potenziali *end user* di tali carte tematiche dovrebbero essere gli enti locali e, in genere, la pubblica amministrazione.

Questa metodologia prevede che la pericolosità venga desunta dalla combinazione di probabilità di accadimento, intesa come tempo di ritorno, o meglio come intervallo temporale di ricorrenza, e Magnitudo, a sua volta ricavata dal prodotto di velocità e severità geometrica del fenomeno considerato (intesa qui come spessore del corpo di frana o diametro dei blocchi, in caso di crollo). In questo contesto il parametro che più influenza la definizione della pericolosità, almeno nei confronti della percezione che la popolazione esposta ha del fenomeno, è senza dubbio la velocità; è infatti evidente che un evento molto veloce, seppur di limitata magnitudo, risulta essere molto più temibile rispetto ad un fenomeno lento ma molto esteso. Per tale motivo, nell'applicare la metodologia proposta, si è deciso di trattare separatamente fenomeni ad evoluzione tipicamente veloce, come i crolli e i debris flow, rispetto alle altre tipologie di dissesto. Anche per quanto riguarda la ricorrenza temporale, ovvero la stima del tempo di ritorno, si è cercato di operare una sostanziale semplificazione rispetto a quanto definito dal metodo svizzero, sempre con l'intento di rendere la comprensione del prodotto cartografico più agile ed immediata. Nell'affrontare le questioni relative al calcolo della pericolosità uno dei parametri di più difficile valutazione è infatti il tempo di ritorno, inteso qui come previsione temporale di accadimento di un determinato fenomeno di dissesto in un determinato punto del territorio esaminato. Una determinazione, seppur largamente indicativa, di questa grandezza può essere comunque ricavata dall'analisi di sequenze aerofotografiche multitemporali e/o di notizie storico-bibliografiche. Partendo però dal presupposto che il tempo di ritorno, così come generalmente definito, è una grandezza astratta e puramente statistica che può non avere nessun significato pratico, vista l'esiguità del numero di casi esaminati e considerando l'oggettiva difficoltà nel definirla correttamente, si è deciso di considerare da un lato i fenomeni sicuramente attivi o non attivi, che sono stati comunque trattati separatamente, e poi quelli quiescenti che sono stati a loro volta suddivisi in due classi: la prima con intervallo di ricorrenza temporale compreso tra 1 e 50 anni, la seconda caratterizzata da un tempo di ritorno superiore ai 50 anni. Si è potuto in questo modo operare una sensibile semplificazione che ha reso questo approccio maggiormente oggettivo e di più facile impiego.

Una volta definiti questi aspetti di carattere concettuale e metodologico si è ope-

rativamente proceduto per fasi successive, reiterando alcuni passaggi in funzione delle nuove informazioni acquisite.

La prima fase si è essenzialmente articolata in:

- ricerca storica e bibliografica sui dissesti che hanno interessato il territorio in questione, tramite l'analisi di numerose fonti di informazione;
- analisi di fotografie aeree multitemporali;
- rilievi di dettaglio di campagna.

Da questa attività è derivata la realizzazione della carta inventario dei fenomeni franosi informatizzata in ambiente GIS, che ha consentito di definire le diverse tipologie di frana in base alla classificazione di Cruden & Varnes (1996) e comunque di prendere in considerazione le indicazioni relative alle modalità di "descrizione dell'evento" previste dal Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia). Questo Progetto ha lo scopo di fornire un quadro completo ed aggiornato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale attraverso la raccolta e l'omogeneizzazione dei dati oltre ad offrire uno strumento conoscitivo di base per la valutazione del rischio da frana, per la programmazione degli interventi di difesa del suolo e per la pianificazione territoriale a scala nazionale e locale. Esso, nel caso specifico, viene gestito ed implementato direttamente dalla Regione Veneto e per questo motivo è stata posta particolare attenzione all'omogeneizzazione dei dati acquisiti con quelli residenti nella banca dati regionale.

I fenomeni franosi individuati e censiti nell'area di studio, oltre ad essere stati inseriti in questa banca dati sono stati suddivisi in funzione del loro "stato di attività", anche in questo caso, secondo le definizioni previste dal Progetto IFFI.

Una volta censiti, catalogati e cartografati tutti i fenomeni franosi individuati, per ognuno di essi è stata stimata la severità geometrica, sono state cioè valutate le caratteristiche geometriche principali: spessore, diametro massimo dei blocchi, in caso di crolli, differenziando questi ultimi dai debris flow e dalle altre tipologie di frana. Al fine di standardizzare questo tipo di analisi si è reso necessario definire delle classi dimensionali così come illustrato in figura 32. Ad ognuna di queste classi sono stati inoltre assegnati dei pesi per consentire il calcolo finale della pericolosità.

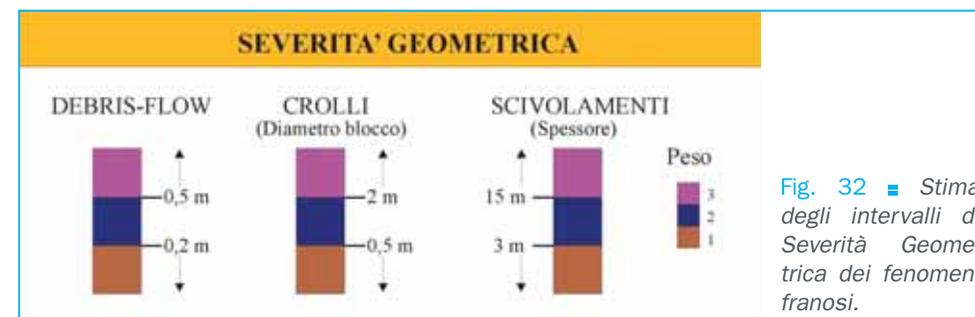


Fig. 32 ■ Stima degli intervalli di Severità Geometrica dei fenomeni franosi.

Poiché un fenomeno di frana, caratterizzato da una determinata velocità, può avere effetti molto diversi a seconda del tipo di elemento esposto a rischio, sono state definite due distinte classi di elementi vulnerabili: da un lato le infrastrutture e gli immobili, dall'altra le persone, ovvero l'unico elemento del paesaggio che è caratterizzato da mobilità. E' evidente infatti che la soglia di velocità potenzialmente pericolosa per queste due grandi tipologie di elementi vulnerabili è assolutamente diversa per cui sono state adottate soglie di percezione diversificate. Questo fatto

consente di creare due distinte carte della pericolosità in funzione dell'elemento vulnerabile considerato.

Gli intervalli di velocità scelti sono schematizzati graficamente in figura 33. Anche in questo caso ad ognuna delle classi definite è stato attribuito un diverso peso nei confronti della pericolosità geologica.

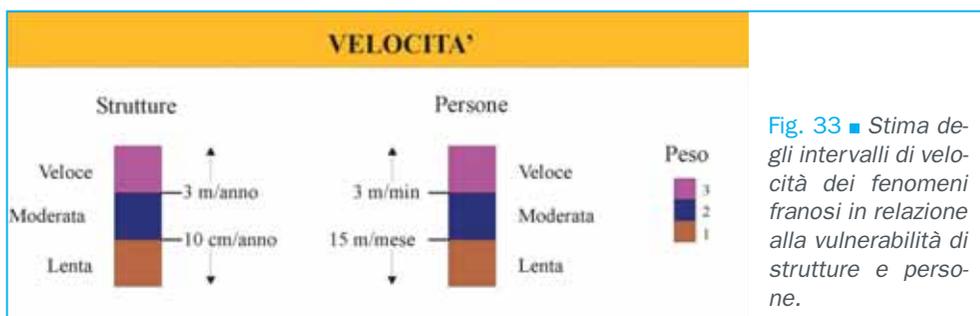


Fig. 33 ■ Stima degli intervalli di velocità dei fenomeni franosi in relazione alla vulnerabilità di strutture e persone.

A questo punto, la combinazione di velocità e severità geometrica, calcolata per ogni singolo fenomeno cartografato, ha dato origine ad una nuova matrice che esprime l'intensità, ovvero la Magnitudo, del fenomeno considerato. Essa, pur essendo un valore privo di un vero e proprio significato fisico, consente di esprimere un valore, indispensabile per il calcolo finale della pericolosità, che ne definisce, in qualche modo, l'energia. Per una corretta valutazione della Magnitudo sono state necessarie indagini mirate, quali prospezioni geotecniche e geofisiche, monitoraggio e una accurata ricostruzione dell'evoluzione morfodinamica dei dissesti pregressi. Ovviamente vista la natura dello studio e la scala di indagine adottata, tali rilievi sono stati eseguiti a campione ma, nel caso dei fenomeni che interessano l'altopiano del Chertz, con particolare approfondimento.

I valori riportati in figura 34 fanno ovviamente riferimento al prodotto dei pesi desunti dai diagrammi di figura 32 e 33 e sono naturalmente validi a prescindere dall'elemento vulnerabile considerato.

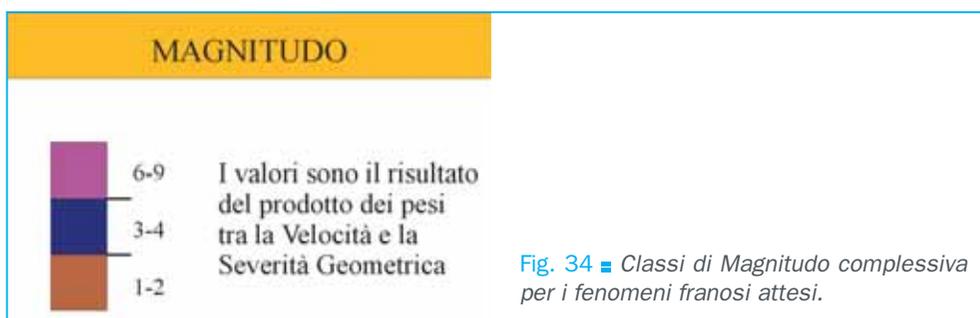


Fig. 34 ■ Classi di Magnitudo complessiva per i fenomeni franosi attesi.

Da quanto detto finora e introducendo il concetto di ricorrenza temporale si definisce infine la pericolosità geologica per ognuno dei fenomeni considerati; per quanto riguarda il fattore temporale, sempre con l'obiettivo di standardizzare per quanto possibile il procedimento, sono state definite, come già detto, quattro classi di frequenza:

Frane attive (continue)

Frane inattive

Frane quiescenti con tempo di ritorno inferiore ai 50 anni

Frane quiescenti con tempo di ritorno superiore ai 50 anni.

In mancanza di dati storici sufficienti a definire i tempi di ritorno in modo statistico, tali valori sono stati desunti sulla base di dati di letteratura inerenti le caratteristiche di ricorrenza temporale delle diverse tipologie di frane e calibrati su osservazioni geomorfologiche, analisi di foto storiche e serie di foto aeree multitemporali dal 1954 ad oggi, notizie storico-bibliografiche relative all'area di indagine e interviste alla popolazione del luogo e ad amministratori locali.

Da tutti i dati raccolti e dalla loro analisi, effettuata secondo lo schema metodologico appena illustrato, è derivata una matrice in base alla quale ad ognuno dei fenomeni individuati è stata assegnata una classe di pericolosità. I livelli di pericolosità stimati sono stati ricondotti essenzialmente a 4 classi (Fig. 35):

P4 - Zona a pericolosità elevata (rosso) nella quale:

- le persone sono in pericolo sia dentro che fuori degli edifici;
- sono prevedibili improvvise distruzioni degli edifici;
- si manifestano fenomeni con dimensioni modeste, ma con elevata intensità; in questo caso le persone sono in pericolo soprattutto all'esterno degli edifici.

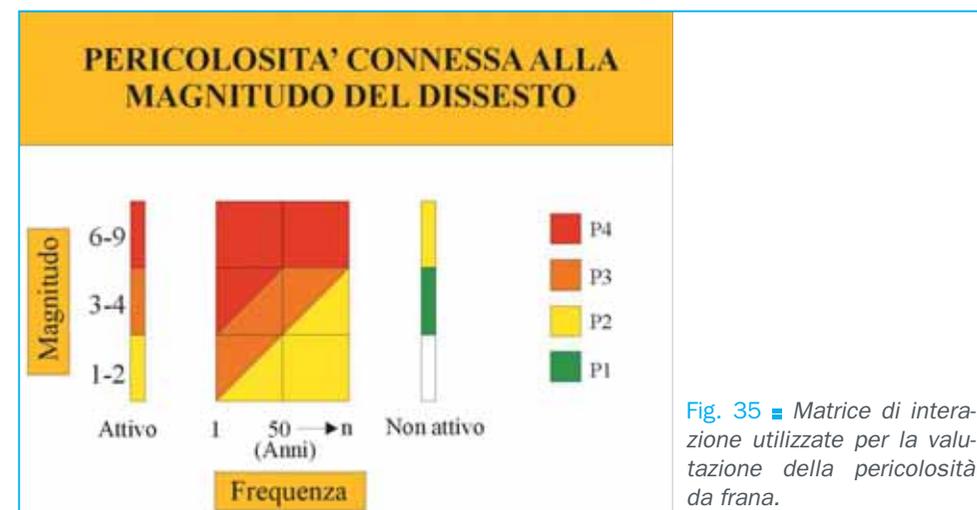


Fig. 35 ■ Matrice di interazione utilizzata per la valutazione della pericolosità da frana.

P3 - Zona a pericolosità media (arancio) nella quale:

- le persone all'interno degli edifici non sono in pericolo, mentre lo sono all'esterno;
- si devono prevedere danni agli edifici, ma non improvvise distruzioni, nel caso che siano adottati certi provvedimenti relativi alle modalità di costruzione.

P2 - Zona a pericolosità bassa (giallo), nella quale:

- le persone non sono in pericolo;
- sono prevedibili modesti danni agli edifici, ma comunque possono manifestarsi anche danni più consistenti.

P1 - Zona a pericolosità molto bassa e/o residua (verde):

rappresenta una zona con bassa probabilità di accadimento e/o bassa intensità d'evento. Nella zona studiata nessun evento di dissesto è stato classificato all'interno di questa categoria.

Alla fine di questo percorso metodologico si è arrivati alla realizzazione della carta della pericolosità che evidenzia campiture, di diverso colore, solamente nelle aree interessate in passato da dissesti. In tale carta vi sono quindi ampie zone bianche

per le quali non viene data alcuna indicazione riguardante la pericolosità. E ciò rappresenta il principale limite di questo tipo di approccio che non esprime alcun valore per quella parte del territorio per la quale non sono stati riscontrati indizi morfologici significativi e/o non sono riportate informazioni relative allo stato di dissesto progressivo (Fig. 36).

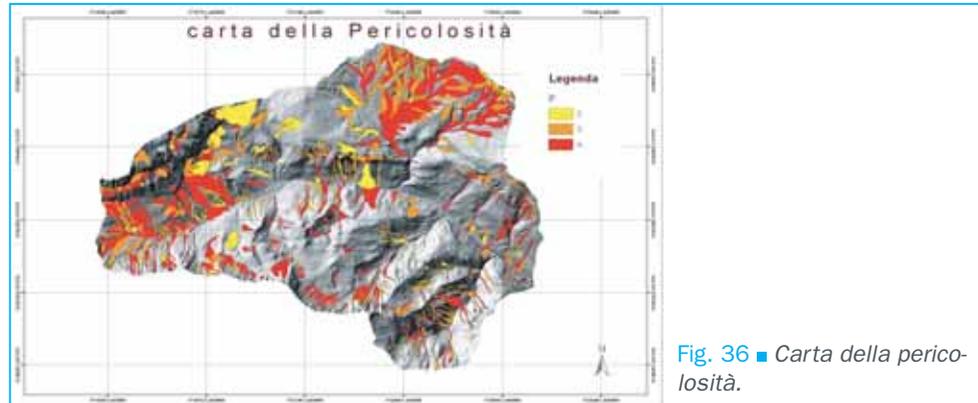


Fig. 36 ■ Carta della pericolosità.

E' quindi evidente che questo fatto risulta essere penalizzante nel momento in cui un documento come la carta della pericolosità geologica diventa strumento di pianificazione territoriale. Tenuto conto delle finalità dello studio qui illustrato, che voleva in qualche modo assumere anche un carattere sperimentale, si è deciso quindi di integrare i risultati ottenuti tramite l'applicazione del "metodo svizzero" con un'analisi statistica di tipo bivariato che, a differenza di un approccio di tipo qualitativo, consente di limitare al massimo la soggettività nell'attribuzione dei pesi ai vari parametri considerati come fattori predisponenti il dissesto.

5.2 Il metodo statistico

Il tipo di analisi condotto nel presente studio utilizza i dati raccolti nella fase iniziale dell'indagine e, attraverso la creazione di una serie di carte tematiche, arriva a definire un valore di propensione al dissesto per ogni singola unità di territorio. L'aspetto fondamentale di tale analisi consiste quindi nel raffronto tra carte tematiche appositamente create e la carta inventario delle frane utilizzata la redazione della Carta della Pericolosità: nell'ambito di ogni tematismo il peso da attribuire ai singoli fattori predisponenti viene definito sulla base della densità dei dissesti ad essi correlati.

In generale si ritiene l'analisi statistica bivariata un utile strumento di predizione della suscettibilità in quanto, a differenza di altre metodologie, permette di combinare tra loro una gran varietà di fattori predisponenti, tra i quali: la pendenza del versante, la geologia, la geomorfologia, l'uso del suolo, la distanza dalle sorgenti, la carta delle isofreatiche, la distanza da strutture tettoniche, la densità di drenaggio, la vicinanza ai corsi d'acqua, le caratteristiche geometriche e l'esposizione dei versanti, il tipo di suolo ecc.

Una volta stabilito ed assegnato il peso ad ogni singolo fattore in ognuna delle carte tematiche create, tramite un algoritmo ricavato dall'incrocio statistico di tali carte, si ottiene una carta di sintesi che, opportunamente riclassificata, fornisce indicazioni univoche sulla suscettibilità di tutta l'area indagata, espressa nei quat-

tro livelli, da P1 a P4.

È evidente tuttavia che, un procedimento che porti ad una corretta definizione della suscettibilità, deve necessariamente tener conto di una serie di questioni legate alla discontinuità spaziale e temporale dei processi di instabilità di versante e alla difficoltà di riconoscere con esattezza la loro causa innescante (*triggering factor*); raramente, poi, la causa è determinabile univocamente; più frequentemente si assiste alla contemporanea presenza di fattori predisponenti e fattori scatenanti tra loro interconnessi.

Un altro aspetto di primaria importanza da considerare è la scelta della scala di rappresentazione; a questo proposito è utile tenere presente in particolare tre elementi:

- lo scopo finale dello studio;
- l'estensione dell'area da indagare;
- la disponibilità di dati esistenti.

La scelta della scala di lavoro si riflette notevolmente sulla metodologia da adottare: un'indagine statistica è inadatta ad una scala di dettaglio, a causa dell'assenza di un campione di fenomeni significativamente rappresentativo; d'altro lato un approccio di tipo deterministico presenta delle serie limitazioni se riferito ad una scala regionale.

L'applicazione del metodo statistico bivariato ha permesso di produrre due carte di suscettibilità differenti:

Carta di suscettibilità per fenomeni di *debris flow*-colate;

Carta di suscettibilità per fenomeni di scivolamento.

Questa distinzione è resa necessaria dal fatto che le diverse tipologie di frana sono caratterizzate da differenti *triggering factors* che sono stati quindi considerati separatamente in una doppia carta di scenario.

La metodologia utilizzata consiste nel raccogliere ed analizzare, da un punto di vista prettamente statistico (descrittivo ed inferenziale), una serie di dati relativi sia alla frana sia al pendio (o più generalmente all'ambiente fisico) in corrispondenza del quale l'evento stesso si è verificato. I metodi di analisi bivariata risultano accomunati dalla possibilità di distinguere in ogni caso una variabile dipendente (in questo caso l'evento franoso) ed una variabile indipendente (ogni singola classe tematica). L'importanza di ogni singolo fattore viene perciò analizzata separatamente, anche se permane la possibilità di trattare una specifica combinazione di più fattori alla stregua di un'unica variabile. Nello specifico il modello adottato è quello cosiddetto del "*weight of evidence*" che viene illustrato, nei suoi tratti essenziali in Appendice 1.

L'applicazione, all'alto bacino del Cordevole, della metodologia statistica appena citata, ha preso in considerazione i seguenti tematismi di base:

Carta litotecnica (o Carta geolitologica)

Carta strutturale

Carta delle sorgenti

Carta dell'uso del suolo

Carta delle elevazioni

Carta delle pendenze

Carta delle esposizioni

Carta delle concavità (coeff. di deflusso potenziale)

E' stata in questo modo operata una scelta relativamente ai diversi fattori che possono essere considerati predisponenti ai fini della franosità dell'area oggetto di studio.

5 Approccio metodologico

Nel caso specifico, ogni carta è stata redatta alla scala di 1:10.000 e i tematismi prodotti sono stati digitalizzati successivamente su piattaforma GIS. Analizziamo ora nel dettaglio alcuni aspetti procedurali espressamente riferiti ai diversi tematismi considerati e al territorio analizzato al fine di illustrare più compiutamente il processo utilizzato per definire la suscettibilità.

Carta Litotecnica (o Carta geolitologica)

Per la definizione della suscettibilità al dissesto si è reso necessario redarre una cartografia geologica che evidenziasse le distinzioni di carattere lito-tecnico e quindi reologico dei materiali investigati anziché le caratteristiche cronologiche, sedimentologiche, paleontologiche e formazionali degli stessi. Le rocce affioranti sono state accorpate secondo le loro caratteristiche lito-tecniche, differenziando anche facies diverse di una stessa formazione purché con caratteristiche meccaniche proprie. Oltre alle rocce affioranti sono stati presi in considerazione, ove possibile, anche i materiali subaffioranti, distinguendoli dai primi. Anche i depositi quaternari sono stati accorpati in funzione delle loro caratteristiche meccaniche. Per la determinazione della suscettibilità di un territorio non è infatti essenziale distinguere un deposito alluvionale da un deposito detritico di medesimo taglio granulometrico, ma è più importante distinguere i depositi che possono avere una diversa risposta ai fini della stabilità. E' stato quindi necessario accorpare le diverse litologie affioranti così come i terreni sciolti di origine quaternaria. In tabella 7 vengono riportati i raggruppamenti effettuati.

Sigla	Litotipo	Accorpamenti
AMC /s	Alternanza di marne e calcareniti	Formazione di S. Cassiano, Formazione di La Valle
RCCI /s	Rocce carbonatiche coerenti con intercalazioni di materiali incoerenti e conglomerati	Membri terrigeni della Formazione di Werfen, Conglomerato di Richtofen, Conglomerato di Piz da Perez, Conglomerato di Voltago
RVC /s	Rocce vulcanoclastiche	Formazione di Fernazza, facies compatte della Formazione di La Valle
RCS /s	Rocce carbonatiche stratificate	Membri carbonatici della formazione di Werfen, Dolomia del Serla, Formazione di Contrin, Formazione di Livinallongo, Dolomia del Dürrenstein, Dolomia Principale

Tab. 7 ■ Raggruppamenti dei terreni quaternari e pre-quaternari considerati nel presente studio (/s = subaffioranti).

Dopo aver definito i raggruppamenti lito-tecnici è stata effettuata una analisi statistica, tramite l'applicazione dell' algoritmo descritto in Appendice 1, per valutare le classi maggiormente predisponenti il dissesto. Le figure 37 e 38 rappresentano i risultati di questa analisi, sia per i fenomeni di debris flow che per gli scivolamenti. I valori positivi rappresentano quelle litologie che contribuiscono in maniera più o meno rilevante al dissesto e la loro presenza è quindi da intendersi predisponente a tale fenomenologia, mentre quelli negativi appartengono ai complessi geologici con buone caratteristiche meccaniche che non inducono quindi evidenti condizioni di instabilità.

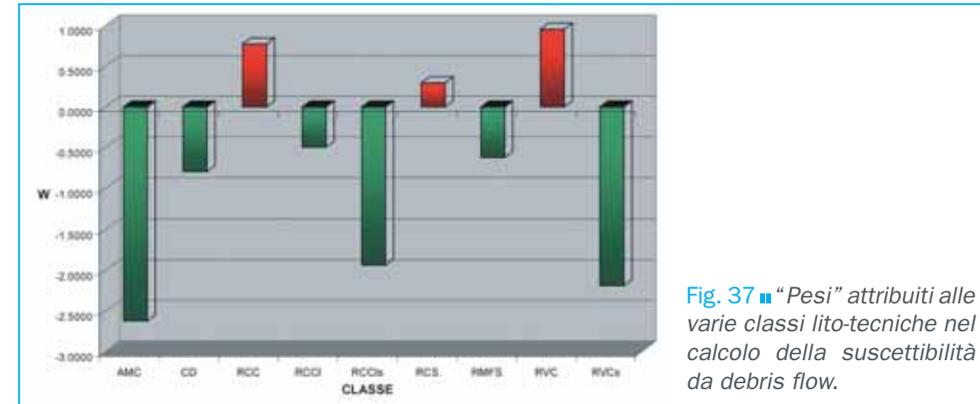


Fig. 37 ■ "Pesi" attribuiti alle varie classi lito-tecniche nel calcolo della suscettibilità da debris flow.

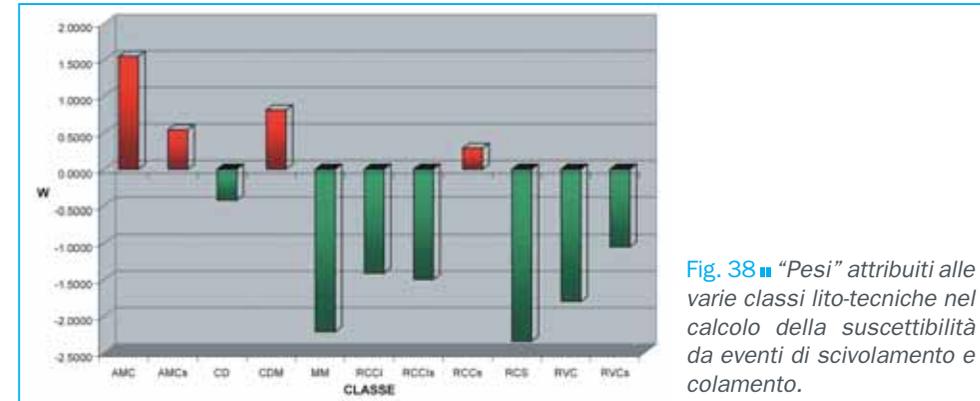


Fig. 38 ■ "Pesi" attribuiti alle varie classi lito-tecniche nel calcolo della suscettibilità da eventi di scivolamento e colamento.

Dall'analisi delle due figure risulta evidente come, ad esempio, le alternanze tra marne e calcareniti siano altamente favorevoli per la stabilità del versante nel calcolo di suscettibilità ai debris-flow, mentre rappresentino un fattore sfavorevole nel caso in cui vengano presi in considerazione i fenomeni di scivolamento. Al contempo risulta anche con una certa evidenza il ruolo delle varie classi lito-tecniche nell'innescò delle tipologie di dissesto considerate.

La Carta Geolitologica, rappresentata in figura 39, riassume la distribuzione spaziale delle varie classi lito-tecniche considerate e va assunta come uno degli elementi di base per la determinazione della carta finale della suscettibilità.

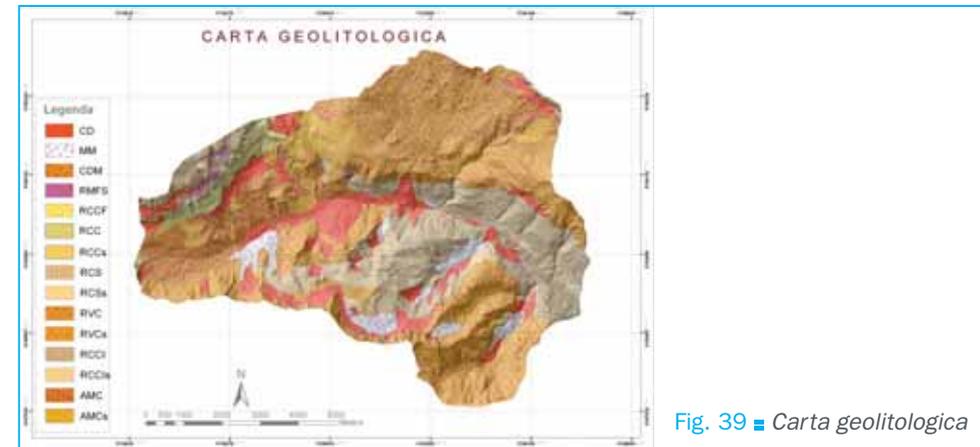


Fig. 39 ■ Carta geolitologica

Carta Strutturale

Tra i tematismi di base deve essere necessariamente considerato anche l'assetto strutturale dell'area di studio. Le faglie e le altre discontinuità strutturali rappresentano infatti linee di debolezza importanti lungo le quali si possono innescare diverse tipologie di frana. Quando queste lineazioni interessano litotipi a comportamento fragile si ha una reazione che si può esplicare in duplice modo; da un lato l'isolamento di blocchi e diedri rocciosi che può dare luogo a fenomeni improvvisi di crollo, dall'altro la generazione di ingenti quantità di detrito che, accumulandosi alla base delle pareti rocciose, possono mobilizzarsi in occasione di intensi apporti idrici, dando luogo a fenomeni di trasporto di massa tipo *debris flow*. Per quanto riguarda invece i fenomeni di scivolamento, le faglie hanno una notevole importanza in quanto, oltre a costituire soluzione di continuità all'interno del versante e quindi poter rappresentare delle potenziali aree di distacco, esse rappresentano spesso linee di infiltrazione preferenziale di acqua, che va ad alterare le caratteristiche meccaniche dei materiali indebolendone la struttura e modificandone sostanzialmente le condizioni di stabilità.

Durante le fasi di rilevamento si è avuto modo di osservare che a diverse tipologie di faglia corrisponde una differente quantità di materiale detritico prodotto e si è quindi deciso di riportare nella cartografia allegata anche le caratteristiche cinematiche delle strutture rilevate, distinguendo i seguenti tipi di faglie:

Faglie trascorrenti

Faglie trastensive

Faglie traspressive

Sovrascorrimenti e faglie inverse.

Per ognuna di queste tipologie si è poi definito un buffer di equidistanza con passo 10 metri dal nucleo della faglia stessa, in modo tale da poter eseguire l'algoritmo d'analisi a diverse distanze dall'elemento strutturale. Si è in questo modo cercato di definire fino a quale distanza la faglia può essere considerata predisponente per un determinato tipo di dissesto. Da questa analisi è risultato con sufficiente attendibilità che nel caso dei *debris flow* la correlazione è da considerarsi significativa, si è potuto quindi stabilire che differenti tipologie di faglie influiscono in maniera diversa sull'innescò di questi fenomeni. Nel caso specifico delle faglie trascorrenti si è inoltre stabilito un valore soglia di 50 m al di sopra del quale queste strutture cessano di avere un'influenza diretta sull'innescò dei *debris flows*. Nel caso di faglie trastensive e traspressive non sono state invece trovate delle correlazioni significative con questa tipologia di dissesto.

Se per i fenomeni di colata detritica è stato possibile individuare, in maniera piuttosto chiara, dei valori soglia di distanza dalle discontinuità strutturali, per quanto riguarda i fenomeni di scivolamento ciò non è apparso così evidente. Questo dato però non è da interpretarsi come una reale assenza di relazione tra i due fattori, ma sembra piuttosto legato ad una probabile incertezza nel posizionamento spaziale degli elementi strutturali cartografati. Infatti, se è relativamente semplice posizionare una faglia in litologie fragili, in quanto queste si presentano sempre in affioramento con intensa fatturazione dovuta a diaclasi e numerosi indicatori cinematici, lo stesso non può dirsi quando le faglie attraversano litologie a comportamento plastico (e.g. Formazione di S. Cassiano); queste rimangono celate dalla copertura vegetale e dal suolo (seppur esiguo) creatosi per alterazione del materiale litoide, e comunque non sono mai affioranti.

Questa possibile incertezza nell'ubicazione delle discontinuità strutturali in corri-

spondenza delle litologie a comportamento plastico si ripercuote necessariamente nell'elaborazione del dato finale. Per questa ragione si è deciso di non tener conto della carta delle faglie nell'elaborazione della carta della suscettibilità per fenomeni di scivolamento.

Carta delle sorgenti

All'interno del bacino dell'alto Cordevole sono state censite tutte le sorgenti presenti, i rilevamenti sono stati effettuati nel corso di due stagioni estive. Non tutte le sorgenti rilevate durante la stagione 2003 sono state individuate durante la stagione successiva, questo probabilmente perché le due annate sono state caratterizzate da regimi pluviometrici differenti. Si è però deciso di considerare le sorgenti rilevate nel corso della stagione più ricca di precipitazioni, in quanto più significative per la ricerca di una correlazione tra ubicazione delle sorgenti e franosità.

L'analisi è stata effettuata solo per la suscettibilità a fenomeni di scivolamento, in quanto le sorgenti rilevate in zone prossimali alle aree di alimentazione di colate detritiche sono risultate in numero talmente esiguo da non permettere alcuna correlazione statistica significativa. Inoltre l'improvvisa e abbondante disponibilità idrica che caratterizza l'innescò di fenomeni di *debris flow* è legata alla presenza di sorgenti quanto mai effimere, ancorché di portata non trascurabile.

Operativamente si è proceduto come nel caso della realizzazione della Carta Strutturale, creando un buffer di distanza dalle sorgenti e applicando l'algoritmo del metodo bivariato scelto (*Weight of Evidence*) in modo da attribuire ad ogni classe i relativi pesi. È risultato in maniera piuttosto evidente come vi sia una netta correlazione tra gli scivolamenti e la distanza dalle sorgenti e che questa correlazione perda di significato ad una distanza superiore ai 30 m.

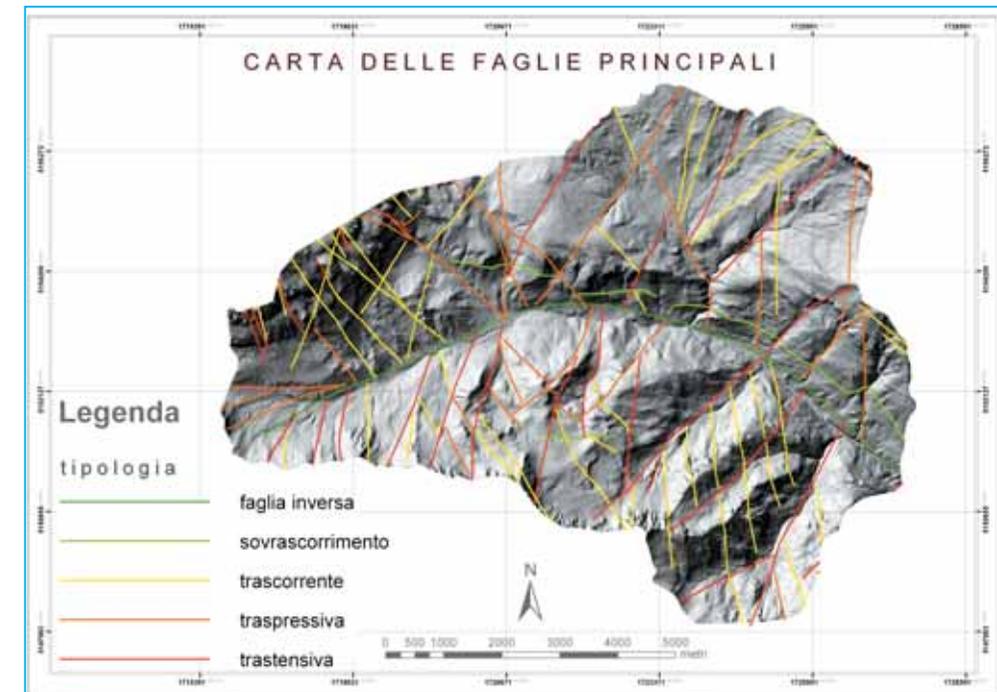


Fig. 40 ■ Carta strutturale

Carta dell'uso del suolo

Altro parametro fondamentale per l'identificazione della fragilità idrogeologica di un territorio è l'uso del suolo. Nel caso specifico la realizzazione della carta dell'uso del suolo è stata condotta sia tramite rilevamenti di campagna alla scala 1:10000 sia con l'ausilio di fotografie aeree multitemporali. Dalle indagini svolte sono state individuate 9 unità principali di uso del suolo che sono descritte in tabella 8.

Classi	Descrizione	Classi	Descrizione
1	Aree a copertura antropica	7	Suolo nudo
2	Boschi misti di conifere	8	Detrito
3	Prati e pascoli	9	Bacini d'Acqua
4	Cespuglietti e pini mughi		
5	Vegetazione ripale		
6	Rocce nude		

Tab. 8 ■ Classificazione dell'uso del suolo utilizzata nella relativa cartografia

Anche in questo caso si è cercato di capire, attraverso l'utilizzo degli algoritmi descritti in precedenza, il ruolo di questi fattori nei confronti della franosità dell'area; sono stati quindi assegnati alle varie classi di uso del suolo individuate i relativi pesi e definite, sia per i fenomeni di *debris flow* che per gli scivolamenti, le classi maggiormente predisponenti. Nel grafico di figura 41, relativo ai fenomeni di colata detritica, risulta evidente l'influenza della roccia nuda e delle coltri detritiche nella genesi di questa tipologia di dissesto. Al contempo è da sottolineare però come la correlazione tra la propensione al dissesto del territorio ed altre classi di uso del suolo sia leggermente sfalsata da fattori esterni all'analisi.

Nello specifico si può notare che la categoria "prati e pascoli" risulta meno favorevole all'innescio di colate detritiche rispetto alla categoria "boschi misti a conifere". Questa correlazione, evidentemente poco realistica dal punto di vista strettamente fisico, risulta però condizionata dalla realtà geologica del territorio. Le zone a pascolo sono infatti ubicate lontane da pareti calcaree che possono produrre detrito utile per i fenomeni di trasporto di massa, di conseguenza sono pochi i *debris flow* censiti all'interno di tale classe di utilizzo del suolo.

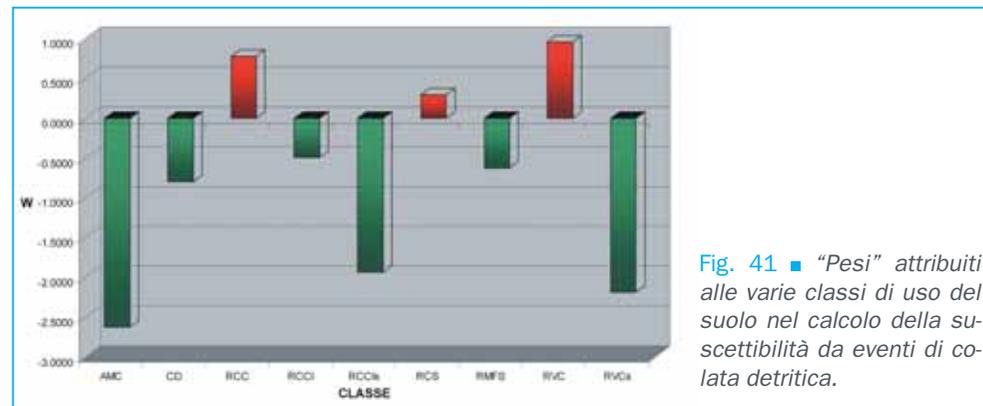


Fig. 41 ■ "Pesi" attribuiti alle varie classi di uso del suolo nel calcolo della suscettibilità da eventi di colata detritica.

I risultati della stesso tipo di analisi effettuata per fenomeni di scivolamento, sono riportati in figura 42.

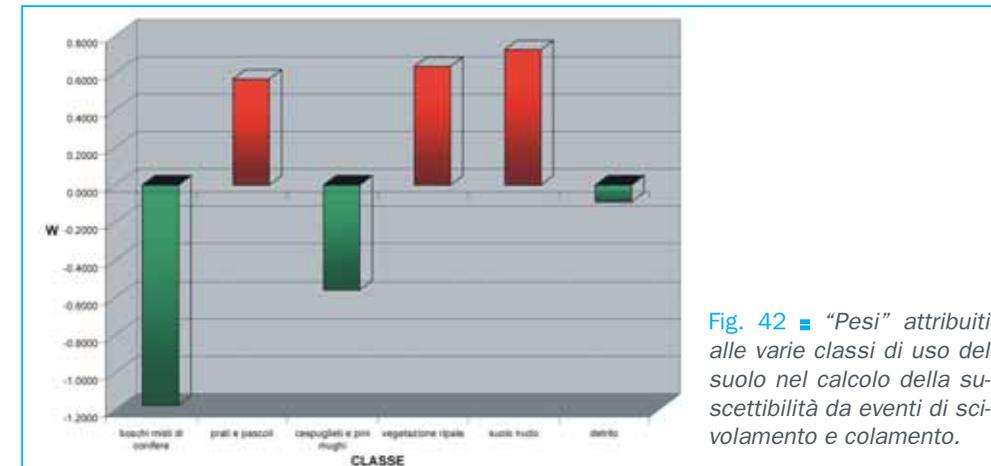


Fig. 42 ■ "Pesi" attribuiti alle varie classi di uso del suolo nel calcolo della suscettibilità da eventi di scivolamento e colamento.

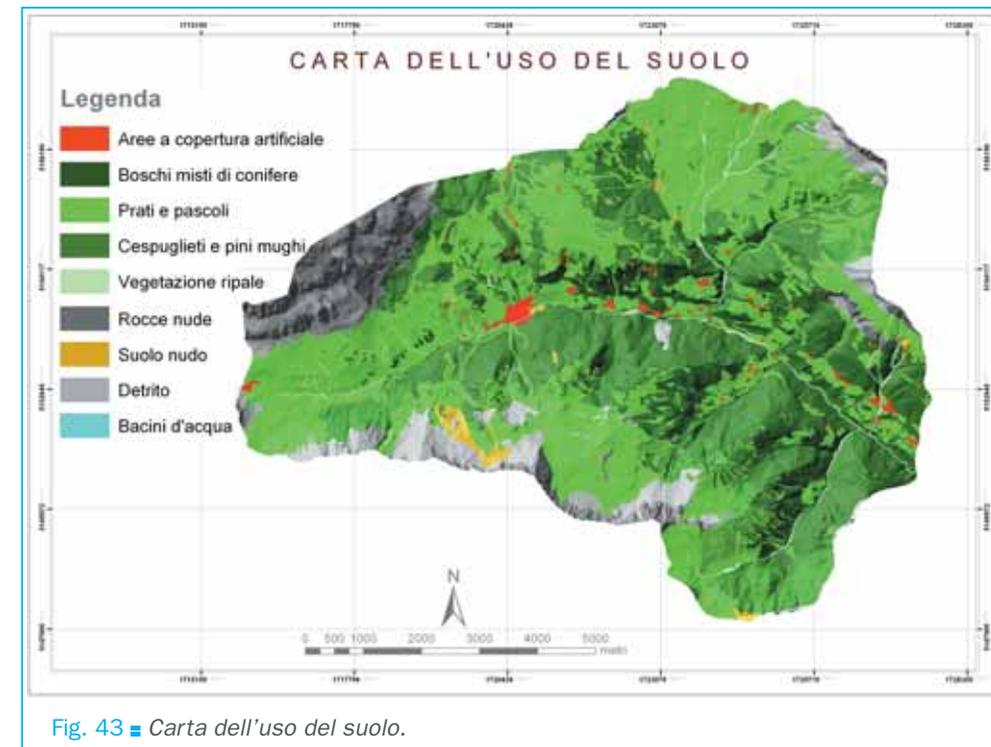


Fig. 43 ■ Carta dell'uso del suolo.

Carta delle elevazioni e Modello Digitale del Terreno

La carta delle elevazioni e quindi il modello digitale del terreno è, tra le carte tematiche di base, una delle più importanti perchè da questa si possono derivare altre utili informazioni quali, ad esempio la carta delle pendenze e la carta delle esposizioni. In questo paragrafo vengono infatti trattati congiuntamente questi tematismi anche se, nel repertorio cartografico prodotto e inserito nel DVD allegato, compaiono separatamente.

Dal punto di vista statistico le considerazioni che si possono fare sono comunque analoghe per tutte le carte e riguardano principalmente i criteri di individuazione dei vari intervalli delle grandezze considerate e i diversi pesi ad essi attribuiti.

Si è inizialmente creato un modello digitale del terreno interpolando con funzione di *kriging*¹ la cartografia CTR (Carta Tecnica Regionale) alla scala 1:5000 producendo così un tematismo raster con dimensioni della cella 5x5 metri. Il DEM così generato è stato poi opportunamente riclassificato in 15 classi differenti per verificare se vi fosse una correlazione tra franosità ed elevazione massima (Van Westen, 1993).

Le classi di elevazione sono state scelte analizzando il diagramma della distribuzione delle quote e posizionando i limiti in corrispondenza delle brusche rotture di pendenza della curva (*Natural Breaks*); i valori così individuati sono rappresentati in tabella 9.

Classi	Range dei valori di elevazione accorpati	Classi	Range dei valori di elevazione accorpati
1	1150 - 1345	9	2125 - 2220
2	1345 - 1480	10	2220 - 2310
3	1480 - 1600	11	2310 - 2430
4	1600 - 1720	12	2430 - 2550
5	1720 - 1830	13	2550 - 2710
6	1830 - 1930	14	2710 - 2880
7	1930 - 2025	15	2880 - 3150
8	2025 - 2125		

Tab. 9 ■ Intervalli di elevazione rappresentativi del modello digitale del terreno.

Gli incroci statistici, rappresentati nei grafici di figg. 44 e 45 mostrano invece, come era evidente, una netta correlazione tra i valori di quota e la frequenza dei fenomeni franosi.

¹ Il *kriging* è un metodo di interpolazione geostatistico basato sull'autocorrelazione ovvero sulla tendenza di due variabili ad essere correlate tra loro. L'autocorrelazione è funzione della distanza: quindi punti geometricamente vicini tra di loro tendono ad essere fortemente correlati, mentre una debole correlazione è imputabile ad una eccessiva distanza tra punti campione.

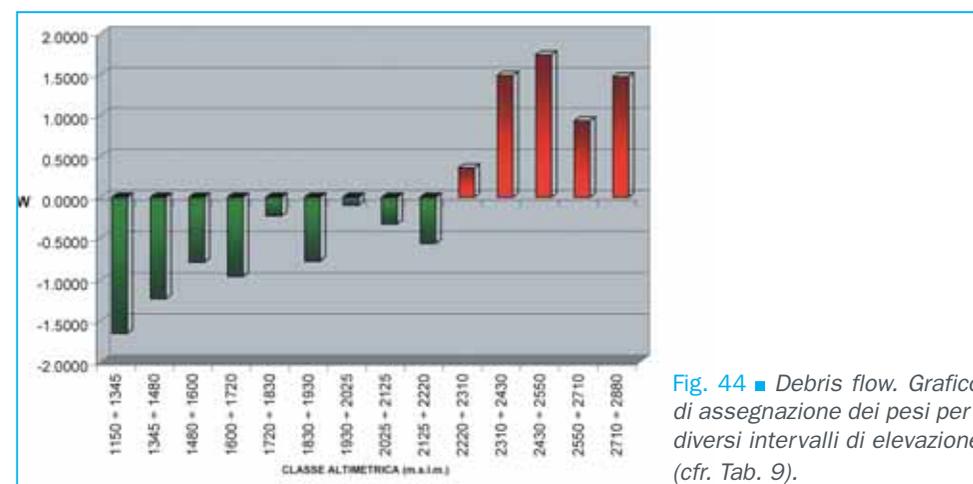


Fig. 44 ■ Debris flow. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di elevazione (cfr. Tab. 9).

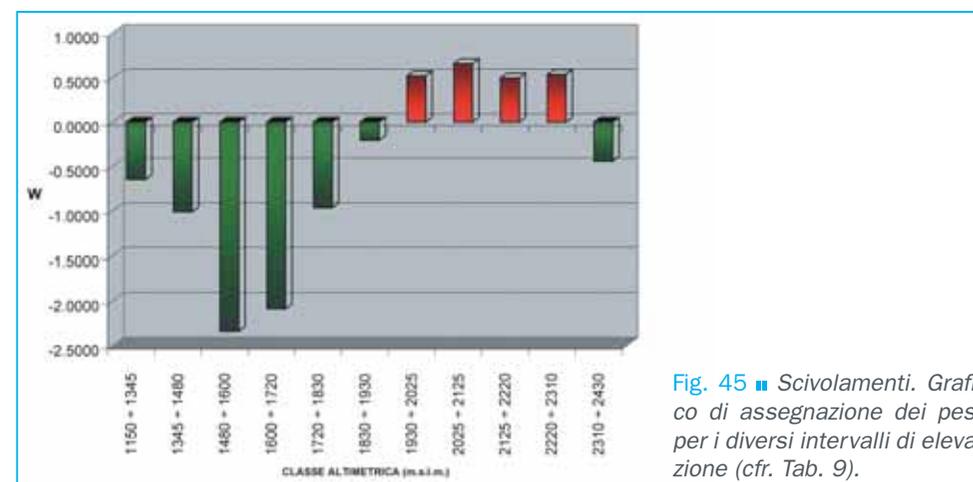


Fig. 45 ■ Scivolamenti. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di elevazione (cfr. Tab. 9).

La descrizione morfologica e topografica del territorio viene completata dalla generazione di due modelli direttamente derivati dal modello *raster* delle elevazioni: il modello delle pendenze e quello delle esposizioni. Questi tematismi, unitamente alla carta delle concavità, di cui si dirà successivamente, sono fondamentali per descrivere compiutamente i processi derivanti dal ciclo redispone ed erosivo che, in ambiente alpino, sono notevolmente condizionati dalla topografia del rilievo. Ed è proprio per l'importanza che l'assetto morfologico assume nei riguardi del potenziale erosivo, di trasporto e sedimentazione dell'acqua, che risulta fondamentale ottenere una carta delle pendenze che, incrociata con altri livelli informativi (e.g. carte dell'uso del suolo, delle sorgenti di sedimento ecc.), sia in grado di fornire informazioni di dettaglio per la comprensione dell'assetto idrogeologico del territorio. Anche l'esposizione del versante, seppur in misura minore, gioca un ruolo importante nell'ambito del ciclo redispone condizionando importanti fattori come l'evapotraspirazione, l'accumulo e lo scioglimento della neve ecc. Sia per la carta delle pendenze che per quella delle esposizioni è stato necessario discretizzare i parametri di riferimento individuando, su base statistica, delle classi che fossero rappresentative della realtà fisica del territorio esaminato. Ad ognuna di queste classi è stato ovviamente attribuito un peso che, analogamente agli altri casi visti

5 Approccio metodologico

in precedenza, indica il grado di influenza della classe considerata sulla franosità del territorio.

Le figure 46, 47, 48 e 49 presentano quindi i diagrammi di assegnazione dei pesi, sia per i fenomeni di *debris flow* che di scivolamento, per quanto riguarda le carte delle pendenze e delle esposizioni.

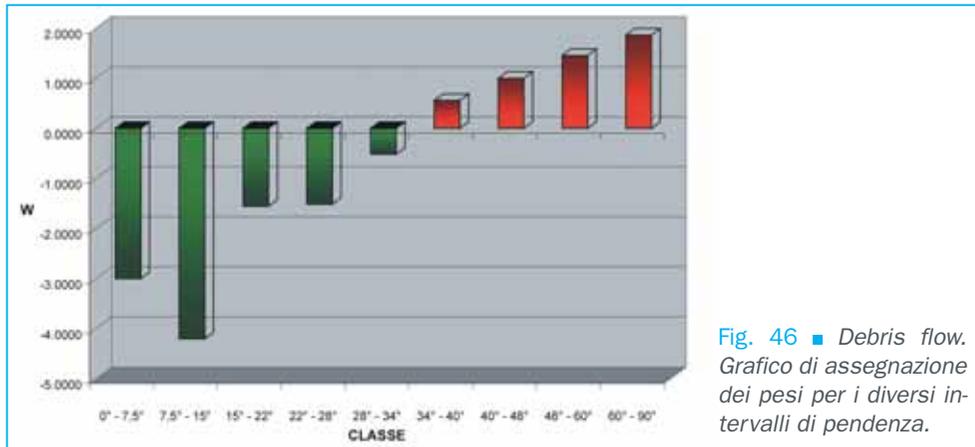


Fig. 46 ■ *Debris flow*. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di pendenza.

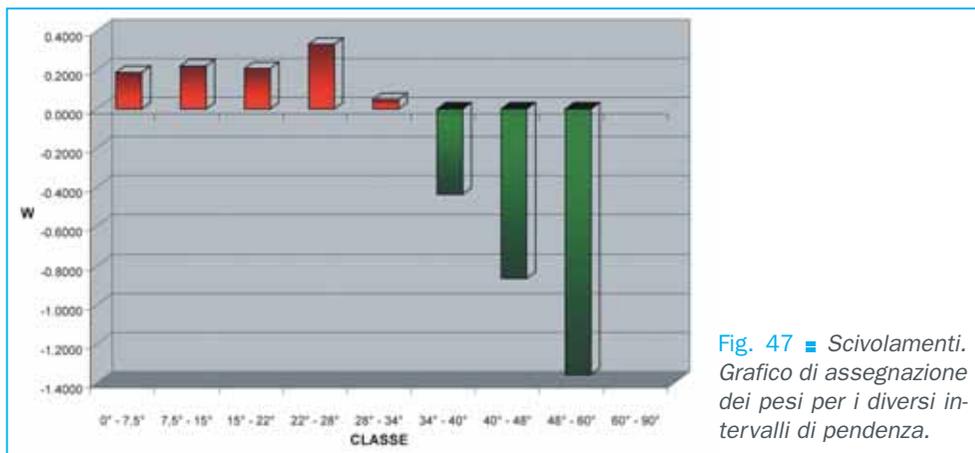


Fig. 47 ■ *Scivolamenti*. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di pendenza.

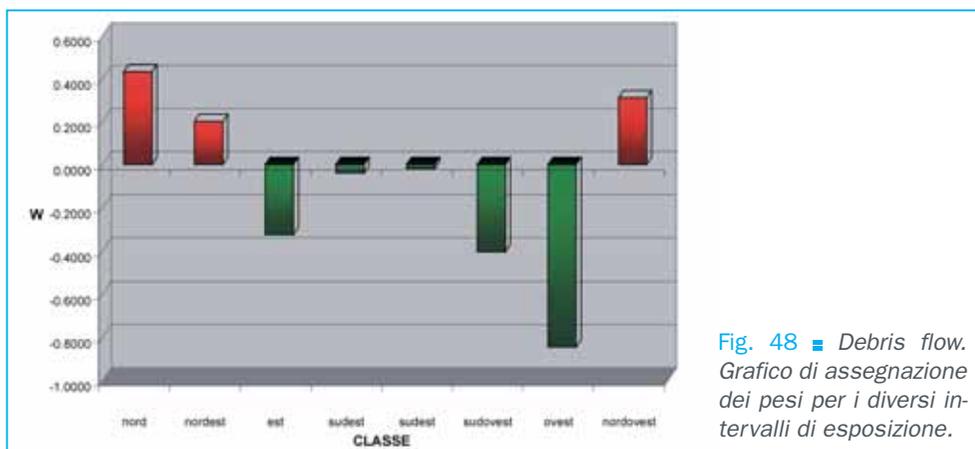


Fig. 48 ■ *Debris flow*. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di esposizione.

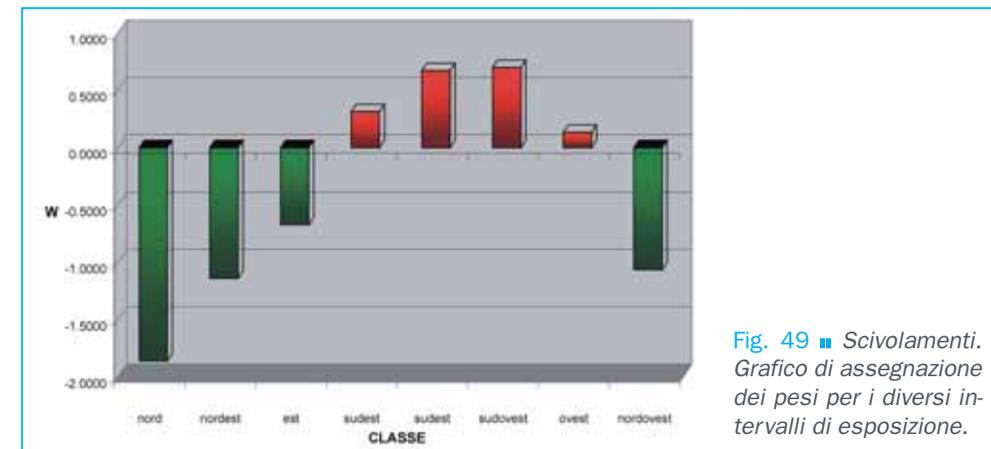


Fig. 49 ■ *Scivolamenti*. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di esposizione.

Carta della Concavità (deflussi)

La morfologia di un territorio è sicuramente un parametro fondamentale per la determinazione della suscettibilità al dissesto. Abbiamo appena visto come l'elevazione, la pendenza e l'esposizione di un versante, influenzino in modo determinante la risposta dei materiali ai vari processi erosivi e deposizionali innescati, nel caso di un ambiente alpino, prevalentemente dalla circolazione idrica, sia superficiale che sotterranea. Risulta quindi di primaria importanza determinare, in questo caso su base statistica, la capacità di un versante di drenare gli input idrici ricevuti sia sotto forma di afflussi meteorici diretti (prevalentemente pioggia) che di scioglimento della neve. E' evidente che la concentrazione di questi deflussi può determinare delle particolari condizioni di instabilità laddove siano presenti, oltre a quelli che abbiamo analizzato in precedenza, altri fattori predisponenti.

Tenendo presenti queste considerazioni si è realizzata una carta che esprime il grado di concavità dell'area in esame, considerando la capacità di deflusso della stessa. Sulla base del modello digitale del terreno è stato possibile quindi ricavare i principali percorsi di deflusso superficiale, tramite l'individuazione della superficie drenata a monte di ogni singolo *pixel* considerato. Si sono così definiti un insieme di percorsi che collegano ciascun *pixel* alla sezione di chiusura, in modo univoco. Dal punto di vista morfologico ciò rappresenta la tendenza di una porzione, più o meno ampia di versante ad assumere la forma concava e ad essere quindi predisposta al deflusso concentrato delle acque di ruscellamento superficiale.

Anche in questo caso l'analisi è stata svolta per fenomeni sia di colata detritica che di scivolamento e le figure 50 e 51 mostrano i grafici di assegnazione dei pesi alle varie classi individuate.

Dall'analisi del diagramma di figura 50 risulta evidente come la correlazione *debris flow* – carta del deflusso sia estremamente lineare e rappresentativa: all'aumentare della area drenata aumenta sensibilmente il peso attribuito alla classe corrispondente. Questo riflette anche il fatto che i *debris flow* hanno spesso origine in quelle porzioni di territorio caratterizzate da morfologia concava, come canali in roccia o detrito. L'analisi del diagramma di figura 51, relativo a fenomeni di scivolamento, mostra invece una relazione inversa, che trova poco riscontro nella realtà fisica. Si nota infatti che all'aumentare della quantità di deflusso diminuisce la quantità di *pixel* in frana e, di conseguenza, il peso da attribuire alle classi

corrispondenti. Questa apparente anomalia sembra trovare una spiegazione logica nel fatto che, nel territorio analizzato, i fenomeni di scivolamento prendono origine generalmente da versanti che non risultano essere particolarmente concavi e si sviluppano lungo superfici rettilinee.

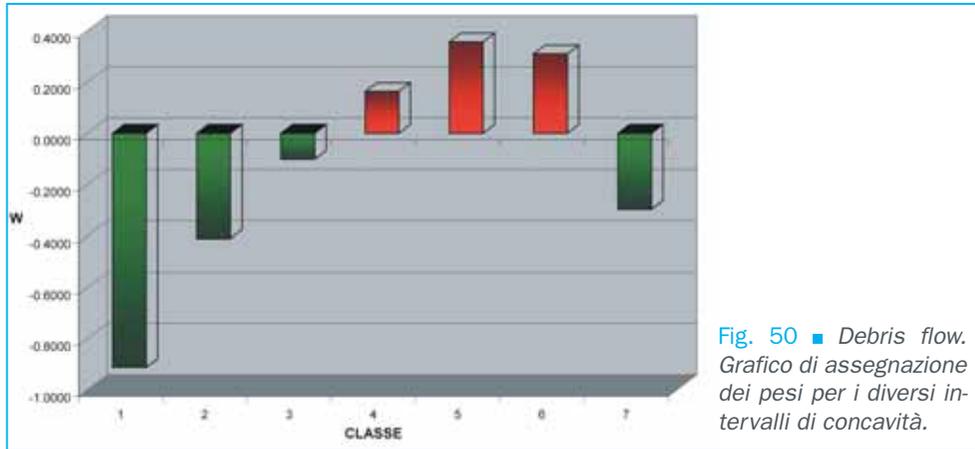


Fig. 50 ■ Debris flow. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di concavità.

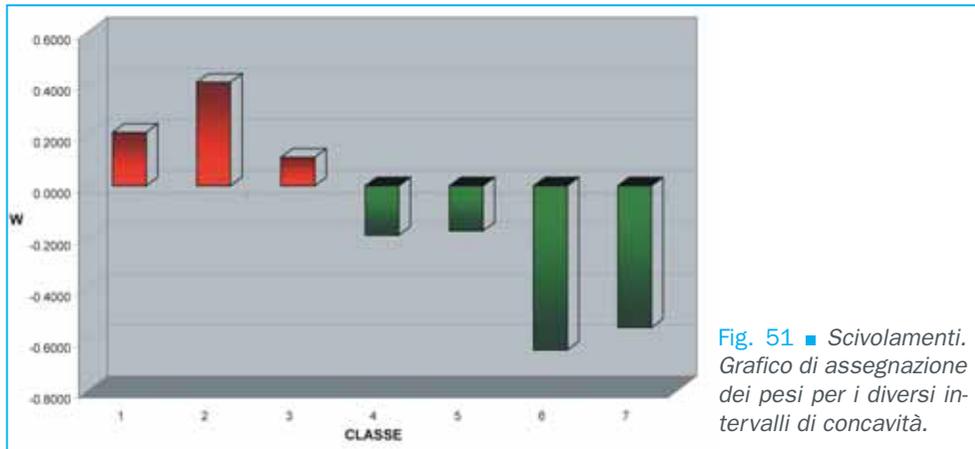


Fig. 51 ■ Scivolamenti. Grafico di assegnazione dei pesi per i diversi intervalli di concavità.

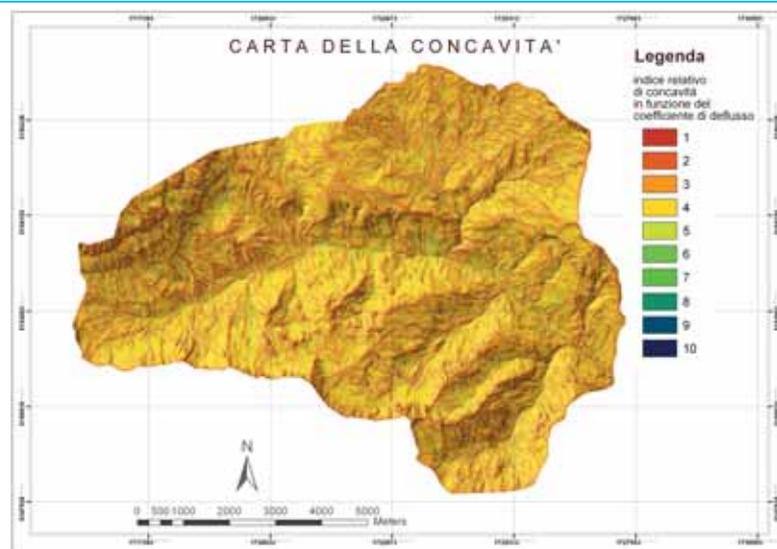


Fig. 52 ■ Carta delle concavità.

5.4 Validazione statistica

Dall'analisi statistica di tutti i tematismi appena illustrati si è poi passati alla riclassificazione di tutte le carte tematiche in funzione dei pesi assegnati ad ogni singola classe considerata. Le carte tematiche appena descritte necessitano di una rielaborazione, attraverso l'impiego di particolari algoritmi, per la generazione di nuove carte, in questo caso, "pesate", che vengono combinate tra loro al fine di ottenere la carta finale di suscettibilità. Nell'elaborazione sono stati presi in considerazione, oltre alla somma dei pesi, anche la *posterior probability*, il grado d'incertezza e numerosi altri parametri utili per effettuare ulteriori correlazioni statistiche. La validazione del risultato finale che in qualche modo certifica la qualità dell'indagine svolta è stata condotta sulla base di diverse tabelle derivate dall'analisi statistica effettuata; tra queste, quella che appare più significativa, è senz'altro quella relativa al test del χ^2 .

Le carte di suscettibilità realizzate sono due, in relazione alla principale tipologia di dissesto considerata. In una viene evidenziata la propensione al dissesto principalmente per fenomeni di debris flow, nell'altra vengono presi in considerazione i fenomeni di scivolamento i quali, in corrispondenza a determinate litologie (e.g. Formazione di S. Cassiano, Formazione di La Valle) evolvono quasi sempre in colamenti di terra e/o di terra e detrito (Fig. 53).

Appare infatti evidente come ad essere maggiormente predisposte a questo tipo di dissesto sia soprattutto il versante sinistro della valle del Cordevole in corrispondenza del tratto Passo Pordoi – Arabba - altopiano del Chertz.

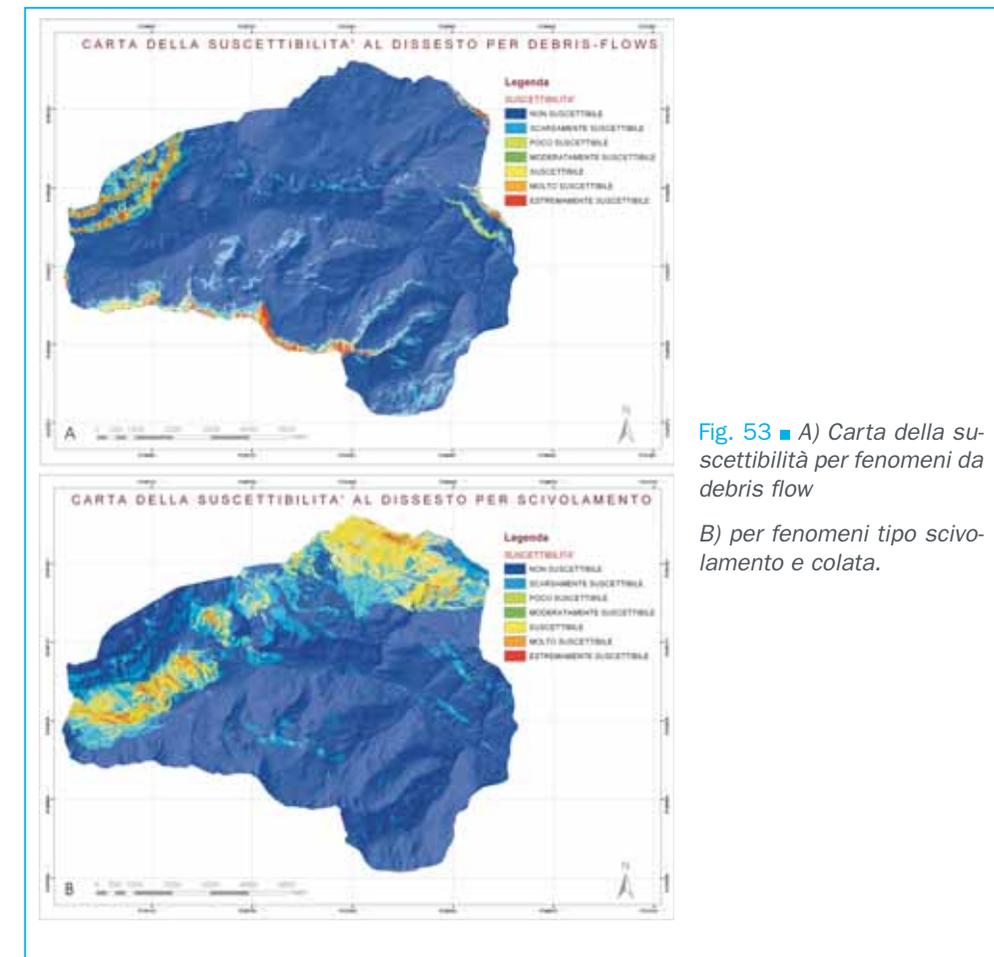


Fig. 53 ■ A) Carta della suscettibilità per fenomeni da debris flow

B) per fenomeni tipo scivolamento e colata.

6. Frana del Cherz: indagini e risultati preliminari

Come accennato nei paragrafi precedenti, oltre alle indagini finalizzate alla realizzazione della Carta della Pericolosità Geologica e a quella della Suscettibilità, è stato condotto anche uno studio di dettaglio sulla Frana del Cherz, un fenomeno franoso che, per le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e cinematiche, rappresenta, da sempre, un elemento di particolare interesse nell'alto bacino del Torrente Cordevole.

La Frana del Cherz è in realtà un complesso articolato di dissesti di diversa tipologia e grado di attività, che occupa l'intero altopiano del Cherz. L'altopiano, posto ai piedi del Gruppo del Settsass, è composto esclusivamente da litotipi facenti parte della Formazione di S. Cassiano e della Formazione di La Valle che, come detto in precedenza, mostrano un'elevata predisposizione al dissesto. L'area è drenata dal Rio Ruaz il quale è riuscito, nel corso dei secoli, ad incidere una profonda forra in roccia (formazioni del Fernazza, di Contrin e di Livinallongo), arrivando a confluire nel Torrente Cordevole, all'altezza dell'abitato di Ruaz. Come le colate descritte nei paragrafi iniziali, anche queste sono caratterizzate da inneschi, nella parte sommitale, di tipo rotazionale ed evoluzione successiva in colamento (Fig. 54 e 55).

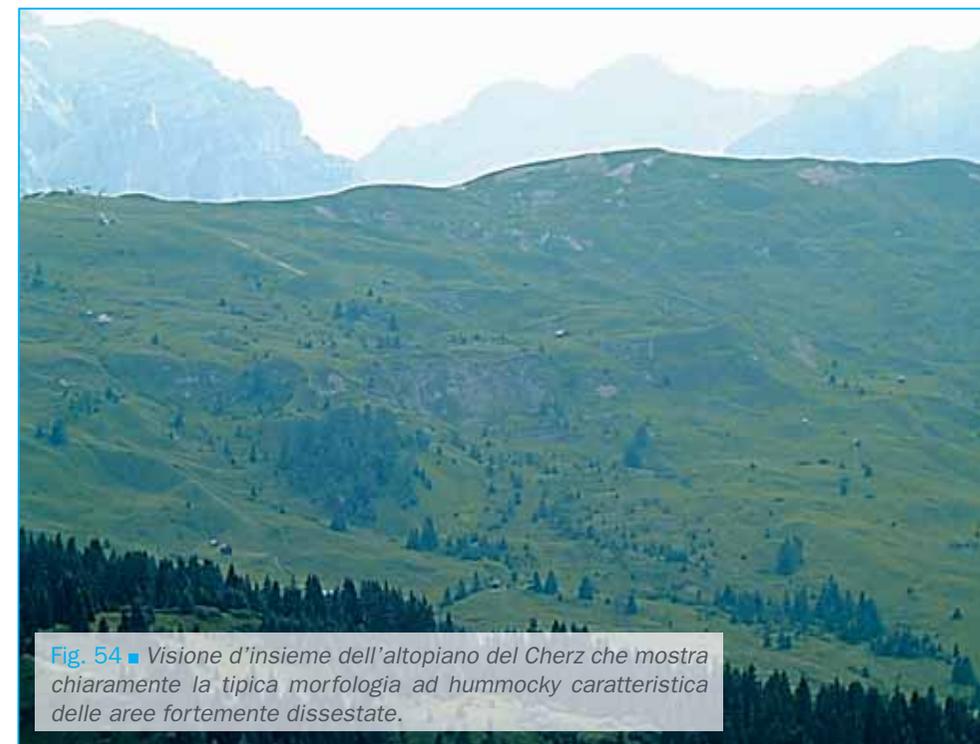


Fig. 54 ■ Visione d'insieme dell'altopiano del Cherz che mostra chiaramente la tipica morfologia ad hummocky caratteristica delle aree fortemente dissestate.

L'intera area è inoltre caratterizzata da numerosi ristagni di acqua che peggiorano le condizioni di stabilità del versante, producendo un effetto domino che porta le colate ad autoalimentarsi e ad innescare altri fenomeni nei settori più a valle che poi, in prossimità della chiusura del bacino, tendono ad unirsi in un'unica grande lingua (Fig. 56).

L'incessante azione destabilizzante e l'elevato grado di attività dei processi in atto

**Frana del Cherz: indagini
e risultati preliminari**

6 Frana del Chertz: indagini e risultati preliminari

hanno portato nel corso dell'ultimo periodo Postglaciale ad una sostanziale modifica del paesaggio, arrecando, in tempi recenti, grave danno alle attività antropiche che hanno sede sull'altopiano: principalmente allevamento e turismo.

Prima di procedere alle indagini dirette sul fenomeno franoso, anche per quest'area è stata svolta l'analisi della pericolosità geologica cercando di differenziare ogni singolo fenomeno e di attribuire a ciascuno di essi le caratteristiche di Severità Geometrica, Velocità e Frequenza. Come per gli altri fenomeni considerati questi parametri sono stati desunti da rilevamenti diretti di campagna, da analisi di fotografie aeree multitemporali, dalla consultazione di archivi storico-bibliografici e da interviste alla popolazione e agli amministratori locali. Nei casi in cui non è stato possibile ottenere alcuna indicazione si è cercato, in base alle evidenze geomorfologiche, di assegnare un valore per quanto possibile aderente alle condizioni reali di dissesto.



Fig. 55 ■ Frane di scivolamento rotazionale nella parte apicale dell'altopiano, che rappresentano i processi di Innesco delle colate sottostanti.

In figura 54 viene illustrata la situazione di dissesto dell'altopiano del Chertz, mentre le figure 58 e 59 mostrano uno zoom della stessa zona, che evidenzia il grado di dettaglio con cui sono stati rilevati fenomeni, e i relativi valori di pericolosità attribuiti.

Anche se dal punto di vista della pericolosità il fenomeno può presentare degli aspetti particolarmente critici, la mancanza pressoché totale di elementi vulnerabili (se si escludono due rifugi, due impianti di risalita ed una malga), rende le condizioni di rischio quasi nulle. L'unico problema che si può intravedere riguarda la zona di confluenza con il Torrente Cordevole. La possibile attivazione parossistica della colata principale potrebbe infatti determinare un accumulo di materiale nell'alveo del corso d'acqua principale con un possibile sbarramento e formazione di un invaso a monte. E' evidente che ciò comporterebbe una situazione di elevato rischio per gli abitati e le strutture antropiche poste a valle. In base ai dati fino a questo momento analizzati questa eventualità sembra però estremamente remota.

Una volta definita la pericolosità dell'area ci si è concentrati sul corpo di colata principale (Fig. 56) che raccoglie tutto il materiale convogliato per gravità verso la chiusura del bacino e che rappresenta uno dei fenomeni a Severità Geometrica più rilevante cartografato nell'area di studio. E' stato pianificato un intervento per il monitoraggio della colata mediante la realizzazione di due sondaggi geognostici accoppiati e la materializzazione di una rete di capisaldi GPS per il controllo degli spostamenti superficiali sull'intero bacino di alimentazione.



Fig. 56 ■ Spalle in roccia alla chiusura del bacino di alimentazione della Frana del Chertz che ne trattengono gran parte del materiale.

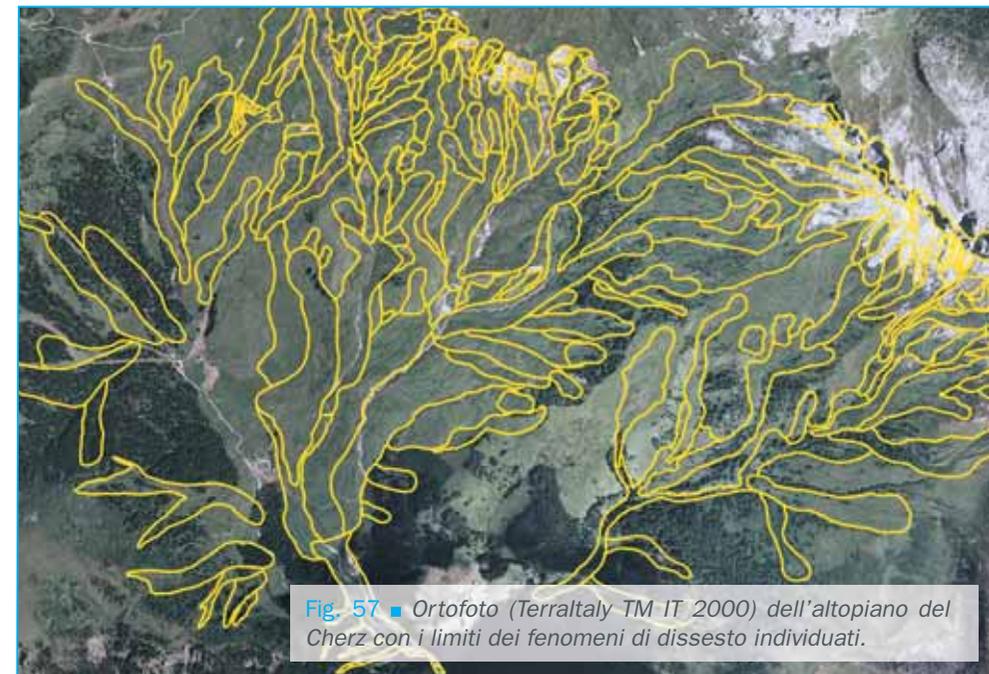


Fig. 57 ■ Ortofoto (Terraltaly TM IT 2000) dell'altopiano del Chertz con i limiti dei fenomeni di dissesto individuati.

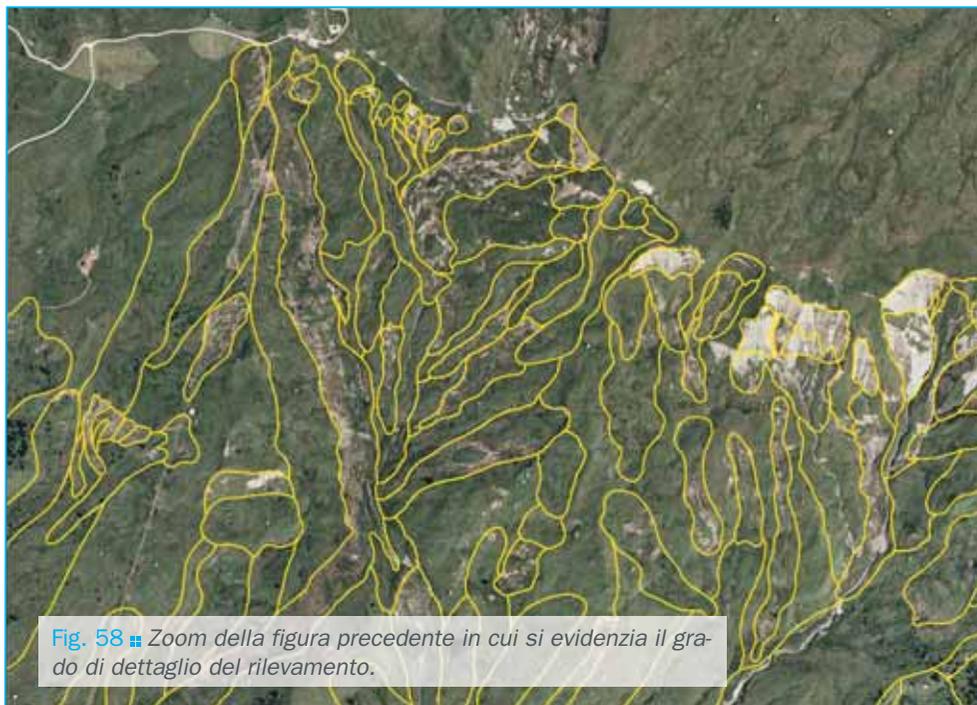


Fig. 58 ■ Zoom della figura precedente in cui si evidenzia il grado di dettaglio del rilevamento.

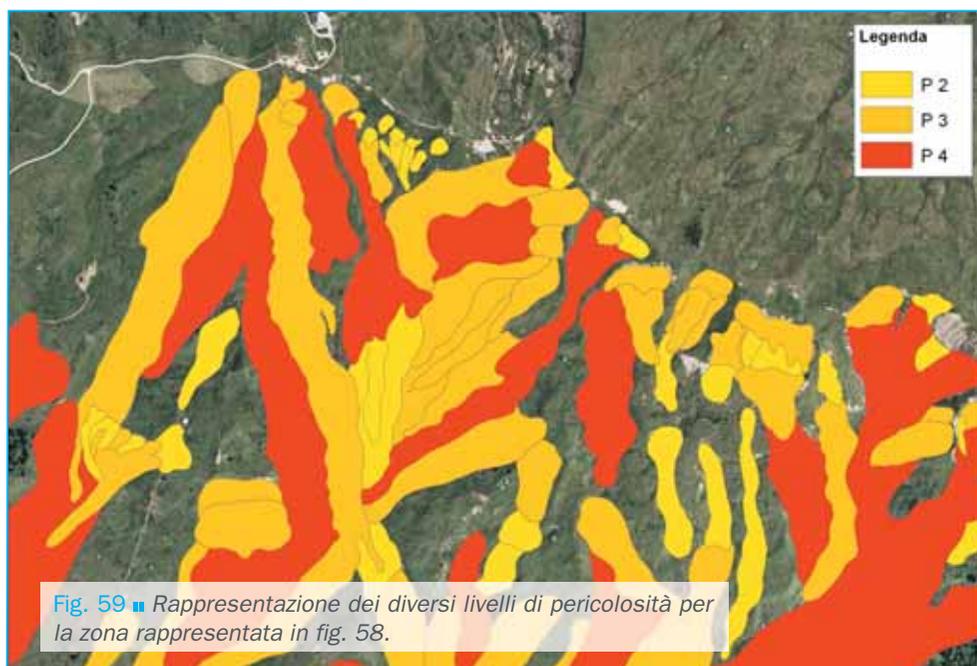


Fig. 59 ■ Rappresentazione dei diversi livelli di pericolosità per la zona rappresentata in fig. 58.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata in figura 60; si è deciso di realizzare due fori per cercare di alloggiare nel miglior modo possibile tutta la strumentazione da installare, nella fattispecie: un tubo inclinometrico, un cavo estensimetrico e due cavi TDR di diametro differente. La posa in opera dei cavi TDR si è resa necessaria data la prevedibile elevata velocità di movimento e quindi la scarsa durata del tubo inclinometrico per l'individuazione dei movimenti in profondità.

Infatti, al contrario del tubo inclinometrico, che può sopportare deformazioni massime dell'ordine della decina di cm, il cavo TDR (*Time Domain Reflectometry*, tecnica di monitoraggio), pur mostrando un ritardo nella risposta alla deformazione, riesce a misurare spostamenti dell'ordine di alcune decine di cm.

Durante la perforazione dei sondaggi geognostici è stato possibile, attraverso l'analisi della stratigrafia, individuare lo spessore del materiale in frana; la superficie di movimento si trova ad una profondità di circa 55 metri, al di sotto di questa è presente, fino alla profondità di 74 metri, del materiale morenico caratterizzato da abbondante matrice argilloso-limosa e da clasti molto arrotondati di Dolomia Principale. Il substrato roccioso costituito dalla Formazione di S. Cassiano, si trova quindi alla profondità di 74 metri dal piano campagna.

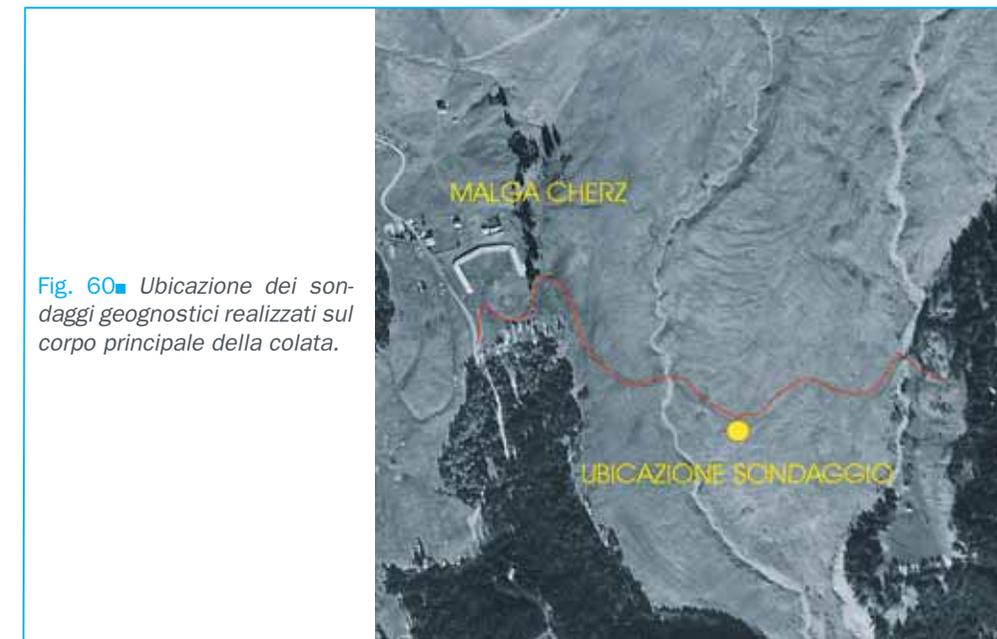


Fig. 60 ■ Ubicazione dei sondaggi geognostici realizzati sul corpo principale della colata.

Il sondaggio all'interno del quale è stato installato il tubo inclinometrico raggiunge la profondità di 100 metri, risultando così ancorato per oltre 25 metri al substrato roccioso. Questa condizione risulta essere ottimale al fine della conduzione delle misure inclinometriche limitando al minimo le fonti di errore delle misure. Queste sono state eseguite nel periodo immediatamente successivo all'installazione del tubo inclinometrico e prima che la copertura nevosa ne impedisse l'accesso.

Come già accennato in precedenza, considerata la grande velocità di deformazione attesa le misure sono state eseguite ad intervalli di tempo molto ravvicinati al fine di ottenere quanti più dati possibili per definire un *trend* di spostamento affidabile prima che il tubo arrivasse a rottura. Nel periodo novembre - dicembre 2004 sono state effettuate 5 misure inclinometriche:

- Letture 0: 9 novembre
- Letture 1: 17 novembre
- Letture 2: 22 novembre
- Letture 3: 30 novembre
- Letture 4: 22 dicembre

Dai grafici di figura 61 si individua chiaramente la superficie di scivolamento alla profondità di 55,3 m. dal piano campagna.

A distanza di tre mesi l'una dall'altra sono inoltre state eseguite 2 misure TDR.

L'analisi delle deformazioni conferma la presenza della superficie principale di scivolamento tra i 55 e 56 metri dal piano campagna.

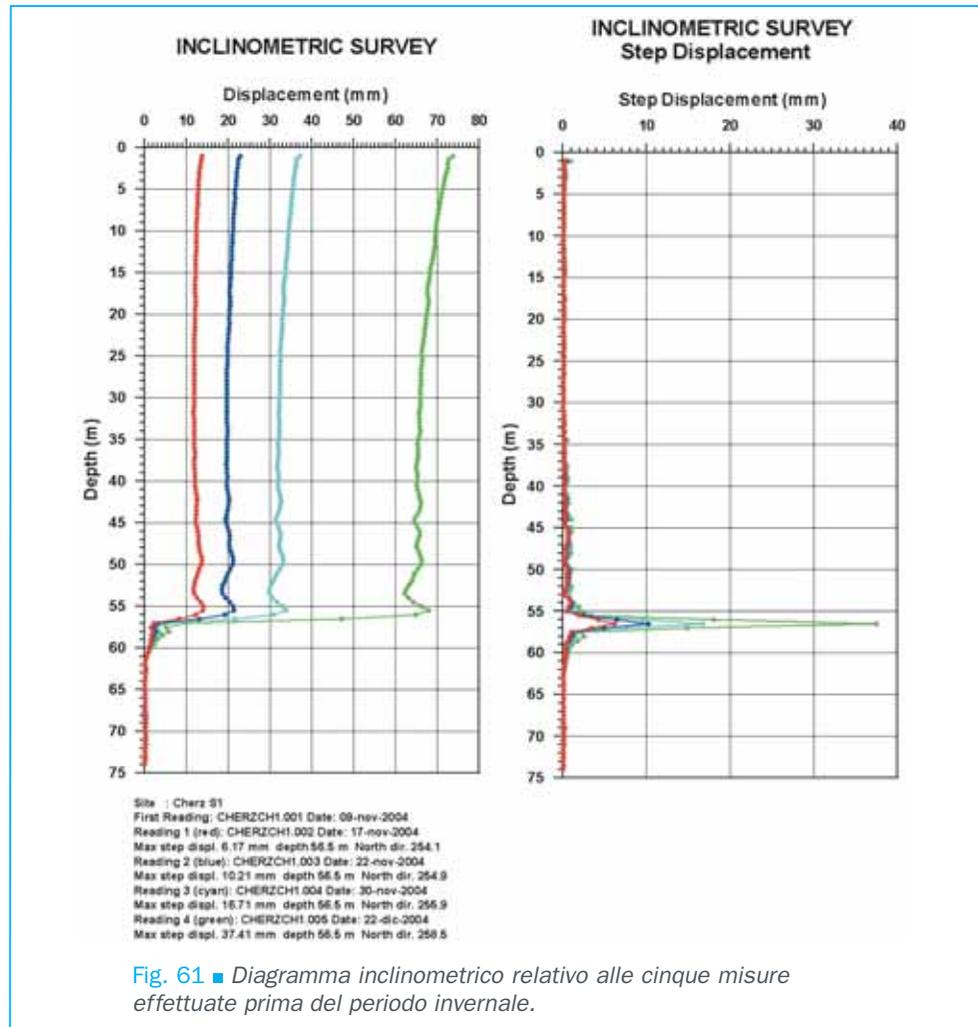


Fig. 61 ■ Diagramma inclinometrico relativo alle cinque misure effettuate prima del periodo invernale.

La realizzazione della rete di controllo GPS (Fig. 62) è avvenuta in tre fasi: progettazione, simulazione e materializzazione. Nella fase di progettazione è stato definito: il numero di capisaldi necessari per un'adeguata copertura dell'area, la loro ubicazione ed il tipo di materializzazione. Nella fase di simulazione sono state eseguite al computer misure con dati sintetici, differenti tipologie di reti di controllo, tempi di acquisizione e tempi di campionamento, per valutare i parametri migliori che ottimizzassero la precisione attesa dalle misure reali. La fase terminale di materializzazione è stata attuata sul campo sulla base dei risultati delle fasi precedenti. La necessità di avere una visione d'insieme dei processi in atto ha spinto alla realizzazione di un elevato numero di capisaldi. L'assenza totale di alberi e quindi di ostruzioni per la ricezione del segnale, unita alla presenza di un'area stabile ai margini della zona d'indagine, con conseguente drastica riduzione delle lunghezza linee di base, ha permesso la realizzazione di un unico punto di controllo. Tale scelta è stata poi validata in fase di simulazione dimostrando come l'incremento

di precisione atteso nelle misure fosse del tutto trascurabile in caso di utilizzo di 2 o 3 stazioni fisse.

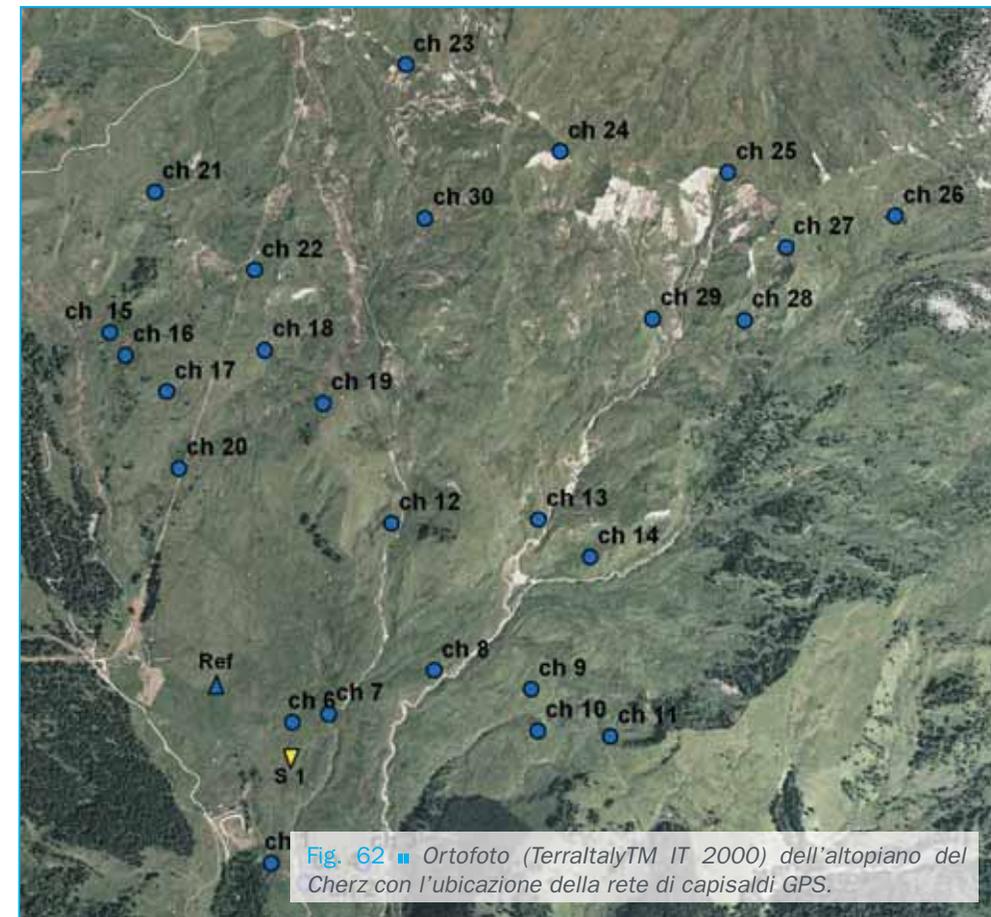


Fig. 62 ■ Ortofoto (TerraltalyTM IT 2000) dell'altopiano del Chertz con l'ubicazione della rete di capisaldi GPS.

Il caposaldo di riferimento è stato materializzato con la costruzione di un pilastro in cemento armato nei pressi della malga che poggia direttamente sul substrato roccioso. La stabilità del punto è comunque periodicamente controllata elaborando ad ogni campagna i dati acquisiti dalla stessa con la stazione permanente di Bolzano (BZN). Nessuno spostamento significativo è stato finora registrato. Sull'area instabile sono stati invece posizionati 30 capisaldi, la cui materializzazione ha richiesto particolare attenzione. Infatti per il controllo delle deformazioni, soprattutto quelle lente, è sempre bene mettere appunto un sistema di centramento forzato che elimini l'errore di posizionamento, il che riduce tra l'altro i tempi di messa in stazione dello strumento. Inoltre la presenza di pascoli e soprattutto delle piste da sci ha sconsigliato la realizzazione di capisaldi sporgenti dal piano campagna. Si è così deciso di infiggere nel terreno, per una profondità di 1 metro, tondini in acciaio inox, alla cui testa è stata avvitata una base con filamento 5/8" sulla quale durante ogni campagna viene avvitata l'antenna GPS (Fig. 63). Durante la materializzazione di questi punti ne veniva registrata anche la posizione per mezzo di un navigatore GPS palmare, in modo che i capisaldi potessero essere facilmente localizzabili durante le campagne successive.



Fig. 63 ■ Caposaldo GPS

Sulla frana del Chertz sono state eseguite 4 campagne di misura di tipo statico relativo:

- Letture 0 : novembre 2004
- Letture 1 : luglio 2005
- Letture 2 : ottobre 2005
- Letture 3 : luglio 2006

I parametri di acquisizione e la metodologia impiegata sono riportati in tabella 10.

66

RICEVITORI LEICA SR 530:	Tempo di acquisizione: 10 min.
24 canali	Tempo di campionamento: 2 sec
codici C/A e P	Angolo di cut-off: 15 gradi
frequenze L1 e L2	Modello troposferico: Hopfield
Tecnica: Posizionamento relativo rapido	Postelaborazione con effemeridi precise

Tab. 10 ■ Parametri di acquisizione del rilievo GPS

I risultati delle misure sono stati rielaborati in termini di spostamento planimetrico cumulato e di velocità media.

Dall'analisi dei dati si evince che 9 capisaldi (ch06, ch10, ch11, ch14, ch15, ch17, ch18, ch19, ch21, ch26) non hanno subito spostamenti significativi. I punti ch01, ch02, ch03, ch04, ch07, materializzati in corrispondenza dell'unica grande colata che si forma in prossimità dell'incanalamento del materiale all'interno della forra del Rio Ruaz mostrano una velocità di deformazione quasi costante che ha subito una leggera accelerazione negli ultimi mesi di indagine. Le medie di tali velocità si attestano fra i 3 e i 4.4 cm al mese.

Una sensibile accelerazione tra luglio ed ottobre 2005 è invece stata registrata dai capisaldi ch08, ch16, ch28, ch29, ch30, sebbene la velocità media di deformazione vari molto da punto a punto. Infatti, se per i punti ch28, ch29, ch30 la velocità di deformazione è mediamente compresa tra 1.1 e 2.1 cm al mese, per il punto ch08 supera i 6 cm mensili fino ad arrivare ai 13 cm/mese per il caposaldo ch16.

Spostamenti decisamente più lenti, compresi tra 1 e 0.3 cm/mese, sono stati

registrati dai capisaldi ch09, ch12, ch13, ch20, ch22. Deformazioni di tipo regressivo, cioè con un vettore di spostamento direzionato verso monte, che sono in buon accordo con l'evoluzione dinamica del margine sommitale dell'altopiano, dove l'innesco delle frane avviene per fenomeni di scorrimento rotazionale, sono stati misurati su capisaldi ch23, ch24, ch25, ch27. Infine, il punto ch05, situato oltre le pareti della Formazione del Fernazza, laddove la colata si restringe entrando nella forra scavata dal rio Ruaz ha registrato una velocità media di deformazione di 15.9 cm/mese con un continuo incremento di velocità che ha raggiunto, dopo l'elaborazione dati dell'ultimo rilievo, i 17.6 cm/mese. Per avere una visione generale del fenomeno in figura 64 sono stati riportati, su base topografica, i vettori di spostamento planimetrico.

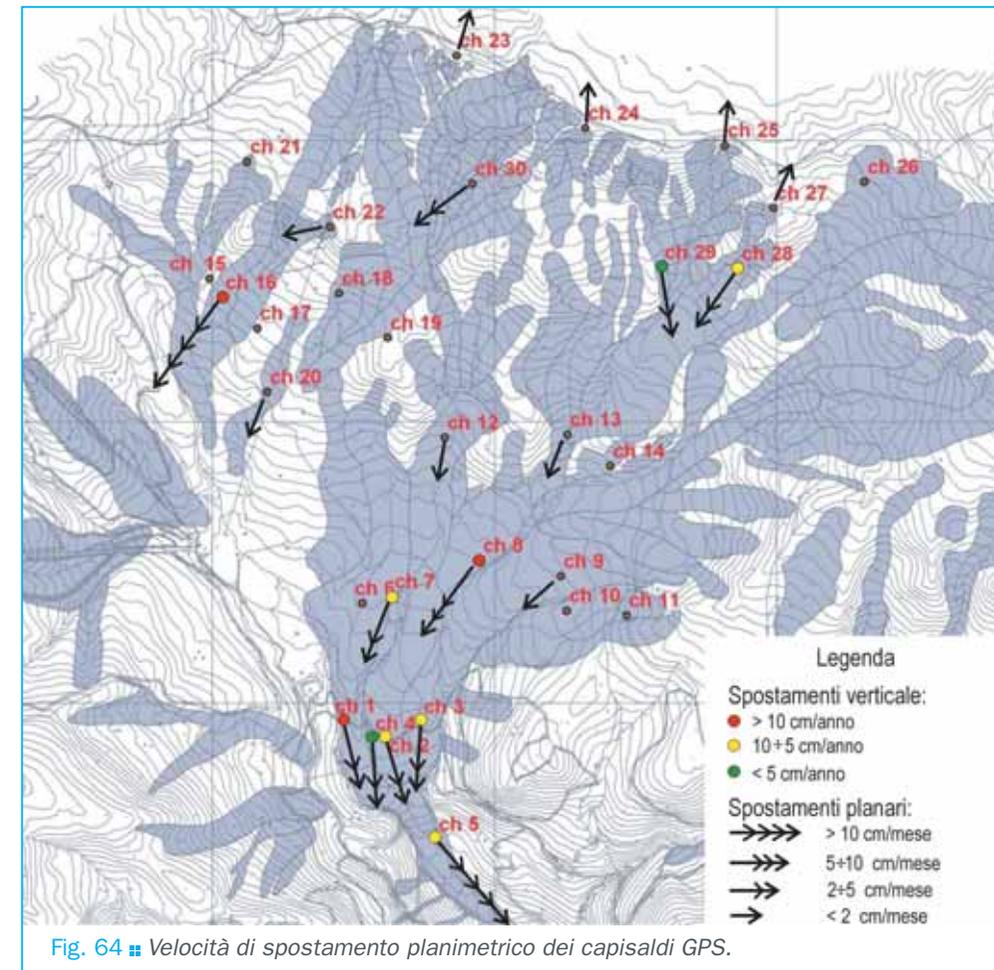


Fig. 64 ■ Velocità di spostamento planimetrico dei capisaldi GPS.

67

A conforto e validazione degli spostamenti registrati sui capisaldi GPS ch01, ch02, ch03, ch04, materializzati nelle immediate vicinanze del sondaggio geognostico, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle campagne di misura inclinometriche. Riportando le deformazioni subite dal tubo in funzione del tempo, in corrispondenza della superficie di rottura prima (Fig.65) e ad 1 metro di profondità (Fig.66) poi, si nota il medesimo incremento costante della deformazione.

6 Frana del Chertz: indagini e risultati preliminari

In corrispondenza del piano di scivolamento la velocità di deformazione è stata stimata attorno ai 1.5 mm/giorno e quindi 4.5 cm/mese. Alla profondità di 1m il valore medio di velocità ha raggiunto 1.7 mm/giorno e quindi 5.1 cm/mese.

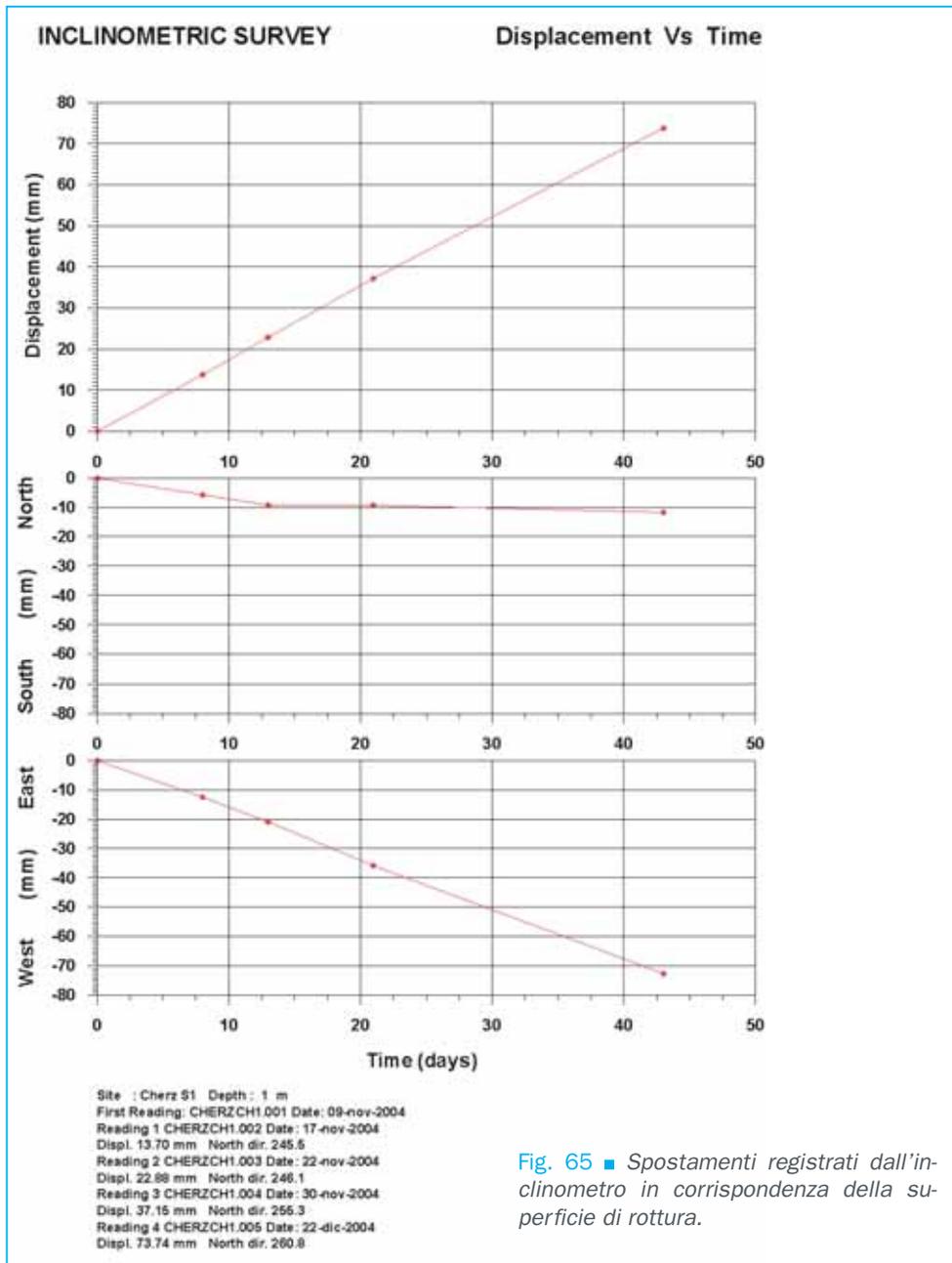


Fig. 65 ■ Spostamenti registrati dall'inclinometro in corrispondenza della superficie di rottura.

Questi valori concordano piuttosto bene con le velocità medie ricostruite a partire dagli spostamenti registrati dai capisaldi GPS che si attestano tra i 3 e i 4.4 cm/mese.

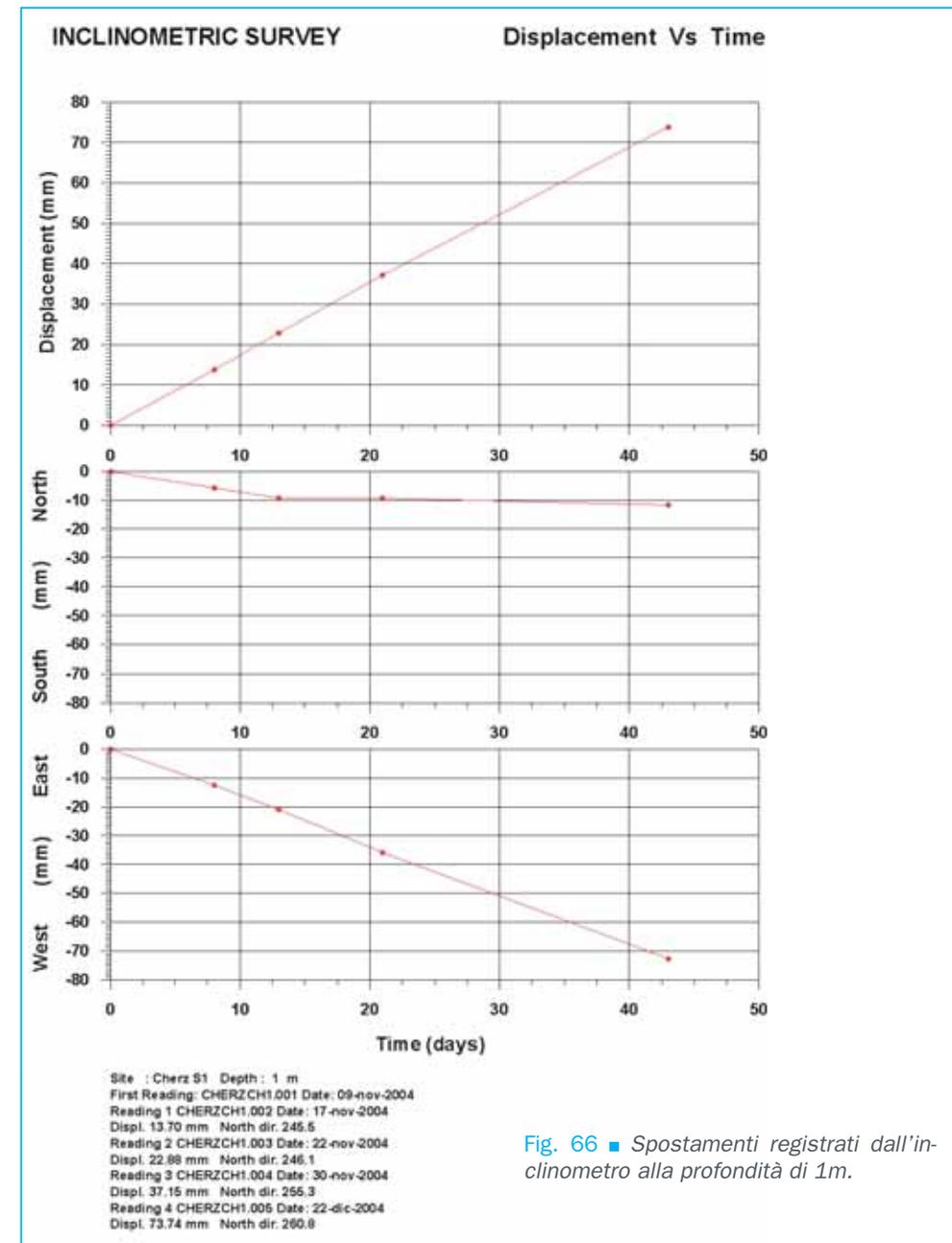


Fig. 66 ■ Spostamenti registrati dall'inclinometro alla profondità di 1m.

6.1 Appendice I: Il modello “weight of evidence”

Questo modello di analisi spaziale, sviluppato originariamente dal Servizio Geologico Canadese (Bonham-Carter et al., 1989) per la valutazione e la mappatura delle potenzialità minerarie di alcune aree nord americane, fu applicato per la prima volta nella valutazione della pericolosità connessa all’instabilità dei versanti, da Sabto (1991). Esso consiste nel ridurre ogni tematismo cartografato e presumibilmente relazionato all’evento franoso, in un semplice formato binario (0; 1) indicante rispettivamente assenza o presenza; ciò viene fatto nell’ambito di ogni singolo *pixel*, di una certa classe componente la variabile indipendente considerata. Il modello consente l’utilizzo contemporaneo di variabili numeriche (es. valori di pendenza) e categoriche (es. unità litotecniche).

Il primo passo dell’analisi consiste nella determinazione della probabilità “a priori” (P_{priori}) di avere, nell’ambito di un determinato pixel, un evento franoso:

$$P_{\text{priori}} = \frac{N_{\text{pix}}(\text{frana})}{N_{\text{pix}}(\text{totali})}$$

Dove:

$N_{\text{pix}}(\text{frana})$ = numero di *pixel* in frana valutati sull’intera area di studio

$N_{\text{pix}}(\text{totali})$ = numero totale di *pixel* componente l’area oggetto di studio

Per semplici ragioni matematiche, l’equazione precedente viene trasformata nel seguente *odds*:

$$O_{\text{priori}} = \frac{P_{\text{priori}}}{1 - P_{\text{priori}}} = \frac{N_{\text{pix}}(\text{frana})}{N_{\text{pix}}(\text{totali}) - N_{\text{pix}}(\text{frana})}$$

Utilizzando una rappresentazione in formato binario relativamente sia alle “j” classi componenti le “i” variabili indipendenti analizzate (V_i), sia alla distribuzione spaziale delle frane (F), si rendono possibili le seguenti combinazioni tra V_{ij} e F: $V_{ij} \cap F$; $V_{ij} \cap F^{\wedge}$; $V_{ij} \cap F^{\wedge}$; $V_{ij} \cap F^{\wedge}$ (dove il simbolo “ \wedge ” indica l’assenza del tematismo considerato), che espressa in termini di probabilità condizionale diventano:

$$P\{F|V_{ij}\} = \frac{V_{ij} \cap F}{V_{ij}}; P\{F^{\wedge}|V_{ij}\} = \frac{V_{ij} \cap F^{\wedge}}{V_{ij}}; P\{F|V_{ij}^{\wedge}\} = \frac{V_{ij}^{\wedge} \cap F}{V_{ij}^{\wedge}}; P\{F^{\wedge}|V_{ij}^{\wedge}\} = \frac{V_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge}}{V_{ij}^{\wedge}}$$

Queste equazioni esprimono le possibilità che un *pixel* sia in frana (o no) data la presenza (o l’assenza) di una j-esima classe di una i-esima variabile. In accordo con il teorema di Bayes (o delle probabilità delle cause), in base al quale la frequenza di una variabile può essere utilizzata per stimarne la probabilità, è possibile ottenere:

$$P\{F|V_{ij}\} = \frac{P\{V_{ij}|F\}P\{F\}}{P\{V_{ij}\}}; P\{F|V_{ij}^{\wedge}\} = \frac{P\{V_{ij}^{\wedge}|F\}P\{F\}}{P\{V_{ij}^{\wedge}\}}$$

Bonham-Carter et al., (1989) hanno definito, relativamente a ciascuna classe componente le variabili considerate nell’analisi, valori ponderati positivi (W+) e negativi (W-) combinando le probabilità condizionali sopra definite:

$$W_{ij}^+ = \ln \frac{P\{V_{ij}|F\}}{P\{V_{ij}|F^{\wedge}\}} \quad W_{ij}^- = \ln \frac{P\{V_{ij}^{\wedge}|F\}}{P\{V_{ij}^{\wedge}|F^{\wedge}\}}$$

W_{ij}^+ esprime il rapporto tra la possibilità di trovare una j-esima classe di una i-esima variabile in area di frana e la probabilità di trovarla in area non in frana: tanto maggiore sarà il suo valore, tanto maggiore sarà il valore ponderato della classe nel prevedere il *pixel* in frana.

W_{ij}^- esprime invece il rapporto tra la probabilità di non trovare una j-esima classe di una i-esima variabile in area di frana e la probabilità di non trovarla in area non in frana: tanto maggiore il suo valore tanto minore sarà il valore ponderato della classe nel prevedere il *pixel* in frana.

Utilizzando il teorema di Bayes come sopra esposto si ottiene che:

$$W_{ij}^+ = \ln \frac{V_{ij} \cap F / F}{V_{ij} \cap F^{\wedge} / F^{\wedge}} \quad W_{ij}^- = \ln \frac{V_{ij}^{\wedge} \cap F / F}{V_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge} / F^{\wedge}}$$

Considerando il semplice incrocio (*crossing*) di due tematismi, entrambi in formato binario, recanti la distribuzione spaziale rispettivamente delle aree in frana e di una singola classe della variabile indipendente in esame, sono possibili quattro differenti combinazioni (Tab. 11):

Frana	Classe della Variabile in formato binario	
	1 presente	0 assente
Presente 1	$N_{\text{pix1}} \quad V_{ij} \cap F$	$N_{\text{pix2}} \quad V_{ij}^{\wedge} \cap F$
Assente 0	$N_{\text{pix3}} \quad V_{ij} \cap F^{\wedge}$	$N_{\text{pix4}} \quad V_{ij}^{\wedge} \cap F^{\wedge}$

Tab. 9 ■ Esempio di “crossing table”

I valori ponderati potranno allora essere riscritti, in termini di numero di *pixel*, come segue:

$$W_{ij}^+ = \ln \frac{N_{\text{pix1}}}{N_{\text{pix3}}} \quad W_{ij}^- = \ln \frac{N_{\text{pix2}}}{N_{\text{pix4}}}$$

I vari livelli informativi usati nell’analisi e riclassificati secondo i valori ponderati ottenuti per le diverse classi utilizzate, potranno alla fine essere sovrapposti (*overlay*) e sommati, con lo scopo di ottenere un valore ponderato totale, purché sia verificata la condizione che, le classi tematiche impiegate nell’analisi, siano condizionalmente indipendenti. Questa assunzione, fondamentale nell’applicazione del teorema bayesiano, si dimostra in natura poco realistica, dato che le variabili in esame risultano quasi sempre correlate fra loro secondo relazioni talora difficilmente quantificabili. In prima analisi già il “Contrasto” $C=(W+-W-)$ costituisce un’efficace misura della correlazione esistente tra la classe tematica analizzata e gli eventi franosi cartografati. In quest’ottica, valori negativi del Contrasto richiamano classi tematiche la cui distribuzione spaziale risulta indipendente nei confronti degli eventi franosi.

Il logaritmo dell’*odds* “a posteriori” può allora essere calcolato come segue:

$$\ln O\{F|V_{11}^k \cap V_{12}^k \cap V_{21}^k \dots V_{nm}^k\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}^k + \ln O_{\text{priori}}\{F\}$$

e la probabilità a posteriori (*Posterior Probability*), la quale meglio rappresenta la suscettibilità da un punto di vista statistico, come:

$$P\{F\} = \frac{O}{(1+O)}$$

Dopo aver classificato i valori della probabilità a posteriori in un numero appropriato di classi, viene calcolato il numero di *pixel* "previsti" in frana e comparato con il numero di *pixel* realmente osservato in frana, nell'ambito della medesima classe di probabilità "i". Una prima distribuzione di frequenza dei *pixel* in frana potrebbe mostrare valori di probabilità piuttosto elevati nonché uno scarso accordo tra il numero di *pixel* previsti in frana ed il numero di *pixel* realmente osservati in frana, soprattutto nel campo dei valori più elevati di probabilità. Ciò è presumibilmente da ricollegare alla dipendenza condizionale esistente tra alcune classi tematiche utilizzate nell'analisi. La dipendenza condizionale, almeno in linea teorica, potrebbe essere verificata ricorrendo alla funzione G2 proposta da Bonham-Carter (1989) la quale presenta una distribuzione χ^2 con due gradi di libertà (cfr. Appendice 2). Ad un livello di significatività dell'1%, tutte le combinazioni di classi tematiche con valori di χ^2 superiori a 7.38 sono da ritenersi condizionalmente dipendenti e come tali non potrebbero a rigore essere utilizzate nel modello descritto.

La procedura, teoricamente non complessa, presenta però all'atto pratico notevoli difficoltà di esecuzione dato l'elevato numero di combinazioni possibili di classi diverse che dovrebbero essere analizzate. Per tale motivo al fine, non tanto di testare l'indipendenza condizionale, quanto di ridurre direttamente gli effetti, si possono combinare, sempre mediante operazione di crossing, solo alcune classi componenti i vari tematismi in esame e, più precisamente, quelle che mostrano una più alta correlazione (espressa dal Contrasto) con gli eventi cartografati, considerando la carta derivata come una nuova variabile indipendente. Il risultato di questa operazione, il più delle volte, risulta soddisfacente ottenendo, oltre ad un ridimensionamento dei valori di probabilità, anche un migliore accordo tra i *pixel* previsti in frana e quelli realmente osservati in frana.

6.2 Appendice II: Il test del χ^2

Il test del χ^2 è un test statistico atto a verificare se i valori di frequenza ottenuti tramite rilevazione, e registrati in una qualche tabella a doppia entrata, sono significativamente diversi da quelli "teorici" (condizione "a priori" nel capitolo 7). Generalmente questo test è applicato a tabelle 2 x 2, con un solo grado di libertà (df = 1). Ad esempio, quando si tratta di stabilire la significatività delle occorrenze di una parola ("x") entro una unità di contesto ("A") il test viene applicato a una tabella di questo tipo

	Context "A"	Other Contexts		
Word "x"	15	98	113	N_j
Other Words	572	2420	2992	
	587	2518	3105	N_{ij}
	N_i			

La formula del χ^2 , nella sua versione semplificata, è la seguente:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

dove "O" ed "E" rappresentano rispettivamente le frequenze osservate e quelle teoriche. Per ogni cella, le occorrenze attese (E) sono calcolate nel modo seguente:

$(N_i \times N_j) / N_{ij}$.

Quando il risultato è maggiore del valore critico (espresso in tabelle codificate), l'ipotesi nulla (assenza di differenza significativa) può essere respinta.

L'analisi svolta tramite questo test ha consentito di validare i risultati ottenuti per cui si è passati alla realizzazione delle carte della suscettibilità che sono allegate alla presente relazione.

6.2 Appendice III:

Stratigrafia del sondaggio Chertz.

COMMITTENTE: Regione Veneto	COMUNE: LIVINALONGO DEL COL BELLUNO
SCOPO DELL'INDAGINE: Progetto Carg	LOCALITA': Malga Chertz
DITTA ESECUTRICE: Servizio Forestale Regionale	CTR 1:10000: 28070 QUOTA slm: 1730,00
METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio continuo	DATA DI ESECUZIONE: 18/11/2004
STRUMENTAZIONE DI COMPLETAMENTO: inclinometro	COORDINATE Gauss Boaga Fuso Oves: 1723506,91 5154834,29
FONTE: Regione Veneto	ID DATO: 28070002

Profondità	Simbologia	Descrizione Strato
0,70		Terreno vegetale
10,00		Argilla consolidata di color grigio scuro con presenza sporadica di inclusi centimetrici calcarenitici
11,00		Assenza campione
15,00		Argilla consolidata di color grigi oscuro. Trovante calcarenitico della formazione di "S.Cassiano"
17,00		Argilla sabbiosa di color nocciola debolmente consolidata
		Argilla molto consolidata di color grigio scuro con inclusi da millimetrici a centimetrici e con presenza di frustoli vegetali
36,00		Argilla grigio scura con ghiaia
37,00		Argilla consolidata di color grigio scuro con scarsa presenza di elementi eterometrici (millimetrici e centimetrici) e rara presenza di frustoli vegetali
60,00		Deposito morenico costituito da calcarenitici e dolomie bianche sub-arrotondate immerse in una matrice argilloa grigiastria
65,00		Substrato costituito da arenarie vulcanoclastiche nerastre (Formazione del "M.Fernazza")
73,00		

Bibliografia

- **Angeli M-G., Gasparetto P., Menotti R.M., Pasuto A., Silvano S.** (1994) "A system of monitoring and warning in a complex landslide in Northeastern Italy". *Landslide News* 8: 12-15.
- **Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione,** (1999) "Modello idrogeologico delle zone montane e di pianura dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza". - Università degli Studi di Trieste- Dip. Scienze Geologiche, Ambientali e Marine.
- **Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione,** (1998) "Studi finalizzati alla redazione del piano di bacino del fiume Piave". - Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, Voll. 1-10.
- **Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione,** (1994) "Studi finalizzati alla redazione del piano di bacino del fiume Brenta-Bacchiglione". - Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, Voll. 1-9.
- **Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione,** (1993) "Studi finalizzati alla redazione del piano di bacino del fiume Livenza" – Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, Venezia. Voll. 1-6.
- **Bacchini, M.,** (2004) "Applicazione di una procedura scientifica di valutazione della pericolosità idrogeologica per la pianificazione alla scala di bacino" tesi inedita di dottorato, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, pp. 235
- **Bacchini M., Zannoni A.** (2002) "Relations between rainfall and triggering of debris flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy)" "Natural Hazards and Earth Sciences" EGS, Nizza, pp.15.
- **Bacchini M., Pasuto A., Silvano S., Zannoni A.** (2001) "Definizione della pericolosità idrogeologica e degli elementi a rischio nel comune di Chiampo (VI)", pp.65.
- **Bosellini A.,** (1989) "La storia geologica delle Dolomiti". Ed. Dolomiti, pp 148.
- **Bottino G., Crivellari R., Mandrone G.,** (1996) "Eventi pluviometrici critici e dissesti: individuazione delle soglie d'innescio di colate detritiche nell'anfiteatro morenico di Ivrea", Proc. La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, Vol. II, pp.201-210, Alba (CN).
- **Bozzo G.P., Friz C., Pasuto A. & Silvano S.** (1992) "Studio su centri abitati instabili della Regione Veneto: cronologia dei dissesti e rischio geologico", Memorie di Scienze Geologiche, Università degli Studi di Padova, 44, pp. 27-85.
- **Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P., Wright D.F.** (1989) "Weight of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential". In: "Statistical applications in the earth science". Ed. Agterberg F.P. and Bonham-Carter G.F., Geological Survey of Canada, Paper 89-9. Ottawa, Canada, pp.171-183.
- **Brabb E.E.** (1984) "Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping", Proc. of the Fourth Int. Symp. on Landslides, Toronto (Canada), 1, pp. 307-324.
- **Caine N.** (1980) "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris-flows", *Geografiska Annaler*, 62A (1-2), 23-27.
- **Cancelli A., Crosta G.B.** (1993a) "Rockfall hazard in Italy: assessment, mitigation and control", Key Lecture In: Chowdury & Sivakumar (eds) – Proc. Environ. Management Geo-Water & Engineering Aspects, Balkema (pre-print).
- **Cancelli A., Crosta G.B.** (1993b) "Rockfall hazard and risk mapping" In: Novosad & Wagner (eds) – Proc. VII int. Conf. And Field Workshop on Landslides, Czech – slovak Republics, Balkema, p.69-76.

- **Cancelli A., Crosta G.B.** (1993c) "Hazard and risk assessment in rockfall prone areas" In: Skipp B.O. (ed) "Risk and Reliability in Ground Engineering", Inst.Civ.Eng., Thomas Telford, p.177-190.
- **Cancelli A., Nova R.** (1985) "Landslide in soil debris cover triggered by rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy)", Proc. IVth Inter. Conf. and Field Workshop on Landslides, Tokyo.
- **Cannon S. H.** (1988) "Regional rainfall-threshold conditions for abundant debris-flow activity", In S.D. Ellen and G.F. Wieczorek (eds.), Landslides, Floods and Marine effects of the storm of January, 3-5, 1982 in the San Francisco Bay Region, California, USGS Professional Paper 1434, 35-42.
- **Canuti P. & Casagli N.** (1994) "Considerazioni sulla valutazione della pericolosità da frana". Atti Conv. Bologna, 27 maggio 1994, CNR-GNDCI, pubbl. 846, pp.57.
- **Carrara A.** (1999) "Modelli predittivi dei fenomeni franosi di tipo scorrimento-colata nel bacino dello Staffora". In: Progetto Strategico n.5, Regione Lombardia.
- **Carrara A., D'Elia B., Semenza E.** (1985) "Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi", Geol. Appl. e Idrogeol., 20, pp. 223-243, Bari.
- **Carrara A., Cardinali M., Guzzetti F.** (1992) "Uncertainty in assessing hazard and risk" ITC Journal, v.2, pp.172-183.
- **Cascini L., Versace P.** (1986) "Eventi pluviometrici e movimenti franosi", Proc. A.G.I. XVI Convegno Nazionale di geotecnica, Bologna, Italy, Vol. III, 171-184.
- **Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J.L., Picciotti V., Pini G.A. & Selli L.** (1992) "Alpine compressional tectonic in the Southern Alps. Relationships with the Appennines". Annales Tectonicae, 6(1), 62-94.
- **Castiglioni G. B.** "Geomorfologia" Ed. UTET Torino seconda edizione pp.436
- **Cazorzi F.** (2002). "HyGrid2k2-guida di riferimento". Univ. di Udine, Udine, 37 pp.
- **Cazorzi F., Dalla Fontana G.** (2000). "GIS capabilities in hydrological studies". University of Padova – Dept. of Land and Agro-Forest Environments – Water Resources Division, 10 pp.
- **Ceriani M., Lauzi S., Padovan N.** (1994) "Rainfall thresholds triggering debris-flows in the alpine area of Lombardia Region, central Alps – Italy", Proc. Man and Mountain, I Conv. Intern. per la Protezione e lo Sviluppo dell'ambiente montano, Ponte di legno (BS), 123-139.
- **Ceriani M., Lauzi S., Padovan N.** (1992) "Rainfalls and landslides in the alpine area of Lombardia region - Central Alps – Italy", Proc. Interpraevent 1992, Bern, Switzerland, Band 2, 9-20.
- **Chung C.F. & Fabbri A.G.** (1993) "The representation of geoscience information for data integration". Nonrenewable resources, vol.2/2, pp.122-139.
- **CNR IRPI** (2001) "Studio del rischio idrogeologico residuo del Comune di Erto e Casso", Relazione inedita protezione civile del Friuli Venezia Giulia, allegati: carta geomorfologia, carta del sottosuolo. Padova
- **Comune di Corvara – Provincia Autonoma di Bolzano** (2001) "Piano del rischio idrogeologico del Comune di Corvara", Gruppo Tecnico Interdisciplinare: Geostudio Marini – Dip. Scienze Terra Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia – CNR-IRPI Padova, pp.86.
- **Corominas J. et alii** (1996) "Debris flow" In: Dikau, Brunnsden, Schrott, Ibsen (Editors), Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes. Ed. Wiley. Pp. 161-180.
- **Corsini A., Panizza M., Pasuto A., Silvano S., Siorpaes C. & Soldati M.** (1998a) "Indagini preliminari per la definizione della pericolosità da frana nella conca di Corvara in Badia (Dolomiti)", Mem. Soc. Geol. It., 53, pp. 207-224.
- **Corsini A., Panizza M., Soldati M. & Tosatti G.** (eds.). (1998b) "Report of the University of Modena Group". In: J. Corominas, J. Moya, A. Ledesma, J.A. Gili, A. Lloret & J. Rius (eds.), "New Technologies for Landslide Hazard Assessment and Management in Europe (NEWTECH)", CEC Environment Programme - Contract ENV-CT96-0248, Final Report". Technical University of Catalunya, Barcelona, 309-362.

- **Costa J.E.** (1984) "Physical Geomorphology of Debris Flows". – In: "Developements and Applications of Geomorphology", Costa & Fleisher Eds., Springer-Verlag, pp. 286-317.
- **Crescenti U.** (1998) "Il rischio da frana: appunti per la valutazione". Quaderni di Geologia Applicata, 5(2), 87-100.
- **Crosta G.B. and Agliardi F.** (2003) "3d dispersion of rockfall trajectories: a parametric study" Geophysical Research Abstracts, Vol. 5.
- **Cruden D.M. & Varnes D.J.** (1996) "Landslide types and processes". In: A.K Turner & R.L Schuster (eds.), "Landslides: investigation and mitigation". Transportation Res. Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., 36-75.
- **D'Agostino V., Marchi L.** (2000) "Alcune considerazioni sui volumi delle colate detritiche nei bacini dell'Italia nord-orientale". In: Seminario su "Monitoraggio dei processi idrometeorologici", Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, 30-31 ottobre 2000.
- **D'Agostino V.** (1996) "Analisi quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio nei bacini montani del Trentino orientale". – In Scritti dedicati a Giovanni Tournon. Associazione Italiana di Ingegneria Agraria – Associazione Idrotecnica Italiana: Novara (Italia); 111-123.
- **Dipartimento Foreste Regione del Veneto – Centro Sperimentale Valanghe e Difesa Idrologica,** (1989). "Carta di localizzazione probabile delle valanghe dei comuni di S.Vito di Cadore- Borca di Cadore – Vodo di Cadore – Cibiana – Valle di Cadore – Livinallongo del Col di Lana" cartografia inedita (scala 1:25000).
- **Doglioni C.** (1987) "Tectonics of the Dolomites (Southern Alps- Northern Italy)". J. Struct. Geol., 9, 181-193.
- **DRM – Delegation aux Risques Majores** (1990) "Les etudes preliminaires ° la cartographie reglementaire des risques naturels majeurs". Secretariat d'Etat aupres du premier Ministre charge de l'Environnement et de la Prévention des Risques technologiques et naturels majeurs. La documentation Francaise, pp. 143.
- **DRM – Delegation aux Risques Majores** (1988) "Evaluacion de la vulnerabilite. Plan de exposition aux risques". La documentation Francaise, pp. 112.
- **Einstein H.H.** (1988) "Special Lecture: Landslide risk assessment procedure". Proc. 5th Int. Symp. Landslides, Lausanne, 2, 1075-1090.
- **Fell R.** (1994) "Landslide risk assessment and acceptable risk". Canadian Geotechnical Journal, 31(2), 261-272.
- **Fioraso G., Chiarle M.** (1996) "Ruolo dei parametri morfometrici nella valutazione della pericolosità da colata detritica torrentizia". – Atti del Convegno: "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", Alba (CN), vol.2, 191-200.
- **Flageollet J.C.** (1996) "The time dimension in the study of mass movements". Geomorphology, 15(3-4), 185-190.
- **Genevois R., Tecca P.R., Berti M., Simoni A.** (2000) "Debris-flows in Dolomites: Experimental data from a monitoring system", In G.F. Wieczorek and N.D. Naeser, eds., "Debris-flow hazard mitigation - Mechanics, Prediction, and Assessment", Balkema, Rotterdam, 283-291.
- **Genevois R., Berti M., Ghiotti Simoni A., Tecca P.R.** (1999) "Debris flow Risk Project – Final report". – Università degli Studi di Padova
- **Gortani M.** (1960) "Bibliografia geologica d'Italia" Vol.VI Friuli – Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- **Govi M.** (1994) "Il rischio connesso a fenomeni alluvionali e franosi", Fenomeni franosi e centri abitati. Programma speciale SCAI- GNDCI. Atti del Convegno di Bologna del 27 maggio 1994. CNR Regione Emilia Romagna. pp. 176-186.
- **Govi M., Mortara G., Sorzana P.F.** (1985) "Eventi idrologici e frane", Geol. Appl. e Idrog., 20(2), 359-375.
- **Govi M., Sorzana P.F.** (1980) "Landslide susceptibility as a function of critical rainfall amount in Piedmont basin (North-Western Italy)", Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica,

14, 43-61, Krakow.

- **Gruppo di Lavoro per la Cartografia Geomorfologica** (1994) “*Carta Geomorfologica d’Italia 1:50.000: guida al rilevamento*”. Servizio Geologico Nazionale. Quaderni serie III, 4- 47.
- **Guzzetti F., Cipolla F., S. Pagliacci, C. Sebastiani G. Tonelli** (2000) “*Il sistema informativo delle aree colpite da calamità geologiche od idrauliche: applicazioni nel campo della protezione territoriale*”. Atti XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – IDRA 2000, 391-395.
- **Hansen A.** (1984) “*Landslide hazard analysis*” In. “Slope instability”, pp.523-602, Brunson, Prior (eds), Wiley and Sons, New York.
- **Harlan J., Viberg L.** (1988) “*General report: evaluation of landslide hazard*”. Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, vol.2, 1037-1057.
- **Heinimann H.R., Holtenstein K., Kienholz H., Krummenhacher B. & Mani P.** (1998) “*Methoden zur analyse und bewertung von naturgefahren*” Umwelt-Materialien 85, Naturgefahren. Bern: BUWAL, pp. 248.
- **Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.** (2001) *GPS theory and practice*. 5th revised edit. Wien: Springer Verlag.
- **Hungro O. et al.** (1984) “*Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures*”, Can. Geotech. J., 21, 663-677.
- **Hungro O.** (1981) “*Dynamics of rock avalanches and other types of mass movements*”, Tesi di dottorato, University of Alberta.
- **Hutchinson J.N.** (1995). Keynote paper: “*Landslide hazard assessment*” In Landslides, Proc. Sixth Int. Symp. On Landslides, February, (Ed. D.H. Bell), Christchurch, New Zealand. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, Vol. 3, pp 1805-1841.
- **Hutchinson J.N. & Bhandari R.H.** (1971) “*Undrained loading, a fundamental mechanism of mudflows and other mass movements*”. Geotechnique, 21, 353-358.
- **Innes J.L.** (1983). “*Debris-flows*”, Progress in Physical Geography, 7(4), 469-501.
- **Johnson A.M. & Rodine J.R.** (1984) “*Debris-flow*”. In D. Brunson & D.B. Prior (eds), *Slope Instability*: 257-361. New York: John Wiley & Sons.
- **Kienholz H.** (1984) “*Landslide hazard assessment for landslide hazard zonation*”, In: J. C. Flageollet (Editor), *Mouvements de Terrains, Actes Colloque de Caen*, 22-24 mars. Documents du BRGM n. 83, 317-325.
- **Leonardi P.** (1968) “*Le Dolomiti, Geologia dei monti tra Isarco e Piave*”, A cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche e della giunta provinciale di Trento. Manfrini, Rovereto (Trento). Vol.2, 851-859.
- **Leroi E.** (1996) “*Landslide Hazard-Risk maps at different scales: objectives, tools and developments*”, In: K. Senneset (Editor), *Landslides. Proceedings of the Seventh Int. Symp. on Landslides*, Trondheim. Balkema\ Rotterdam\ Brookfield, 1, 35-51.
- **Loriga Broglio C., Neri C.** (1995) (a cura di) “*Verso una definizione del limite Ladinico-Carnico nel Sudalpino orientale*”. Ann. Uni. Ferrara, 5, Suppl. Sc. Terra.
- **Marchi L., D’Agostino V.** (2004) “*Estimation of debris-flow magnitude in the eastern Italian alps*”. – Earth Surface Processes and Landforms, 29, 207-220; Wiley and Sons, Ltd.
- **Marchi L.** (2000) “*Considerazioni preliminari sulle colate detritiche con particolare riguardo ai bacini alpini*”. – Seminario del corso di Sistemazioni Idraulico Forestali, Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Padova, pp.10.
- **Marchi L., Pasuto A.,** (1999) “*A debris-flow in the Dolomites, North-eastern Italy*”, Landslide News, 12, 9-12.
- **Marchi L., Dalla Fontana G., Scussel G.R., Crepaz A.,** (1988). “*Indicatori a base morfometrica per lo studio delle aree di produzione di sedimento in bacini montani*”. Quaderni di Idronomia Montana, 17, 91-109.

- **Marchi L. & Tecca P.R.** (1996) “*Hill-slope debris flows in the Dolomites: characteristics and associated risk*”, Internationales Symposium. Interpraevent 1996 - Garmisch- Partenkirchen. 83-92.
- **Meunier M., Rickenmann D., Rahuel J.L.** (2000) “*Torrential hazard – General*”. – In Risques naturels en montagne (mountain natural hazard), Gillet F., Zanolini F., (eds). Cemagref Editions: Gap, France; 329-333.
- **Panizza M.** (1988) “*Geomorfologia Applicata*”, La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- **Panizza M.** (1990) “*Il fascino e le vicende della storia geomorfologica delle Dolomiti*”. In: Le Dolomiti. Un patrimonio da tutelare e amministrare, Comunità Montana Agordina, 19-31.
- **Panizza M.** (1988) “*Introduzione a una geomorfologia ambientale*”, Geomorfologia Applicata, NIS Roma, 343-347.
- **Pasuto A., Silvano S. Tagliavini F.** (2004) “*Evaluation of landslide hazard and risk in north eastern Italy*” Risk Analysis Vol. IV ed. Brebbia 221-233.
- **Pasuto A., Bacchini M., Giuriato F.** (1999) “*Studio dei fenomeni franosi e dei processi torrentizi che implicano motivi di rischio per centri abitati (capoluoghi di comune e frazioni importanti) nei bacini dei fiumi Piave, Brenta-Bacchiglione-Agno-Guà e Livenza*”, Autorità di Bacino Alto Adriatico - C.N.R.-G.N.D.C.I., Padova, pp.70, all.6.
- **Pasuto A., Soldati M.** (1990) “*Deep-seated gravitational deformations in the area of Cortina d’Ampezzo (Dolomites)*”. In: Panizza, Castaldini & Soldati (eds), European experimental course on applied geomorphology with special reference to environmental risk and human impact in the Dolomites, 1, 38-39.
- **Progetto A.V.I.** (1996) “*Raccolta schede informative e relazioni relative ai fenomeni di dissesto idrogeologico e idraulico delle regioni Veneto e Friuli-Venezia Giulia*” – CNR –GNDCI.
- **Progetto A.V.I.** (1998) “*Catalogo delle informazioni sulle località italiane colpite da frane e da inondazioni*” – CNR-GNDCI. Pubbl. n.1799, Vol. I, pp. 404 e Vol. II, pp. 380.
- **Raetzo H. Latelin O. Bollinger D., Tripet J.P.** (2002) “*Hazard assessment in Switzerland – Code of Practice for mass movements*” – Bull. Eng. Geol. Env., Vol. n.61, 263-268;
- **Regione Lombardia & Università Bicocca Milano.** (2001) “*Valutazione e gestione del rischio da frana*”, 3 voll.
- **Sabto M.** (1991) *Probabilistic modelling applied to landslide in central colombia using gis procedures*. Unpublished MSc thesis, ITC, Enschede, The Netherlands.
- **Scesi L., Papini M.** (1997) “*Il Rilevamento Geologico-Tecnico*” Geologia Applicata 1, CittàStudiEdizioni, Milano.
- **Silvano S.** (2002) “*Considerazioni sulla valutazione della pericolosità e del rischio da frana*”. Rivista “Cinque Fiumi” dell’Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave e Brenta-Bacchiglione, Anno 1, n.1/2002, 17-22, Cangemi Editore.
- **Van Westen C. J.** (1993) “*Gissiz an integrated GIS module for hazard assessment*” ITC Journal Enschede The Nederland.
- **Varnes D. J.** (1984). “*Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*”. UNESCO Press, Paris, 63 pp.

Ottobre 2007

Progettazione grafica e stampa
Grafiche Nardin • Ca' Savio VE