

3 Statistiche nazionali ed elaborazioni dati del Progetto IFFI

A. Trigila, C. Iadanza

Le statistiche e le elaborazioni effettuate sulla banca dati del Progetto IFFI offrono un quadro sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano e sui più importanti parametri ad essi associati.

In particolare sono stati analizzati i principali parametri contenuti nel database alfanumerico: tipologia di movimento, stato di attività, metodologia utilizzata per la valutazione del tipo di movimento e dello stato di attività, data di attivazione, cause predisponenti e innescanti, danni, studi ed indagini, interventi strutturali.

Sono stati calcolati l'area in frana, la densità dei fenomeni franosi e l'indice di franosità relativo ai diversi ambiti territoriali utilizzando le informazioni contenute nel database cartografico.

Sono state quindi effettuate alcune elaborazioni mediante l'utilizzo delle principali funzionalità GIS di analisi e sovrapposizione di più livelli informativi. In particolare sono stati analizzati alcuni fattori, come l'acclività e l'uso del suolo, che influenzano la genesi e la dinamica dei dissesti franosi. Sono stati individuati i potenziali punti di criticità nei centri abitati e lungo le reti autostradale, stradale e ferroviaria sovrapponendo i livelli informativi delle frane dell'Inventario su quelli dell'urbanizzato e delle infrastrutture lineari. E' stata effettuata un'elaborazione finalizzata alla determinazione dei livelli di attenzione relativamente al rischio da frana, su base comunale.

E' stato condotto, infine, uno studio sulle frane costiere per conoscere la distribuzione, il numero e le principali caratteristiche di tali fenomeni che insistono su un territorio strategico per il turismo e le vie di comunicazione.

3.1 La banca dati

L'inventario ha censito, alla data del 31 dicembre 2006, 469.298 fenomeni franosi che interessano un'area di quasi 20.000 km², pari al 6,6% del territorio nazionale. Sono state compilate 469.298 schede di 1° Livello, 56.731 schede di 2° Livello e 19.241 di 3° Livello (vedi capitolo 2, paragrafo 2.4.2).

Tabella 3.1 Parametri principali.

Regione / Provincia Autonoma	Numero dei fenomeni franosi	Densità dei fenomeni franosi	Area interessata da fenomeni franosi	Indice di Franosità	Indice di Franosità su area montano-collinare
	n.	n./100 km ²	km ²	%	%
Piemonte	35.023	126	2.540	9,1	15,0
Valle d'Aosta	4.359	134	520	16,0	16,0
Lombardia	130.538	547	3.308	13,9	29,9
Bolzano-Bozen	1.995	27	463	6,2	6,3
Trento	9.385	151	879	14,2	14,7
Veneto	9.476	52	223	1,2	3,1
Friuli Venezia Giulia	5.253	67	511	6,5	14,8
Liguria	7.515	139	425	7,9	8,1
Emilia Romagna	70.037	317	2.511	11,4	23,2
Toscana	29.208	127	1.035	4,5	5,6
Umbria	34.545	408	651	7,7	8,7
Marche	42.522	442	1.882	19,4	21,2
Lazio	10.548	61	398	2,0	3,0
Abruzzo	8.493	78	1.241	11,4	12,5
Molise	22.527	508	494	11,1	12,5
Campania	23.430	171	973	7,1	8,8
Puglia	843	4	85	0,4	1,0
Basilicata	9.004	90	298	3,0	3,6
Calabria	9.417	62	822	5,5	6,0
Sicilia	3.657	14	500	1,9	2,2
Sardegna	1.523	6	188	0,8	1,0
ITALIA	469.298	155	19.946	6,6	8,9

L'indice di franosità è pari al rapporto percentuale dell'area in frana sulla superficie totale, mentre l'indice di franosità montano-collinare rappresenta il rapporto tra l'area in frana e la superficie del territorio montano-collinare di ciascuna Regione/Provincia Autonoma.

I parametri che forniscono un quadro più rappresentativo dello stato del dissesto da frana sono l'area totale in frana e l'indice di franosità calcolato sul territorio montano-collinare. Quest'ultimo esprime infatti l'incidenza della franosità sul territorio regionale potenzialmente interessato da fenomeni franosi.

Le Regioni che presentano l'indice di franosità su territorio montano-collinare più elevato sono Lombardia, Emilia Romagna, Marche, Valle d'Aosta e Piemonte.

Tuttavia i dati relativi alle Regioni Basilicata, Calabria e Sicilia risultano sottostimati rispetto alla reale situazione di dissesto poiché, ad oggi, l'attività di censimento dei fenomeni franosi è stata concentrata prevalentemente nelle aree in cui sorgono centri abitati o interessate dalle principali infrastrutture lineari di comunicazione.

Alcune non omogeneità dei dati di franosità riscontrabili dall'analisi della Tabella 3.1 e della Figura 3.1 sono legate oltre che al diverso livello di dettaglio di partenza dei censimenti, anche

al maggiore o minore utilizzo della aerofotointerpretazione, dei rilievi e verifiche di campagna, nonché della ricerca storica e di archivio nella metodologia di lavoro adottata dalle singole Regioni/Province Autonome.

Occorre sottolineare inoltre che per alcune Regioni è in corso l'attività di integrazione e aggiornamento dei dati e che quindi i numeri riportati in Tabella 3.1 potranno subire variazioni.

Nella Figura 3.1 è rappresentato, per il territorio nazionale, il valore dell'indice di franosità (%) calcolato su una maglia di lato 1 km.

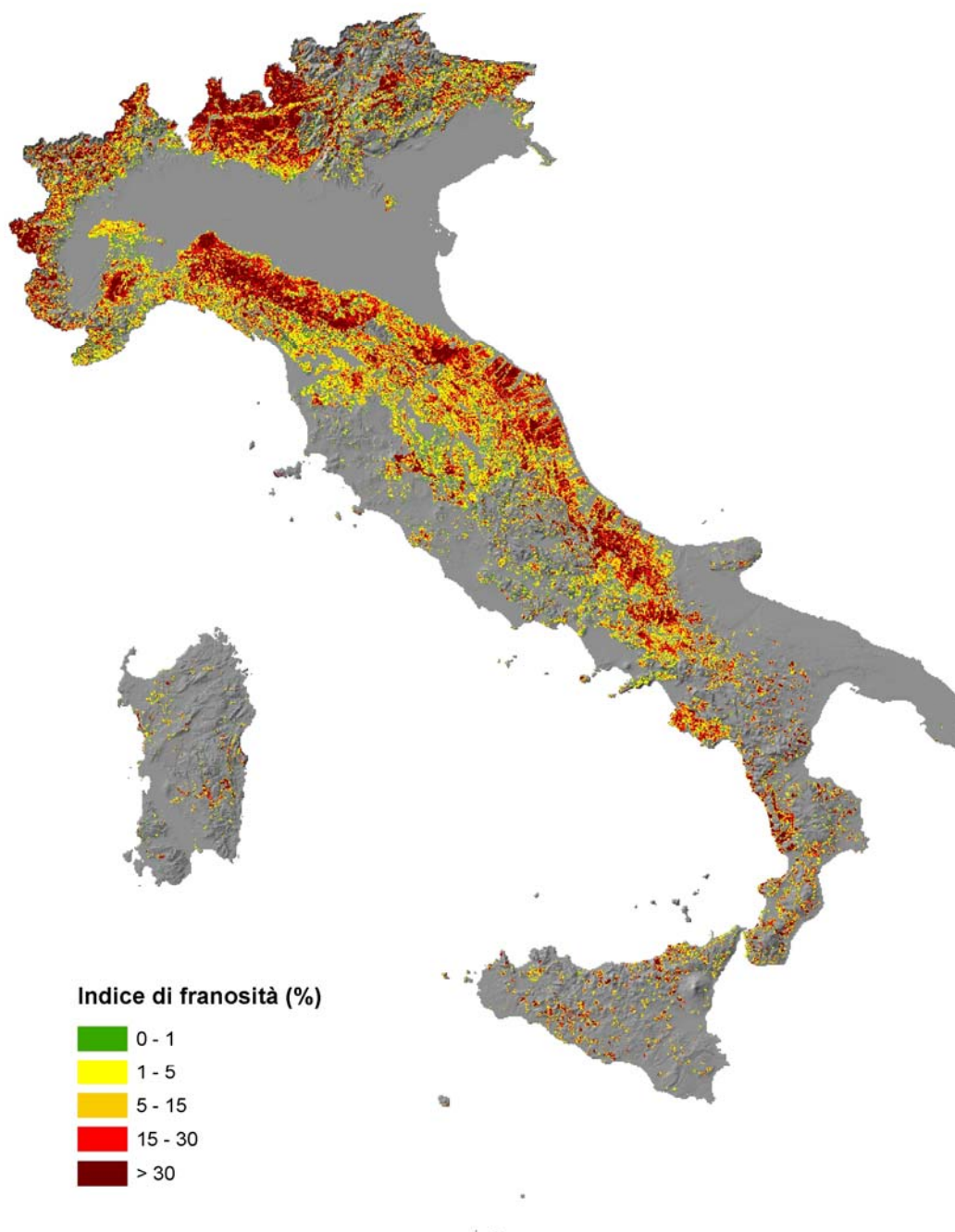


Figura 3.1 Indice di franosità (%)

Per il calcolo dell'indice di franosità montano-collinare è stato definito preliminarmente un Modello orografico d'Italia semplificato, che discrimina le zone montano-collinari dalle aree di pianura. A tal fine è stato utilizzato come parametro principale l'acclività, derivata dal DEM

20x20 metri, mediante la funzionalità GIS *Slope* (Figura 3.2a). E' stata quindi individuata una soglia pari a 3°, risultata ottimale da un'analisi su ampi settori del territorio italiano per individuare le principali aree di pianura. Per includere, inoltre, nel territorio montano-collinare le superfici pianeggianti o sub-pianeggianti sopraelevate rispetto al livello del mare è stato introdotto come filtro la quota altimetrica di 300 m s.l.m..

Il risultato dell'elaborazione in Figura 3.2b mostra che circa il 75% della superficie del territorio nazionale è occupato dal territorio montano-collinare (225.206 km²).

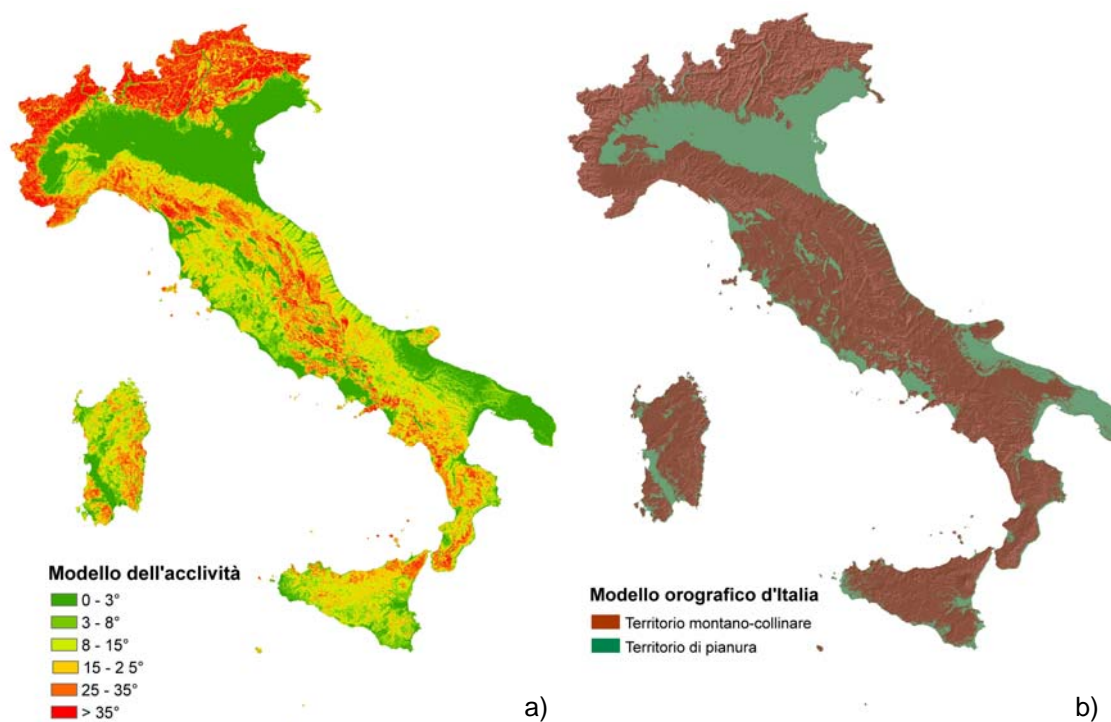


Figura 3.2 a) Modello dell'acclività; b) Modello orografico d'Italia.



Figura 3.3 Vista prospettica 3D del Monte Pomagagnon, Cortina d'Ampezzo (BL) - DTM 20x20 m, Ortofoto Digitale Colori.

In Figura 3.4 è riportato l'indice di franosità su base provinciale. Le province con più elevato indice di franosità sono Sondrio, Lecco, Chieti, Pesaro e Urbino e Ancona.

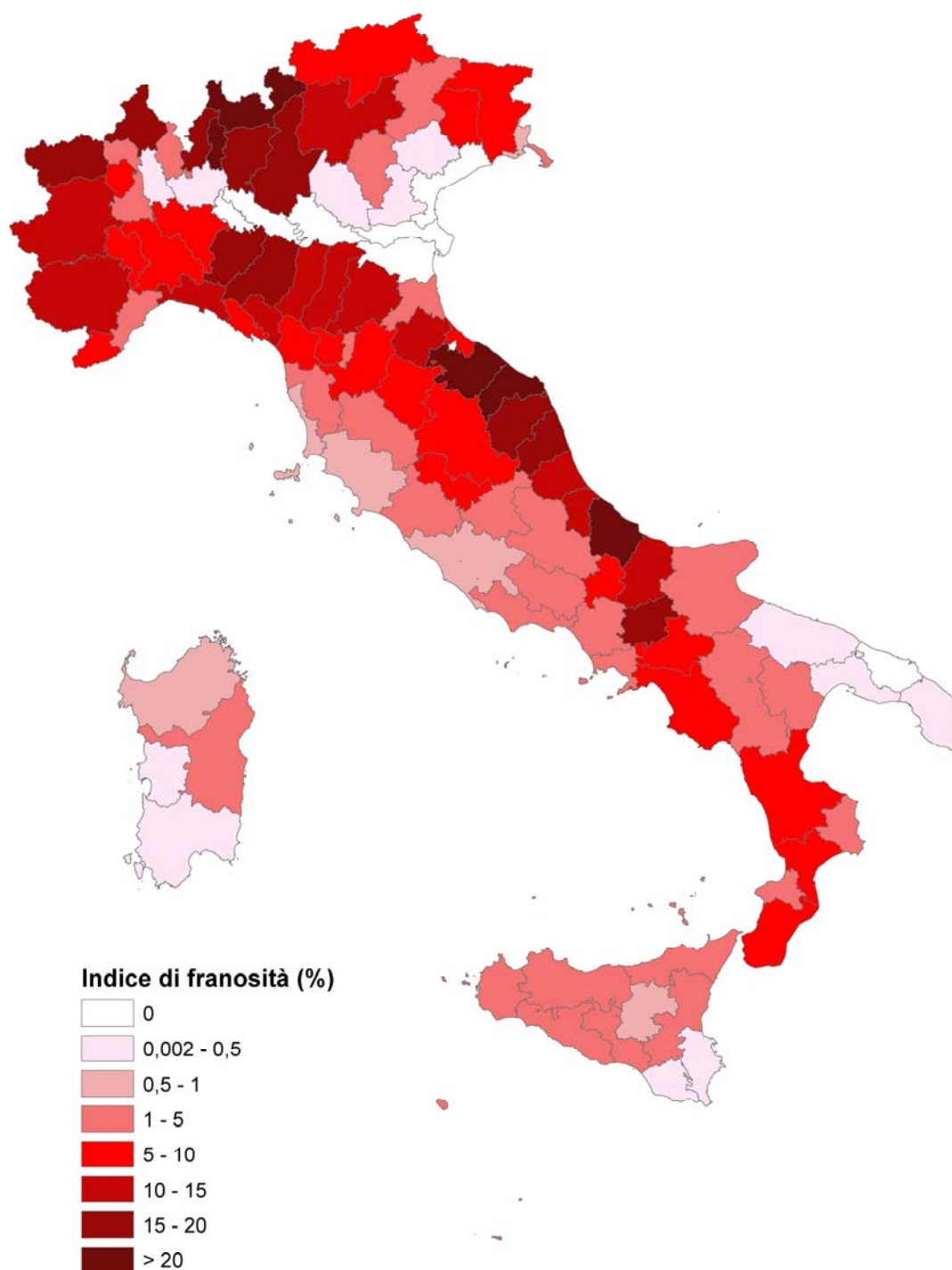


Figura 3.4 Indice di franosità su base provinciale.

3.2 Analisi dei principali parametri del database alfanumerico

3.2.1 Metodologia utilizzata per la valutazione del tipo di movimento e dello stato attività

Come riportato nell'“Allegato 1 - Guida alla compilazione della scheda frane IFFI”, lo stato di attività e il tipo di movimento possono essere valutati con differenti metodologie da cui dipende in modo sostanziale il grado di affidabilità e di accuratezza del dato. E' chiaro che un dato derivante da un monitoraggio strumentale in continuo risulta sicuramente più preciso e offre più garanzie rispetto a quello rilevato mediante l'utilizzo dell'aerofotointerpretazione o dei rilevamenti di campagna.

Come riportato nella Figura 3.5, l'aerofotointerpretazione è stata impiegata per 281.159 frane, il rilevamento sul terreno per 93.017 frane, il monitoraggio per 355 frane; il dato storico o di archivio per 143.708 frane e le segnalazioni di Enti o testimonianze oculari per 5.038 frane.

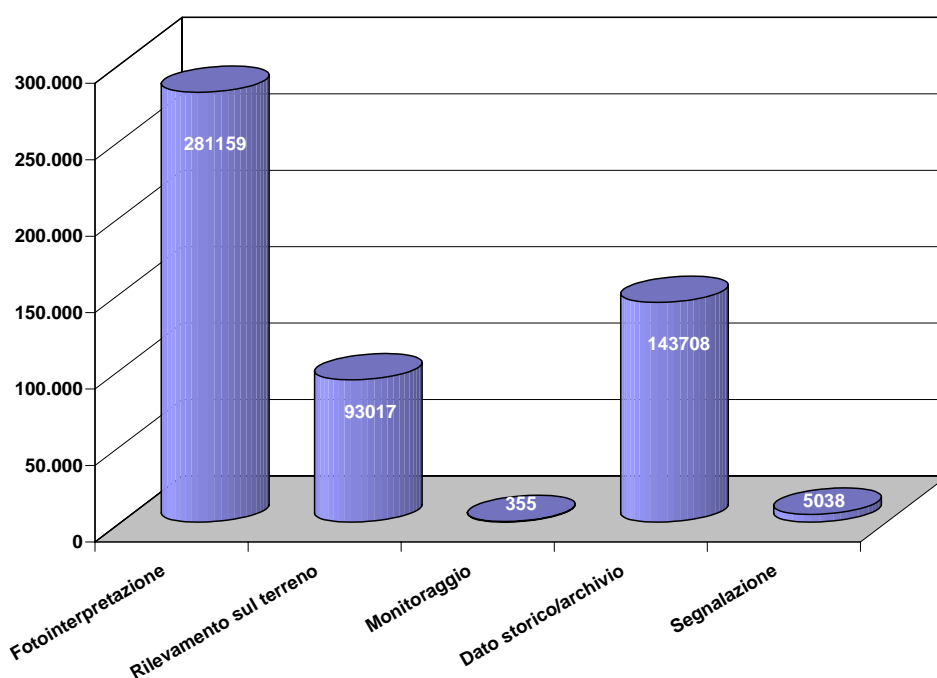


Figura 3.5 Metodologia utilizzata per la valutazione della tipologia di movimento e dello stato di attività.

3.2.2 Tipologia di movimento

Le tipologie di movimento maggiormente rappresentate sul territorio nazionale sono gli scivolamenti rotazionali/traslativi con quasi il 33% del numero totale di frane, i colamenti lenti con il 15,5%, i colamenti rapidi con quasi il 15% e i movimenti di tipo complesso con l'11,6% (Figura 3.6). Sebbene gran parte delle frane siano caratterizzate da un movimento di tipo complesso, secondo le specifiche tecniche del Progetto IFFI sono state classificate, ove possibile, in base al tipo di movimento prevalente.

I valori percentuali cambiano sensibilmente se si prende in considerazione, per ciascuna tipologia di movimento, la superficie dell'area in frana invece del numero totale dei dissesti. Le DGPV (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante), ad esempio, rappresentano solo lo 0,32% del numero totale di dissesti ma quasi il 10% dell'area totale in frana, in quanto coinvolgono generalmente ampi settori di versante.

L'analisi è stata effettuata sui dati di 1° livello della Scheda Frane.

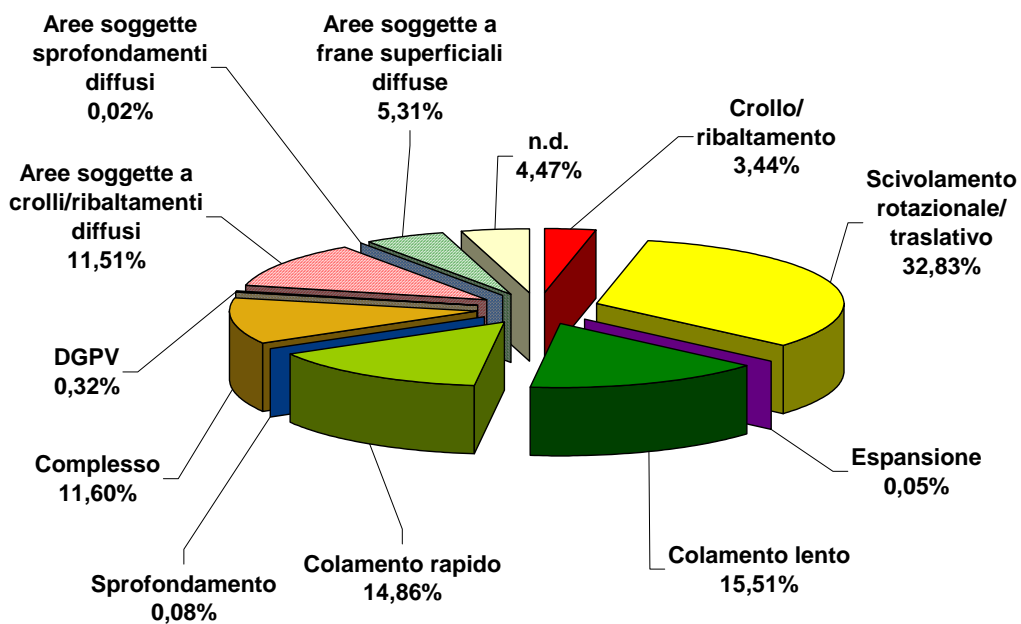


Figura 3.6 Tipologia di movimento (%).

In Tabella 3.2 è riportata l'area media in frana per ciascuna tipologia di movimento.

Tabella 3.2 Area media in frana per tipologia di movimento.

Tipologia di movimento	Area media in frana (m ²)
DGPV	1.308.990
Aree soggette a sprofondamenti diffusi	144.283
Espansione	92.161
Complesso	86.587
Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	75.230
Aree soggette a frane superficiali diffuse	55.003
Colamento lento	31.002
Scivolamento rotazionale/traslativo	30.078
Crollo/ribaltamento	25.914
Sprofondamento	16.549
Colamento rapido	15.210



Figura 3.7 Fenomeni di ribaltamento, Dorgali (NU).

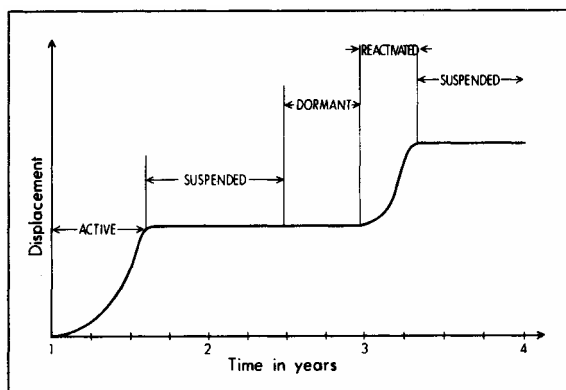


Figura 3.8 Frana complessa del Tessina, Chies d'Alpago (BL).

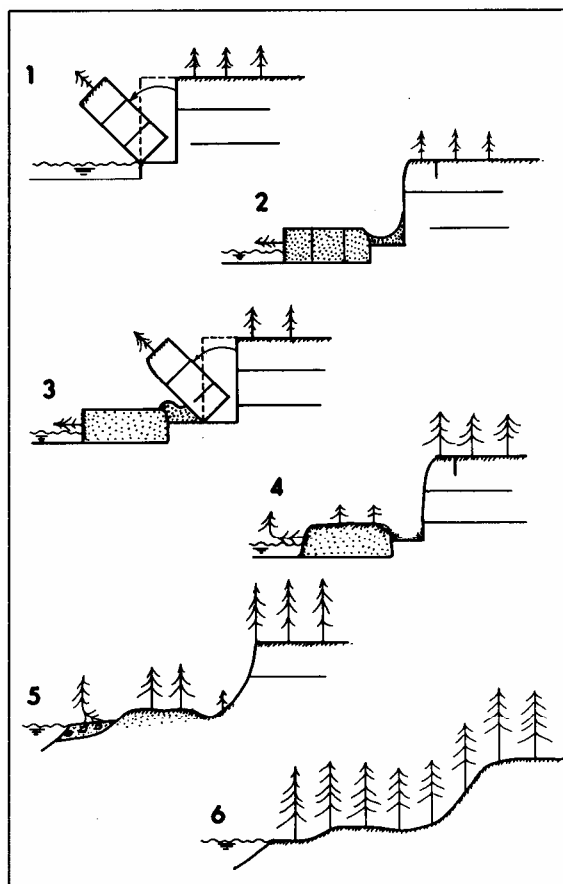
3.2.3 Stato di attività

La classificazione adottata per la descrizione dello stato di attività si basa sulle raccomandazioni del WP/WLI (1993), tradotte in italiano in Canuti & Esu (1995), Canuti & Casagli (1994) e riproposte più recentemente da Cruden & Varnes (1996). Tale classificazione considera **attiva** (*active*) una frana attualmente in movimento, **riattivata** (*reactivated*) una frana nuovamente attiva dopo uno stato di inattività, **sospesa** (*suspended*) una frana che non si muove attualmente ma si è mossa nell'ultimo ciclo stagionale. Se l'ultima fase di attività è antecedente l'ultimo ciclo stagionale la frana viene definita **inattiva** (*inactive*). Le frane inattive si possono dividere ulteriormente in: **quiescente** (*dormant*), se si ritiene possibile una riattivazione, oppure **stabilizzata** (*stabilized*) se non si ritiene possibile una riattivazione, distinguendo inoltre tra **naturalmente stabilizzata** (*abandoned*) o **artificialmente stabilizzata** (*artificially stabilized*), mediante interventi strutturali di consolidamento. Infine sono definite **relicte** (*relict*) le frane sviluppatesi in condizioni geomorfologiche o climatiche diverse dalle attuali (Figura 3.9).

L'attribuzione dello stato di attività risente del metodo utilizzato per la sua determinazione (osservazione diretta durante rilievi di campagna, dati di archivio, analisi delle foto aeree, dati acquisiti con monitoraggio strumentale, dati di interferometria radar satellitare – Dif-SAR, ecc..) ed è legata all'aggiornamento della **data di osservazione**. Ben poche frane mostrano uno stato di attività costante nel tempo, mentre molti più corpi franosi alternano brevi fasi di attività con lunghi periodi di inattività. Questo significa che l'attribuzione di una frana ad una determinata classe potrebbe risultare già "superata" dopo un breve periodo di tempo e quindi potenzialmente fuorviante qualora non si conoscesse la data dell'osservazione.



a)



b)

Figura 3.9 a) Grafico relativo allo stato di attività dei fenomeni franosi nel tempo; b) Frana di ribaltamento in differenti stati di attività: 1. attiva, l'erosione all'unghia del pendio causa il ribaltamento di un blocco; 2. sospesa, fessurazione locale nella zona di coronamento; 3. riattivata, ribaltamento di un nuovo blocco; 4. quiescente, il corpo di frana viene colonizzato dalla vegetazione, le scarpate sono rimodellate dall'azione meteorica; 5. naturalmente stabilizzata, la deposizione fluviale ha protetto la base del pendio; 6. relicta, si è ristabilita una copertura vegetale uniforme (da Cruden & Varnes, 1996).

Il 46% delle frane censite è classificato come attivo, riattivato o sospeso; il 39% come quiescente, il 3% stabilizzato. Infine l'1% è costituito da fenomeni relitti.

Lo stato di attività non è determinato per circa l'11% delle frane (Figura 3.10).

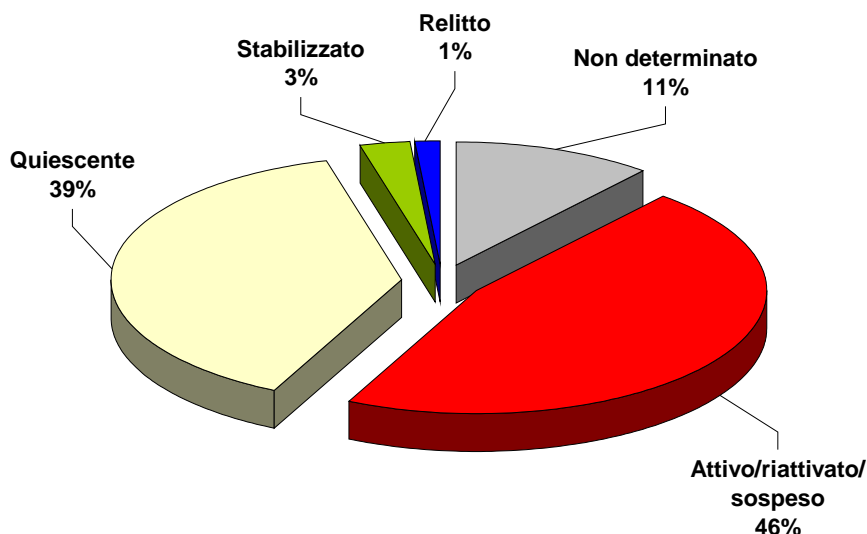


Figura 3.10 Stato di attività (%).

Alcune Amministrazioni regionali, nell'ambito del Progetto IFFI, hanno impiegato le tecniche di interferometria satellitare con metodo Dif-SAR (Synthetic Aperture Radar) per il monitoraggio dei movimenti franosi. La tecnica dei diffusori permanenti (Permanent Scatter Technique) permette di ricavare la distribuzione delle velocità annue e di ricostruire la storia delle deformazioni di alcuni bersagli al suolo quali manufatti, case o superfici rocciose, analizzando le serie temporali di dati radar satellitari acquisiti dai satelliti ERS-1 e ERS-2 dall'ESA (European Space Agency) nel periodo compreso tra 1992 e 2002 (Ferretti et alii, 2005).

3.2.4 Data di attivazione

La data di attivazione dei fenomeni franosi è stata ricavata da differenti fonti di informazione come archivi di enti di ricerca e territoriali, giornali, pubblicazioni, testimonianze orali, audiovisivi, documenti e cartografia storica, foto aeree, immagini telerilevate o mediante metodologie di datazione.

La data di attivazione è un parametro molto importante per molteplici aspetti quali le soglie d'innesco pluviometriche e il tempo di ricorrenza.

Soglie pluviometriche

Per la determinazione delle soglie pluviometriche, che rappresentano il valore minimo della variabile idrologica (intensità e durata di pioggia, precipitazione cumulata) per l'innesco del fenomeno franoso, è fondamentale conoscere il giorno e l'ora dell'evento di frana e i valori dell'evento pluviometrico correlato.

Tali soglie, valide solo all'interno di un definito ambito territoriale con caratteristiche geologiche e climatiche omogenee (Figura 3.11), consentono di separare statisticamente il campo di stabilità da quello di instabilità: al di sopra della curva i valori di precipitazione determinano una situazione critica per l'innesco di fenomeni franosi, al di sotto invece prevalgono le condizioni di stabilità (Govi et alii, 1985; Glade et alii, 2000; Crosta & Frattini, 2000; Del Maschio et alii, 2005). Le soglie pluviometriche rappresentano una componente importante per la previsione e prevenzione delle catastrofi idrogeologiche in particolare per quanto riguarda l'attivazione dei sistemi di allerta e allarme di Protezione Civile.

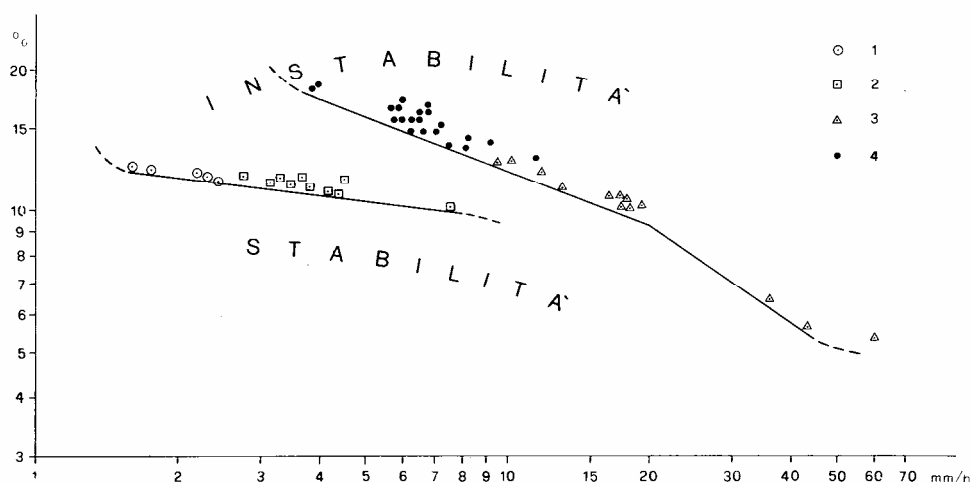


Figura 3.11 Relazione tra fase iniziale della franosità in terreni superficiali e parametri idrologici: intensità oraria e precipitazione cumulata dell'evento, espressa in % della p.m.a. (1 – eventi invernali; 2- eventi primaverili; 3- eventi estivi; 4 – eventi autunnali). Le linee definiscono valori soglia di precipitazione al di sopra dei quali, nelle varie stagioni, nel Bacino Padano occidentale, si innescano le prime frane (da Govi et alii, 1985).

Tempo di ricorrenza e pericolosità

Per valutare il tempo di ricorrenza del fenomeno è fondamentale poter disporre delle informazioni sulle date di attivazione e riattivazione di ciascun fenomeno franoso. Il tempo di ricorrenza risulta indispensabile per l'applicazione dei principali metodi di valutazione della pericolosità da frana che può essere determinata, in funzione della tipologia di movimento, come combinazione del tempo di ritorno e dell'intensità del fenomeno. Ad esempio nel metodo BUWAL (1998) si utilizza una matrice codificata in cui sono previste quattro classi di tempi di ritorno a cui riferire i fenomeni franosi: Tr 1÷30 anni, 30÷100 anni, 100÷300 anni e > 300 anni (Figura 3.12).

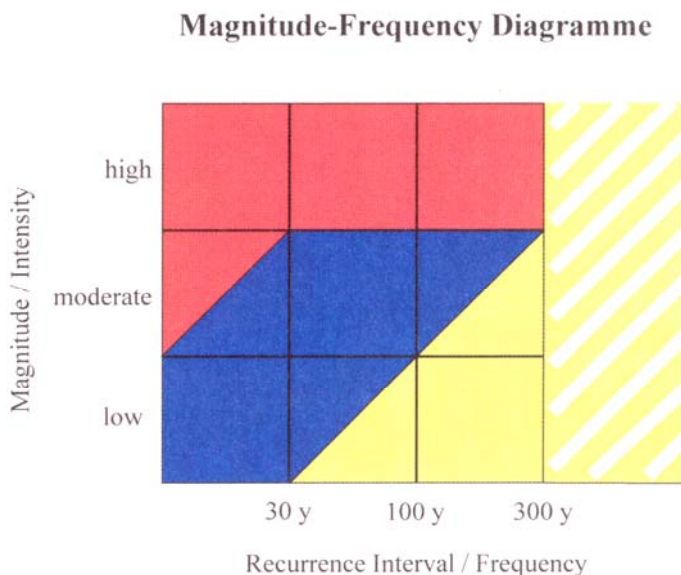


Figura 3.12 Diagramma di Buwal (da Zimmemann, 2005).

In Figura 3.13 è rappresentata la distribuzione per anno, dal 1850 al 2006, dei 19.180 eventi di frana per i quali è stata compilata la **data di attivazione** della Scheda Frane.

Sono 178 gli eventi di frana archiviati nell'Inventario tra il 1116 e il 1849.

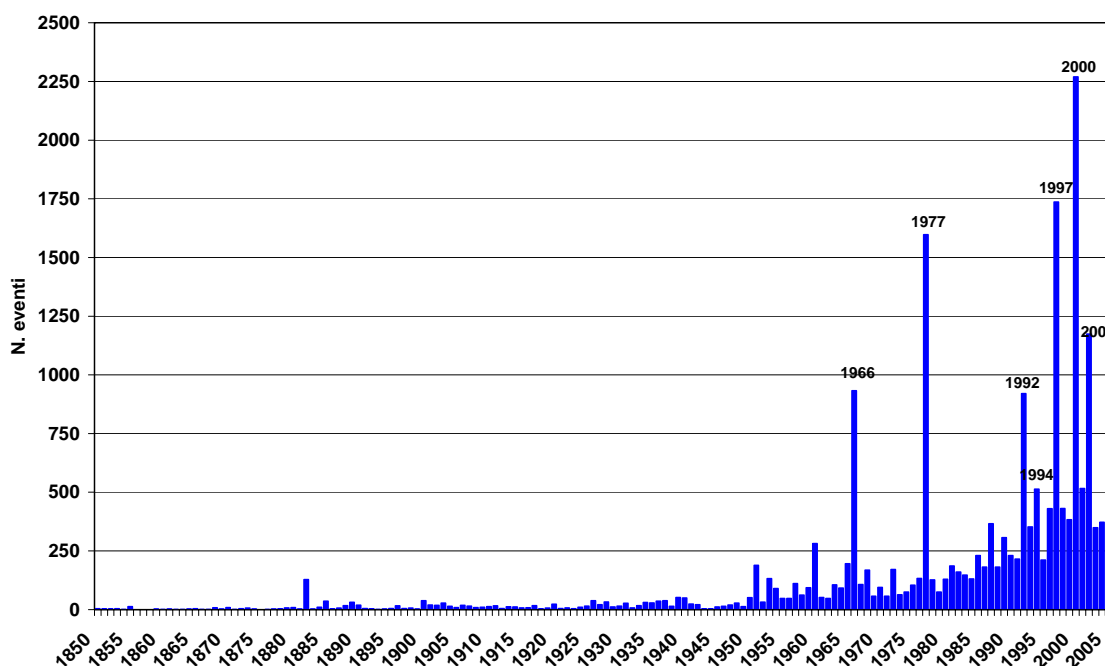


Figura 3.13 Numero di eventi di frana per anno.

Il maggior numero di eventi di frana censiti a partire dagli anni '50 è da porre in relazione con l'incremento demografico e la conseguente antropizzazione del territorio, con l'aumento delle conoscenze in campo geologico e con l'incremento delle fonti di informazione.

Il massimo picco di frane nell'anno 2000 è legato all'intenso evento meteorologico che ha interessato dal 13 al 16 ottobre 2000 l'Italia nord-occidentale, in particolare le aree comprese tra l'alto corso del fiume Po e il fiume Ticino e gran parte della Valle d'Aosta. Durante l'evento sono stati raggiunti valori di precipitazione media in 60 ore di circa 400 mm, con valori di picco in alcune aree di 600 mm.

In Valle d'Aosta l'evento è stato uno dei più gravosi accaduti negli ultimi 250 anni in termini di distruzioni e perdita di vite umane. L'area colpita dai dissesti più rilevanti è costituita dalle valli: Rhêmes, Cogne, Gran San Bernardo, Valtournanche, Champorcher, Gressoney e valle centrale della Dora Baltea. I fenomeni fluviali di sovralluvionamento e i colamenti rapidi hanno causato la perdita di vite umane, ingenti danni a centri abitati, a infrastrutture viarie anche di primaria importanza, alle reti di servizi e alle attività produttive e agricole (Figura 3.14). In particolare le colate rapide di fango e detrito hanno causato la perdita di sei vite umane a Pollein e sette a Fenis (Regione Autonoma Valle d'Aosta, 2000; Berti et alii, 2001).

In Piemonte l'evento ha innescato la riattivazione di alcune grandi frane alpine quiescenti. Ad esempio si è verificata la riattivazione di un antico, vasto e profondo fenomeno franoso in roccia nel comune di Ceppo Morelli con una serie di crolli di blocchi variabili tra i 5 e i 250 m³ che hanno causato la parziale distruzione della strada comunale, il danneggiamento e la chiusura della strada statale di fondovalle e l'evacuazione di due centri abitati (ARPA Piemonte, 2003).

Al termine dell'evento, in tutta l'Italia nord-occidentale si contarono 37 fra morti e dispersi (18 in Valle d'Aosta, 5 in Piemonte, 3 in Liguria, 1 in Trentino-Alto Adige, 10 in Canton Ticino in Svizzera) e oltre 40.000 persone evacuate. Il danno economico fu stimato in oltre 5.000 milioni di Euro (GNDCI-CNR, Eventi idrogeologici catastrofici nel dopoguerra in Italia http://sici.irpi.cnr.it/storici_italia.htm).



Figura 3.14 Abitazione investita da un colata rapida di fango e detrito nei pressi della Strada Statale n. 26 della Val d'Aosta, Messigny.

Una delle ultime frane censite nell'Inventario è quella che si è verificata nell'isola di Ischia la mattina del 30 aprile 2006, dopo tre giorni di piogge molto intense. Tra le 7.00 e le 9.00 del mattino, cinque colate di fango e detriti si sono innescate nella parte alta del versante nord del monte di Vezzi (350 m). Una di queste (ID-Frana 0630098200), ha distrutto un'abitazione posta in località Arenella, nella zona detta i Pilastrì del comune di Ischia, provocando 4 vittime ed alcuni feriti (Figura 3.15).

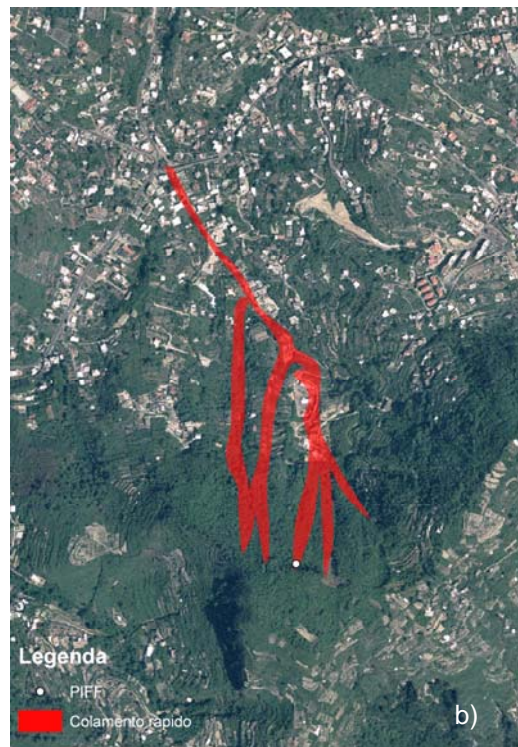


Figura 3.15 a) Cartina dell'isola di Ischia con area interessata dalla frana del 30 aprile 2006; b) Frana censita dal Progetto IFFI nell'ambito della convenzione 2005 tra APAT e Regione Campania. Base raster: Ortofoto digitale a colori Terraltaly (Compagnia Generale Riprese Aeree, Parma).

Legenda

- PIFF
- Colamento rapido

3.2.5 Cause predisponenti e innescanti

La classificazione delle cause adottata dal Progetto IFFI si basa sulle raccomandazioni del *International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory* (WP/WLI, 1994) riprese anche da Cruden & Varnes nel 1996.

Secondo quanto riportato nella Scheda Frane, le cause che condizionano l'instabilità dei versanti vengono raggruppate in quattro sezioni.

- **cause intrinseche** legate alle caratteristiche litologiche, meccaniche, strutturali, tessiturali, di alterazione, stratigrafiche, al contrasto di competenza e permeabilità;
- **cause fisiche** riconducibili alle caratteristiche e alla distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni, alla fusione rapida di neve o ghiaccio, al regime termometrico all'abbassamento/innalzamento del livello idrico esterno, ai terremoti, ecc..;
- **cause geomorfologiche** legate all'azione erosiva dei torrenti al piede del versante e del moto ondoso alla base della falesia, sollevamento tettonico, ecc..;
- **cause antropiche** quando l'azione dell'uomo ha comportato una modifica delle condizioni di equilibrio dei pendii (scavi, disboscamenti, attività agricole e pratiche colturali, ecc.).

Spesso l'instabilità di un versante è dovuta all'interazione di più cause concomitanti.

Le principali cause predisponenti ed innescanti dei fenomeni franosi sono rappresentate in Figura 3.16.

Le precipitazioni brevi ed intense e quelle eccezionali/prolungate costituiscono circa un terzo del totale del campione considerato, pari a 52.720. Tra le altre cause, presentano una maggiore frequenza il materiale fratturato e l'erosione fluviale alla base del versante.

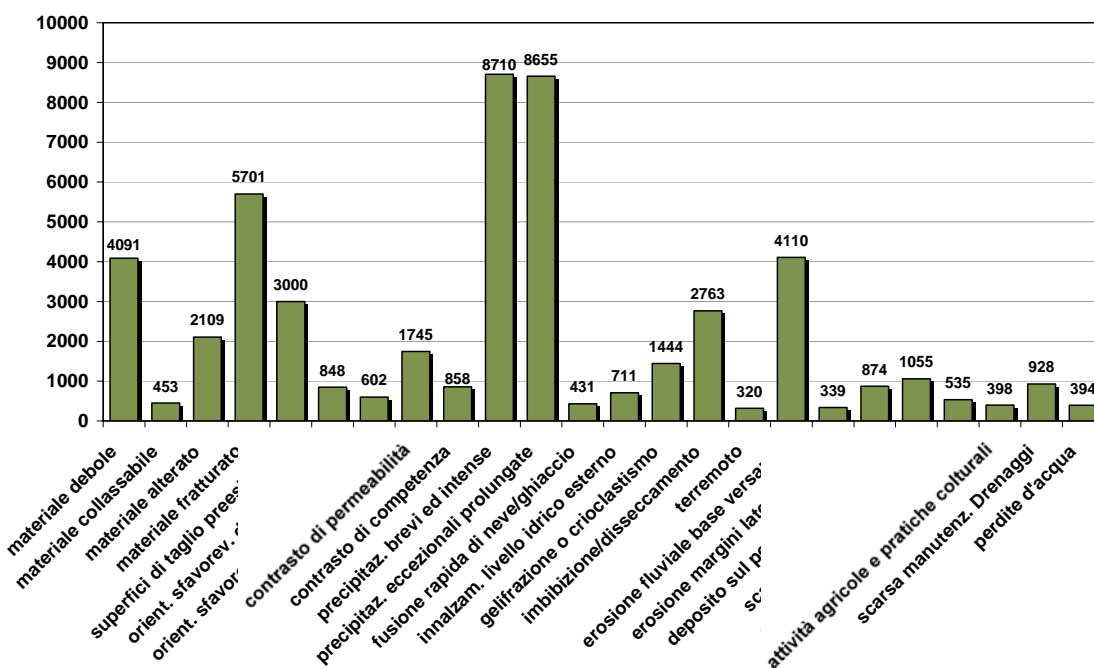


Figura 3.16 Cause predisponenti e innescanti dei fenomeni franosi.

Le precipitazioni risultano quindi il più importante fattore di innesco dei fenomeni franosi, come universalmente riconosciuto dalla letteratura tecnico-scientifica.

I fenomeni rapidi e superficiali, quali ad esempio i *soil slip* e i *debris flow* che interessano soprattutto i terreni di copertura con una permeabilità medio-alta, si innescano principalmente in occasione di eventi pluviometrici brevi ed intensi.

Frane con una maggiore profondità della superficie di scivolamento o che coinvolgono litotipi prevalentemente argillosi sono invece condizionate prevalentemente dalle precipitazioni prolungate.



Figura 3.17 Frana di S. Andrea in prossimità dell'abitato di Perarolo di Cadore (BL) riattivata il 18/11/2000 dopo le intense precipitazioni del mese di ottobre 2000. L'intensa fratturazione e le scadenti caratteristiche geomeccaniche e del substrato anidridico-gessoso e calcareo costituiscono i fattori predisponenti all'instabilità del versante.

Per quanto riguarda le cause antropiche, i fattori predisponenti più significativi e ricorrenti per la genesi dei fenomeni franosi sono gli scavi al piede del pendio e più in generale gli scavi per la realizzazione di strade di montagna e forestali (Figura 3.18).

A tale riguardo, durante i rilievi effettuati dai geologi dell'ANPA (Vittori et alii, 2000) a Cervinara subito dopo l'evento del 15 dicembre 1999 è stata osservata, per almeno due fenomeni di colata rapida di fango e detrito, una corrispondenza tra la zona di innesco e i tagli stradali (Figura 3.18-Figura 3.19).



Figura 3.18 Scivolamento traslativo evolvente a colata innescatosi in corrispondenza di un tornante di una strada forestale, Cervinara (AV) 15/12/1999.

In particolare la strada forestale osservabile in Figura 3.19, priva di adeguate opere di sostegno e di regimazione delle acque, ha costituito una sede preferenziale per il convogliamento e l'infiltrazione delle acque superficiali, contribuendo in modo significativo all'instabilità del versante. In più punti, lungo la stessa, erano state rilevate fratture di trazione lunghe diverse decine di metri che indicavano condizioni di instabilità di ampi settori del versante.



Figura 3.19 Colata rapida di fango, Cervinara (AV). Il pendio è tagliato in più punti da una strada forestale.

Guadagno et alii (2001, 2003), sulla base di dettagliati rilievi nell'area di innesco della colata rapida sopra descritta, hanno effettuato alcune simulazioni numeriche utilizzando il codice di calcolo alle differenze finite FLAC 3.3. In particolare, su alcune sezioni caratteristiche del versante, è stato schematizzato un modello litologico con cinque livelli piroclastici in appoggio sul substrato calcareo e adottato un modello a pendio infinito con un'inclinazione di 45°. Le analisi effettuate mostrano gli effetti indotti sulla stabilità del pendio da uno o più tagli stradali che incidono le coperture piroclastiche per il loro intero spessore (Figura 3.20).

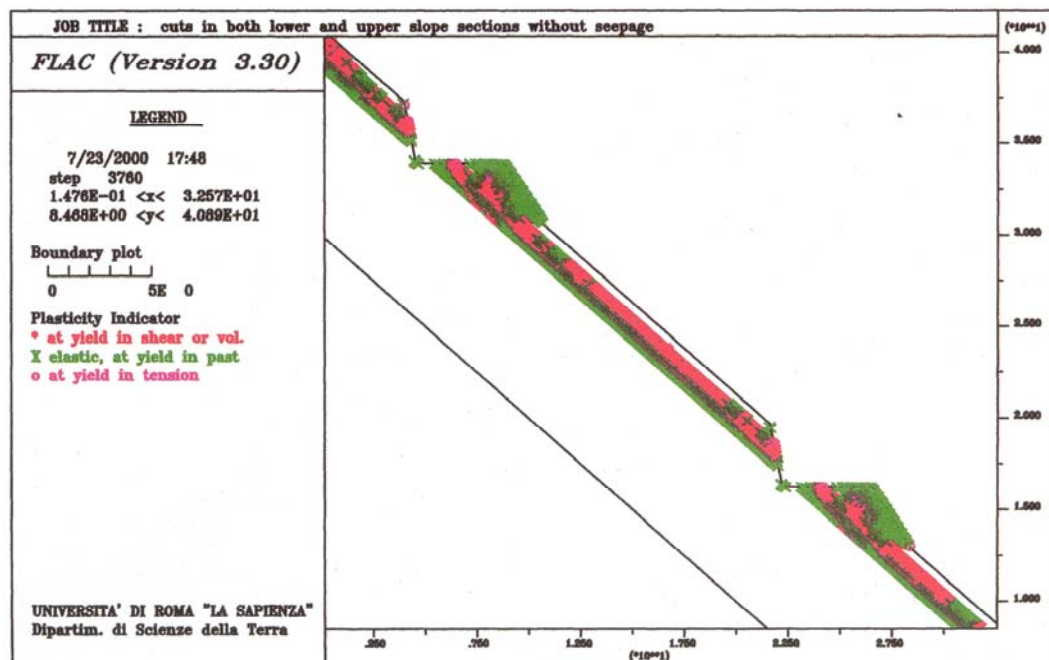


Figura 3.20 Simulazione numerica della distribuzione degli stati di deformazione in presenza di due tagli stradali (da Guadagno et alii, 2001).

3.2.6 Danni

Le frane statisticamente rappresentano dopo i terremoti le calamità naturali che causano il maggior numero di vittime e di danni a centri abitati, infrastrutture, beni ambientali, storici e culturali. Dal secondo dopoguerra ad oggi gli eventi che hanno causato più vittime sono stati la crisi idrogeologica nel Salernitano dell'ottobre 1954, la catastrofe del Vajont dell'ottobre 1963 e la frana in Val di Stava del luglio 1985, rispettivamente con 297, 1917 e 269 morti; le colate rapide del 5 maggio 1998 a Sarno, Quindici, Bracigliano, Siano e a S. Felice a Canello con 153 morti (Catenacci, 1992; Guzzetti, 2000).

L'inventario contiene informazioni sui danni, nella scheda di I Livello, per 36.890 fenomeni franosi. Gli elementi maggiormente colpiti sono le strade, il terreno agricolo e i centri abitati (Figura 3.21-Figura 3.22).

Per quanto riguarda i danni a persone causati da frane in Italia, nell'inventario sono censite complessivamente 6.549 vittime.

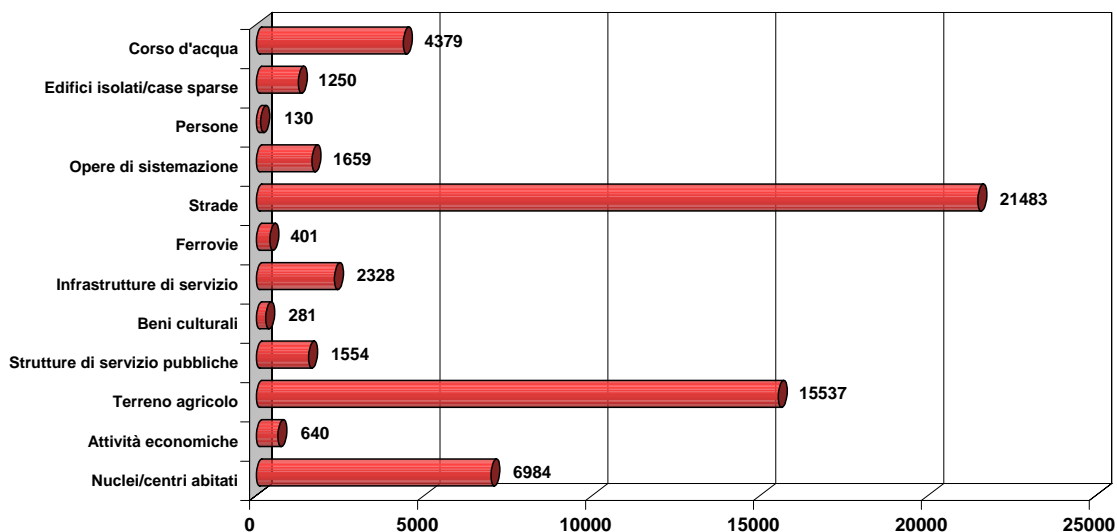


Figura 3.21 Danni (scheda 1° Livello).



Figura 3.22 Abitazione danneggiata da un fenomeno di crollo, Crocefieschi (GE).

Al secondo Livello della Scheda Frane, relativamente ai danni, sono riportate informazioni di maggior dettaglio. Ad esempio, per quanto riguarda i “danni a corsi d’acqua”, sono stati censiti 146 casi di frane di sbarramento totale, 833 casi di sbarramento parziale e 198 deviazioni del corso d’acqua ad opera del materiale franato.

Il fenomeno di sbarramento fluviale più rilevante è stato determinato nel luglio 1987 dalla frana della Val Pola (Valtellina, SO).

Tra il 15 e 22 luglio 1987 si verificarono in Valtellina intense precipitazioni (circa 600 mm di pioggia); inoltre temperature eccezionalmente elevate favorirono lo scioglimento delle nevi perenni, con fenomeni di piena del fiume Adda e dei suoi affluenti.

Tra il 18 e 19 luglio la formazione di un *debris fan* ai piedi del versante originò uno sbarramento del fiume Adda con la formazione di un lago di circa 50.000 m³. Il 28 luglio alle ore 7.23 sul versante orientale del monte Zandila si innescò uno scivolamento di circa 35 milioni di m³, evoluto rapidamente in valanga di roccia (*rock avalanche*). La frana determinò un'onda di piena catastrofica che, propagandosi verso monte per 2,7 chilometri, distrusse tre villaggi e causò complessivamente 27 vittime. Tale frana occluse completamente l'alveo dell'Adda formando un lago con volume di 22 milioni di m³ (Costa, 1991).

Immediatamente dopo l'evento di frana furono adottate misure di emergenza per tenere basso il livello del lago mediante il pompaggio delle acque; successivamente venne realizzato un tunnel di by-pass per la diversione del fiume Adda e un rilevato alla base del versante.

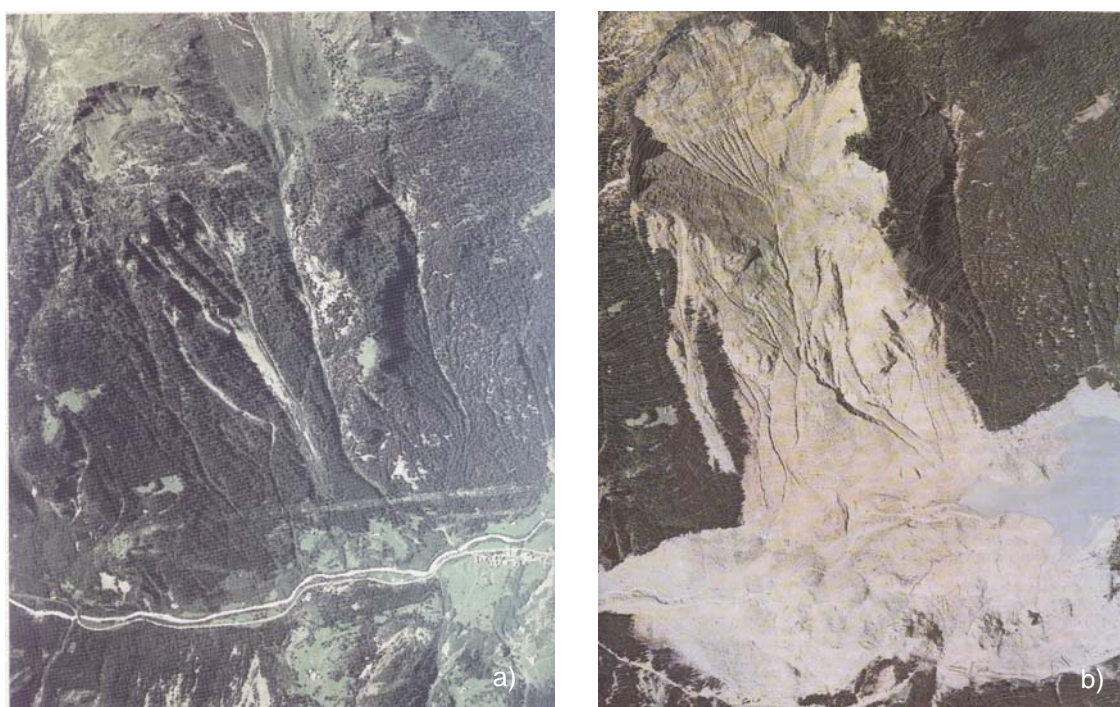


Figura 3.23 Frana della Val Pola, Valtellina, prima e dopo l'evento del 28 luglio 1987.

In Figura 3.24 si osserva lo sbarramento del Fiume Biferno determinato dalla frana complessa in località Covatta (comune di Ripalimosani - CB) riattivatasi il 12 aprile 1996 (Corbi et alii, 1996).

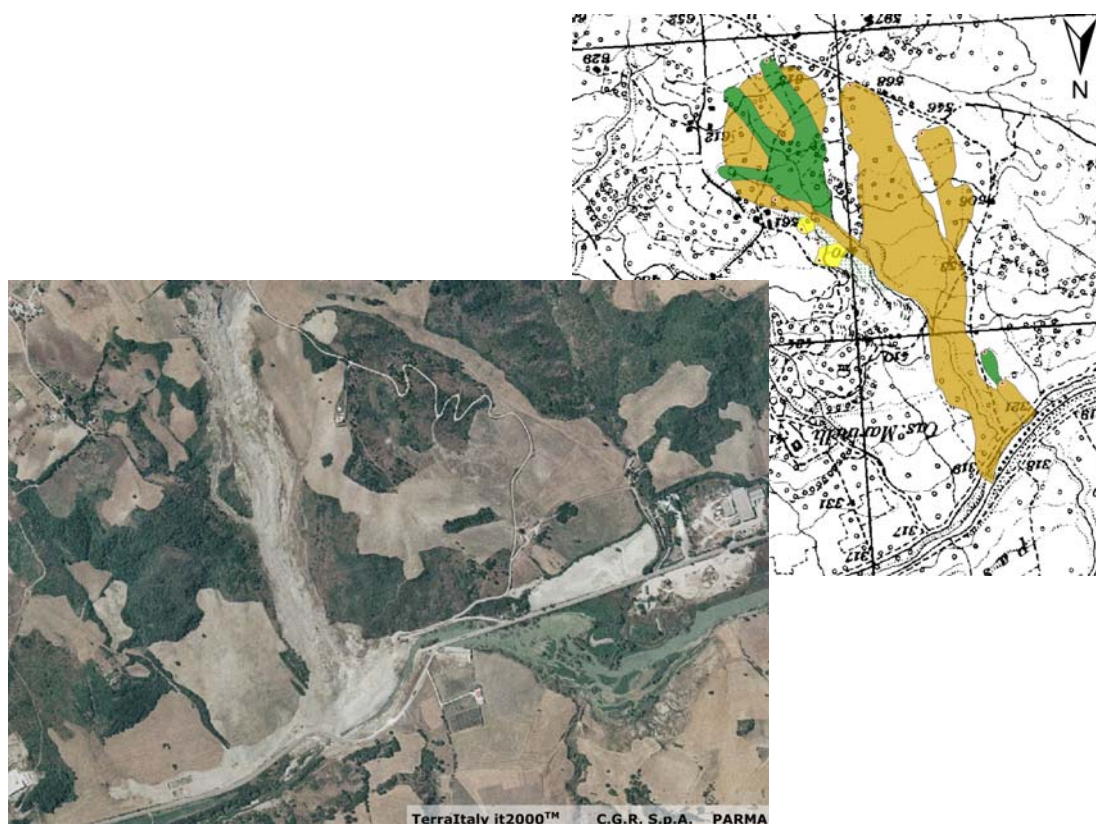


Figura 3.24 Frana complessa in località Covatta con sbarramento del fiume Biferno.

3.2.7 Studi e indagini

L'analisi delle informazioni riportate in questa sezione consente di valutare il grado di dettaglio con il quale è stata studiata ciascuna frana. In particolare viene riportata l'esistenza di relazioni geologiche o tecniche, progetti preliminari, definitivi o esecutivi per la sistemazione del dissesto, indagini geognostiche e sistemi di monitoraggio esistenti.

Gli **studi ed indagini**, archiviati nel III Livello della Scheda Frane, sono 9.233 (Figura 3.25).

Le indagini geognostiche e i sistemi di monitoraggio strumentale sono finalizzati all'acquisizione di informazioni tecniche sulle frane quali i parametri fisici (peso specifico, granulometria, ecc.), geomeccanici (resistenza al taglio, ecc.), la profondità della superficie di scivolamento, il livello della superficie della falda acquifera, lo stato di attività e il cinematisimo della frana. Tali parametri sono indispensabili sia per la progettazione di interventi di consolidamento e stabilizzazione, sia per la valutazione ex post della reale efficacia dell'intervento.

Diverse sono le misure e le tecniche che possono essere utilizzate per lo studio ed il monitoraggio della frana (Devin, 1989, Ribacchi, 1986; Squarzone, 2005, Teza, 2004):

- misura degli spostamenti in superficie tramite Laser Scanning, rilievi aerofotogrammetrici, misure topografiche, misure con strumentazione GPS, misure con estensimetri, fessurimetri, ecc.;
- misura delle deformazioni in profondità con strumentazione in foro (inclinometri);
- controllo e misurazione del livello di falda (piezometri);
- indagini geofisiche (geoelettrica e sismica)

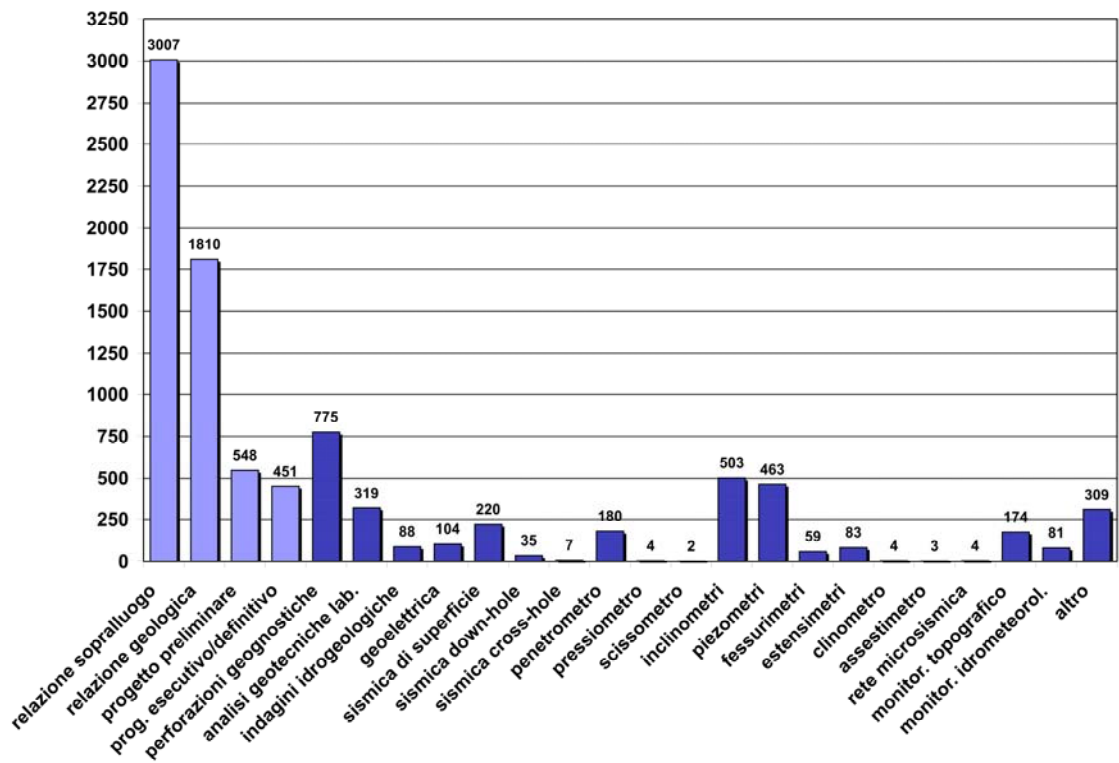


Figura 3.25 Studi e indagini



Figura 3.26 Inclino metro, frana di Perarolo (BL).

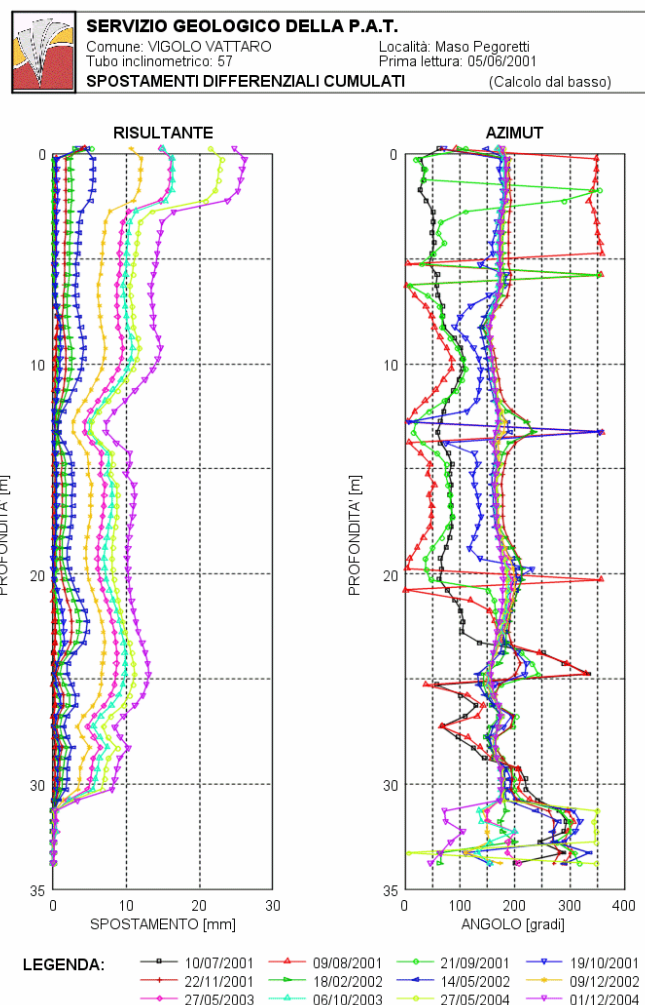


Figura 3.27 Frana di Marzola, Comune di Vigolo Vattaro, rappresentazione degli spostamenti orizzontali cumulati del tubo inclinometrico (a sinistra) e delle inclinazioni locali (a destra), Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento (<http://www.protezionecivile.tn.it>).

I sistemi più efficienti di monitoraggio dei movimenti franosi sono costituiti da reti in telemisura, gestiti generalmente da amministrazioni regionali o provinciali, che consentono l'acquisizione in continuo dei principali parametri, l'archiviazione e l'elaborazione dei dati (Figura 3.27).

Lo scopo di un sistema di controllo è la verifica nel tempo dell'evoluzione del fenomeno franoso mediante la misura degli spostamenti, dei livelli piezometrici e delle altezze pluviometriche. I dati possono essere raccolti periodicamente od in continuo ed analizzati ad intervalli di tempo più o meno regolari.

In un sistema di allarme i dati vengono raccolti e analizzati in continuo ed il fine è quello di attivare, al superamento di soglie predeterminate o in presenza di condizioni critiche, azioni di protezione civile, quali soccorso ed evacuazione della popolazione, ecc.

Il Centro di Monitoraggio Geologico di Sondrio (ARPA Lombardia), istituito nel 1987 a seguito della frana della Val Pola in Valtellina, gestisce una rete di monitoraggio geotecnico, topografico e idrometeorologico su 17 fenomeni franosi nei territori provinciali di Sondrio, Lecco, Bergamo, Como e Brescia. I dati, trasmessi in tempo reale (ogni 30 minuti) per 9 delle 17 aree monitorate (es. Ruinon, Val Pola e Spriana), vengono verificati e validati dai tecnici del Centro (<http://81.208.125.68/default.asp>).

Un altro sistema di controllo e monitoraggio è fornito da ARPA Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche, per conto dei comuni piemontesi, attraverso la rete RERCOMF - REte Regionale di COntrollo dei Movimenti Franosi (<http://www.arpapiemonte.it>).

Attualmente, sono circa 300 le frane del territorio della Regione Piemonte dotate di strumenti di controllo (inclinometri, piezometri e capisaldi per letture topografiche tradizionali o GPS, ecc.). La rete è mirata al controllo, sull'intero territorio regionale, del maggior numero di siti in frana che presentano un elevato rischio, ovvero quando interessano o possono interessare singoli edifici, centri abitati o importanti vie di comunicazione. Il principale traguardo di ARPA Piemonte, attraverso la gestione della rete di monitoraggio e controllo, è quello di garantire una gestione unificata e continuativa dei singoli impianti di monitoraggio esistenti nonché di fornire un supporto agli amministratori locali nelle importanti scelte di pianificazione territoriale e di pronto intervento a seguito di eventi di frana.

3.2.8 Interventi strutturali e non strutturali

La mitigazione del rischio da frana può essere attuata mediante **interventi strutturali e non strutturali**. Gli interventi strutturali hanno l'obiettivo di ridurre la pericolosità, con opere di consolidamento della frana, o la vulnerabilità attraverso la realizzazione di protezioni passive quali reti e barriere paramassi e mediante il consolidamento strutturale degli edifici.

Gli interventi non strutturali quali le delocalizzazioni, i sistemi di allarme, ecc..., consentono di eliminare o ridurre il rischio in caso di evento, minimizzando i danni alle persone.

Gli interventi e le opere di sistemazione e consolidamento di versanti soggetti a fenomeni di dissesto gravitativo sono stati classificati nella Scheda Frane in sette gruppi principali come riportato nel diagramma di Figura 3.28

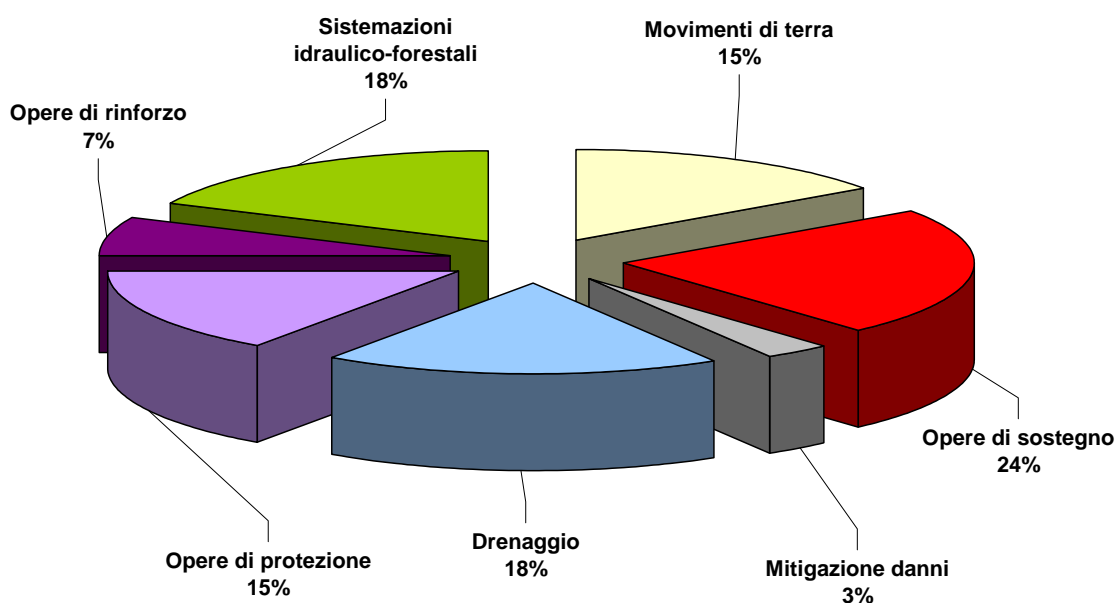


Figura 3.28 Gruppi di interventi strutturali e non strutturali

Vengono di seguito elencate le opere, le operazioni sul pendio e le misure non strutturali di mitigazione del rischio archiviate per un totale di 10.906 interventi nel terzo livello della Scheda Frane (Figura 3.29):

Movimenti di terra: le operazioni sul pendio prevedono generalmente il disgaggio di blocchi instabili, la riprofilatura del pendio con riduzione della pendenza anche mediante la realizzazione di gradonature, la riduzione dei carichi in testa, l'incremento di carichi al piede.

Opere di sostegno: gabbionate, muri di sostegno (a secco, in muratura, di calcestruzzo), paratie, palificate e terre rinforzate.

Mitigazione dei danni: consolidamento di edifici che sono o possono essere interessati dalla frana, demolizione di edifici pericolanti, delocalizzazioni e installazione di sistemi di sorveglianza e allarme del movimento franoso.

Drenaggio: canalette per la regimazione delle acque superficiali, dreni suborizzontali, trincee drenanti, pozzi drenanti, gallerie drenanti.

Opere di protezione: reti paramassi, rivestimento del pendio mediante spritz-beton, rilevati paramassi, trincee paramassi, gallerie paramassi, barriere paramassi.

Sistemazioni idraulico-forestali: inerbimenti (semine ed idrosemine), rimboschimenti, disboscamento selettivo, opere di Ingegneria Naturalistica per la stabilizzazione superficiale del versante (viminate vive, fascinate, graticciate, palizzate), briglie o soglie per la stabilizzazione degli impluvi e la riduzione del trasporto solido, difese di sponda (scogliere, gabbionate, materassi tipo "Reno", pennelli, coperture diffuse, talee e biostuoie).

Opere di rinforzo: chiodature, bullonature e tirantature su pareti rocciose, imbracature di blocchi instabili, iniezioni di miscele cementizie, resine, *jet grouting*, reticoli di micropali, trattamenti termici, chimici e elettrici.

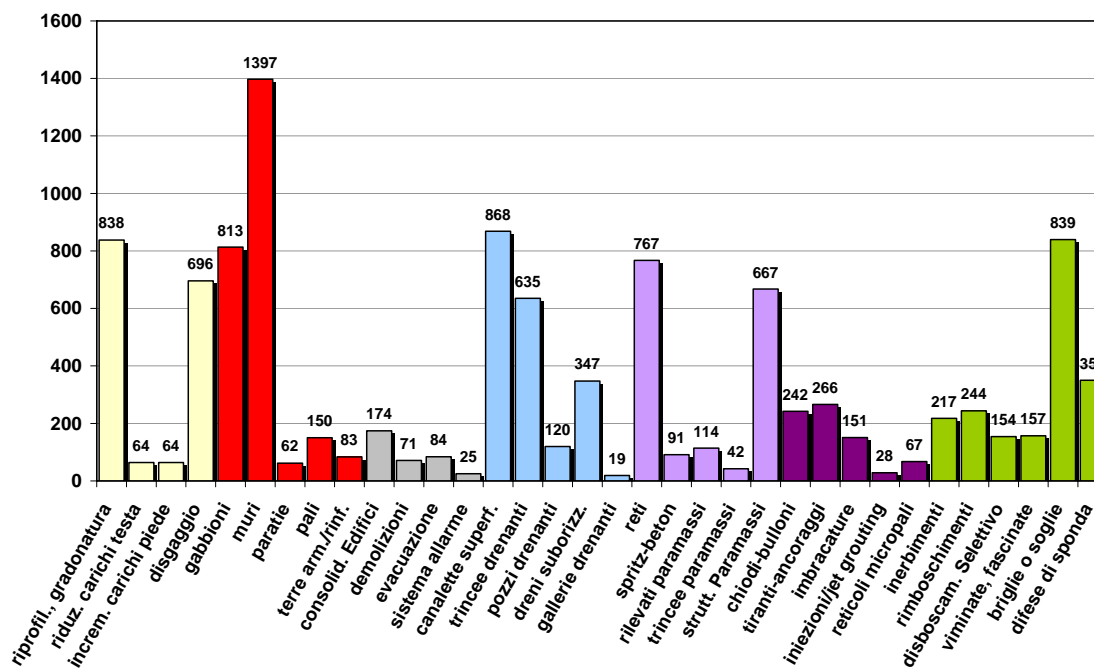


Figura 3.29 Principali interventi strutturali e non strutturali.



Figura 3.30 a) Messa in opera di rete paramassi a doppia torsione ancorata con chiodature e rinforzata con funi in trefoli d'acciaio incrociate, Cetara (SA); b) Barriera paramassi statica, Levanto (SP).



Figura 3.31 Ecometro per il sistema di allarme e monitoraggio del debris flow del T. Rudan, Vodo di Cadore (BL).

3.3 Elaborazioni dati e studi

3.3.1 Acclività del versante

L'energia di rilievo costituisce un parametro fondamentale nella genesi e nell'evoluzione dei fenomeni franosi.

Per valutare la relazione tra le 469.298 frane censite dal Progetto IFFI e l'acclività del versante è stata analizzata, per ciascuna tipologia di movimento, la distribuzione di frequenza della pendenza in corrispondenza del Punto Identificativo del Fenomeno Franoso (Figura 3.32).

L'instabilità dei versanti non cresce all'aumentare della pendenza e si riscontra statisticamente un intervallo clivometrico entro cui si ha la massima incidenza delle frane.

Dall'analisi delle distribuzioni di frequenza si individuano nettamente due gruppi di curve: le curve relative a fenomeni rapidi o estremamente rapidi, quali i crolli/ribaltamenti, le aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi e i colamenti rapidi, presentano un picco compreso tra 30 e 40°; le curve relative a fenomeni di colamento lento, scivolamento rotazionale/traslato, frane complesse e aree soggette a frane superficiali diffuse hanno il picco tra 10 e 15°.

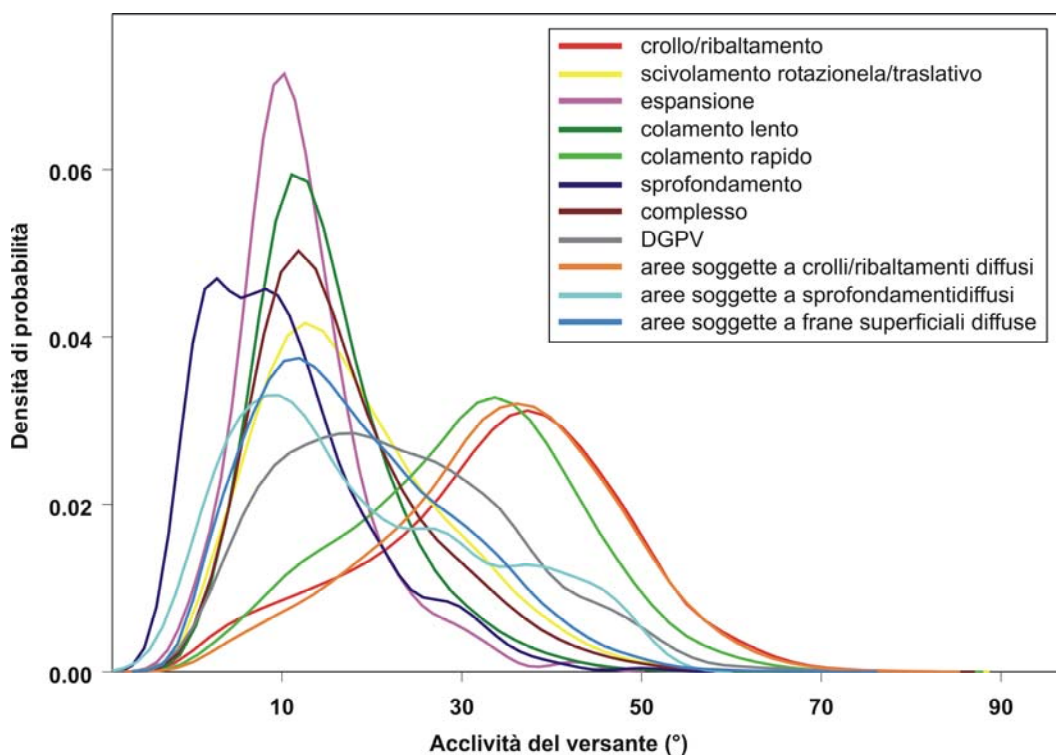


Figura 3.32 Distribuzione di frequenza della pendenza del versante in corrispondenza del coronamento di frana.

3.3.2 Uso del suolo

Un corretto uso del territorio e l'utilizzo di buone pratiche agricole (tipo di colture, tecniche di lavorazione) consentono una riduzione dei fenomeni erosivi e di dissesto gravitativo.

Per valutare la relazione esistente tra i dissesti franosi e l'uso del suolo sul territorio nazionale sono stati sovrapposti, mediante l'utilizzo di tecniche GIS, i livelli poligonali del Progetto IFFI con il secondo Livello informativo del Progetto Corine Land Cover 2000 (CLC 2000). Il Progetto CLC 2000 finanziato e coordinato dalla Commissione Europea, ha come finalità la definizione di una base dati relativa alla copertura ed uso del suolo alla scala 1:100.000, utilizzando la aerofotointerpretazione di immagini satellitari Landsat 7. La legenda del CLC si articola in tre livelli con approfondimento crescente per un totale di 44 classi al terzo livello, 15 al secondo (Figura 3.33) e 5 al primo. In Figura 3.34 è riportata, per ciascuna tipologia di movimento, la distribuzione percentuale dell'area in frana nelle 15 classi di uso del suolo del secondo Livello CLC 2000.



Figura 3.33 Mappa dell'Uso del Suolo Progetto Corine Land Cover 2000.

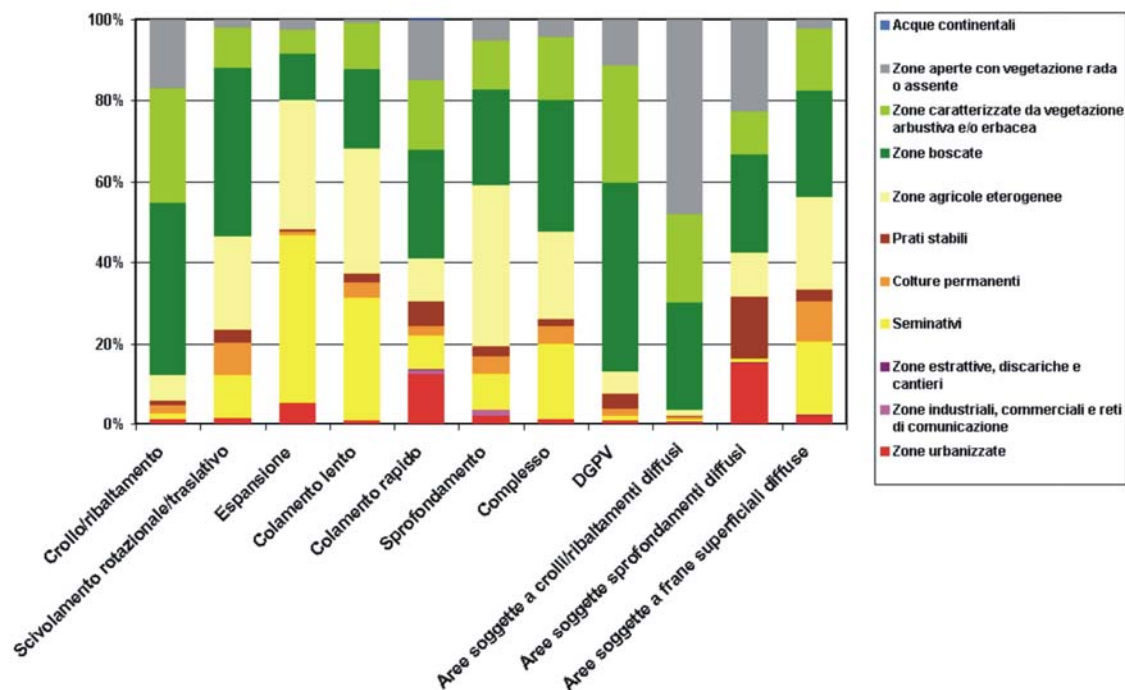


Figura 3.34 Distribuzione (%) dell'area in frana rispetto alle classi di Uso del Suolo.

I colamenti lenti coinvolgono maggiormente i seminativi e le zone agricole eterogenee.

Le aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi interessano prevalentemente la classe 3.3 CLC2000 “zone aperte con vegetazione rada o assente” e in particolare le rocce affioranti.

Per quanto riguarda le DGPV non è corretto effettuare una correlazione tra tali fenomeni profondi e l’uso del suolo; il valore elevato delle zone boscate per tale tipologia di movimento è spiegabile con l’ubicazione delle DGPV in aree montane.

3.3.3 Elementi a rischio

L’Italia è un paese dove l’esposizione al rischio da frana è particolarmente elevata, in quanto si è avuto dagli anni ‘60 ad oggi un notevole incremento delle aree urbanizzate con un aumento della pressione antropica sul territorio.

Dall’analisi dei dati del Corine Land Cover 2000, emerge che la classe “Superfici artificiali” rappresenta nel 2000 il 4,75% (14.316,1 km²) della superficie totale del territorio italiano. In termini relativi è la classe del primo Livello gerarchico del Corine Land Cover che ha subito il cambiamento più significativo rispetto alla situazione del 1990, con un incremento di 826.8 km² pari al 6,13%.

Mentre la rete autostradale italiana è stata progettata e realizzata principalmente a cavallo degli anni 1950-1970, si è assistito negli ultimi decenni ad un incremento costante della superficie occupata dalle altre vie di comunicazione.

E’ innegabile che eventi naturali che in passato potevano causare danni limitati, diventano ora sempre più catastrofici a causa dell’espansione delle aree di nuova urbanizzazione in terreni spesso instabili.

L’analisi degli **elementi a rischio** da frana è stata effettuata combinando i livelli informativi delle frane con le infrastrutture lineari di comunicazione e il tessuto urbanizzato estratto dal CLC 2000. L’istogramma in Figura 3.35a riporta il numero di frane che potenzialmente interessano la rete autostradale, stradale, ferroviaria e i centri abitati. In Figura 3.35b-c-d sono rappresentati sul territorio nazionale i punti di criticità nei centri abitati, lungo il tracciato autostradale e ferroviario.

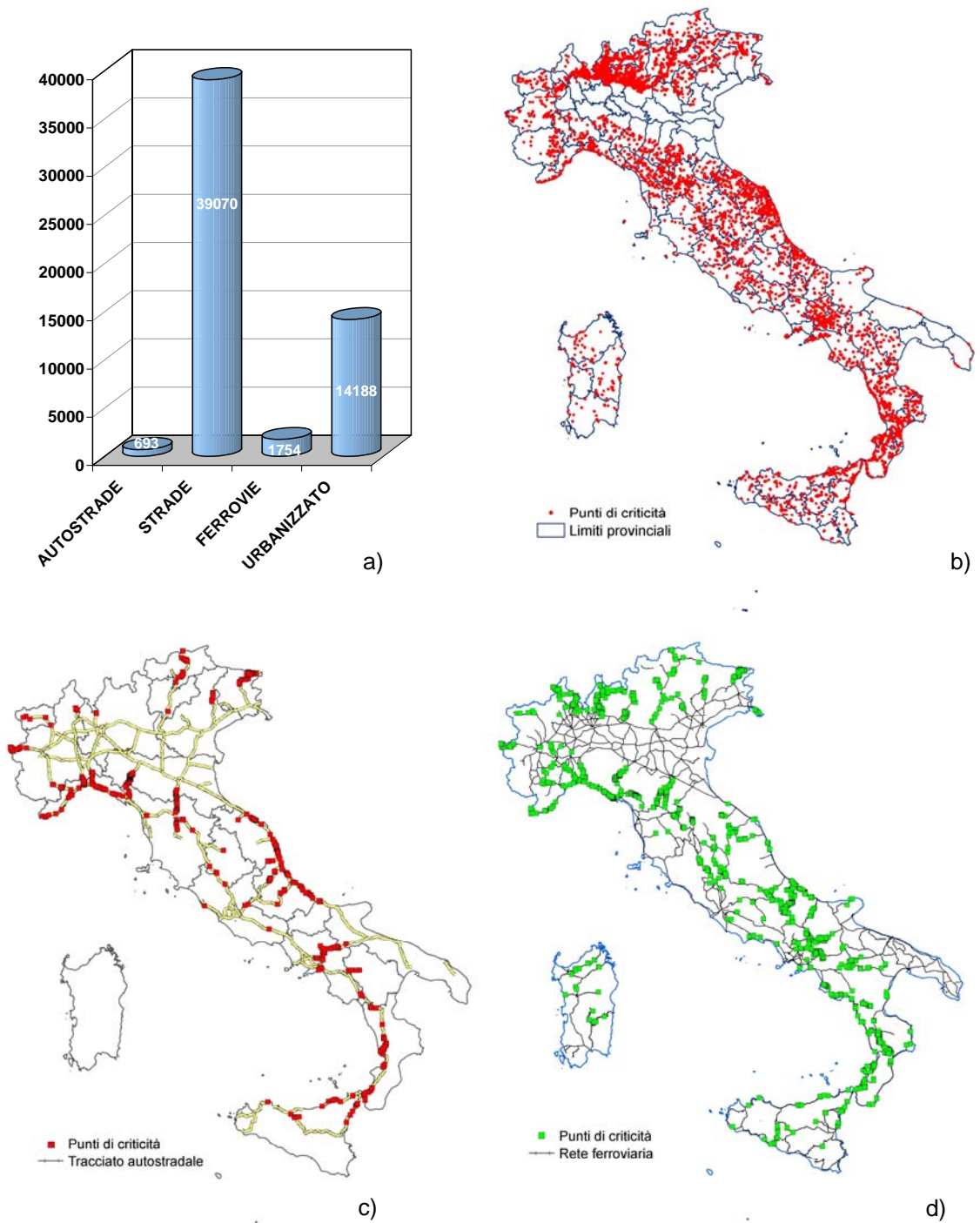


Figura 3.35 a) Istogramma degli elementi a rischio; b) Distribuzione dei punti di criticità nei centri abitati, c) lungo la rete autostradale e d) ferroviaria.

3.3.4 Livelli di attenzione su base comunale

Utilizzando le informazioni contenute nella banca dati del Progetto IFFI e del Progetto Corine Land Cover 2000 è stata effettuata dalla Segreteria tecnica del Progetto IFFI una prima valutazione del livello di attenzione, relativamente al rischio da frana, su base comunale.

Il livello di attenzione è stato definito:

- *molto elevato* quando le geometrie puntuali, poligonali e lineari del livello frane (Progetto IFFI) intersecano il tessuto urbano continuo e discontinuo (CLC 1.1.1. e 1.1.2.), le aree industriali o commerciali (CLC 1.2.1.) estratti dal Corine Land Cover 2000;
- *elevato*, relativamente ad intersezioni con la rete autostradale, ferroviaria e stradale, le aree estrattive, discariche e cantieri (CLC 1.3.1., 1.3.2. e 1.3.3.);
- *medio*, per superfici agricole (CLC 2.), territori boscati e ambienti semi naturali (CLC 3.), aree verdi urbane e aree sportive e ricreative (CLC 1.4.1. e 1.4.2.);
- *trascurabile*, per i comuni nei quali non è stata censita alcuna frana.

In Figura 3.36 è riportato uno stralcio dell'area dei comuni di Sarno e Quindici colpiti dalle colate rapide di fango e detrito il 5 maggio 1998.

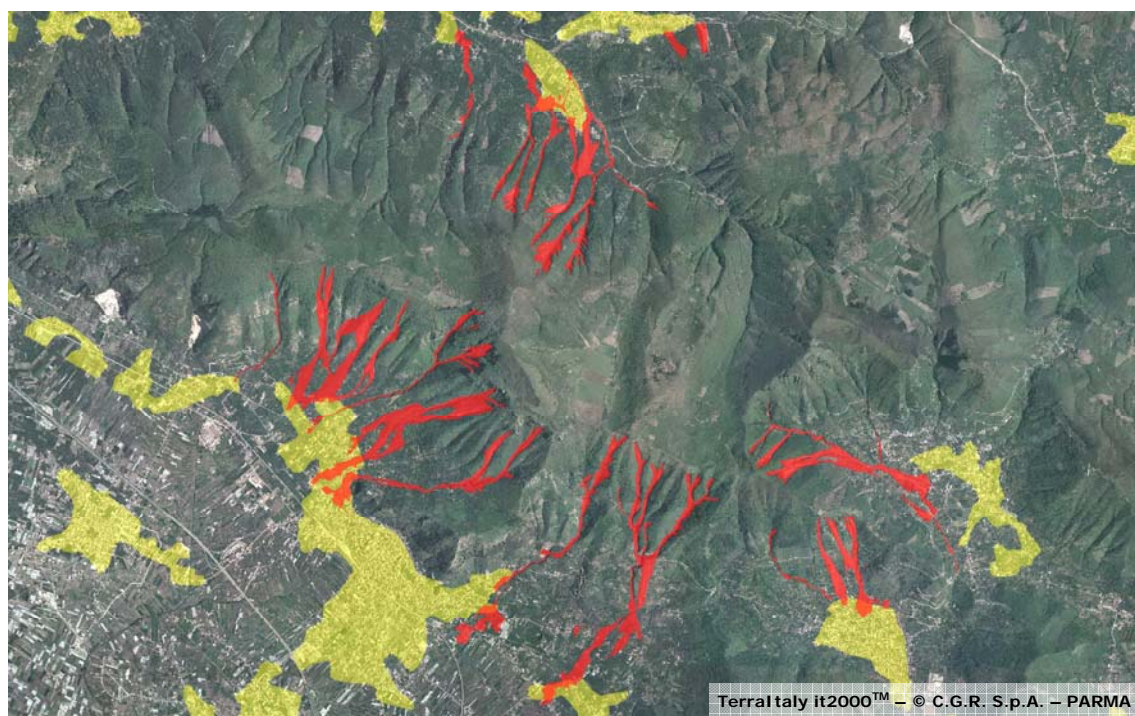


Figura 3.36 Colate rapide (in rosso) e urbanizzato (in giallo) nelle aree di Sarno (SA) e Quindici (AV).

In Figura 3.37 è riportato il livello di attenzione ottenuto sovrapponendo il livello informativo delle frane del Progetto IFFI con quelli degli elementi a rischio (es. urbanizzato, infrastrutture lineari di trasporto).

Dall'elaborazione è emerso che 5596 comuni italiani su 8101, pari al 69%, sono interessati da fenomeni franosi di cui: 2839 con livello di attenzione molto elevato, 1691 elevato, 1066 medio; 2505 con livello di attenzione trascurabile.

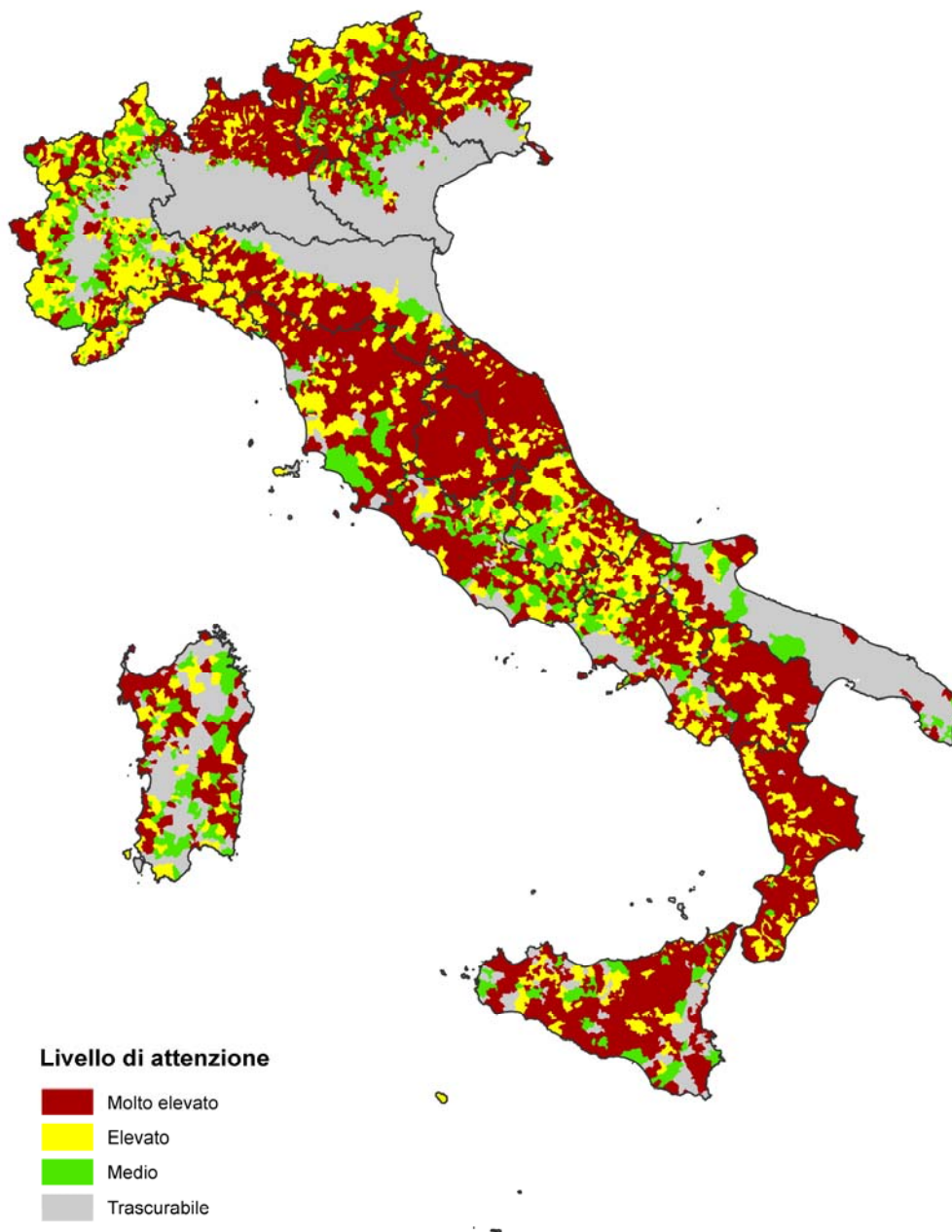


Figura 3.37 Livelli di attenzione, relativamente al rischio da frana, su base comunale.

3.3.5 Studio sulle frane costiere in Italia

Il territorio costiero italiano rappresenta un'area strategica del paese, basti pensare che circa 14 milioni di persone risiedono nei comuni costieri, che vi sono importanti infrastrutture lineari di comunicazione (corridoio adriatico e tirrenico) e buona parte delle strutture turistiche.

Per tali ragioni sono state effettuate analisi ed elaborazioni per delineare un primo quadro sul numero e sulla distribuzione delle frane costiere sull'intero territorio italiano, sulle più diffuse tipologie di movimento, sullo stato di attività dei fenomeni, sui danni e sugli elementi potenzialmente a rischio.

Lo studio è stato articolato in più fasi di lavoro:

a) *Individuazione dei tratti di costa alta e bassa del territorio italiano*: utilizzando il Modello Digitale del Terreno con maglia 20 x 20 m è stato ricavato il Modello dell'acclività; è stata quindi individuata una soglia pari a 3°, risultata ottimale da un'analisi su ampi settori della costa italiana per discriminare i tratti di costa bassa da quelli a costa alta;

b) *Estrazione delle frane costiere dalla banca dati del Progetto IFFI*: sono state definite, ai fini del presente lavoro, "frane costiere" quelle che ricadono in una fascia di ampiezza di un chilometro dalla linea di costa. Da un'analisi effettuata su settori significativi della costa italiana si è visto che tale ampiezza consente di selezionare i fenomeni gravitativi che coinvolgono direttamente la costa, o che interessano tratti di infrastrutture o centri abitati costieri;

c) *Analisi statistiche*: sono state effettuate analisi statistiche sulla tipologia di movimento e sui danni;

d) *Elaborazioni GIS*: mediante le funzionalità *3D Analyst*, *Spatial Analyst*, *Geoprocessing*, *Buffer* e *Hydrological Analyst* sono stati processati i dati contenuti nei livelli informativi vettoriali e raster;

e) *Analisi in aree campione*: sono state effettuate analisi di dettaglio in tre aree campione del territorio costiero italiano per analizzare i principali parametri che condizionano la genesi e l'evoluzione dei fenomeni franosi quali la litologia, l'assetto strutturale, la pendenza, l'azione del moto ondoso e le precipitazioni.

Degli oltre 8.000 km di coste italiane circa il 39% è rappresentato da coste alte (Figura 3.38a). Le 3.472 frane costiere individuate sono distribuite su buona parte della costa italiana (Figura 3.38b). Al momento delle elaborazioni non erano disponibili i dati relativi alla costa lucana in quanto era ancora in corso la fase di raccolta ed informatizzazione a cura della Regione Basilicata.

Le frane costiere sono ubicate in corrispondenza dei settori a costa alta, ad eccezione di tratti della costa adriatica, dove numerosi fenomeni franosi interessano falesie abbandonate di retrospiaggia o rilievi collinari che degradano dolcemente verso il mare.

I crolli/ribaltamenti e le aree soggette a crolli/ribaltamenti sono i fenomeni di dissesto gravitativo predominanti; seguono gli scorrimenti rotazionali e traslativi e le frane complesse, caratterizzate dalla combinazione di due o più tipi di movimento.

La tipologia di movimento dipende principalmente dalle caratteristiche geologiche e litologiche, dall'assetto stratigrafico e strutturale dell'ammasso roccioso, dal grado di alterazione, dalla morfometria della falesia, dalla resistenza meccanica dei materiali che costituiscono il pendio e dall'azione esplicata dal moto ondoso.

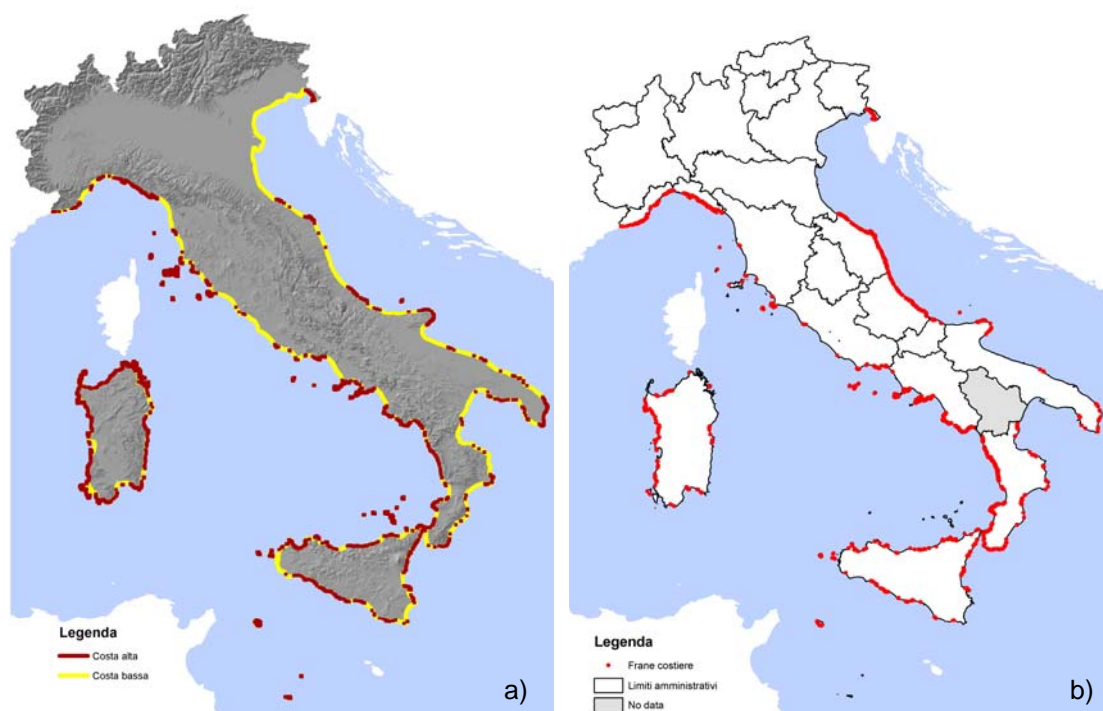


Figura 3.38 a) Coste alte e coste basse; b) Frane costiere in Italia.

Per quanto riguarda la quantificazione dei danni, è stato utilizzato l'archivio AVI (CNR-GNDCI), che ha censito 16.630 fenomeni franosi nel periodo 1918–2000 (<http://avi.gndci.cnr.it>). Da tale banca dati sono state estratte 1.453 frane ubicate ad una distanza dalla linea di costa minore di un chilometro. In Tabella 3.3 sono riportati i valori dei danni in area costiera.

Tabella 3.3 Danni causati da frane costiere.

VITTIME	408
FERITI	344
SFOLLATI	3.656
SENZA TETTO	1.047
EDIFICI CIVILI (centri abitati, nuclei rurali, case sparse...)	310
AUTOSTRADE	23
STRADE (statali, provinciali, comunali)	518
FERROVIE	172
EDIFICI INTERESSE ARTISTICO	18
EDIFICI INDUSTRIALI	14
INFRASTRUTTURE A RETE (linee telecomunicazione, elettrodotto, acquedotto...)	78
STRUTTURE INTERESSE PUBBLICO (porti, ponti e viadotti...)	40
EDIFICI PUBBLICI (scuole, ospedali, sedi amministrazioni pubbliche...)	27
AGRICOLTURA (terreno agricolo, frutteti, seminativi...)	65

La maggior parte delle vittime e i danni più rilevanti agli edifici civili e alle reti infrastrutturali sono stati causati da colate rapide di fango e detrito, caratterizzate da elevate velocità ed elevato potere distruttivo.

Al fine di comprendere il rapporto tra fenomeni franosi e alcuni parametri predisponenti quali la litologia, la pendenza e l'azione del moto ondoso, è stata effettuata un'analisi di maggior dettaglio in tre aree campione: la costa adriatica, la penisola sorrentina e la costa salentina.

La **fascia costiera adriatica** tra Pesaro e Termoli è caratterizzata da rilievi collinari costituiti dalle argille plio-pleistoceniche grigio-azzurre, sormontate da depositi sabbiosi e conglomeratici, ad eccezione della zona del promontorio del Conero, a sud di Ancona, dove affiorano litotipi marnosi e marnoso-calcarei di età mesozoico-paleogenica (Figura 3.39a).

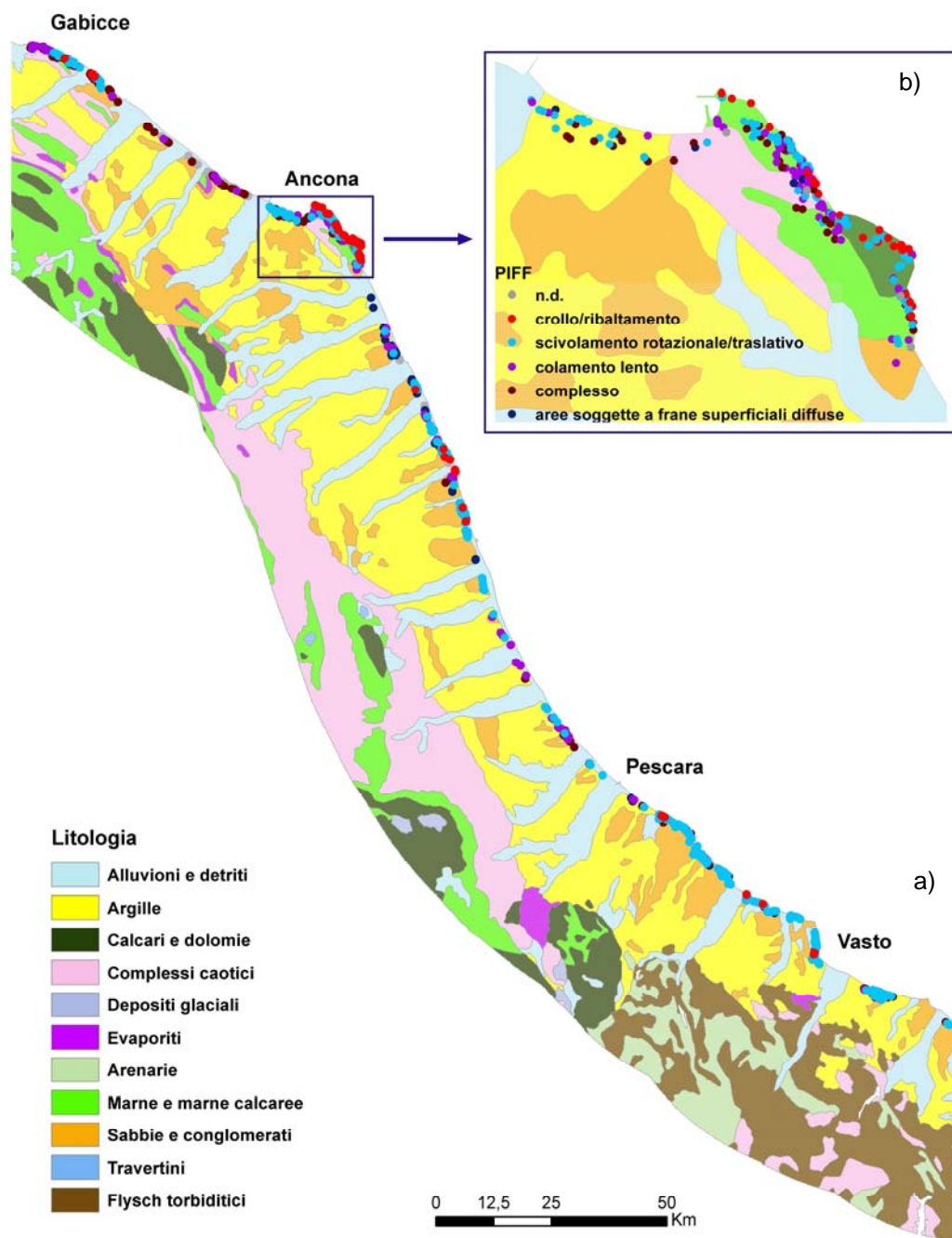


Figura 3.39 a) Litologie affioranti nel tratto costiero adriatico tra Gabicce e Termoli (derivata dalla Carta Geologica d'Italia 1:500.000, SGN); b) Tipologie di movimento nel Promontorio del Conero (AN).

Tale fascia si estende per circa 368 km ed è caratterizzata da una successione di falesie attive, falesie abbandonate e rilievi collinari che distano dalla linea di costa qualche centinaio di metri.

Le falesie attive, sottoposte all'azione erosiva del mare, si trovano in corrispondenza dei promontori del Conero e di Gabicce e nei tratti di costa dove le argille di base del ciclo regressivo pleistocenico sono al di sotto del livello del mare e affiorano sabbie e conglomerati (D'Alessandro et alii, 2001).

Le falesie abbandonate, non più raggiunte al piede dal moto ondoso, per la presenza di sedimenti accumulatisi alla base, di opere di protezione o per sollevamento tettonico (Hutchinson, 1973), si rinvengono ad esempio lungo il litorale di Ortona, Fossacesia, Torino di Sangro e Vasto.

Le frane costiere che interessano il tratto tra Pesaro e Termoli sono 766. Le tipologie di movimento maggiormente diffuse sono gli scivolamenti rotazionali e traslativi (circa 41%), i colamenti lenti (18%), le frane complesse (19%), i crolli/ribaltamenti (7%) e le aree soggette a frane superficiali diffuse (7%).

Le falesie attive sono sede di crolli/ribaltamenti e scorrimenti traslativi/rotazionali, mentre i rilievi collinari degradanti verso il mare e costituiti da argille grigio-azzurre sono interessati generalmente da scivolamenti, colamenti lenti e frane complesse che coinvolgono anche le litologie sovrastanti più competenti.

Per quanto riguarda la distanza del coronamento di frana dalla linea di costa, nel diagramma seguente si può osservare un massimo a circa 150 m dalla linea di costa, riferibile a frane su falesie attive e un intervallo di valori compreso tra 400 m e 1,2 km rappresentativo di fenomeni franosi su falesie abbandonate o sui rilievi collinari costieri.

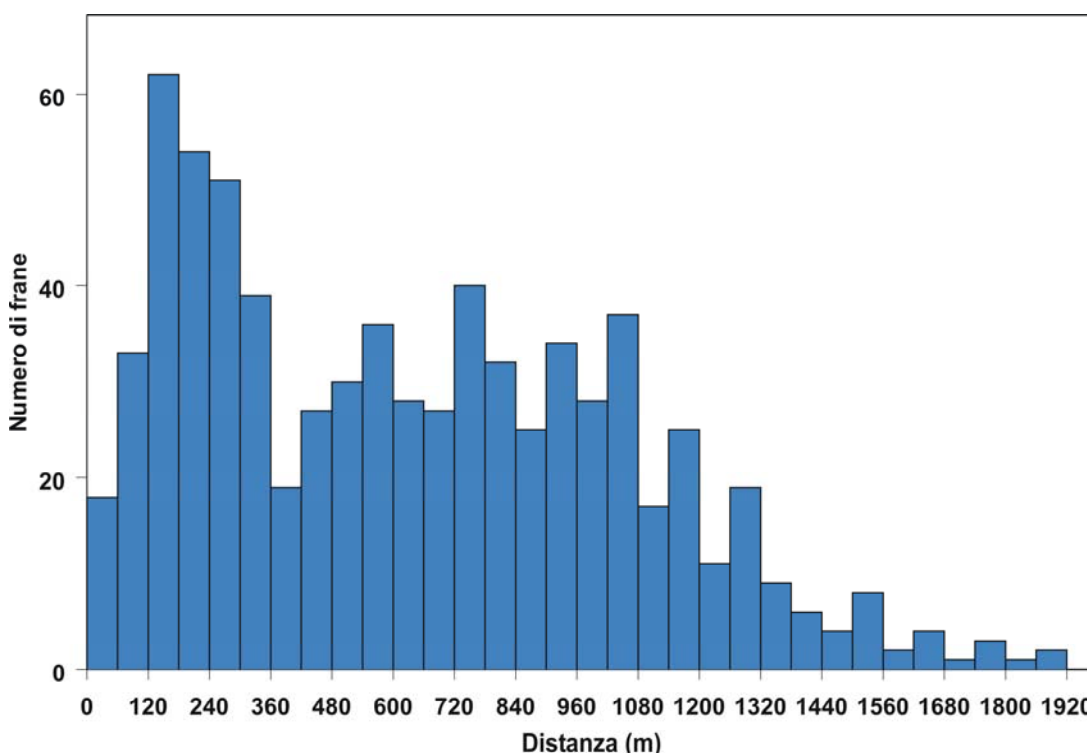


Figura 3.40 Numero di frane in funzione della distanza del coronamento dalla linea di costa.

In letteratura sono ampiamente descritte le grandi frane della fascia costiera adriatica che si sviluppano dalla sommità dei rilievi fino alla costa con superfici di rottura a profondità significative che talvolta proseguono sotto il livello del mare dando luogo a fenomeni di sollevamento del fondale (Ancona, Ortona, Fossacesia, Torino di Sangro, Casalbordino, Vasto, Petacciato). Tali frane, storicamente attive, hanno determinato gravi danni a centri abitati e alle

infrastrutture lineari di comunicazione del corridoio adriatico (Cancelli *et alii*, 1984; Gori e Mezzabotta, 1995; Guerricchio e Melidoro, 1996; Melidoro e Mezzabotta, 1996).

La **Penisola Sorrentina** è caratterizzata dall'affioramento di calcari e calcari dolomitici ricoperti da livelli piroclastici da sciolti a semicoerenti, localmente anche profondamente pedogenizzati, attribuibili all'attività eruttiva degli apparati dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, che raggiungono spessori fino ad alcuni metri (Figura 3.41a).

In tale contesto geologico-geomorfologico i fenomeni franosi più frequenti e distruttivi sono quelli del tipo colata rapida di fango e detrito che si innescano prevalentemente su versanti ad elevata pendenza ($>35^\circ$), in concomitanza di intensi eventi meteorici, coinvolgendo i depositi piroclastici (Figura 3.41b-c).

Nella penisola sorrentina sono state individuate 281 colate rapide. La distribuzione dell'acclività del versante nella zona di innesco delle colate rapide mostra una frequenza massima intorno a valori compresi tra 35° e 40° (Figura 3.42 - Figura 3.43). La riduzione del numero di eventi in corrispondenza di pendenze più elevate può essere interpretata come l'assenza della copertura piroclastica su superfici molto acclivi.

Il potenziale di invasione delle colate rapide è stato valutato diagrammando il dislivello massimo esistente tra il coronamento e l'unghia della frana, in funzione della lunghezza massima percorsa dalla frana. In Figura 3.44 il grafico mostra, per le 281 colate rapide considerate, una relazione lineare tra dislivello e lunghezza del cumulo, secondo un fattore 0.47 che è coerente con quanto riportato in bibliografia (Calcaterra & Santo, 2004).

I valori minori del rapporto H/L sono caratteristici delle colate incanalate, che presentano maggiore fluidità e percorrono distanze più elevate, mentre i valori più elevati sono riferibili a fenomeni di colata non incanalata su versante regolare.

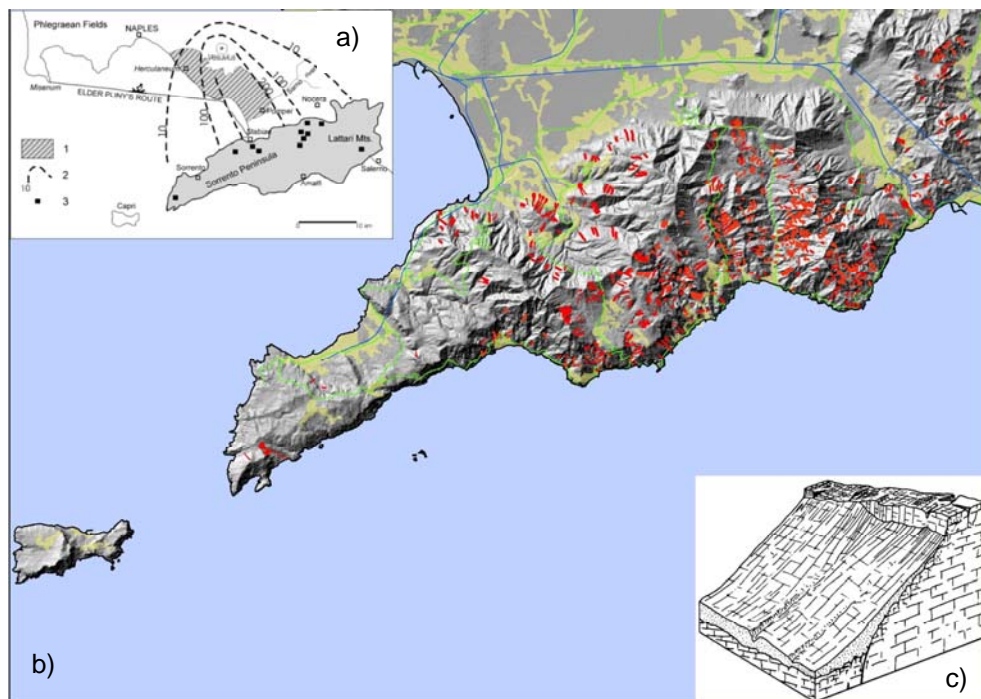


Figura 3.41 a) Mappa delle isopache delle coperture piroclastiche (da Calcaterra & Santo, 2004); b) Distribuzione delle colate rapide in Penisola Sorrentina; c) Schema dell'assetto geologico-strutturale con ripidi versanti carbonatici ricoperti da depositi piroclastici.

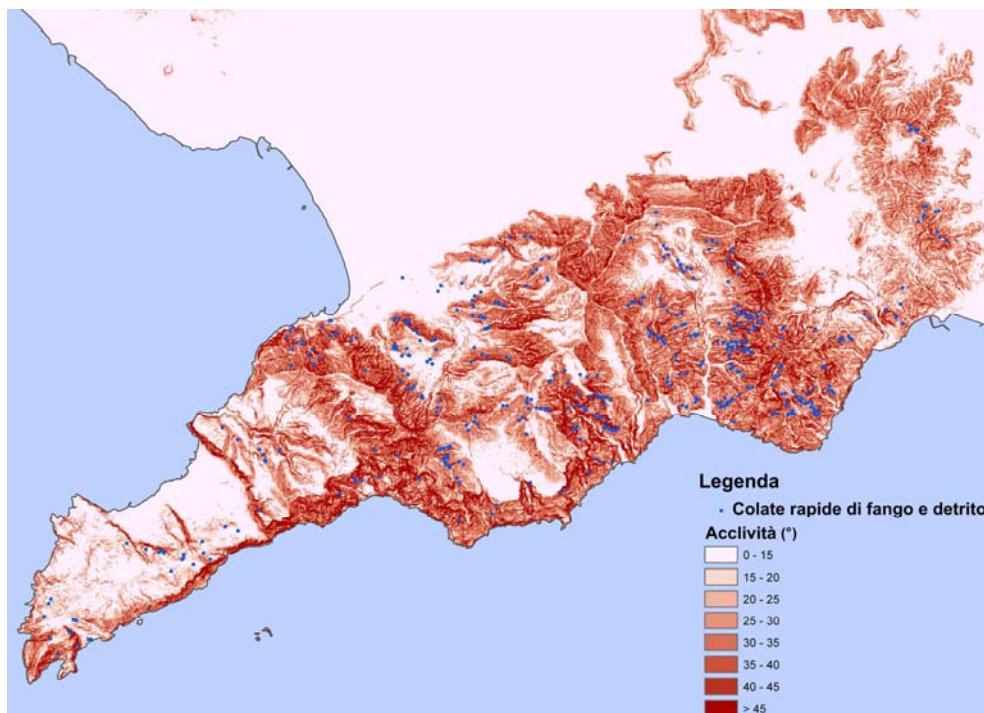


Figura 3.42 Mappa delle acclività e punti di innesco delle colate rapide.

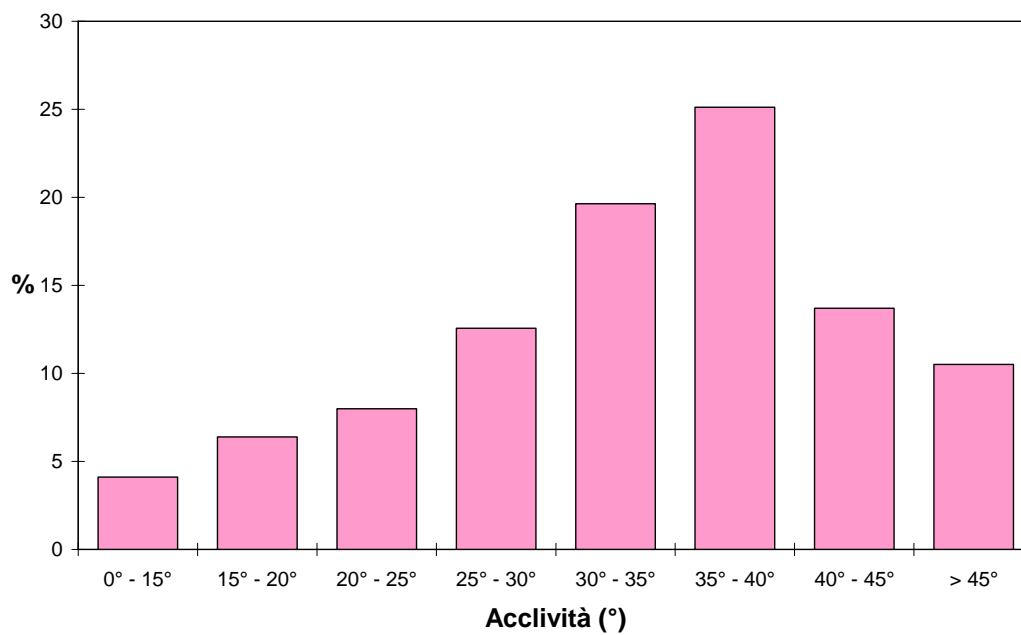


Figura 3.43 Distribuzione di frequenza dell'acclività del versante nella zona di innesco delle colate rapide.

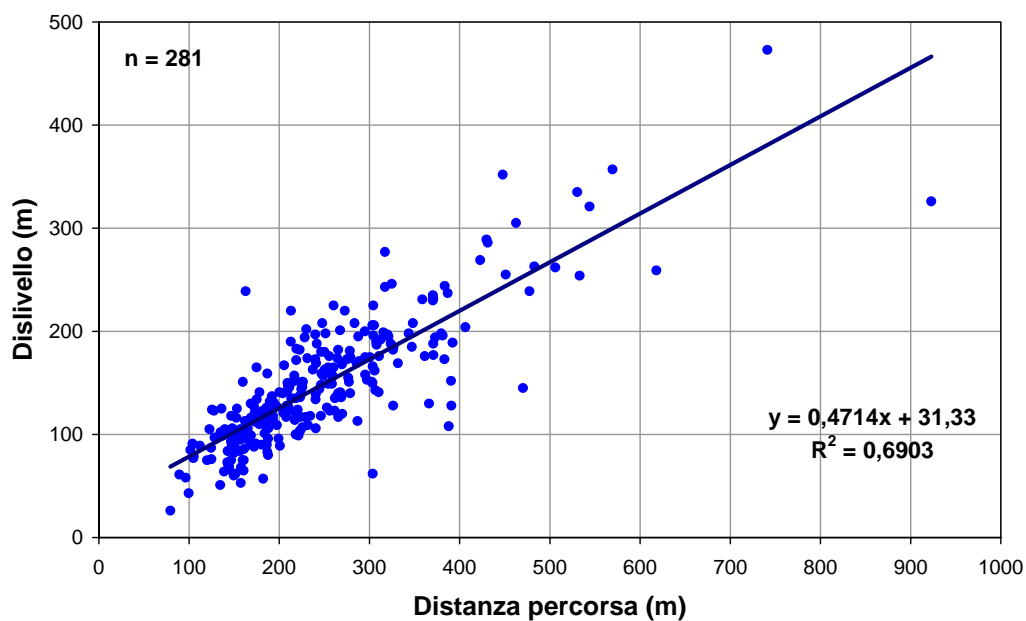


Figura 3.44 Potenziale di invasione delle colate rapide.

La **Penisola Salentina** presenta estesi tratti di costa a falesia costituiti da calcari, calcari dolomitici, dolomie e calcareniti, che, a causa dell'intenso grado di fratturazione (discontinuità tettoniche e sedimentarie) delle rocce affioranti e della incessante azione del moto ondoso, sono interessati da fenomeni di dissesto gravitativo, rappresentati quasi per il 90% da crolli e ribaltamenti (Figura 3.45).



Figura 3.45 - Ubicazione dei fenomeni franosi costieri della Penisola Salentina su immagine satellitare Landsat multispettrale.

L'evoluzione delle coste alte investite dal moto ondoso presenta un andamento ciclico. I crolli, determinando una minore pendenza del versante, rendono più stabile il profilo della falesia; inoltre l'accumulo del materiale franato al piede della falesia, esplica un'azione frangiflutti ed impedisce l'erosione alla base della scarpata ad opera dei frangenti. In una fase successiva le onde, dopo aver disgregato l'accumulo detritico, sottoscavano nuovamente la base della falesia, riportando il versante in una condiziona di instabilità (Figura 3.46).



Figura 3.46 Crolli e ribaltamenti lungo la falesia di Porto Miggiano (LE) Progetto IFFI –Regione Puglia.

Come è emerso dall'analisi dei dati relativi alle cause innescanti e predisponenti, estratti dal database alfanumerico del Progetto IFFI, la principale causa innescante nei processi demolitori della falesia è l'azione morfogenetica del mare al piede della scarpata, mentre il fattore predisponente più ricorrente è l'intenso grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, seguito dalla forte alterazione delle porzioni superficiali della falesia (Figura 3.47).

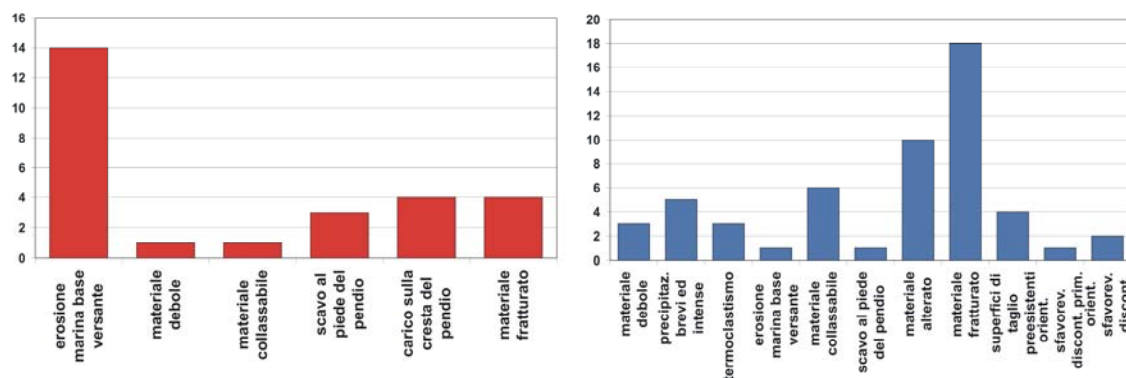


Figura 3.47 Cause innescanti (in rosso) e predisponenti (in blu) dei fenomeni franosi costieri.

3.4 Riferimenti bibliografici

- Amanti M., Carrara A., Castaldo G., Colosimo P., Gisotti G., Govi M., Marchionna G., Nardi R., Panizza M., Pecci M., Vinello G. (1992) *Linee guida per la realizzazione di una cartografia della pericolosità geologica connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti alla scala 1:50.000*. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Geologico, 47 pp.
- Ambrosi P., Ceriani M., Cespa S., Crosta G. B., Dario F., Di Trapani G., Novali F. (2004) Movimenti millimetrici degli ultimi dieci anni sul Monte Padrio Varadega. Analisi di un fenomeno di DGPV con la Tecnica PS. *Atti 8a Conferenza Nazionale ASITA, 14-17 Dicembre 2004, Roma*.
- APAT (2006) *Annuario dei dati ambientali*. Edizione 2005-06, 1218 pp.
- APAT (2005) *La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000*. Rapporti APAT 36/2005, 86 pp.
- ARPA Piemonte (2005) *Dalla valutazione alla prevenzione dei rischi naturali*, 250 pp.
- ARPA Piemonte (2003) *Eventi alluvionali in Piemonte 13- 16 ottobre 2000*, 327 pp.
- Bacchini M., Zannoni A. (2003) Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **3**, 71-79.
- Berti D., Ferrelì L., Fumanti F., Guarneri E., Guerrieri L., Miscione F., Perini P., Porfidia B., Rischia I., Silvestri S., Trigila A., Vittori E. (2001) *Emergenza alluvione ottobre 2000*. Rapporti ANPA 7/2001, 79 pp.
- Bruno, G., Zezza, F. (1992) Typologies of instability and methods of stability verification for the coastal cliffs of Salento (Apulia, Italy). *Bollettino di Oceanologia Teorica e Applicata*, **X** (2-3-4), 123-131.
- Budetta P., Calcaterra D., De Riso R., Di Crescenzo G., Franco I., Galiotta G., Iovinelli R., Napolitano P., Palma B., Santo A. (1997) Fenomeni Franosi connessi all'evento pluviometrico del gennaio 1997 in Penisola Sorrentina – M.ti Lattari: primo contributo. *Atti del IX Congresso Nazionale Geologi, Roma* (pp. 223-231).
- Budetta P., Galiotta G., Santo A. (2000) A methodology for the study of the relation between coastal cliff erosion and the mechanical strength of soils and rock masses. *Engineering Geology*, **56**, 243-256.
- Calcaterra D., Santo A. (2004) The January 10, 1997 Pozzano landslide, Sorrento Peninsula, Italy. *Engineering Geology*, **75**, 181-200.
- Cancelli A., Marabini F., Pellegrini M., Tonnetti G. (1984) Incidenza delle frane sull'evoluzione della costa adriatica da Pesaro a Vasto. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **27**, 555-568.
- Canuti P., Casagli N., Ermini L. (1998) Inventory and Analysis of Landslide Dams in the Northern Apennine as a model for Induced Flood Hazard Forecasting. In: K. Andah (ed.) *Managing Hydro-geological disasters in a vulnerable environment* (pp. 189-202). CNR-GNDCI & UNESCO Intl. Hydrogeol. Progr.
- Carrara, A., Campedel, P., Crosta, G.B., Stefani, M., Bozzolan, M., Frattini, P. (2004) *Valutazione della pericolosità geologica in Val di Fassa, Trentino: Realizzazione della parte trentina del foglio geotematico n. 28 "La Marmolada"*. Final Project report (non pubblicato).
- Catenacci V. (1992) Il dissesto geologico e geoambientale in Italia dal dopoguerra al 1990. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **XLVII**.
- Corbi I., Guida D., Guida M., Vallario A. (1996) La frana in località Covatta nel bacino del Fiume Biferno (Molise): aspetti geologici e geomorfologici. *Atti del Convegno Internazionale La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, 5-7 novembre 1996, Alba* (pp. 477-491).
- Costa J.E. (1991) Nature, mechanics and mitigation of the Val Pola Landslide, Valtellina, Italy 1987-1988. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **35**, 15-38.

- Crosta G.B., Frattini P. (2000) Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. *Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms, ottobre 2000, Siena* (pp. 463-487).
- Crosta G.B., Dal Negro P (2003) Observation and modelling of soil slip – debris flow initiation processes in pyroclastic deposits: the Sarno 1998 event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **3**, 53-69.
- D'Alessandro L., Genevois R., Marino A. (2001) Dinamica recente della costa alta tra Ortona e Vasto (Abruzzo centro-meridionale), *Memorie della Società Geologica Italiana*, **56**, 53-60.
- Del Maschio L., Gozza G., Pignone S., Pizziolo M. (2005) *Soglie pluviometriche per l'insacco di fenomeni franosi nell'Appennino settentrionale*. Report 02. Regione Emilia-Romagna Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.
- Devin P., Frassoni A., Rossi P.P. (1989) *La strumentazione per il controllo e l'osservazione dei movimenti di versante*. Divisione Geomeccanica ISMES n. 258, Bergamo.
- Esu F. (2000) La stabilità dei pendii costieri. Rapporto 1986-1995 - Linea 2, Previsione e prevenzione eventi franosi a grande rischio (pp. 149-158). CNR-GNDCI.
- Farina P., Moretti S., Colombo D., Fumagalli A., Manunta P. (2004) Landslide Risk Analysis by means of Remote Sensing Techniques. *Results from the ESA/SLAM Project International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2004), 20-24 Settembre 2004, Anchorage (Alaska)*.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F., Casagli N., Farina P., Young B. (2005) Permanent Scatterers Technology: a powerful state of the art tool for historic and future monitoring of landslides and other terrain instability phenomena. *International Conference on Landslide Risk Management, 18th Annual Vancouver Geotechnical Society Symposium, 31 maggio - 3 giugno 2005, Canada*.
- Fumanti F., Rischia I., Serva L.; Trigila A., Tranfaglia G., Violante C. (2001) Effetti sul territorio dell'evento meteorico del 7-8 Ottobre 1899 nel salernitano. *Atti del convegno Dissesto idrogeologico: inventario e prospettive, Accademia Nazionale dei Lincei, Giugno 2001, Roma*.
- Glade T., Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., De Vita P. (2000) Regional rainfall and hydrologic thresholds for landslide occurrence. Examples from New Zealand and Central Italy. *Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms, Siena ottobre 2000*, pp. 489-506.
- Gori U., Mezzabotta M. (1995) Sul cinematiso della frana costiera dell'abitato di Petacciato (CB). *Geologia Applicata e Idrogeologia*, **30**, 659-670.
- Govi M., Mortara G., Sorzana P.F (1985) Eventi idrologici e frane. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, **20**(2), 359-374.
- Guadagno F.M., Martino S., Scarascia Mugnozza G. (2001) L'influenza dei tagli sulla stabilità delle coperture piroclastiche dell'Appennino Campano. *Atti X Congresso Nazionale dei Geologi Il territorio fragile, 7-10 dicembre 2000, Roma*.
- Guadagno F.M., Martino S., Scarascia Mugnozza G. (2003) Influence of man-made cuts on the stability of pyroclastic covers (Campania, southern Italy): a numerical modelling approach. *Environmental Geology*, **43**, 371-384.
- Guerricchio A., Melidoro G. (1996) Rischi da grandi frane nella fascia costiera adriatica. *Atti del Convegno Internazionale La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica, 5-7 novembre 1996, Alba* (vol. I, pp. 317-330).
- Guzzetti F. (2000) Landslide fatalities and evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, **58**(2), 89-107.
- Hutchinson J. N. (1973) The response of London clay cliffs to differing rates of toe erosion. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, **8**, 221-239.
- Ligato D., Marasciulo T., Pascarella F., Guerra M. (2002) *Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*. Manuali e Linee Guida 10/2002, 125 pp.

- Melidoro G., Mezzabotta M. (1996) Monitoraggio ultrasecolare delle deformazioni gravitative costiere adriatiche, *Atti del Convegno Internazionale La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica*, 5-7 novembre 1996, Alba, (vol. I, pp. 343-356).
- Regione Autonoma Valle d'Aosta (2000) *Rapporto sull'evento alluvionale del 13-14-15 ottobre 2000*. Regione Autonoma Valle d'Aosta.
- Regione Lombardia (2001) *Valutazione della pericolosità e del rischio da frana in Lombardia*. Regione Lombardia.
- Regione Lazio (2006) *Manuale di Ingegneria Naturalistica. Sistemazione dei versanti*. Regione Lazio, 866 pp.
- Ribacchi R. (1986) Il controllo della stabilità dei pendii. *Atti del XVI Convegno nazionale di Geotecnica*, 14-16 maggio 1986, Bologna (vol. III, pp. 403-451).
- Schuster R.L. (1993) Landslide dams: hazards and mitigation. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **16**, 17-19.
- Schuster R.L., Wieczorek G.F. (2002) Landslide triggers and types. In: J. Rybar, J. Stemberk, P. Wagner (eds) *Landslides: proceedings of the 1st European conference on landslides in Prague, 24-26 June 2002* (pp. 59-78).
- Servizio Geologico Nazionale (1984) *Carta Geologica d'Italia 1:500.000*. SGN, Roma
- Squarzoni C., Galgaro A., Teza G., Genevois R., Rocca M., Baglioni A. (2005) Integrazione di laser scanner e metodi geofisici nello studio della frana di Perarolo di Cadore. *Atti della 9^a Conferenza Nazionale ASITA*.
- Sunamura T. (1992) *Geomorphology of rocky coasts*. Ed. J. Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- Tecca P. R., Galgaro A., Genevois R., Deganutti A. M. (2003) Development of a remotely controlled debris flow monitoring system in the Dolomites (Acquabona, Italy). *Hydrological Processes*, **17**, 1771-1784.
- Teza G., Galgaro A., Genevois R., Rocca M., Squarzoni C. (2004) Integrazione di dati da laser scanner e metodi tradizionali per la misura delle deformazioni della frana di Perarolo di Cadore (BL). *Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA*.
- Vittori E., Fumanti F., Ligato D., Trigila A. (2000) *Relazione Tecnica relativa ai sopralluoghi nell'area colpita dalla crisi idrogeologica dei giorni 15-16 dicembre 1999 nella Valle Caudina, Comuni di Cervinara e S. Martino Valle Caudina (AV)*. Rapporto ANPA (non pubblicato).
- Zimmermann M.N. (2005) Analysis and management of debris-flow risks at Söremberg (Switzerland). In: M. Jacob, O. Hungr (eds) *Debris-flow hazards and related phenomena* (pp. 615-634). Springer.