



APAT

Agenzia per la protezione
dell'ambiente e per i servizi tecnici

Fenomeni di dissesto geologico - idraulico sui versanti

Classificazione e simbologia

Informazioni legali

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
Via Curtatone, 3 - 00144 Roma
www.apat.it

© APAT, 39/2006

ISBN 000

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

APAT

Grafica di copertina: Franco Iozzoli (APAT)

Foto: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico e distribuzione

Olimpia Girolamo - Michela Porcarelli - Simonetta Turco

APAT - Servizio Stampa ed Editoria

Ufficio Pubblicazioni

Impaginazione e stampa

I.G.E.R. srl - Viale C.T. Odascalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare novembre 2006

Coordinamento:

Stefania Silvestri (*)

Testi a cura di:

Stefania Silvestri (*)	“Dissesti dovuti alla gravità”, “Dissesti dovuti al dilavamento”, “Alcuni fenomeni di dissesto idraulico”, “Degradazioni indotte da attività antropica”, “Simbologia” e progetto grafico della legenda.
Felicia Papasodaro (**)	“Simbologia” e progetto grafico della legenda. Contributi nei “Dissesti dovuti alla gravità” e “Dissesti dovuti al dilavamento”.
Francesco Miscione (*)	“Dissesti dovuti alle valanghe”.
Andrea Di Fabbio (*) e Daniele Verri (*)	“Degradazioni indotte da attività antropica”.
Raffaele Apuzzo (**) e Roberto Pompili (*)	Disegni tecnici.

Supervisor:

Leonello Serva	Direttore del Dipartimento Difesa del Suolo.
Claudio Campobasso	Responsabile del Servizio Istruttorie, Piani di Bacino e Raccolta Dati.

Si ringrazia Maurizio D’Orefice (**) per i preziosi suggerimenti, per i contributi specialistici e per le immagini fornite.

(*) APAT – Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Istruttorie, Piani di Bacino e Raccolta Dati.

(**) APAT – Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio CARG, Geologia e Geomorfologia.



Scivolamento traslativo presso i Lavini di Marco (Rovereto, TN)

*“Qual è quella ruina che nel fianco
di qua da Trento l’Adice percosse,
o per tremoto o per sostegno manco,
che da cima del monte, onde si mosse,
al piano è sì la roccia discoscisa,
ch’alcuna via darebbe a chi su fosse;
cotal di quel burrato era la scesa;”*

(Dante Alighieri, Inferno, canto XII, vv. 4-10).

INDICE

PRESENTAZIONE	9
PREMESSA	11
INTRODUZIONE	13
1. DISSESTI GEOLOGICO-IDRAULICI	15
1.1 Dissesti di versante	19
1.1.1 Dissesti dovuti alla gravità	26
1.1.1.1 Frane s.s.	30
1.1.1.1.1 Crolli e ribaltamenti	32
1.1.1.1.2 Scorrimenti rotazionali	38
1.1.1.1.3 Scorrimenti traslativi	42
1.1.1.1.4 Colamenti lenti	48
1.1.1.1.5 Colate rapide di detrito e fango	52
1.1.1.1.6 Espansioni laterali	62
1.1.1.1.7 Movimenti complessi	66
1.1.1.2 Deformazioni gravitative profonde di versante	70
1.1.1.3 Movimenti lenti superficiali	76
1.1.1.3.1 Soliflussi	77
1.1.1.3.2 Reptazioni	80
1.1.1.4 Altri fenomeni di dissesto	82
1.1.1.4.1 Aree soggette a frane superficiali diffuse	82
1.1.1.4.2 Aree soggette a crolli e/o ribaltamenti diffusi	83
1.1.1.4.3 Sprofondamenti	86
1.1.2 Dissesti dovuti al dilavamento	89
1.1.2.1 Erosione areale per ruscellamento diffuso	92
1.1.2.2 Erosione per ruscellamento concentrato a rivoli e solchi	93
1.1.3 Dissesti dovuti alle valanghe	98
1.2 Alcuni fenomeni di dissesto idraulico	111
1.2.1 Flussi detritici torrentizi	111
2. DEGRADAZIONI INDOTTE DA ATTIVITÀ ANTROPICA	113
2.1 Degradazioni per uso agricolo improprio	114
2.2 Degradazioni per errata gestione del bosco	125
2.3 Degradazioni per pascolamento	129
2.4 Degradazioni per attività estrattiva	132
3. SIMBOLOGIA	136
AUTORI DELLE FIGURE	141
BIBLIOGRAFIA	143
LEGENDA	149

PRESENTAZIONE

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) tra le varie linee editoriali redige i Manuali e Linee Guida con la finalità di approfondire e divulgare le conoscenze su tematiche ambientali, descrivere studi metodologici a carattere multidisciplinare compiuti su fenomeni naturali e standardizzare termini e metodi a scala nazionale.

Questo nuovo Manuale sui “Fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti” arricchisce tale collana, fornendo per la prima volta un quadro completo dei fenomeni che causano l'instabilità sui versanti. Esso, oltre a fornire linee guida di classificazione e rappresentazione cartografica dei fenomeni, riporta in maniera semplice informazioni utili ad un'ampia gamma di potenziali utenti. La veste grafica, infatti, è stata impostata con ampio utilizzo di fotografie, disegni e box riassuntivi, in modo da semplificare il riconoscimento dei fenomeni e raggiungere oltre agli addetti ai lavori, anche amministratori e singoli cittadini.

Il Manuale parte dalle notevoli esperienze maturate dal Dipartimento per la Difesa del Suolo dell'APAT nel campo dei rischi naturali. Fondamentali sono stati gli studi effettuati e le conoscenze acquisite nell'ambito del Progetto CARG (Carta Geologica e Geotematica alla scala 1:50.000) con il fine di rilevare, aggiornare e pubblicare la Carta Geologica d'Italia. Le attività di monitoraggio degli interventi urgenti per la riduzione del rischio geologico-idraulico, finanziati ai sensi del D.L. 180/98 e delle norme successive ad esso collegate, hanno consentito, inoltre, di osservare e analizzare un grandissimo numero di fenomeni di dissesto presenti in tutto il territorio nazionale.

Sulla base di quanto sopra, auspichiamo che questo Manuale, come avvenuto per quelli precedenti, abbia un'ampia diffusione e, quindi, contribuisca ad accrescere quella coscienza ambientale sulle tematiche inerenti la difesa del suolo, che costituisce il fondamento indispensabile in ogni attività di pianificazione territoriale e di prevenzione e gestione delle situazioni di emergenza.

Giancarlo Viglione
Direttore APAT

PREMESSA

Con questo Manuale il Dipartimento Difesa del Suolo - *Servizio Geologico d'Italia* dell'APAT conferma il suo impegno nel settore della mitigazione del rischio geologico-idraulico in Italia.

Questa pubblicazione, se da un lato, presenta per la prima volta nel nostro Paese una trattazione completa dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti e una breve analisi delle relazioni che intercorrono tra questi e alcune attività antropiche, dall'altro ha l'intento di raggiungere anche un vasto pubblico.

La conoscenza dei caratteri geologici del territorio italiano e delle dinamiche evolutive dei fenomeni d'instabilità, anche da parte di un pubblico più vasto di quello degli Addetti ai Lavori, rappresenta, infatti, il punto di partenza per poter operare un'efficace programmazione degli interventi di mitigazione dei rischi naturali e definire un'adeguata pianificazione territoriale.

Il Manuale contiene una classificazione sistematica dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti e una duplice descrizione di ciascuno di essi, la prima divulgativa, la seconda più completa e approfondita, rivolta a chi vuole saperne di più.

Al fine di colmare le carenze della simbologia pubblicata nella letteratura tecnico-scientifica, soprattutto in ambito applicativo, viene proposta una dettagliata legenda per la rappresentazione cartografica non solo dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti, ma anche delle opere e degli interventi più utilizzati nella sistemazione e difesa dei versanti e dei corsi d'acqua.

Leonello Serva

Direttore del Dipartimento Difesa del Suolo

Claudio Campobasso

Responsabile del Servizio Istruttorie,

Piani di Bacino e Raccolta Dati

INTRODUZIONE

Il Manuale “Fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti” (in seguito Manuale) nasce con l’intento di fornire una trattazione organica dei principali fenomeni naturali che causano il dissesto geologico-idraulico sui versanti, ossia dei movimenti gravitativi, dei fenomeni di erosione, generati dall’azione delle acque dilavanti, e delle valanghe. Vengono descritte, inoltre, alcune attività umane, ossia l’uso agricolo, la gestione dei boschi, il pascolamento e l’attività estrattiva, che possono determinare un notevole impatto sulle dinamiche e sugli equilibri dei versanti.

A nostro parere, mancava nel panorama nazionale un documento che raccogliesse insieme tali tematiche, le descrivesse in modo semplificato e facilmente comprensibile, e che, pertanto, potesse essere rivolto a un’ampia gamma di utilizzatori, con particolare riguardo ai tecnici degli Enti territoriali e agli Amministratori.

Si auspica, quindi, che questo Manuale possa diventare uno strumento operativo organico e di semplice consultazione, costituire un valido supporto e riferimento nella conoscenza dei fenomeni che generano instabilità geomorfologica sui versanti e, quindi, nella valutazione delle cause e dei meccanismi dei dissesti, nelle attività connesse alla difesa del suolo, intesa in termini di previsione, prevenzione e mitigazione dai rischi geologico-idraulici, nella corretta pianificazione dell’uso del territorio, nella gestione delle risorse naturali e nella raccolta ed elaborazione dei relativi dati e informazioni.

Le tematiche in esame sono state trattate ampiamente e dettagliatamente da molta letteratura tecnico-scientifica, che è stata presa a riferimento per la redazione del volume, semplificandone il linguaggio e i contenuti. Ad esempio per la descrizione dei movimenti gravitativi sono state prese a riferimento alcune pubblicazioni di grande interesse scientifico, citiamo in particolare VARNES (1978), CARRARA *et alii* (1992) e alcune già redatte dal Servizio Geologico Nazionale AMANTI M. *et alii* (1992), AMANTI *et alii* (1996) e AMANTI *et alii* (2001).

Il Manuale è strutturato in due parti. Nella prima viene presentata la classificazione sistematica dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti, unitamente alla trattazione descrittiva e generale di ciascuno di essi e delle attività antropiche suddette, diretta a evidenziarne i caratteri tipici e corredata da diverse immagini esplicative e da uno o più modelli schematici, che ne sottolineano i principali caratteri morfologici ed evolutivi.

In considerazione della complessità e della varietà dei fenomeni in esame, si è scelto di eseguire, per molti di essi, una duplice trattazione. Una è in forma sintetica e semplificata, per rispondere alle finalità divulgative del volume ed è stata differenziata graficamente attraverso l’utilizzo di box. L’altra è in forma più approfondita e completa, rivolta a chi vuole saperne di più, ed è stata redatta per fornire un quadro più esaustivo di alcuni fenomeni, descrivere quelli particolari che si differenziano dai principali per qualche caratteristica, e, soprattutto, per facilitare l’applicazione della classificazione proposta.

All’inizio della prima parte del Manuale sono trattati alcuni temi di carattere generale riguardanti i fenomeni di dissesto geologico-idraulico, anche attraverso l’utilizzo di tabelle riepilogative, al fine di facilitare sia la comprensione della parte descrittiva dei fenomeni stessi sia l’applicazione della legenda.

La seconda parte del Manuale contiene una dettagliata legenda di simboli per la rappresentazione cartografica non solo dei fenomeni di dissesto e delle attività antropiche citati, ma anche delle opere e degli interventi che più frequentemente vengono utilizzati nella prevenzione e difesa del territorio italiano dal dissesto geologico-idraulico. Tale legenda si propone di integrare e omogeneizzare quanto già presente in letteratura e di colmare le carenze, soprattutto, in ambito applicativo. Essa costituisce un importante strumento innovativo, consente di rappresentare su una carta topografica sia ogni specifico fenomeno di dissesto occorso in una determinata area, sia ciascuna opera e/o tipo di intervento realizzati e/o programmati per la relativa sistemazione; fornisce, inoltre, la possibilità di indicare la vocazione dell'ambito territoriale in cui l'opera e/o l'intervento sono stati realizzati e il relativo dell'Ente attuatore.

1. DISSESTI GEOLOGICO-IDRAULICI

Prima di passare alla trattazione degli argomenti in esame, si ritiene utile riportare le definizioni di alcuni concetti di carattere generale riguardanti il rischio geologico-idraulico, anche attraverso dei riferimenti alla normativa vigente nel nostro paese.

La Commissione De Marchi (1970 e 1974) fornisce una definizione di **dissesto idrogeologico**, inteso come l'insieme di *“quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente, alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi delle frane”*.

Per quanto riguarda il concetto di **difesa del suolo**, la relazione finale della stessa Commissione intende *“ogni attività di conservazione dinamica del suolo, considerato nella sua continua evoluzione per cause di natura fisica e antropica, e ogni attività di preservazione e di salvaguardia di esso, della sua attitudine alla produzione e delle installazioni che vi insistono, da cause straordinarie di aggressione dovute alle acque meteoriche, fluviali e marine o di altri fattori meteorici”*.

In seguito, tutta la normativa in materia di difesa del suolo, compresa la legge quadro sulla difesa del suolo n. 183 del 1989, definisce il termine di dissesto idrogeologico come *“qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l'acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo”*.

La stessa L. 183/89 definisce il **suolo** come *“il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali”*.

Per quanto riguarda il concetto di **rischio geologico**, esso può essere definito come la *“combinazione della pericolosità geologica e della potenziale vulnerabilità antropica di un territorio, espresso in termini di rapporto tra i prevedibili eventi di pericolosità geologica, la loro intensità e frequenza e le relative interferenze con le attività antropiche”* (BOLT *et alii*, 1975).

Il rischio geologico rientra nella più ampia categoria di rischio ambientale, per questo si ritiene utile riportarne la relativa definizione, unitamente a quelle di pericolosità ambientale e vulnerabilità territoriale ad esso strettamente legate. Le definizioni tratte da PANIZZA (1988) sono le seguenti:

- **pericolosità ambientale:** *“probabilità che un certo fenomeno, naturale o indotto più o meno direttamente dall'antropizzazione, si verifichi in un certo qual territorio, in un determinato intervallo di tempo”*;
- **vulnerabilità territoriale:** *“l'insieme complesso della popolazione, delle costruzioni, delle infrastrutture, delle attività economiche, dell'organizzazione sociale e degli eventuali programmi di espansione e di potenziamento di un certo territorio”*;
- **rischio ambientale:** *“la probabilità che le conseguenze economiche e sociali di un certo fenomeno di pericolosità superino una determinata soglia”*.

DISSESTI GEOLOGICO-IDRAULICI

Le possibili sorgenti del rischio geologico sono: l'attività sismica, l'attività vulcanica e il dissesto geologico-idraulico (figura 1.1). Nel nostro paese i fenomeni che comunemente vengono riconosciuti come la causa del dissesto geologico-idraulico sono: le alluvioni, i movimenti gravitativi, le erosioni, le valanghe, l'arretramento dei litorali e la subsidenza (GISOTTI & BENEDINI, 2000).

Nella letteratura tecnica e scientifica e nei testi legislativi generalmente si utilizza il termine di **dissesto idrogeologico**. In questo Manuale, al suo posto si è scelto di utilizzare il termine **dissesto geologico-idraulico**, poiché nel campo delle Scienze della Terra il termine idrogeologico implica sempre il coinvolgimento delle acque, sia superficiali sia sotterranee, mentre molti dissesti hanno come agente morfogenetico la gravità, come sarà descritto nel seguito. Per tali motivi si ritiene più appropriato e corretto l'uso del termine **dissesto geologico-idraulico**.

Per quanto riguarda i concetti generali di rischio, pericolosità, vulnerabilità, elementi a rischio, ecc. riportiamo di seguito le relative definizioni, prendendo a riferimento in particolare quelle dell'UNESCO (WP/WLI, 1993 a; WP/WLI 1093 b).

- PERICOLOSITÀ (P)

probabilità che un potenziale evento dannoso investa una data area, con una determinata intensità, in un periodo di tempo definito. Si esprime in termini di probabilità annuale. La definizione della pericolosità di un'area è funzione di tre componenti: valutazione dell'area interessata (susceptività); valutazione dell'intensità del fenomeno atteso; valutazione della frequenza dell'evento, cioè del tempo di ritorno.

Figura 1.1 – L'azione combinata di fenomeni di dilavamento e gravitativi ha causato l'arretramento del versante e creato una scarpata molto acclive e di notevole altezza. Tale situazione geomorfologica ha generato un elevato livello di rischio per le abitazioni poste in corrispondenza dell'orlo della scarpata. Comune di Civitacampomariano (CB).



- **ELEMENTO A RISCHIO (E)**

elemento o insieme di elementi (vite umane, attività economiche, edifici, infrastrutture, reti di servizio, ecc.) esposti alla probabilità che in un dato periodo di tempo possano essere investiti da un evento estremo di una determinata intensità.

Il D.P.C.M. del 29 settembre 1998, “*Atto di indirizzo e coordinamento per l’individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all’art. 1, commi 1 e 2, del decreto legge 11 giugno 1998 n. 180*”, individua per una data area i seguenti elementi a rischio:

- l’incolumità delle persone;
- gli agglomerati urbani, comprese le zone di espansione urbanistica;
- le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio ai sensi di legge;
- le infrastrutture a rete e le vie di comunicazione di rilevanza strategica, anche a livello locale;
- il patrimonio ambientale e i beni culturali di interesse rilevante;
- le aree sede di servizi pubblici e privati, impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive e infrastrutture primarie.

- **VULNERABILITÀ (V)**

Grado di perdita prodotto su un elemento o su una serie di elementi (popolazione umana, edifici, infrastrutture, attività economiche, servizi sociali, risorse naturali, ecc.) esposti a rischio (E) risultante dal verificarsi di un evento dannoso di una intensità data. Il suo valore si esprime in un scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale). Le aree caratterizzate da un determinato livello di pericolosità che potrebbe arrecare danno alle persone e alle cose, costituiscono le aree vulnerabili. In altre parole, la vulnerabilità esprime la correlazione esistente tra l’intensità di un evento e il danno atteso.

- **VALORE O ESPOSIZIONE DELL’ELEMENTO A RISCHIO (W)**

Quantificazione del valore economico o del numero di unità relative ad ognuno degli elementi a rischio in una data area.

- **RISCHIO**

Il rischio è funzione della pericolosità e della vulnerabilità; può essere sinteticamente definito come probabilità di perdita di valore di un elemento esposto al pericolo o, in altri termini, come la quantificazione del valore atteso delle perdite (umane e materiali) dovute ad un particolare evento dannoso. La determinazione del rischio specifico consente di valutare gli effetti di un fenomeno, indipendentemente dalla valutazione degli elementi esposti a rischio e del loro valore, operazione non sempre agevole, in considerazione delle difficoltà insite nei processi di stima economica dei beni. Per una completa valutazione del rischio non è sufficiente definire il rischio specifico o totale determinato dall’esistenza di fenomeni idrogeologici potenzialmente

DISSESTI GEOLOGICO-IDRAULICI

distruttivi, ma occorre passare al confronto tra il valore di rischio determinato e quello di rischio accettabile.

- **RISCHIO SPECIFICO (R_s)**
Grado di perdita atteso quale conseguenza di un particolare evento di data intensità, espresso in termini di probabilità annuale o tempo di ritorno. Il rischio specifico è funzione della pericolosità e della vulnerabilità. Può essere espresso come $R_s = P \times V$.
- **RISCHIO TOTALE (R)**
Valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà e delle perturbazioni alle attività economiche dovuti ad un evento dannoso. E' espresso in termini di costo annuo oppure di quantità o unità perse per anno. E' quindi il rischio specifico valutato in termini economici per tutti gli elementi esposti al fenomeno. Può essere espresso come $R = P \times V \times E = R_s \times E$.
- **ANALISI DEL RISCHIO**
Insieme delle valutazioni sulla pericolosità, sulla vulnerabilità e sugli elementi a rischio fino alla determinazione della loro interazione, cioè del rischio totale.
- **RISCHIO ACCETTABILE**
Rischio compreso entro il limite oltre il quale esso diviene troppo grande per essere tollerato dalla società nella quale si verifica, in funzione del complesso delle caratteristiche culturali, sociali ed economiche.
- **STIMA DEL RISCHIO**
Valutazione del rischio totale in funzione delle soglie di rischio accettabile esistenti.
- **GESTIONE DEL RISCHIO**
Definizione delle contromisure e degli interventi necessari per giungere alla mitigazione del rischio. Viene attuata intervenendo su pericolosità, vulnerabilità ed elementi a rischio, è quindi l'oggetto dell'attività di previsione.
- **SUSCETTIVITÀ**
Stima della propensione al dissesto in un determinato territorio, calcolata sulla base di giudizi qualitativi.

A commento del lungo elenco di definizioni, si ritiene utile ricapitolare che una stima, ove possibile quantificata, per un'assegnata tipologia di rischio e rispetto ad un prefissato intervallo temporale, presuppone l'esecuzione delle necessarie indagini per la determinazione della pericolosità dell'evento, delle aree vulnerabili e, all'interno di queste, degli elementi a rischio e del loro livello di vulnerabilità. La previsione è, quindi, un'azione di tipo conoscitivo che necessita di un approccio multidisciplinare e può essere affrontata in modo soddisfacente solo attraverso l'acquisizione e l'interazione di diverse specifiche competenze. Tra i problemi scientifici più rilevanti vi sono senza dubbio quelli connessi alla valutazione dell'intensità e della pericolosità del fenomeno che richiede, infatti, l'impiego di approcci statistici, probabilistici e deterministici e un'accurata elaborazione dei dati di base e derivati di natura geologica e ambientale.



1.1 Dissesti di versante

In questo capitolo sono trattati i principali fenomeni naturali che causano nel territorio italiano il dissesto geologico-idraulico sui versanti; essi sono stati raggruppati in uno schema di classificazione, denominato “Quadro sinottico dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti” (tabella 1.1), in funzione degli agenti morfogenetici esogeni dai quali prendono origine, ossia: forza di gravità, acque di dilavamento e neve. Per la redazione di tale schema sono state prese a riferimento le seguenti pubblicazioni: AMANTI *et alii* (2001), CARRARA *et alii* (1985), CRUDEN & VARNES (1996) e VARNES (1978).

Ogni termine utilizzato per la denominazione di ciascun fenomeno è stato scelto perché considerato in letteratura il più adatto o il più comune. Per ognuno di essi sono riportati, comunque, la maggior parte dei sinonimi corretti, comunemente usati in letteratura.

Ricordiamo che i fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti sono strettamente interdipendenti con quelli che determinano il dissesto idraulico. I fenomeni che avvengono sui versanti, infatti, possono avere ripercussioni dirette sulla dinamica dei corsi d'acqua dello stesso bacino idrografico e viceversa; citiamo due esempi:

- a fasi parossistiche dei fenomeni di denudazione corrispondono in genere eventi catastrofici della dinamica fluviale. Nelle ondate di piena straordinarie, il trasporto solido eccezionale può essere alimentato anche dal materiale franto dalle sponde e dai versanti. Il materiale detritico e vegetale presente in un alveo può dare origine a delle dighe temporanee, spesso in corrispondenza di restringimenti dell'alveo, a cui si accompagnano fenomeni di rigurgito o improvvisi cedimenti delle dighe naturali, con allagamenti a monte o a valle;
- in concomitanza di rilevanti portate negli alvei dei corsi d'acqua, si possono verificare intensi fenomeni erosivi sul fondo e sulle sponde, che possono indurre l'instabilità geomorfologica sui versanti sovrastanti.

Per una buona conoscenza di un fenomeno di dissesto risulta di fondamentale importanza acquisire informazioni circa il suo stato di attività e il tipo di materiale coinvolto.

I materiali, in base alla classificazione litotecnica riportata in AMANTI *et alii* (1996), si distinguono in rocce, detriti e terre:

- per **roccia** si intende un aggregato naturale di grani minerali legati da forze coesive elevate e permanenti, anche dopo prolungata agitazione in acqua;
- per **detrito** si intende un aggregato naturale di granuli, costituiti prevalentemente da elementi maggiori di 2 mm, non legati tra loro o che possono essere disgregati con modeste sollecitazioni o per agitazione in acqua;
- si definisce **terra** un aggregato di granuli, costituito prevalentemente da elementi inferiori a 2 mm, non legati tra loro o che possono essere disgregati con modeste sollecitazioni o per agitazione in acqua.



DISSESTI DI VERSANTE

Si ritiene utile fornire una precisazione riguardo alle variazioni che i materiali possono subire nel corso dell'evoluzione di un fenomeno di dissesto: *“il tipo di materiale coinvolto è classificato secondo il suo stato prima del movimento iniziale, oppure, se il movimento cambia, secondo il suo stato al momento nel quale è avvenuto il cambiamento”* (CARRARA *et alii*, 1985). Ad esempio un materiale lapideo può essere coinvolto in fenomeni di crollo, dando origine a un deposito detritico, il quale successivamente può essere coinvolto in un'altra tipologia di dissesto, ad esempio in una colata rapida di detrito. In tal caso nel primo movimento veniva coinvolto un materiale roccioso, nel secondo un materiale detritico.



Tabella 1.1 – Schema di classificazione dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti.

QUADRO SINOTTICO DEI FENOMENI DI DISSESTO GEOLOGICO-IDRAULICO SUI VERSANTI

Dissesti dovuti alla gravità

Frane s.s.

- Crolli
- Ribaltamenti
- Scorrimenti rotazionali
- Scorrimenti traslativi
- Colamenti lenti
- Colate rapide di detrito e fango
- Espansioni laterali
- Movimenti complessi

Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

Movimenti lenti superficiali

- Soliflussi
- Reptazioni

Altri fenomeni di dissesto

- Aree soggette a frane superficiali diffuse
- Area soggetta a crolli e/o ribaltamenti diffusi
- Sprofondamenti

Dissesti dovuti al dilavamento

- Erosione areale per ruscellamento diffuso*
- Erosione per ruscellamento concentrato a rivoli e solchi*

Dissesti dovuti alle valanghe



DISSESTI DI VERSANTE

Lo stato di attività di un fenomeno di dissesto fornisce informazioni relativamente al tempo in cui esso si è verificato, inoltre fornisce una previsione del tipo di evoluzione, anche in senso temporale, dello stesso. La terminologia adottata nella descrizione dello stato di attività fa riferimento a quanto contenuto nella “Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione” (AMATI *et alii*, 1996) e nella “Guida alla compilazione della scheda frane IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia), Allegato 1 al Progetto IFFI” (AMANTI *et alii*, 2001), che si basano sulle raccomandazioni del WP/WLI (1993a) e del Glossario Internazionale delle Frane (WP/WLI 1993b) nonché su quanto proposto da CRUDEN & VARNES (1996). Nella tabella 1.2 sono riportati gli stati di attività a cui occorre far riferimento, con le relative definizioni.

Nella Guida “*lo stato di attività viene considerato come un elemento descrittivo fondamentale la cui valenza, almeno nel breve termine, è anche predittiva*”. Per lo stato di attività occorre premettere che in natura esiste una vasta gamma di possibilità e variabili, per questo l’applicazione della classificazione proposta, per sua natura rigida, presenta molteplici difficoltà e comporta delle inevitabili inesattezze.

Tabella 1.2 – Stati di attività (tratta da AMANTI *et alii*, 1996; parzialmente modificata).

ATTIVO (<i>active</i>): fenomeno attualmente in movimento o comunque che si è mosso l’ultima volta entro l’ultimo ciclo stagionale.	ATTIVO s.s.: fenomeno attualmente in movimento. SOSPESO (<i>suspended</i>): fenomeno che si è mosso entro l’ultimo ciclo stagionale ma che non si muove attualmente. RIATTIVATO (<i>reactivated</i>): fenomeno di nuovo attivo dopo essere stato inattivo.
QUIESCENTE (<i>dormant</i>): fenomeno che può essere riattivato dalle sue cause originali (ossia per il quale permangono le cause del movimento).	
INATTIVO O STABILIZZATO (<i>stabilized</i>): fenomeno che non può essere riattivato dalle sue cause originali.	NATURALMENTE STABILIZZATO (<i>abandoned</i>): fenomeno che non è più influenzato dalle sue cause originali (per il quale le cause del movimento sono state naturalmente rimosse). ARTIFICIALMENTE STABILIZZATO (<i>artificially stabilized</i>): fenomeno che è stato protetto dalle sue cause originali da misure di stabilizzazione. RELITTO (<i>relict</i>): fenomeno che si è sviluppato in condizioni geomorfologiche o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali.

Nella figura 1.2 vengono rappresentate le possibili fasi evolutive dello stato di attività di un fenomeno di ribaltamento.

Le fonti di informazioni sulla base delle quali viene definito lo stato di attività di un fenomeno sono molteplici e di diversa natura; le principali sono elencate di seguito:

- indicatori cinematici visibili sul terreno per mezzo di rilevamento tradizionale, aerofotogrammetria, telerilevamento;
- monitoraggio di tipo geodetico (topografia tradizionale, GPS) o con strumentazioni di tipo geotecnico;
- informazioni di tipo bibliografico, cartografia geotematica, relazioni del Genio Civile o di Enti analoghi, testimonianze, ricerche di tipo archivistico.



Nella legenda contenuta alla fine del Manuale, per la descrizione dello stato di attività dei vari fenomeni di dissesto geologico-idraulico sono state distinte per semplicità solo le principali categorie, ossia attiva, quiescente e inattiva.



DISSESTI DI VERSANTE

1) **ATTIVA** - *active*:
l'erosione all'unglia del
pendio causa il ribaltamento
di un blocco.



2) **SOSPESA** - *suspende*:
fessurazione locale nel
coronamento del
ribaltamento.

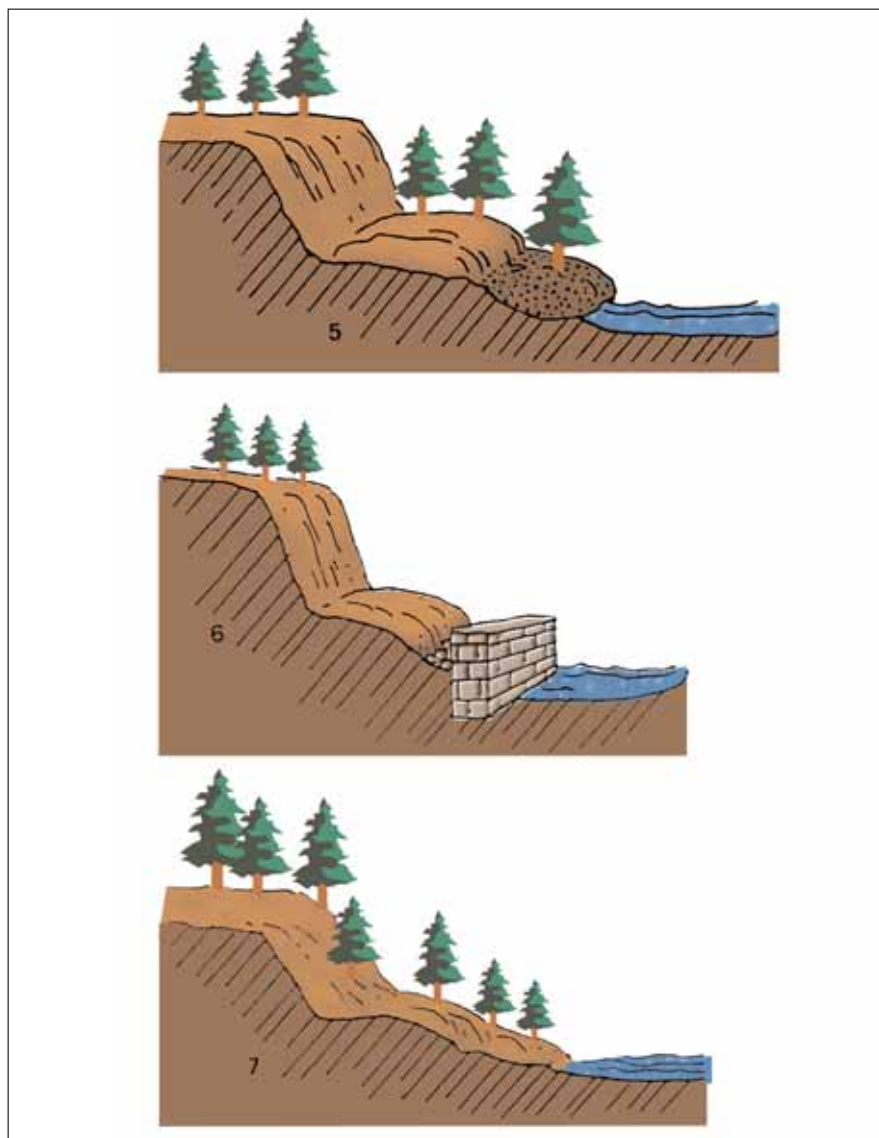


3) **RIATTIVATA** -
reactivated: un altro blocco
ribalta, disturbando il
materiale precedentemente
spostato.



4) **QUIESCENTE** -
dormant: la massa spostata
riprende la sua copertura
vegetale, le scarpate sono
modificate dalla
degradazione meteorica.





5) **NATURALMENTE STABILIZZATA** - *stabilized*: la deposizione fluviale ha protetto l'unglia del pendio, la scarpata riprende la sua copertura vegetale.

6) **ARTIFICIALMENTE STABILIZZATA** - *abandoned*: un muro protegge l'unglia del pendio.

7) **RELITTA** - *relict*: si è stabilita una copertura vegetale uniforme.

Figura 1.2 – Frane di ribaltamento con diversi stati di attività (tratta da AMANTI *et alii*, 1996; parzialmente modificata).



1.1.1 Dissesti dovuti alla gravità

Le azioni che turbano gli equilibri naturali sui versanti possono causare i fenomeni di dissesto geologico-idraulico; esse traggono origine da molteplici fattori tra loro interdipendenti, dalla cui differente combinazione deriva un'incidenza estremamente variabile sugli equilibri naturali.

Le forze che agiscono su un versante, quando superano la resistenza dei materiali, provocano lo spostamento di una certa massa di roccia, sotto l'azione prevalente della gravità. In sintesi tutte le cause che producono instabilità sui versanti possono essere ricondotte a:

- aumento delle tensioni tangenziali, per modifica della geometria del pendio (ad esempio erosione al piede, scavi, costruzione di manufatti, ecc.), azioni sismiche e vibrazioni artificiali;
- diminuzione della resistenza al taglio, che può dipendere da variazioni delle pressioni neutre o interstiziali, aumento del peso specifico apparente, aumento del carico, aumento dell'acclività, sollecitazioni dinamiche, diminuzione dell'angolo di attrito, diminuzione della coesione per modifica dei parametri di resistenza dei terreni (alterazione, rammollimento, rottura progressiva, ecc.).

I fattori che favoriscono, condizionano e determinano i fenomeni di dissesto si possono distinguere in **fattori strutturali o predisponenti**, che agiscono in prevalenza in modo costante nel tempo, e in **fattori determinanti o innescanti**, che producono un impulso esterno, anche in tempi brevi, determinando l'alterazione degli equilibri naturali.

In letteratura i fattori predisponenti sono connessi agli aspetti: litologici, geologici, orografici, morfometrici, geomorfologici, geotecnici, climatici, idrologici, idrogeologici, strutturali, vegetazionali, alle attività antropiche e all'uso del suolo.

I fattori innescanti di origine naturale più frequenti sono costituiti secondo vari Autori da: eventi meteorici intensi, repentino scioglimento delle nevi, fenomeni di erosione accelerata, scalzamento al piede dei versanti per opera di correnti idriche e moto ondoso, terremoti, innalzamento repentino o stazionamento alto delle falde, ecc.

Le condizioni meteorologiche rappresentano, quindi, uno dei principali fattori predisponenti e/o innescanti dei fenomeni gravitativi. In particolare il susseguirsi di lunghi periodi siccitosi e di eventi meteorici particolarmente intensi e concentrati, favorisce l'innescamento dei fenomeni. Elevati valori di precipitazioni cumulate, ossia lunghi periodi piovosi che determinano la saturazione del suolo e del sottosuolo e lo stazionamento alto della falda, rappresentano un fattore sia predisponente sia innescante dei movimenti franosi che possono coinvolgere il substrato. Può accadere, infatti, che si verifichino le condizioni di innescamento di movimenti gravitativi sia con il prolungarsi delle piogge, senza un evento particolare, sia in



concomitanza di un evento meteorico cospicuo, non necessariamente intenso, successivo a un lungo periodo piovoso.

Le attività antropiche, in relazione alle caratteristiche del contesto in cui vengono svolte, possono agire sia come cause innescanti sia come cause predisponenti; esse rappresentano cause non secondarie dell'instabilità dei versanti, per tale motivo nel presente volume la degradazione indotta da alcune attività umane (uso agricolo improprio, errata gestione dei boschi, pastorizia e attività estrattiva) è stata ampiamente descritta nel capitolo 2.

La ricorrente e intensa attività sismica che interessa il nostro Paese può innescare, in concomitanza degli eventi più rilevanti, dei movimenti gravitativi. I terremoti che colpirono il Friuli nella primavera-estate del 1976 causarono l'attivazione e/o la riattivazione di numerose frane, ad esempio lungo i fronti pedemontani tra Artegna e Tenzzone (UD) e Bordano (UD). Il terremoto del 23 novembre del 1980 che colpì l'Irpinia e la Basilicata innescò diversi movimenti franosi, citiamo ad esempio quelli avvenuti nei comuni di Caposele, Senerchia, Calitri, Lioni (AV), San Giorgio La Molara (BN) e Callianello (PZ). Tra i fenomeni franosi avvenuti a seguito della crisi sismica che ha interessato l'Umbria e le Marche nel periodo settembre-ottobre 1997, ricordiamo: lo scorrimento rotazionale di Annifo (PG), i numerosi crolli nei depositi di travertino presso Triponzo (PG) e quelli lungo le strade statali Valnerina e Casciana, in seguito ai quali, queste ultime, furono interdette al traffico per lungo tempo.

Tra i fattori che possono innescare, in particolari circostanze, dei movimenti franosi ricordiamo il processo della liquefazione (inglese: *liquefaction*) che si verifica in seguito all'applicazione di una sollecitazione istantanea a terreni granulari (sabbie fini e limi saturi), poco addensati, in depositi naturali e artificiali. Sollecitazioni istantanee, applicate in condizioni non drenate, comportano l'aumento improvviso della pressione neutra, quando questa eguaglia la pressione totale, avviene l'annullamento della resistenza al taglio e il collasso della struttura. Il processo di liquefazione, quindi, consiste nella temporanea trasformazione di masse solide di terreno in materiali allo stato di un fluido molto viscoso che tende a espandersi lateralmente (GISOTTI & BENEDINI, 2000).

Rapide sollecitazioni dinamiche possono essere prodotte sia da vibrazioni causate da eventi sismici o esplosioni, sia da un rapido innalzamento o abbassamento della superficie freatica.

Qualora tale processo interessi del materiale posto su un versante acclive, può provocare lo spostamento verso valle del materiale stesso per effetto della gravità, generando frane per liquefazione. In questo caso il meccanismo e le caratteristiche del franamento sono molto simili a quelli dei colamenti lenti (VALLARIO, 1992).

Nella tabella 1.3 sono riassunti i principali fattori che concorrono a predisporre e innescare i fenomeni gravitativi negli ambienti geologici e geomorfologici presenti nel territorio italiano.

Per quanto riguarda la quantificazione della velocità dei fenomeni gravitativi si fa riferimento alla scala di intensità proposta da IUGS/WGL (1995) e successivamente ripresa da AMANTI *et alii* (1996), basata sulla velocità del movimento, alla quale si associa una scala dei danni prodotti proposta da MORGENSTERN (1985) e da CRUDEN & VARNES (1995). Le due scale sono riportate nella tabella 1.4.



DISSESTI DOVUTI ALLA GRAVITÀ

Tabella 1.3 – Schema riepilogativo dei principali fattori che concorrono a predisporre e innescare i fenomeni gravitativi nel territorio italiano.

FATTORI DELLA FRANOSITÀ		
LITOLOGICI	<ul style="list-style-type: none"> • composizione • struttura • tessitura 	<ul style="list-style-type: none"> • stato di alterazione • caratteristiche geomeccaniche delle rocce e dei terreni
MORFOLOGICI	<ul style="list-style-type: none"> • orografia • morfometria dei versanti 	<ul style="list-style-type: none"> • assetto del reticolo idrico
STRUTTURALI E TETTONICI	<ul style="list-style-type: none"> • stratificazione • scistosità • fratturazione • fessurazione 	<ul style="list-style-type: none"> • evoluzione geodinamica • regime tettonico attuale • sismicità
METEOCLIMATICI	<ul style="list-style-type: none"> • regime termo-pluviometrico • tipologia e distribuzione delle precipitazioni 	<ul style="list-style-type: none"> • frequenza e intensità degli eventi estremi
IDROGEOLOGICI	<ul style="list-style-type: none"> • idrografia • sorgenti • bilancio idrogeologico 	<ul style="list-style-type: none"> • caratteristiche della circolazione idrica superficiale • caratteristiche della circolazione idrica sotterranea
USO DEL SUOLO	<ul style="list-style-type: none"> • classi di uso del suolo (superfici artificiali, superfici agricole utilizzate, territori boscati e ambienti seminaturali, zone umide, corpi idrici) 	
ANTROPICI	<ul style="list-style-type: none"> • realizzazione di nuovi insediamenti • presenza o realizzazione di vie di comunicazione • uso agricolo improprio • errata gestione dei boschi, disboscamenti • ostruzioni di impluvi naturali • eccessivo riempimento di bacini di ritenuta idrica • impermeabilizzazioni • modifiche all'assetto morfologico, quali sbancamenti, scavi, trincee, terrazzamenti, ecc. 	<ul style="list-style-type: none"> • indiscriminati appesantimenti dei versanti • eccessivo pascolamento • attività estrattive • inadeguata o errata destinazione d'uso del suolo • mancate o inadeguate attività di sistemazione e manutenzione dei corsi d'acqua e dei versanti • rottura di reti idriche • vibrazioni artificiali • infrastrutture di servizio

Come già detto nell'Introduzione, a causa della complessità e della varietà dei fenomeni di dissesto dovuti alla gravità, in molti casi, la relativa trattazione viene eseguita con una duplice modalità, una sintetica e semplificata, l'altra più approfondita e completa. La prima, contenuta in un box posto all'inizio di ogni paragrafo, consiste in una descrizione divulgativa del fenomeno, diretta a evidenziarne i caratteri tipici, e accompagnata da uno o più modelli schematici esemplificativi, che ne evidenziano i principali caratteri morfologici ed evolutivi. A questa può seguire, dove necessario, una trattazione più estesa e dettagliata, corredata da diverse immagini esplicative, che nasce dall'esigenza di fornire un quadro più esaustivo di ciascun fenomeno, descrivere anche alcuni fenomeni particolari che si differenziano dai principali per qualche caratteristica, denominati in letteratura con nomi specifici, e, soprattutto, facilitare la corretta classificazione della vasta gamma di fenomeni che si verificano in natura.

Come riportato nel "Quadro sinottico dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico-



co sui versanti”, i dissesti dovuti alla gravità sono stati suddivisi in quattro categorie: frane *sensu strictu*, movimenti lenti superficiali, deformazioni gravitative profonde di versante (D.G.P.V.) e altri fenomeni di dissesto.

Tabella 1.4 – Scala delle velocità e dei danni prodotti dalle frane, suddivisa in sette classi (tratta da IUGS/WGL, 1995).

Classe	Descrizione	Danni osservabili	Scala delle velocità	
1	ESTREMAMENTE LENTO	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzione di edifici possibile con precauzioni.	16 mm/anno	$- 5 \cdot 10^{-10}$ m/s
2	MOLTO LENTO	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	16 mm/anno	$- 5 \cdot 10^{-8}$ m/s
3	LENTO	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se lo spostamento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.	13 mm/anno	$- 5 \cdot 10^{-6}$ m/s
4	MODERATO	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute	1,8 m/h	$- 5 \cdot 10^{-4}$ m/s
5	RAPIDO	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili e installazioni permanenti.	3 m/min	$- 5 \cdot 10^{-2}$ m/s
6	MOLTO RAPIDO	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.	5 m/sec	- 5 m/s
7	ESTREMAMENTE RAPIDO	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.		

Nel Manuale sono state inserite tra i dissesti dovuti alla gravità anche le colate rapide di detrito e fango (*debris flows* e *mud flows*). Si tratta di fenomeni complessi con caratteristiche intermedie tra i movimenti di massa, nei quali la gravità costituisce l'agente del movimento, mentre l'acqua svolge solo il ruolo di fluidificante, e i fenomeni di trasporto idrico normale, nei quali sono le correnti idriche a svolgere l'azione di trasporto.

In ragione di tali caratteristiche, una parte della letteratura tecnico-scientifica colloca questi fenomeni tra i dissesti idraulici, poiché in molti casi essi si incanalano lungo corsi d'acqua preesistenti, espandendosi tipicamente in zone di conoide. In questa sede si è scelto di classificare tali fenomeni tra le frane, analogamente alle classificazioni proposte da AMANTI *et alii* (1996), AMANTI *et alii* (2001), CRUDEN & VARNES (1996) e VARNES (1978) prese a riferimento nel presente lavoro.

Talvolta vengono accomunati alle colate rapide di detrito e fango particolari fenomeni, denominati “flussi detritici torrentizi”, che hanno caratteri affini, ma avvengono con dinamiche idrauliche, perciò devono essere riferiti al dissesto idraulico. I flussi detritici torrentizi si verificano negli alvei dei torrenti, tipicamente in aree montane con elevata acclività, in concomitanza di intensi apporti idrici, hanno la capacità di erodere e trasportare ingenti quantità del materiale solido presente in alveo e sulle sponde (depositi alluvionali, materiale franato, materiale vegetale, materiali di discarica, ecc.). Questi fenomeni sono stati descritti nel paragrafo 1.2 “Alcuni fenomeni di dissesto idraulico”.

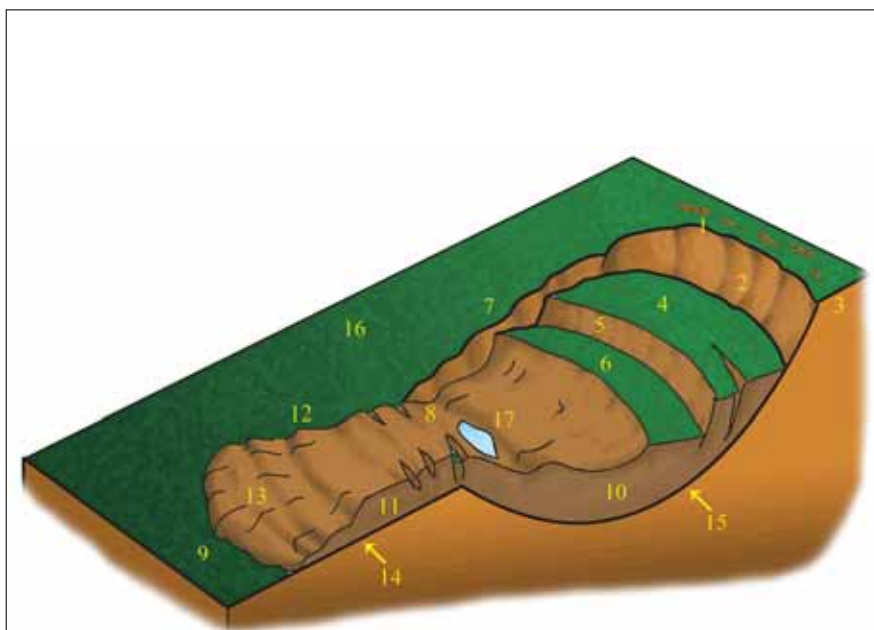


1.1.1.1 Frane s.s.

Sinonimi: movimenti franosi, fenomeni franosi, fenomeni gravitativi, movimenti di massa, movimenti di versante, spostamenti gravitativi.

Inglese: *landslides*

Figura 1.3 – Nomenclatura delle varie parti di un movimento franoso complesso, classificabile come uno scorrimento rotazionale evolvente in colamento lento. La terminologia proposta può essere utilizzata adattandola a tutte le altre categorie di frana. Il modello schematico mette in evidenza la forma arcuata della superficie di rottura, la disarticolazione in diversi blocchi del corpo di frana, la formazione di aree in contropendenza con possibili ristagni d'acqua. Si osserva, inoltre, che la massa dislocata si muove oltre la superficie di rottura, sovrapponendosi alla sottostante superficie di terreno originaria, generando il piede della frana. In questo settore si possono verificare rigonfiamenti e avvallamenti disposti trasversalmente, dovuti allo sviluppo di sforzi compressivi. Nello stesso settore, per la mancanza di contenimento laterale, il corpo di frana tende ad allargarsi, producendo le caratteristiche fessurazioni radiali. (Tratta da VARNES, 1978; parzialmente modificata).



NOMENCLATURA

- | | |
|--|---|
| 1) Coronamento | 10) Corpo principale |
| 2) Scarpata principale o nicchia di distacco | 11) Piede |
| 3) Fessure di trazione | 12) Rigonfiamenti trasversali |
| 4) Testata | 13) Fessure longitudinali o radiali |
| 5) Scarpata secondaria | 14) Superficie di separazione o di scorrimento |
| 6) Gradino di frana | 15) Superficie di rottura o di scivolamento |
| 7) Fianco destro | 16) Superficie originaria del versante |
| 8) Fessure trasversali | 17) Area in contropendenza con ristagni d'acqua |
| 9) Unghia della frana | |

Frane s.s.**PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO**

Con il termine frana si definisce “*il movimento di una massa di roccia, detrito e terra lungo un pendio*” (CRUDEN, 1991), come effetto prevalente della forza di gravità, che evolve con velocità estremamente variabile, da alcuni millimetri all’anno a decine di metri al secondo. “*I movimenti franosi possono essere superficiali o profondi, lenti o rapidi, e si verificano secondo un’ampia gamma di meccanismi, cause e modalità d’innesco*” (VARNES, 1978).

Le frane rappresentano la causa principale d’instabilità dei pendii, di origine sia naturale sia artificiale.

Il sistema di classificazione proposto prende come riferimento quello di VARNES (1978), integrato e adattato da CARRARA *et alii* (1985) alla situazione geologica italiana e ripreso in seguito nella “Guida alla compilazione della scheda IFFI” (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) (AMANTI *et alii*, 2001). In questa sede, a tale schema di classificazione sono state apportate delle opportune modifiche, dettate dalle necessità e finalità del presente lavoro, che saranno via via descritte.

Lo schema di classificazione adottato distingue otto fondamentali tipologie di movimenti franosi: crolli, ribaltamenti, scorrimenti rotazionali, scorrimenti traslativi, colamenti lenti, colate rapide di detrito e fango, espansioni laterali e movimenti complessi.

Nella figura 1.3 è riportato lo schema di nomenclatura delle varie parti di un movimento franoso complesso, riferibile ad uno scorrimento rotazionale evolvente in colamento lento. La terminologia proposta può essere utilizzata adattandola a tutte le altre categorie di frana.

Per la descrizione di ciascun fenomeno franoso, è stata presa a riferimento la più recente e autorevole letteratura tecnico-scientifica; in particolare i testi più utilizzati sono stati: AMANTI *et alii* (1992), AMANTI *et alii* (1996), AMANTI *et alii* (2001), CARRARA *et alii* (1985), CRUDEN & VARNES (1996), e VARNES (1978). Per brevità di esposizione e per evitare innumerevoli ripetizioni, essi non verranno più citati nel seguito; saranno invece specificati, all’inizio di ogni paragrafo, solo gli altri autori presi a riferimento di volta in volta nel testo.



1.1.1.1 Crolli e ribaltamenti

Riferimenti bibliografici: VALLARIO, 1992.

Inglese: *falls* e *topples*.

Figura 1.4 – Modello schematico di crolli in materiali litoidi fratturati e fessurati. Gli elementi distaccati quando raggiungono il piano campagna possono accumularsi nell'area d'impatto oppure subire ulteriori spostamenti per rotolamento e rimbalzo, percorrendo in tal modo anche notevoli distanze. (Tratta da VALLARIO, 1992; parzialmente modificata).

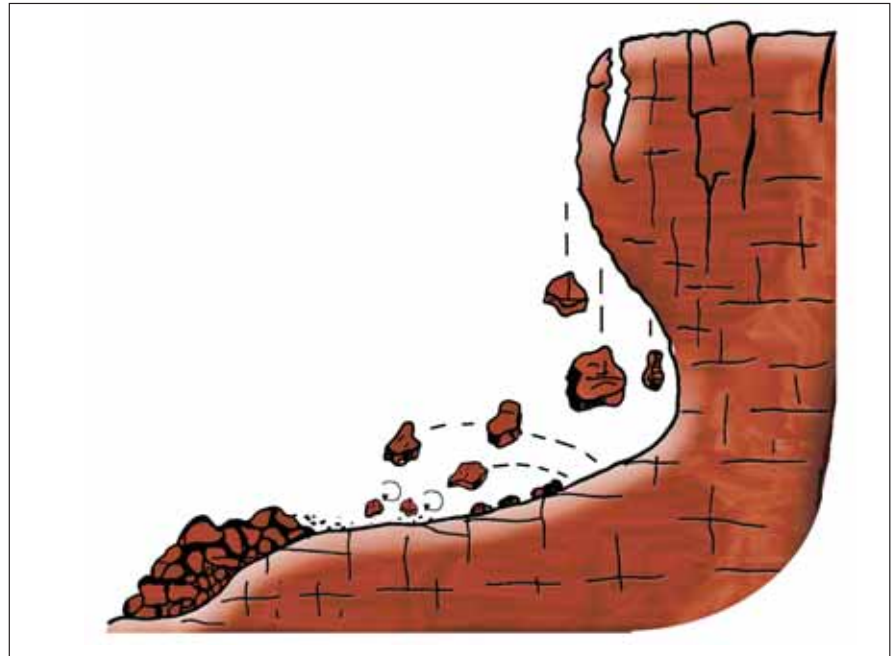
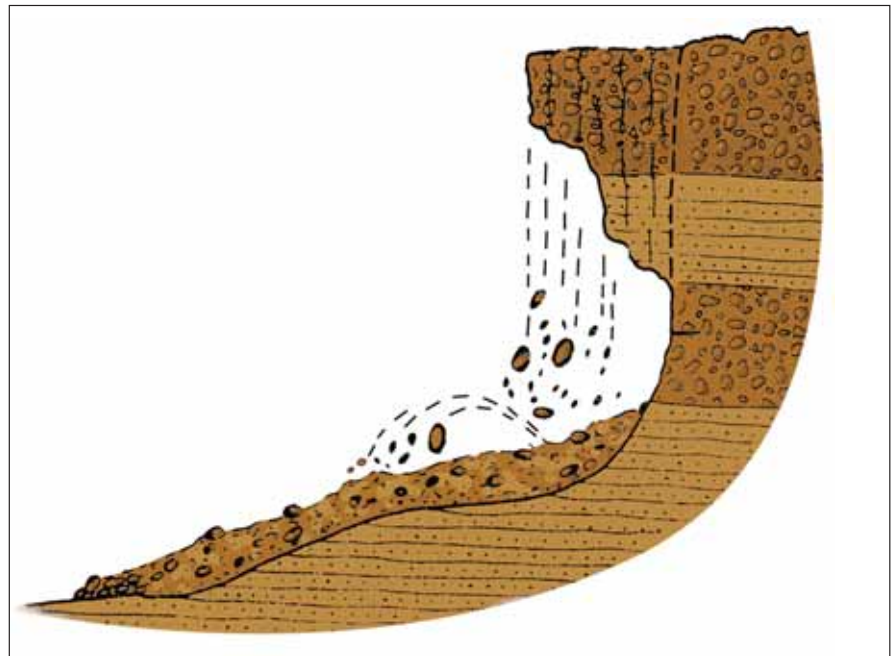


Figura 1.5 – Modello schematico di crolli in depositi detritici stratificati, con grado variabile di coesione. Gli elementi caduti possono fermarsi nell'area d'impatto oppure subire ulteriori movimenti per rimbalzo o rotolamento, percorrendo in tal modo anche notevoli distanze. (Tratta da VALLARIO, 1992; parzialmente modificata).





Crolli

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Per crollo si intende il movimento di caduta in aria libera di materiali di qualunque dimensione e tipologia (rocce, detriti e terre). È un fenomeno da rapido a estremamente rapido, caratteristico di pendii molto acclivi, fino ad essere aggettanti (figure 1.4 e 1.5).

Generalmente il distacco avviene in corrispondenza di superfici di discontinuità molto inclinate e preesistenti, non sono rare comunque le superfici di neoformazione. Tali discontinuità sono costituite generalmente da: giunti di stratificazione, piani di faglia, fratturazione tettonica, fessurazione di varia natura, piani di scistosità o di laminazione, superfici di contatto tra materiali aventi caratteristiche geomeccaniche differenti.

I materiali spostati quando raggiungono il piano campagna, se la morfologia lo consente, possono continuare il movimento a salti e rimbalzi lungo il versante. Il distacco iniziale, la caduta a terra e i successivi impatti possono provocare un'intensa frantumazione del materiale coinvolto, in diversi elementi di dimensioni molto variabili.

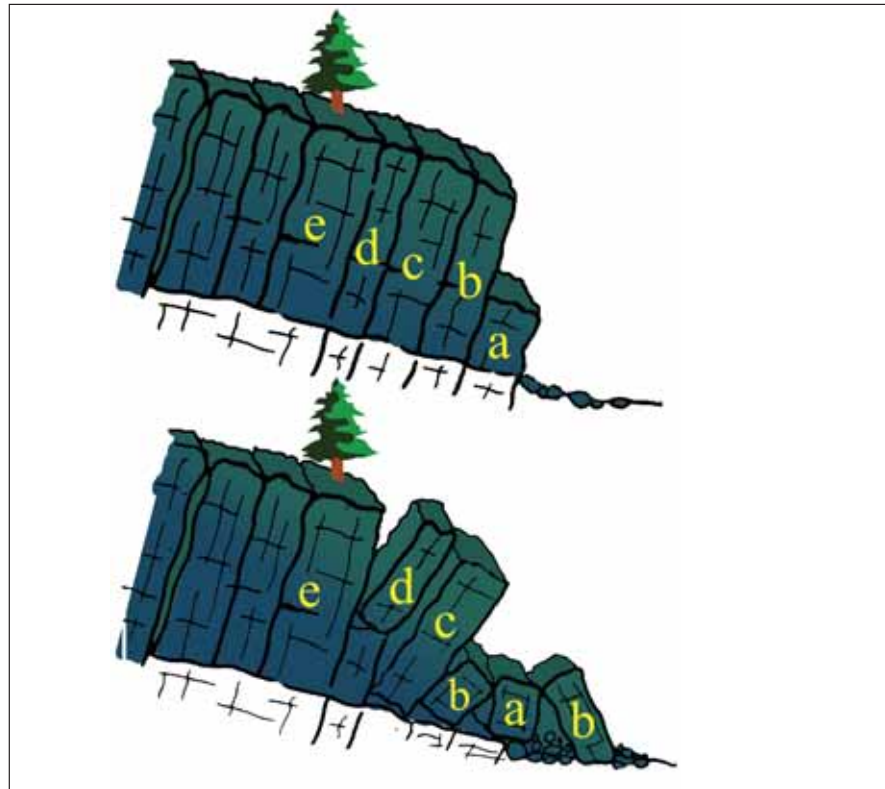
Il materiale accumulato alla base dei versanti, se le condizioni morfologiche lo consentono, può essere coinvolto in successivi movimenti gravitativi.

I fenomeni di crollo presentano un'elevata pericolosità causata dall'alta energia cinetica coinvolta, dai tempi di evoluzione estremamente rapidi (dell'ordine dei secondi) e da una notevole difficoltà di previsione.



CROLLI E RIBALTAMENTI

Figura 1.6 – Modello schematico di ribaltamenti in depositi lapidei interessati da profonde fratture, disposte suborizzontalmente e subverticalmente. (Tratta da VARNES (1978) e dal sito web della Provincia della Columbia Britannica: <http://www.em.gov.bc.ca>; parzialmente modificata).



Ribaltamenti

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Il ribaltamento comporta una rotazione rigida frontale o un'inflexione di una massa intorno ad un punto o un asse situato al di sotto del baricentro della massa stessa. Questo movimento avviene in presenza di alcune famiglie di discontinuità, che devono essere sia subverticali sia suborizzontali. Le superfici di discontinuità sono costituite generalmente da: giunti di stratificazione, piani di faglia, fratturazione tettonica, fessurazione di varia natura, piani di scistosità o di laminazione, superfici di contatto tra materiali aventi caratteristiche geomeccaniche differenti.

Il movimento non necessariamente implica il collasso del materiale coinvolto; qualora questo si verifichi segue il cinematico di un crollo o di uno scivolamento.

Il fenomeno può svilupparsi in tutti i tipi di materiali: rocce, detriti e terre. Questa tipologia di movimento può avvenire con velocità estremamente variabili, da molto lente a molto rapide, nel caso in cui culminino in un crollo improvviso.



Il crollo è un fenomeno, da rapido a estremamente rapido, caratteristico di pendii molto ripidi, fino ad aggettanti. Esso comporta il distacco improvviso di materiali, di qualsiasi dimensione, in corrispondenza di una superficie lungo la quale lo spostamento di taglio risulta minimo o assente, il relativo spostamento in caduta libera, prevalentemente attraverso l'aria, su almeno una parte della traiettoria, e il successivo movimento a salti e rimbalzi lungo il versante. Il movimento e i diversi impatti possono produrre la frantumazione del materiale interessato in diversi elementi di dimensioni variabili, in funzione anche della litologia del materiale coinvolto e del suo stato geomeccanico.

Il ribaltamento comporta una rotazione rigida frontale o un'inflessione di una massa intorno ad un punto o un asse situato al di sotto del baricentro della massa stessa. Tale movimento non necessariamente implica il collasso del materiale coinvolto (VARNES, 1978); qualora questo si verifichi segue il cinematismo di un crollo o di uno scivolamento. Il movimento può avvenire con velocità estremamente variabili, da molto lente a molto rapide nel caso in cui culminino in un crollo improvviso.

Per le peculiari finalità del presente lavoro, essenzialmente divulgative, nella legenda proposta, oltre ai simboli relativi ai crolli e ai ribaltamenti, è stata introdotta un'ulteriore categoria che comprende i due tipi di movimento. A questa categoria occorre far riferimento nei casi in cui un ribaltamento, evoluto in un crollo, determina la formazione di un accumulo di detrito, dall'osservazione del quale, nel corso di un sopralluogo successivo all'evento, risulta difficile valutare quale sia stato il movimento di innesco (figura 1.7).



Figura 1.7 – Ammasso roccioso costituito da litotipi carbonatici, notevolmente disarticolato per la presenza di diverse famiglie di discontinuità (giunti di stratificazione e fratturazione tettonica) che hanno favorito il progressivo distacco di massi eterometrici, accumulati al piede della parte rocciosa. Dall'osservazione della disposizione dei blocchi lapidei ancora in posto, possiamo ipotizzare che i distacchi siano avvenuti progressivamente sia per crollo sia per ribaltamento. Si osservano, infatti, diversi elementi spostati dalla loro posizione originaria e inclinati verso valle, per evidenti fenomeni di ribaltamento. Località Lavinini di Marco, nel comune di Rovereto (TN).



CROLLI E RIBALTAMENTI

I due fenomeni si possono sviluppare in tutti i tipi di materiali: rocce, detriti e terre.

I fenomeni di crollo, generalmente, producono degli accumuli detritici sulle parti basse dei versanti, che in tempi successivi, se vi sono le condizioni morfologiche sufficienti, possono essere riattivati da ulteriori movimenti gravitativi; ad esempio in occasione di eventi meteorici eccezionali i corpi di frana possono alimentare delle colate rapide di detrito.

Le cause predisponenti dei fenomeni di crollo e di ribaltamento sono costituite dalla presenza di discontinuità litologiche e strutturali, generalmente preesistenti, lungo le quali avvengono i distacchi, quali ad esempio: giunti di stratificazione, piani di faglia, fratturazione tettonica, fessurazione di varia natura, in particolare per dissoluzione chimica, da trazione e rilascio tensionale, piani di scistosità o di laminazione, superfici di contatto tra materiali aventi caratteristiche geomeccaniche differenti. Non sono rare, comunque, le superfici di neoformazione.

Nel caso dei crolli le discontinuità sono caratterizzate da elevata pendenza e disposte parallelamente all'orientazione del versante. Nel caso dei ribaltamenti devono essere presenti più famiglie di discontinuità (figura 1.8), sia quelle ad elevata pendenza, sia quelle sub-orizzontali.

Tra le cause determinanti ricordiamo: gli eventi meteorici intensi, le infiltrazioni d'acqua, lo scalzamento al piede dei versanti provocato dall'azione erosiva prodotta dalla corrente di un corso d'acqua o dal moto ondoso (figura 1.9), l'ampliamento delle fessure dovuto a fenomeni crioclastici, termoclastici o all'effetto della crescita di radici, le sollecitazioni sismiche, le vibrazioni artificiali e le modifiche antropiche alla geometria del versante.

Figura 1.8 – Fenomeni di ribaltamento resi evidenti, nella parte centrale dell'immagine, dalla presenza di un'inflessione dei blocchi. Questi fenomeni coinvolgono dei materiali lapidei interessati da alcune famiglie di discontinuità disposte sia subverticalmente, sia sub-orizzontalmente. Tra queste, la famiglia che condiziona il ribaltamento frontale dei blocchi è quella orientata parallelamente alla parete rocciosa. Comune di Dorgali (NU).





Figura 1.9 – Vista di un fenomeno di crollo che ha interessato una falesia costituita da materiale carbonatico intensamente tettonizzato. Si osserva la nicchia di distacco nella parte alta e l'accumulo detritico alla base. Il continuo processo di scalzamento al piede della falesia, prodotto dal moto ondoso, innesca ricorrenti crolli di materiale lapideo, dalla parete sovrastante e, contemporaneamente, crea le condizioni predisponenti ai distacchi, poiché mantiene elevata l'energia del rilievo. Località Isole Eolie, Sicilia.

I fenomeni di crollo presentano un'elevata pericolosità causata dall'alta energia cinetica coinvolta, dai tempi di evoluzione estremamente rapidi (dell'ordine dei secondi) e da una notevole difficoltà di previsione.

I crolli che interessano grandi volumi rocciosi e all'interno dei quali tra i singoli elementi lapidei dislocati si verificano interazioni caratterizzate da elevati scambi di energia, portano alla formazione di fenomeni tipo valanga di roccia, che ricadono nella categoria dei movimenti complessi.

In letteratura sono riportate varie tipologie di ribaltamento, come ad esempio flessurale, a blocchi e blocco flessurale, a seconda del numero di famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso e della relativa persistenza. Una tipologia di ribaltamento frequente è quella che si verifica ai margini di placche rocciose resistenti, poste su substrato duttile.



SCORRIMENTI ROTAZIONALI

1.1.1.1.2 Scorrimenti rotazionali

Riferimenti bibliografici: VALLARIO, 1992.

Sinonimi: scivolamenti rotazionali.

Inglese: *rotational slides*.

Figura 1.10 – Modello schematico di scorrimento rotazionale. Si evidenzia la forma arcuata della superficie di rottura, la rotazione verso monte del corpo di frana, che può portare alla formazione di aree in contropendenza, e la completa disarticolazione di una parte del corpo di frana. (Tratta dal sito web della Provincia della Columbia Britannica: <http://www.em.gov.bc.ca>; parzialmente modificata).

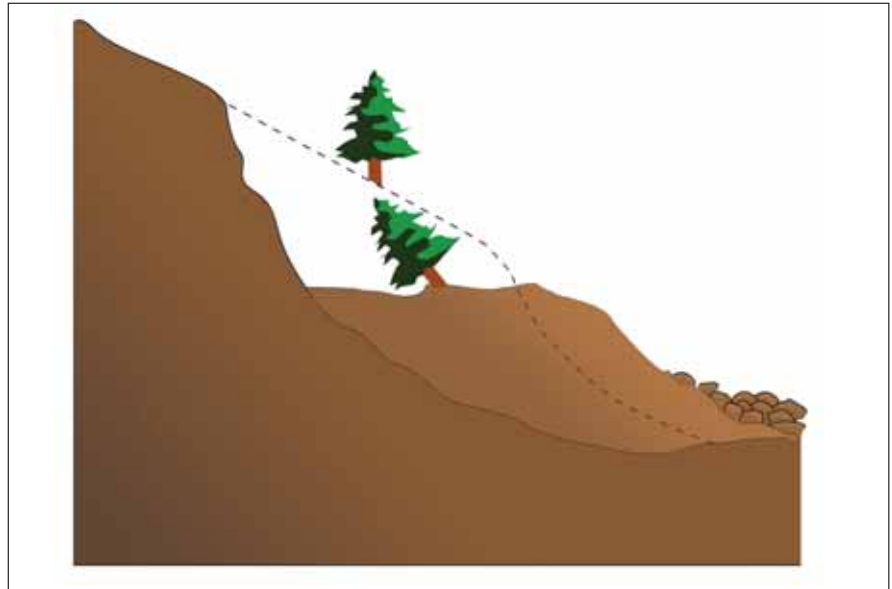
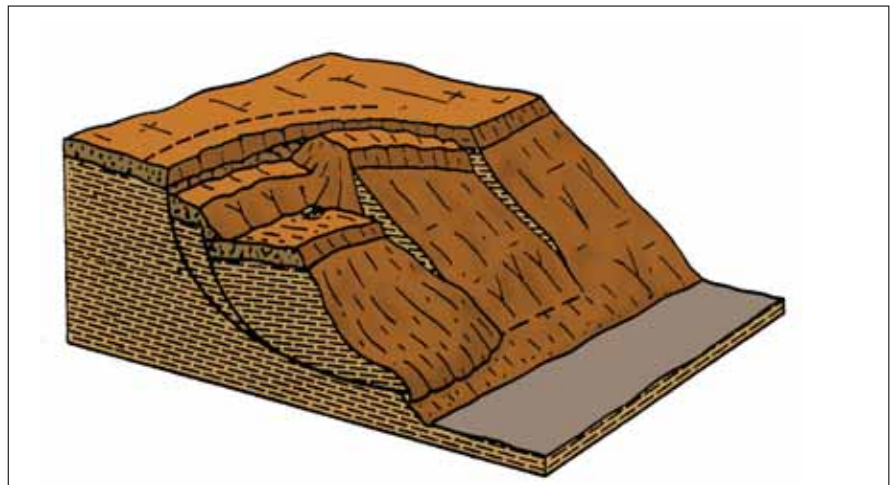


Figura 1.11 – Modello schematico tridimensionale di uno scorrimento rotazionale multiplo. Si evidenzia la tipica forma arcuata delle superfici di rottura. (Tratta da CARRARA *et alii*, 1985; parzialmente modificata).



Scorrimenti rotazionali

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Gli scorrimenti rotazionali avvengono con un movimento di rotazione intorno ad un punto o un asse esterno al versante e posto al di sopra del baricentro della massa spostata. La superficie di rottura presenta di solito una forma arcuata, con la concavità verso l'alto (figura 1.10).

La massa in movimento, frequentemente, si scompone in più blocchi (figura 1.11), ruotati in diverse direzioni, sia verso monte sia verso valle, che talvolta possono rimanere relativamente integri al loro interno, senza subire una caoticizzazione. La massa dislocata si muove oltre la superficie di rottura, sovrapponendosi alla sottostante superficie di terreno originaria.

Nella parte bassa dell'area in frana si possono verificare rigonfiamenti e avvallamenti, disposti trasversalmente. Qualora siano coinvolti nello scorrimento litotipi prevalentemente argillosi e marnosi, l'alterazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali coinvolti comporta la frequente evoluzione del movimento in un colamento lento.

Gli scorrimenti rotazionali possono verificarsi nelle rocce, nei detriti e nelle terre.

Tali fenomeni sono caratterizzati da un movimento di rotazione che avviene intorno ad un punto o un asse esterno al versante e posto al di sopra del baricentro della massa spostata. Essi avvengono per superamento della resistenza al taglio dei materiali lungo una o più superfici di neoformazione, che talvolta risultano guidate da discontinuità preesistenti. La superficie di rottura presenta di solito una forma arcuata, con la concavità verso l'alto. La massa in movimento, frequentemente, si scompone in più blocchi, ruotati in diverse direzioni, sia verso monte sia verso valle (figura 1.12), che talvolta possono rimanere relativamente integri al loro interno, senza subire una caoticizzazione (figura 1.13). Se lo spostamento orizzontale nella porzione centrale del corpo di frana è maggiore di quanto avviene nell'area di testata si ha la formazione di trincee.

La massa dislocata si muove oltre la superficie di rottura, sovrapponendosi alla sottostante superficie di terreno originaria, generando il piede della frana. In questa parte del corpo di frana si possono verificare rigonfiamenti e avvallamenti disposti trasversalmente, dovuti allo sviluppo di sforzi compressivi. Detti sforzi comportano, tra l'altro, l'espulsione di acqua che determina l'alterazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali in movimento e, nel caso siano coinvolti nello scorrimento litotipi prevalentemente argillosi, la frequente evoluzione del movimento in colamento lento.

Generalmente gli scorrimenti rotazionali determinano sulla loro superficie un



SCORRIMENTI ROTAZIONALI

Figura 1.12 – Scorrimento rotazionale in litotipi terrigeni, prevalentemente sabbioso-limosi, sui quali poggia una coltre detritica di circa 1,5 m di spessore, contenente blocchi eterometrici, immersi in una matrice sabbiosa e limosa. E' visibile la caratteristica forma arcuata della nicchia di distacco e i molteplici gradini di frana, disposti con diverse orientazioni, in cui si è suddiviso il materiale dislocato. Comune di Fiamignano (RI).



Figura 1.13 – Scorrimento rotazionale di vaste proporzioni; sono ben visibili la forma arcuata della scarpata principale e la modesta disarticolazione del corpo di frana. Comune di Cassano allo Jonio (CS).



pattern di drenaggio condizionato dalla presenza di depressioni che danno luogo, nell'area della testata e nel corpo di frana, ad aree stagnanti.

Gli scorrimenti rotazionali avvengono con le stesse modalità nelle rocce, nei detriti e nelle terre. Sono tipici delle sequenze sedimentarie a comportamento prevalentemente plastico, quali depositi con elevato contenuto di argille, successioni terrigene (ad es. alternanze arenitico-pelitiche, pelitico-arenitiche, marnoso-pelitiche, ecc.) e delle coltri di alterazione di alcune rocce ignee e metamorfiche. Gli scivolamenti rotazionali in roccia spesso si sviluppano in formazioni costituite da alternanze di litotipi a diverso grado di resistenza.



Le cause determinanti per questa tipologia di movimento sono tutte quelle, naturali o artificiali, che determinano un decremento delle resistenze di attrito, oppure quelle che provocano improvvisi incrementi degli sforzi di taglio, capaci di imprimere un primo movimento a rocce in precarie condizioni di equilibrio. Le cause più frequenti sono: eventi meteorici intensi, infiltrazioni d'acqua, innalzamenti della superficie piezometrica, scalzamento al piede dei versanti generato dall'azione erosiva prodotta dalla corrente di un corso d'acqua o dal moto ondoso, sollecitazioni sismiche, vibrazioni artificiali, rotture delle reti idriche e modifiche antropiche alla geometria dei luoghi, quali sbancamenti, scavi di trincee, indiscriminati appesantimenti dei versanti, ecc.

La velocità di movimento può variare di diversi ordini di grandezza, da pochi centimetri all'anno ad alcuni metri al secondo. In particolare, secondo VARNES (1958) gli scorrimenti rotazionali in roccia possono muoversi con velocità variabili da pochi centimetri all'anno, a diversi metri al mese, mentre quelli che si verificano nei suoli, generalmente di piccole dimensioni, possono raggiungere velocità superiori a 3 m/sec.

Sono da riferire a questa tipologia di frana anche parte dei fenomeni attribuiti, in altre classificazioni, agli smottamenti e le piccole frane superficiali che si verificano con movimenti di tipo rotazionale.



SCORRIMENTI TRASLATIVI

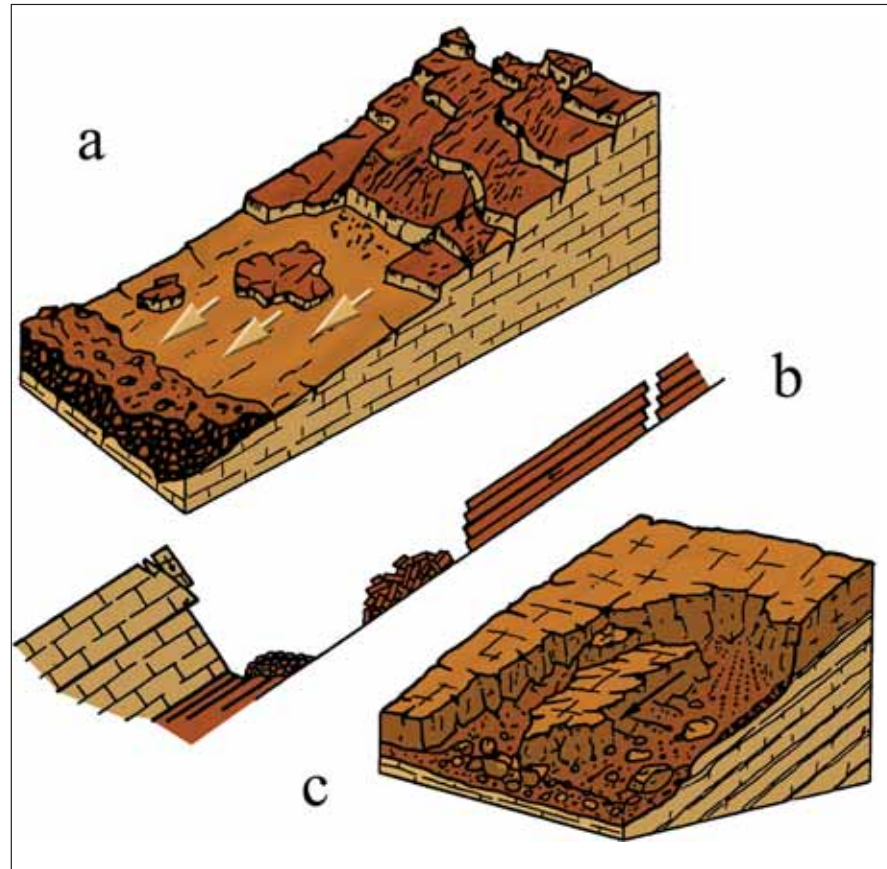
1.1.1.1.3 Scorrimenti traslativi

Riferimenti bibliografici: DE ANTONIS & MOLINARI 2003; REGIONE PIEMONTE, 1998; VALLARIO, 1992; VARNES, 1978.

Sinonimi: scorrimenti traslazionali, scivolamenti traslativi, scivolamenti traslazionali.

Inglese: *translational slides*.

Figura 1.14 – Modelli schematici evolutivi di scorrimenti traslativi in depositi lapidei stratificati, disposti a franapoggio e contenenti interstrati poco coerenti, che favoriscono il movimento. Si osserva, infatti, che gli spostamenti avvengono lungo delle superfici planari, corrispondenti a dei piani di stratificazione. (Tratta da VALLARIO, 1992; parzialmente modificata).



Scorrimenti traslativi

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Gli scorrimenti traslativi avvengono con un movimento planare lungo superfici piane di discontinuità preesistenti e poco scabrose, lungo la loro direzione di massima pendenza (figure 1.14 e 1.15). La principale condizione predisponente è che tali superfici di discontinuità devono essere orientate nello stesso senso del versante, ossia con giacitura a franapoggio, e abbiano un'inclinazione uguale o minore a quella del pendio.

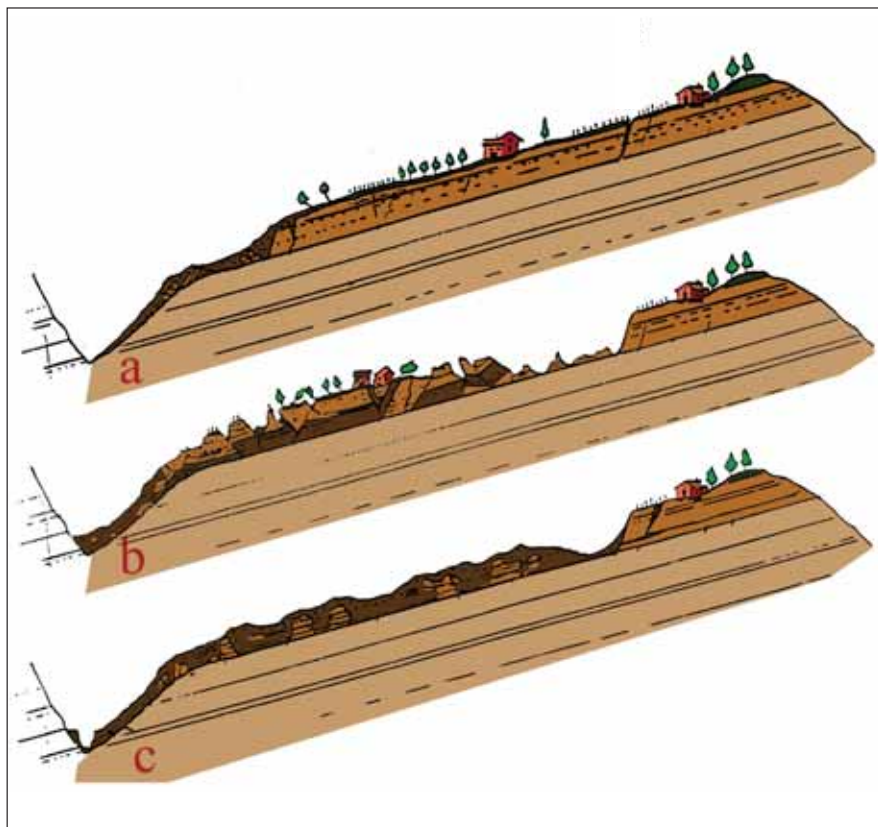


Figura 1.15 – Modelli schematici di un versante interessato dalla progressiva evoluzione di uno scorrimento traslativo. Si evidenzia la superficie planare di scorrimento, corrispondente ad un piano di stratificazione disposto a franapoggio, e la progressiva disarticolazione del materiale nel corso dell'evoluzione del fenomeno. La figura a) mostra che il movimento è stato favorito dallo scalzamento al piede del versante prodotto dall'azione erosiva di un corso d'acqua. La figura c) evidenzia che lo stesso corso d'acqua, successivamente incide il corpo di frana accumulatosi ai piedi del versante figura b).

Le superfici di discontinuità possono corrispondere a: giunti di stratificazione, piani di faglia, fratturazioni tettoniche, fessurazioni di varia natura, piani di scistosità o di laminazione, superfici di contatto tra materiali aventi caratteristiche geomeccaniche differenti.

La massa dislocata può sia essere completamente destrutturata e disarticolata, sia rimanere relativamente integra o scomporsi in molteplici blocchi, i quali possono conservare la loro struttura interna.

Questo tipo di movimento si può sviluppare in tutti i tipi di materiali (rocce, detriti e terre) ed è tipico delle successioni stratificate, soprattutto di quelle costituite da alternanze di litotipi a diverso grado di coesione.

La velocità di movimento può essere estremamente variabile, da lenta a estremamente rapida.



SCORRIMENTI TRASLATIVI

Il fenomeno avviene con un movimento traslativo lungo superfici di discontinuità planari, poco scabrose e preesistenti, nella loro direzione di massima pendenza, per riduzione della resistenza di attrito lungo le superfici stesse. Condizione predisponente necessaria è che tali superfici di discontinuità siano poste nello stesso senso del versante, ossia con giacitura a franapoggio, e abbiano un'inclinazione uguale o minore a quella del pendio (figura 1.16).

La massa dislocata può sia essere completamente destrutturata e disarticolata (figura 1.17), sia rimanere relativamente integra o scomporsi in molteplici blocchi, i quali possono conservare la loro struttura interna.

Le superfici di discontinuità possono corrispondere a giunti di stratificazione, piani di faglia, fratturazioni, fessurazioni di varia origine, in particolare per dissoluzione chimica, da trazione e rilascio tensionale, piani di scistosità o di laminazione, superfici di contatto tra materiali aventi caratteristiche geomeccaniche differenti. Questo tipo di movimento si verifica tipicamente nelle successioni stratificate (in particolare quando costituite da alternanze di litotipi a diverso comportamento geotecnico) in corrispondenza delle superfici di contatto tra ammassi rocciosi lapidei poggianti su un substrato a comportamento plastico, tra le coperture detritiche e il sottostante substrato roccioso, tra la porzione alterata e quella integra di un ammasso roccioso.

Le cause di innesco per questa tipologia di movimento sono tutte quelle, naturali o artificiali, che determinano un decremento delle resistenze di taglio lungo le su-

Figura 1.16 – Nella figura a) panoramica di un versante interessato da successivi e ripetuti movimenti di scorrimento traslativo (OROMBELLI & SAURO, 1988), che coinvolgono una successione stratigrafica carbonatica, disposta a franapoggio. Nella parte sinistra dell'immagine è visibile la superficie di traslazione planare, corrispondente ad alcuni piani di strato, nella parte destra una parte dell'immenso corpo di frana accumulatosi nel tempo. Nella figura b) si osserva una superficie di strato messa a nudo dal movimento e la relativa corona di frana. Località Lavini di Marco, comune di Rovereto (TN).





perfici di discontinuità, oppure quelle che provocano improvvisi incrementi degli sforzi di taglio, capaci di imprimere un primo movimento a rocce in precarie condizioni di equilibrio. Tra le prime citiamo l'aumento del contenuto d'acqua nei terreni dovuto a intensi eventi meteorici, le infiltrazioni di acqua, gli innalzamenti della superficie piezometrica e le perdite dalle reti idriche. Tra le seconde gli scalzamenti al piede, gli indiscriminati appesantimenti dei versanti, gli eventi sismici e le vibrazioni artificiali.

Il fenomeno si può sviluppare in tutti i tipi di materiali: rocce, detriti e terre.

La distruzione della copertura vegetale per incendi e disboscamenti aumenta notevolmente la probabilità che si verifichi uno scorrimento di detrito o di terra (vedi paragrafo 2.2 “Degradazioni per errata gestione del bosco”).

La velocità di movimento può essere estremamente variabile, da lenta a estremamente rapida, in relazione sia della tipologia del materiale coinvolto, sia, nell'ambito dello stesso materiale, del contesto ambientale in cui avviene.

Gli scorrimenti traslativi che interessano grandi volumi di materiale e non comportano una eccessiva frammentazione dei materiali coinvolti sono definiti “Scorrimenti in blocco di roccia” (inglese: *block slides*). Questa tipologia di movimento è caratterizzata dallo scorrimento per distanze relativamente ridotte di grossi blocchi rocciosi, che possono arrivare a coinvolgere un intero versante o intere dorsali montuose, raggiungendo in questo caso dimensioni enormi. Essendo interessati grandi volumi di roccia il movimento si verifica, anche, per modeste pendenze delle superfici di discontinuità. Benché tali fenomeni, per le loro particolari caratteristiche, vengano classificati da vari Autori tra le “Deformazioni gravitative profonde di versante (D.G.P.V.)”, in questa sede per le finalità del pre-



Figura 1.17 – Scorrimento traslativo verificatosi durante l'alluvione in Piemonte del 1994, nel comune di Murazano (CN). Sono ben visibili la debole pendenza del piano di scivolamento, la caoticità del materiale dislocato e tratti di manto stradale traslati verso valle.



SCORRIMENTI TRASLATIVI

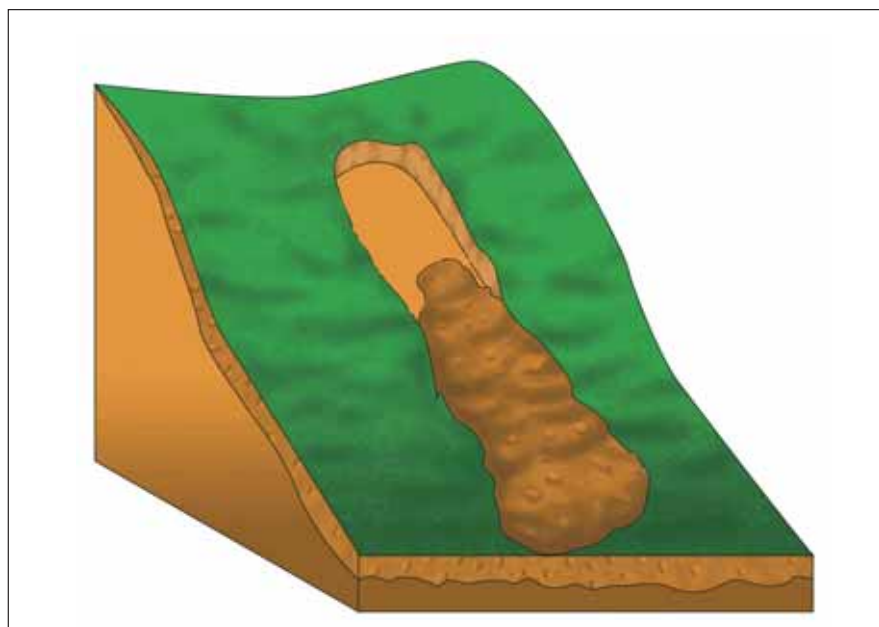
sente lavoro, essenzialmente divulgative, e per facilitare la comprensione della classificazione proposta, basata essenzialmente sulla tipologia di movimento, essi sono inseriti tra gli scorrimenti traslativi.

In letteratura sono classificati tra gli scivolamenti traslativi dei fenomeni franosi, denominati **“Frane per saturazione e fluidificazione dei terreni della copertura superficiale”** (inglese: *soil slip*) che avvengono per saturazione e successiva fluidificazione, da parte delle acque d’infiltrazione, dei terreni incoerenti di copertura superficiale (figura 1.18). Talvolta, oltre alla copertura, viene coinvolta anche la porzione alterata del substrato.

Il materiale mobilizzato si muove lungo una superficie, in genere sub-planare, traslando verso il basso ed evolvendo spesso in una colata rapida e/o in un colamento. Si può verificare anche l’incanalamento del materiale entro linee di drenaggio preesistenti e, quindi, l’evoluzione del fenomeno in un “Flusso detritico torrentizio”. Il movimento si sviluppa con elevate velocità, sulla base della scala delle velocità, riportata in tabella 1.4, può essere classificato da “molto rapido” a “estremamente rapido”.

Questa tipologia di fenomeni è stata molto frequente nel corso degli eventi alluvionali che hanno colpito il Piemonte nel 1994, 1996 e 2000. Relativamente ad essi un volume redatto dalla Regione Piemonte (DE ANTONIS & MOLINARI, 2003) ne riporta una descrizione esplicativa: essi si verificano *“spesso a valle di zone meno acclivi (terrazzi, pianori, ma anche strade, campi, piazzali) che hanno favorito la concentrazione e la penetrazione nel terreno di elevate quantità di acqua. I fenomeni si innescano e si esauriscono quasi sempre in pochi minuti e quindi, in una classifica per grado di pericolosità, questi processi si collocano subito dopo*

Figura 1.18 – Modello schematico di *soil slip* nella coltre detritica superficiale. (Tratta da DIKAU *et alii*, 1996; parzialmente modificata).





i crolli di roccia. I dissesti si manifestano con uno scivolamento ed evolvono rapidamente in colate, spesso incanalate in linee di drenaggio o incisioni. L'azione innescante è data dal rapido processo di saturazione, per infiltrazione di elevate quantità d'acqua, di parte o di tutta la coltre dei terreni sciolti: si forma quindi una temporanea falda acquifera parallela al versante. In altri casi il substrato roccioso, molto fratturato, funge da alimentatore delle sovrappressioni all'interfaccia suolo-roccia, a causa della differente permeabilità dei due orizzonti (in particolare per suoli limosi o argillosi). L'incremento di pressione idrica determina l'instabilità della coltre. La mobilizzazione avviene con velocità elevate, di alcuni metri al secondo, mentre il materiale fluidificato può percorrere grandi distanze e spesso raggiunge la rete idrografica, andando ad alimentare considerevolmente il trasporto solido del corso d'acqua. Spesso non è visibile una zona di accumulo al piede della frana. ... Le zone di inflessione del pendio, a valle di terrazzi o locali depressioni, risultano essere i punti maggiormente vulnerabili verso questo tipo di instabilità".

Quei fenomeni di *soil slip* che evolvono in una colata rapida o in "Flusso detritico torrentizio", devono essere classificati tra i movimenti complessi (figura 1.19).



Figura 1.19 – Frane per mobilizzazione delle coperture detritiche superficiali (*soil slip*) evolute in colate, verificatesi, in seguito all'evento alluvionale del novembre 1994, nella zona collinare delle Langhe. Notare l'assenza di un'efficace copertura vegetazionale.



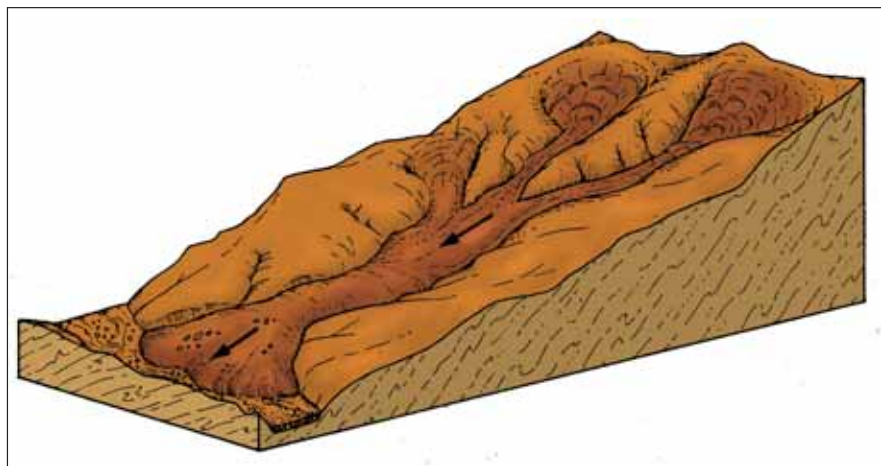
1.1.1.1.4 Colamenti lenti

Riferimenti bibliografici: PICARELLI, 2005; VALLARIO, 1992.

Sinonimi: colate lente.

Inglese: *flows*.

Figura 1.20 – Modello schematico di un colamento lento. In questa tipologia di movimenti avviene spesso che fenomeni diversi confluiscono in un unico impluvio, formando un solo colamento, che può percorrere anche notevoli distanze. Si osserva la caratteristica forma a lobo dell'accumulo di frana. (Tratta da CASTIGLIONI, 1992; parzialmente modificata).



Colamenti lenti

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

I colamenti sono deformazioni lente che implicano all'interno del corpo di frana un'intensa deformazione plastica differenziale. Il movimento avviene non solo in corrispondenza della superficie di separazione tra massa in frana e materiale in posto, ma può coinvolgere in modo differenziale l'intero corpo di frana. I limiti tra la zona in movimento e il materiale in posto possono essere netti o sfumati all'interno di una fascia, non definibile dall'esterno che può presentare spessore variabile e discontinuità spaziale, nella quale i movimenti differenziali tendono a diminuire gradualmente con la profondità.

Il movimento è causato generalmente dalla saturazione del materiale per aumento del contenuto d'acqua. Tali fenomeni sono caratterizzati da una bassa velocità di spostamento, comunque dipendente dal contenuto d'acqua e dalla pendenza del versante. La distribuzione delle velocità e degli spostamenti è molto variabile all'interno della massa in movimento e può essere paragonata a quella di un fluido viscoso.

All'interno di un corpo di frana la velocità di spostamento è variabile nello spazio, risulta maggiore al centro rispetto ai bordi, più alta in superficie rispetto alle parti più profonde. Questa distribuzione genera la caratteristica



forma lobata del corpo di frana (figura 1.20). Altri elementi morfologici tipici dei colamenti sono i molteplici avvallamenti, rigonfiamenti e contropendenze, che favoriscono i ristagni d'acqua e, di conseguenza, aggravano le condizioni di equilibrio.

I colamenti lenti interessano con maggiore diffusione detriti e terre; sono tipici dei terreni ad elevato contenuto argilloso o che presentano un decadimento delle caratteristiche meccaniche, con coesione bassa e debole consolidamento.

Si tratta di movimenti di massa che implicano all'interno del corpo di frana un'intensa deformazione plastica differenziale, con superfici di scorrimento di neoformazione, che possono essere temporanee, in continua evoluzione spaziale e molto ravvicinate. La distribuzione delle velocità e degli spostamenti è molto variabile all'interno della massa in movimento e può essere paragonata a quella di un fluido viscoso.

Il movimento avviene non solo in corrispondenza della superficie di separazione tra massa in posto e in frana, ma può essere distribuito in modo differenziale all'interno di tutto il corpo di frana. I limiti tra la zona in movimento e il materiale in posto possono essere netti o sfumati all'interno di una fascia, non definibile dall'esterno, che può presentare spessore variabile e discontinuità spaziale, nella quale i movimenti differenziali tendono a diminuire gradualmente.

Questa tipologia di movimento interessa con maggiore diffusione detriti e terre, subordinatamente materiali lapidei. I colamenti sono tipici dei terreni ad elevato contenuto argilloso (figura 1.21) o che presentano un decadimento delle caratteristiche meccaniche, con coesione bassa e debole consolidamento.

La deformazione per colamento che si realizza in rocce lapidee per fenomeni di *creep* profondo, che coinvolge grandi volumi di roccia, si realizza a notevole profondità e non comporta la formazione di una ben definita superficie di taglio, viene denominata "colamento in roccia lapidea", "deformazione profonda da *creep* in roccia", insaccamento o *sackung*. Questa deformazione per le sue caratteristiche è riferita alla categoria delle D.G.P.V. (paragrafo 1.1.1.2), alla quale rimandiamo per la relativa descrizione.

Essi sono caratterizzati da una bassa velocità di movimento, comunque dipendente dal contenuto di acqua e dalla pendenza del versante. La velocità di spostamento è variabile nello spazio, risulta maggiore al centro rispetto ai bordi, più alta in superficie rispetto alle parti più profonde. Questa distribuzione genera la caratteristica forma lobata del corpo di frana. Altri elementi morfologici tipici dei colamenti sono: la notevole articolazione del bacino di alimentazione, la frequente canalizzazione del corpo di frana negli impluvi (figura 1.22), i molteplici



COLAMENTI LENTI

avvallamenti e rigonfiamenti presenti all'interno del corpo di frana, che causano un *pattern* di drenaggio molto articolato, poiché favoriscono i ristagni di acqua e, di conseguenza, aggravano le condizioni di equilibrio.

Le cause innescanti questi fenomeni sono riferibili alle sollecitazioni sismiche, vibrazioni artificiali e, soprattutto, alla saturazione del materiale per aumento del

Figura 1.21 – Panoramica di un versante interessato da molteplici colamenti lenti. La presenza di litotipi prevalentemente argillosi, l'assenza di copertura arborea e arbustiva e di opere di regimentazione delle acque di ruscellamento hanno creato le condizioni favorevoli all'insorgere dei fenomeni di dissesto. Località Mazzolla, comune di Volterra (PI).



Figura 1.22 – L'immagine contiene molti elementi geomorfologici tipici di un versante dove affiorano litotipi in prevalenza argillosi, ossia molteplici colamenti lenti, anche di piccole dimensioni, spesso coalescenti, associati a movimenti lenti, tipo soliflusso. Nella foto sono ben evidenti le tipiche caratteristiche morfologiche dei colamenti: l'ampio e articolato bacino di alimentazione, la canalizzazione del colamento nell'impluvio principale, i molteplici avvallamenti e rigonfiamenti nel corpo di frana. Località Fossalto, comune Castropignano (CB).





contenuto d'acqua, che provoca la diminuzione della coesione e l'aumento della pressione neutra, determinando la riduzione della resistenza al taglio.

Esistono anche colamenti che avvengono in assenza dell'effetto fluidificante dell'acqua, ad esempio nelle sabbie, tali fenomeni sono analoghi, per cinematismo, a quelli delle valanghe di roccia.



COLATE RAPIDE DI DETRITO E FANGO

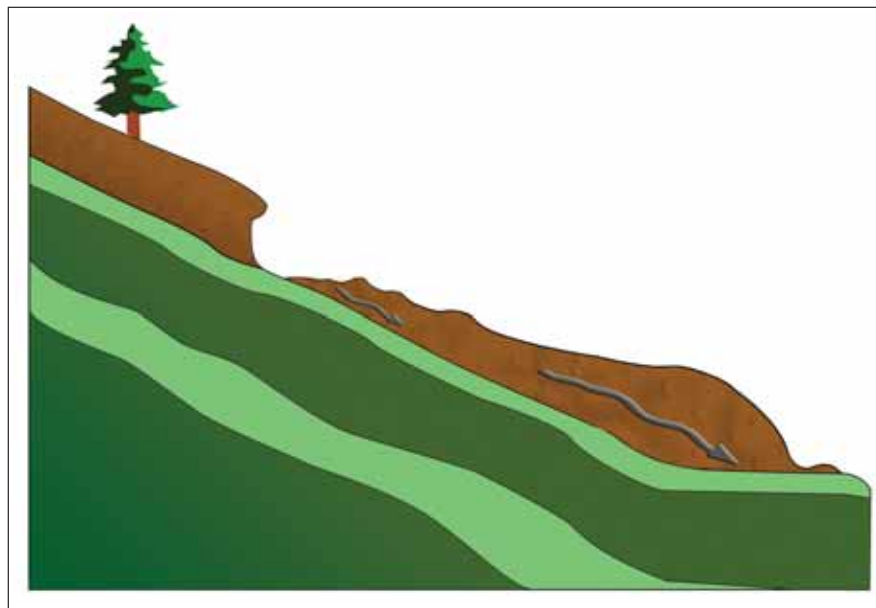
1.1.1.1.5 Colate rapide di detrito e fango

Riferimenti bibliografici: FERRO, 2002; SCOTTO DI SANTOLO, 2002.

Sinonimi: lava torrentizia.

Inglese: *debris flows, mud flows*.

Figura 1.23 – Modello di evoluzione di una colata rapida. (Tratta dal sito web della Provincia della Columbia Britannica: <http://www.em.gov.bc.ca>; parzialmente modificata).



Colate rapide di detrito e fango

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Le colate rapide di detrito (*debris flows*) e di fango (*mud flows*) (figura 1.23) si verificano quando ammassi granulari vengono mobilitati in seguito all'apporto di grandi quantità di acqua, che può essere causato da eventi piovosi di particolare intensità, da repentini scioglimenti di nevai o ghiacciai, causati da brusche variazioni termiche, oppure per lo stazionamento alto della falda, al di sopra del limite tra il substrato e le coperture detritiche.

La massa in movimento è costituita da una miscela composta da aria, acqua e sedimenti di dimensioni variabili. In particolare, il materiale solido che alimenta una colata è costituito da ammassi granulari di origine diversa: depositi di detrito e/o fango, sedimenti alluvionali, coltri di alterazione, depositi di vulcaniti, materiale vegetale, detriti derivanti da processi di erosione superficiale, accumuli di corpi di frana, detriti prodotti da attività antropiche (ad es. discariche, residui di cave), ecc. La dimensione granulometrica dei materiali che possono essere coinvolti è alquanto varia e va dai blocchi plurimetrici alle argille.



Sono tipiche di versanti montuosi ripidi e si sviluppano come una piena di sedimenti, che si propaga verso valle con velocità generalmente molto elevate e si arresta in aree di conoide o in corrispondenza di rilevanti riduzioni delle pendenze.

Le colate rapide hanno un potere distruttivo enorme, che dipende dalla distanza percorsa dal materiale, dalla velocità della massa instabile, dalla quantità e dalle dimensioni del detrito trasportato. Una colata in movimento possiede un'elevata capacità erosiva, infatti, durante il suo percorso essa può incrementare notevolmente il suo volume inglobando rilevanti quantità di materiale, ad esempio grandi blocchi lapidei, interi tronchi d'albero, manufatti, ecc.

Gli effetti più gravi del passaggio di una colata si verificano alla base dei versanti, laddove, a seguito del rallentamento dovuto alla diminuzione della pendenza, il flusso detritico comincia la deposizione, invadendo aree generalmente occupate da insediamenti urbani e infrastrutture.

Le colate rapide di detrito (*debris flows*) e di fango (*mud flows*) si verificano generalmente su ripidi pendii montani quando ammassi granulari vengono mobilitati in seguito all'apporto di grandi quantità d'acqua, che può essere causato dal verificarsi di eventi piovosi di particolare intensità, da repentini scioglimenti di nevai o ghiacciai, dovuti a brusche variazioni termiche, per la rottura di bacini idrici, oppure per lo stazionamento alto della falda, al di sopra del limite tra il substrato e le coperture detritiche.

Si sviluppano come una piena di sedimenti che si propaga verso valle con velocità generalmente molto elevate. In genere le velocità osservate durante gli eventi variano da 0,5 a 20 m/s (72 Km/h).

Il materiale che alimenta una colata rapida è costituito da ammassi granulari di origine diversa: depositi di detrito e/o fango, sedimenti alluvionali, coltri di alterazione, depositi vulcanici, detriti derivanti da processi di erosione superficiale, accumuli di corpi di frana, detriti prodotti da attività antropiche (ad es. discariche, residui di cave), materiale vegetale (caduto e appoggiato sui versanti o nell'alveo di corsi d'acqua), ecc.

La massa in movimento è costituita da una miscela composta da aria, acqua e sedimenti di dimensioni variabili. Da un punto di vista cinematico, tali ammassi presentano caratteri che possono essere paragonati a quelli di un fluido viscoso, intermedi tra una corrente liquida, con trasporto di carico solido, e una frana. Sono contraddistinti, infatti, da un regime di moto, definito granulare (FERRO, 2002), che si colloca in una posizione intermedia tra quello idrodinamico proprio delle sospensioni diluite (trasporto solido fluviale), per il quale la fase fluida e le condizioni



COLATE RAPIDE DI DETRITO E FANGO

idrodinamiche ad essa associate svolgono un ruolo predominante, e quello quasi-statico tipico dei fenomeni gravitativi. In altre parole, essi presentano caratteristiche intermedie tra i movimenti franosi, nei quali la gravità costituisce in modo diretto l'agente del movimento, mentre l'acqua ha solo il ruolo di fluidificante, e i fenomeni di trasporto idrico normale, nei quali sono le correnti idriche a svolgere l'azione di trasporto.

In ragione di tali caratteristiche, alcuni Autori collocano questi fenomeni tra i dissesti idraulici, poiché in molti casi essi si incanalano lungo corsi d'acqua preesistenti, espandendosi tipicamente in zone di conoide. In questa sede si è scelto di classificare tali fenomeni tra i dissesti di versante, analogamente alle classificazioni di VARNES (1978) e IFFI, prese a riferimento nel presente lavoro.

Le colate rapide di detrito e di fango sono distinte sulla base della granulometria del materiale interessato. Nello specifico un fenomeno può essere riferito a un *debris flow* se la percentuale maggiore di 2 mm è compresa tra il 20 e l'80%, oppure a un *mud flow* se la percentuale inferiore a 2 mm è maggiore dell'80% (SCOTTO DI SANTOLO, 2002). La dimensione granulometrica dei materiali che

Figura 1.24 – Colata detritica verificatasi durante l'alluvione della Valle d'Aosta nell'ottobre 2000. Essa è stata innescata per lo scivolamento del materiale di risulta accumulato imprudentemente nel piazzale antistante una cava di serpentino e nell'impluvio sottostante. Nella foto sono visibili il canale centrale e gli argini laterali di materiale detritico abbandonati al passaggio della colata, costituiti da materiale molto eterometrico, con granulometria variabile dall'argilla ai blocchi. Si noti come i massi più grossi siano disposti generalmente alla sommità degli argini laterali. Le notevoli dimensioni dei materiali che possono alimentare una colata rapida e l'elevata velocità di propagazione costituiscono le principali cause dell'enorme potenziale distruttivo di tale fenomeno. Comune di Vieille (AO).





vengono interessati dai movimenti in esame è alquanto varia e va dai blocchi plurimetri alle argille (figura 1.24).

Tra le colate rapide di detrito e fango devono essere classificati sia quei fenomeni nei quali il materiale coinvolto durante il movimento è in grado di aprirsi velocemente un canale di scorrimento, su una superficie di neoformazione in aree d'interfluvio o diversamente aperto, permanendo, quindi, sul versante senza subire grandi spostamenti (*debris flow* e *mud flow* non canalizzati), sia quei fenomeni che si incanalano e scorrono in impluvi preesistenti, percorrendo anche grandi distanze (*debris flow* e *mud flow* canalizzati).

Dalle osservazioni sul terreno è risultato che le colate rapide vengono innescate generalmente da piccole frane superficiali, riferibili a scorrimenti traslativi, scorrimenti rotazionali e crolli. Successivamente il fenomeno può evolvere sia in colata rapida del materiale sotto l'azione prevalente della gravità, sia come processo idrodinamico, in seguito all'apporto improvviso di grandi quantità d'acqua che mobilitano ulteriormente la massa instabile. La gran parte dei distacchi si verifica a quote elevate, laddove le pendenze dei versanti sono maggiori, coinvolgendo inizialmente piccoli volumi di terreno (figura 1.25).

Riepilogando, il fenomeno inizia con un movimento franoso che coinvolge la coltre detritica. Esso è influenzato dalla presenza di fessure nei depositi detritici o da eventuali incrementi della pressione neutra, dovuti a forti differenze tra la permeabilità della coltre e quella del substrato. Il processo di rottura determina la dilatazione del materiale, che a sua volta richiama acqua con una velocità che è funzione della permeabilità dei materiali coinvolti. A questo punto il materiale



Figura 1.25 – Nicchia di distacco di un una colata rapida di detrito, generatasi nel corso dell'alluvione dell'ottobre 2000. Comune di Vieille (AO).



COLATE RAPIDE DI DETRITO E FANGO

fluidificato comincia a colare lungo il versante. La massa in movimento accelera, in funzione della pendenza, incorporando lungo il percorso altro materiale detritico e vegetale, anche di notevoli dimensioni, aumentando così la concentrazione volumetrica della frana. In genere il movimento non è unico, ma caratterizzato da diverse ondate successive di materiale che si possono sovrapporre o meno, a seconda dell'energia del flusso. In corrispondenza di una significativa riduzione della pendenza del versante, diminuisce la velocità ed inizia così la fase di deposizione, con la creazione di una zona di accumulo, di norma a forma di ventaglio o di lobo terminale.

In sintesi, l'origine di una colata rapida di detrito è legata al contemporaneo verificarsi delle tre seguenti condizioni (FERRO, 2002):

- la presenza di materiale detritico su un versante o nell'alveo di un torrente;
- apporto relativamente rapido di grandi quantità d'acqua nella zona di affioramento del detrito, sufficienti per la mobilizzazione dei sedimenti;
- pendenza elevata del fondo del versante o dell'alveo.

Riassumendo nella evoluzione del fenomeno di colata rapida si possono distinguere più fasi successive:

- fase 1 – rottura localizzata;
- fase 2 – eventuale fluidificazione della massa;
- fase 3 – amplificazione del fenomeno;
- fase 4 – arresto.

Le modalità di formazione di una colata rapida di detrito possono essere schematicamente ricondotte nelle seguenti quattro classi (FERRO, 2002):

- colata rapida di detrito originata dalla mobilizzazione di sedimenti che si sono depositati sul fondo alveo del torrente, ad opera di un corrente superficiale generata da piogge intense o da fenomeni di disgelo;
- colata rapida di detrito originata da un movimento franoso con successiva trasformazione del corpo di frana in colata rapida;
- colata rapida di detrito generata dalla rottura di una diga naturale prodotta dall'occlusione di un torrente avvenuta in seguito a un precedente evento franoso o per l'accumulo di depositi alluvionali e tronchi d'albero fluitati;
- colata rapida di detrito generata dalla fluidificazione immediata del materiale costitutivo di una frana preesistente, imputabile o alla presenza di una corrente idrica superficiale, oppure allo stazionamento alto della falda nella zona di cedimento.

Occorre sottolineare la differenza tra le Colate rapide di detrito e i "Flussi detriti-



ci torrentizi” paragrafo 1.2.1, i quali pur producendo effetti quasi analoghi, avvengono secondo meccanismi tipici dei fenomeni idraulici. I flussi detritici torrentizi si verificano, infatti, negli alvei dei torrenti, in aree montane con elevata acclività, e comportano la mobilizzazione dei sedimenti posti sul fondo e sulle sponde, ad opera di una corrente idrica superficiale generata da piogge intense o da repentini fenomeni di disgelo. Questi flussi sono in grado di erodere e trasportare rapidamente ingenti quantità del materiale solido (depositi alluvionali, materiale franato dalle sponde, materiale vegetale, ecc.) presente in alveo. Per la trattazione di tali fenomeni è stato redatto un capitolo a parte, denominato “Alcuni fenomeni di dissesto idraulico”.

Le colate detritiche hanno un potere distruttivo enorme, che dipende dalla mobilità (distanza percorsa dal materiale), dalla velocità della massa instabile, dalla quantità e dalle dimensioni del detrito trasportato. La capacità erosiva di una colata in movimento è particolarmente intensa, infatti, durante il suo percorso essa può incrementare notevolmente il suo volume (effetto valanga), inglobando notevoli quantità di materiale, quale grandi blocchi lapidei, interi tronchi d’albero, manufatti, ecc. All’interno di una colata in movimento i sedimenti di maggiore dimensione si concentrano nel fronte di avanzamento, mentre nella coda prevalgono le frazioni più fini. E’ proprio questo uno dei principali fattori che determinano la notevole forza di impatto della colata sugli ostacoli e sulle strutture di intercettazione antropiche poste lungo il tracciato dell’alveo.

L’elevato potere distruttivo che caratterizza le colate detritiche rende tali fenomeni assai temibili; gli effetti più gravi si ottengono al piede dei versanti laddove,

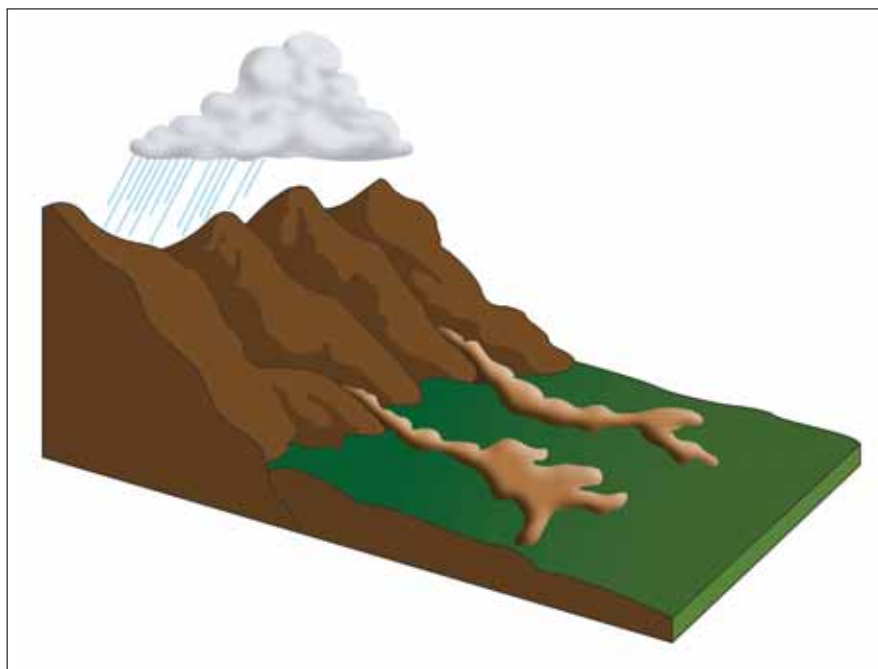


Figura 1.26 – Il materiale detritico trasportato da una colata rapida si deposita in corrispondenza di una brusca diminuzione delle pendenze, spesso in zone di conoide, generando in tali aree condizioni di elevato livello di rischio geologico-idraulico, per la frequente presenza di centri abitati e infrastrutture. (Tratta dal sito web della Provincia della Columbia Britannica: <http://www.em.gov.bc.ca; ri-disegnata>).



COLATE RAPIDE DI DETRITO E FANGO

a seguito del rallentamento dovuto alla diminuzione della pendenza, il flusso detritico comincia la deposizione, invadendo aree generalmente occupate da insediamenti urbani e infrastrutture (figure 1.26 e 1.27).

Le colate rapide di detrito sono state la causa di recenti drammatiche calamità occorse sul territorio italiano; ricordiamo quelle verificatesi durante gli eventi alluvionali che hanno devastato gli abitati di Sarno (figura 1.28) e Quindici nel maggio 1998, di Cervinara (figure 1.29, 1.30 e 1.31) nel dicembre 1999, diverse località della Valle d'Aosta nell'ottobre 2000 (Gressoney, Nus, Fenis, ecc.) e una zona nell'isola di Ischia nell'aprile 2006.

E' significativo evidenziare che molte delle colate rapide di detrito che si sono verificate negli ultimi anni nel nostro Paese (ad es. a Sarno e Cervinara), si sono innescate su versanti ricoperti da boschi di alto fusto, come messo in evidenza anche nelle immagini precedenti. Le colate che recentemente hanno colpito drammaticamente l'isola di Ischia si sono prodotte anch'esse su versanti boscosi. Tali osservazioni consentono di effettuare importanti considerazioni, ossia che la presenza sui versanti della vegetazione, compresa quella di alto fusto, non sempre contribuisce all'incremento della loro stabilità. In alcuni casi e per alcune tipologie di fenomeni franosi, infatti, la copertura vegetale può svolgere un ruolo neutrale o addirittura dannoso per gli equilibri naturali dei pendii, per diversi motivi. Per quanto riguarda le colate rapide di detrito e fango la vegetazione può costituire un appesantimento del versante; le radici un veicolo per i processi d'infiltrazione delle acque in profondità, con il conseguente incremento della pressione neutra nella coltre detritica. Si è verificato in diverse occasioni che la caduta di un singolo

Figura 1.27 – Una parte dell'abitato di Fenis (AO) è stato edificato su un'area di conoide attiva, sulla quale, nel corso dell'alluvione avvenuta in Valle d'Aosta dell'ottobre 2000, si sono depositi imponenti volumi di sedimenti, messi in movimento da colate rapide di detrito. Tali fenomeni hanno devastato una parte dell'abitato, provocando oltre ai gravi danni a strutture e infrastrutture, anche alcune vittime tra la popolazione.





albero abbia innescato una colata. Per una trattazione più dettagliata del ruolo della vegetazione sulla stabilità dei pendii si rimanda al paragrafo 2.2 “Degradazioni per errata gestione del bosco”.



Figura 1.28 – Panoramica di un versante interessato dallo sviluppo di tre colate rapide di detrito coalescenti, innescatesi nel corso dell’evento alluvionale che ha colpito l’abitato di Sarno (SA) nel 1998. Il materiale che ha alimentato le colate, prevalentemente di natura vulcanoclastica, è stato originato dalle violente esplosioni prodotte dall’apparato vulcanico Somma-Vesuvio. Tale attività ha ricoperto i versanti circostanti con una spessa coltre di materiali incoerenti. Tali materiali posti su pendii spesso molto ripidi e in precarie condizioni di stabilità, in concomitanza di eventi meteorici intensi, alimentano delle pericolosissime colate che devastano i fondovalle. Interessante notare che alcuni movimenti sono innescati in corrispondenza di un taglio stradale.



Figura 1.29 – Alluvione di Cervinara (SA), dicembre 1999. Vista di una delle colate rapide di detrito che si sono innescate sui versanti e poi incanalate nel sottostante corso d'acqua in piena per le intense piogge. Il materiale messo in moto inizialmente da un piccolo fenomeno franoso, si è poi propagato verso valle a velocità crescente, incrementando il suo volume. Esso, infine, è stato preso in carico dalla piena e trasportato con grande velocità nella zona di conoide, dove sorge l'abitato di Cervinara, causando gravissimi danni e la perdita di alcune vite umane. Nella foto si osserva che nell'area di passaggio della colata è stata asportata tutta la vegetazione e buona parte del materiale detritico e vulcanoclastico deposto sul versante, facendo affiorare in alcuni tratti il substrato carbonatico. Anche in questo caso il fenomeno si è innescato in corrispondenza di un taglio stradale.



Figura 1.30 – Interessante particolare dell'area d'innescò di una delle colate detritiche avvenute a Cervinara (SA), in corrispondenza della scarpata di valle di una strada forestale.





Figura 1.31 – Vista di una zona di trasporto della colata rapida detritica di Cervinara, dalla quale si evince che la colata detritica possedeva un enorme volume e una grande mobilità, infatti, si osserva che lungo il suo passaggio ha profondamente inciso l'impluvio e intensamente eroso le sponde e le aree circostanti.

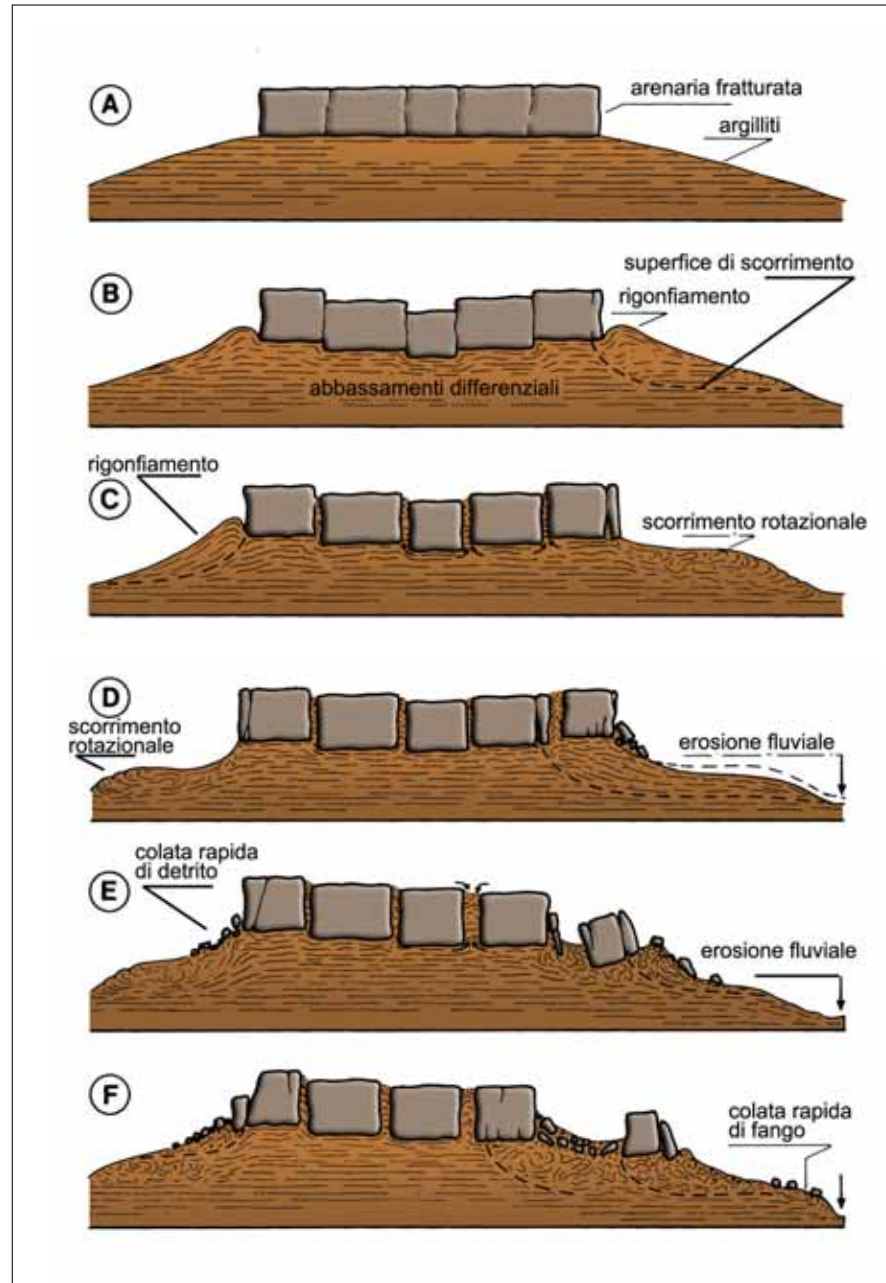
1.1.1.1.6 Espansioni laterali

Riferimenti bibliografici: BECK, 1968; JAHN, 1964; PICARELLI, 2005; VALLARIO, 1992.

Sinonimi: Espandimenti laterali.

Inglese: *Lateral spreading, lateral spreads.*

Figura 1.32 – Modelli schematici dell'evoluzione di un'espansione laterale in una placca rigida sovrastante litotipi argillosi, a comportamento duttile. Nella sequenza di immagini sono rappresentati alcuni dei caratteri tipici del fenomeno e dei processi associati ad esso. La placca rigida fratturata si suddivide in blocchi che si abbassano in maniera differenziale e si spostano lateralmente verso valle, con movimento prevalentemente orizzontale. I materiali argillosi vengono mobilitati, risalgono lungo le fratture e/o formano dei rigonfiamenti laterali alla placca rigida. Al fenomeno di espansione laterale si possono associare altri movimenti franosi che coinvolgono sia i materiali lapidei sia i depositi terrigeni, i più frequenti sono: crolli, ribaltamenti, colamenti, scorrimenti rotazionale e traslativi. (Tratta da DIKAU *et alii*, 1996; parzialmente modificata).



Espansioni laterali

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Le espansioni laterali si verificano tipicamente quando corpi rocciosi rigidi e fratturati sono sovrapposti a terreni a comportamento plastico. Ad esempio laddove arenarie massive, calcari o depositi vulcanici poggiano su litotipi prevalentemente argillosi.

Tali fenomeni si innescano quando la pressione esercitata dall'ammasso roccioso induce una deformazione sui sottostanti terreni a comportamento plastico, che si mobilitano in maniera differenziale richiamando le sovrastanti masse rocciose. Queste si suddividono in blocchi, lungo fratture preesistenti o di neoformazione, che si abbassano in maniera differenziale nei terreni plastici, e si spostano lateralmente verso valle, con un movimento a prevalente componente orizzontale (figura 1.32).

Si tratta di fenomeni generalmente molto profondi, che possono coinvolgere masse anche di notevoli dimensioni e spessori.

Il movimento si verifica generalmente con una velocità lenta e con modeste pendenze dei piani di separazione tra i corpi rocciosi e il materiale plastico. Non necessariamente è possibile individuare una vera e propria superficie di rottura, ma si verificano piuttosto deformazioni diffuse in ampi volumi di materiale.

I vari blocchi, traslando verso valle, danno luogo a un corteo di ammassi rocciosi, i quali man mano che si spostano risultano sempre più scompaginati. Nella sua evoluzione questa tipologia di frana può essere associata ad altri fenomeni franosi, ad esempio crolli, ribaltamenti, colamenti lenti, scorrimenti rotazionali e traslativi.

Le tipiche evidenze morfologiche della presenza di un'espansione laterale sono costituite, nelle rocce rigide di copertura, da trincee e solchi, mentre nei materiali plastici, posti ai margini della placca rigida, da rigonfiamenti.

Questa tipologia di fenomeni gravitativi, generalmente, si sviluppa con movimenti così lenti che non sempre possono essere apprezzabili alla scala dei tempi umani. In tali condizioni la loro esistenza può essere evidenziata attraverso dettagliati studi geomorfologici e strutturali, dall'esame dei danni su vecchie strutture, strade, reti di servizi oppure mediante l'utilizzo di sofisticati sistemi di monitoraggio.

Le espansioni laterali si verificano tipicamente quando corpi rocciosi rigidi e fratturati sono sovrapposti a terreni a comportamento plastico. I casi più frequen-



ti in Italia si producono laddove litotipi a comportamento rigido (ad es. arenarie massive, calcari o rocce vulcaniche) poggiano su depositi a comportamento fragile o duttile, in prevalenza argillosi.

In tale situazione la pressione esercitata dall'ammasso roccioso induce una deformazione sui sottostanti terreni a comportamento plastico, che si mobilitano in maniera differenziale, per fenomeni di fluimento ed estrusione, richiamando le sovrastanti masse rocciose, che si suddividono in blocchi. Questi risultano interessati da un assestamento differenziale, lungo fratture preesistenti o di neoformazione, e da estensione laterale (figura 1.33). I vari blocchi, traslando con movimenti a prevalente componente orizzontale, danno luogo a un corteo di ammassi rocciosi, i quali man mano che si spostano verso valle, risultano sempre più scompaginati. Le tipiche evidenze morfologiche sono costituite nelle rocce rigide di copertura, da trincee e solchi, mentre nei materiali plastici presenti ai margini della placca rigida, da rigonfiamenti.

Questa tipologia di fenomeni gravitativi, generalmente, si sviluppa con movimenti così lenti da non poter essere apprezzabili alla scala dei tempi umani. In tali condizioni la loro esistenza può essere evidenziata attraverso dettagliati studi geomorfologici e strutturali, dall'esame dei danni su vecchie strutture, strade, reti di servizi oppure mediante l'utilizzo di sofisticati sistemi di monitoraggio.

Si tratta generalmente di fenomeni molto profondi, con dimensioni e spessori delle masse coinvolte che possono raggiungere valori elevati. Non necessariamente è possibile individuare una vera e propria superficie di rottura, ma si verificano piuttosto deformazioni diffuse in ampi volumi di materiale (PICARELLI, 2005). La componente orizzontale degli spostamenti è nettamente prevalente su quella verticale. Un altro aspetto importante è che il regime delle pressioni neutre è poco variabile nel tempo, le sue possibili variazioni sono comunque talmente

Figura 1.33 – Vista del fenomeno di espansione laterale in località Rocca Tagliata, nel comune di Bussi (AQ). Si osserva la profonda trincea che ha diviso la rupe, costituita da una successione calcareo-marnosa, poggiate su depositi plastici arenaceo-pelitici. Al fenomeno di espansione laterale sono associati altri movimenti franosi, tra i quali crolli di materiale detritico, visibili nella parte sinistra dell'immagine. (D'ALESSANDRO *et alii*, 2003)



piccole, rispetto al valore medio della pressione neutra, da risultare insignificanti. Di conseguenza, in questa tipologia di movimenti il *creep* svolge un ruolo fondamentale (PICARELLI, 2005).

Questa tipologia di fenomeni franosi nella sua evoluzione può essere associata ad altre tipologie, ad esempio crolli, ribaltamenti, colamenti, scorrimenti rotazionali e traslativi, con stile di attività complesso e/o composito, secondo la terminologia UNESCO (WP/WLI, 1993).

I fattori predisponenti sono individuabili nella sovrapposizione di rocce a comportamento rigido su rocce a comportamento plastico, nella fratturazione dell'ammasso roccioso, nell'elevata energia del rilievo e nella decompressione che può avvenire in alcune aree, in tempi molto lunghi, successivamente al ritiro di spesse coltri di ghiaccio. Tra le cause innescanti possono essere citati gli eventi sismici, gli incrementi delle pressioni interstiziali nel substrato plastico o del carico piezometrico nelle sovrastanti rocce rigide, il ritiro dei ghiacciai e l'erosione fluviale. In questi fenomeni si possono verificare bruschi incrementi della velocità in occasione di eventi sismici significativi.

In letteratura (BECK, 1968; JAHN, 1964) è riportata una tipologia di espansione laterale che si verifica prevalentemente in rocce omogenee, fratturate e tipicamente in aree di cresta. Il movimento provoca l'estensione laterale, ma non è individuabile né una superficie basale di scorrimento né una zona di deformazione plastica ben definita. Esso comporta l'abbassamento della zona centrale del rilievo e lo spostamento laterale e verso il basso dei fianchi. L'estensione laterale determina la formazione di un'area depressa, tipo *graben*, alla sommità del rilievo e lo sdoppiamento dell'originaria cresta.

Poiché, come già detto, le espansioni laterali costituiscono generalmente fenomeni di versante che si realizzano con movimenti profondi, coinvolgono grandi volumi di roccia e seguono un comportamento meccanico di tipo *creep* gravitazionale sono state riferite da molti Autori alle Deformazioni gravitative profonde di versante. In questa sede, per le finalità del presente lavoro e per semplificare l'applicazione della classificazione proposta, si è scelto di non effettuare tale distinzione e di classificare tutte le espansioni laterali nella stessa categoria, indipendentemente dalla profondità del piano di deformazione e dall'entità dei volumi coinvolti.



1.1.1.1.7 Movimenti complessi

Riferimenti bibliografici: VALLARIO, 1992.

Inglese: *complex, complex slope movements*.

Movimenti complessi

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Questi movimenti presentano caratteristiche di innesco ed evoluzione nel tempo e nello spazio non riconducibili ad una sola delle categorie precedentemente descritte, il relativo movimento deriva, quindi, dalla combinazione di due o più tipi di movimento, verificatisi in successione temporale. Relativamente al modello schematico di questi fenomeni si rimanda alla figura 1.3.

La gran parte dei fenomeni franosi rientra in questa categoria. Per una loro corretta classificazione devono essere individuati e riconosciuti i principali tipi di movimento che li caratterizzano, in base ai quali si assegna una nomenclatura binaria al fenomeno. Essi devono essere presi a riferimento anche per la rappresentazione cartografica della frana (vedi capitolo 3 “Simbologia”).

Citiamo alcuni dei più frequenti tipi di combinazione: scorrimento rotazionale – colamento (figure 1.34 e 1.35), scorrimento traslativo – colamento (figura 1.36), scorrimento rotazionale – colata rapida di detrito, *soil slip* – colata rapida (figura 1.37) e crollo di roccia – colata rapida di detrito.

Figura 1.34 – Nel marzo 2005 in località Cavallerizzo, comune di Cerseto (CS), si è verificato un movimento gravitativo di notevoli proporzioni, classificato come un movimento complesso, dovuto alla combinazione di uno scorrimento rotazionale evoluto in colamento lento, per saturazione del materiale spostato. Il fenomeno ha causato gravi danni, devastando metà del centro abitato e alcune vie di comunicazione. Nella foto piccola è visibile una panoramica della zona di corona, dove è possibile osservare la nicchia di distacco e la scarpata secondaria dello scorrimento rotazionale.





Figura 1.35 – Vista di una porzione di un esteso bacino dove affiorano depositi sedimentari prevalentemente argillosi, interessato da imponenti movimenti gravitativi. Nella parte centrale dell'immagine si osserva un movimento complesso, dovuto a scorrimenti rotazionali evoluti in colamenti, riattivatosi in eventi successivi. Questo movimento alimenta un'altra colata, molto più estesa, che scorre nell'impluvio principale. Comune di Triento (CB).



Figura 1.36 – Panoramica dell'esteso movimento franoso riattivatosi disastrosamente il 12 aprile 1996, in località Covatta, nel comune di Ripalimosani (CB). Il materiale messo in movimento, costituito prevalentemente da sedimenti terrigeni, nel corso di tale evento distrusse un tratto della S.S. n. 647 "Fondovalle del Biferno" e invase l'alveo del F. Biferno impedendo il deflusso, dando così origine ad un lago di sbarramento. Si tratta di una frana particolarmente articolata, classificabile come un movimento complesso, poiché si riconoscono scorrimenti rotazionali e traslativi evoluti in colamenti lenti. Tali movimenti gravitativi si sono riattivati ripetutamente causando una notevole retrogressione della zona di corona. Attualmente la Regione Molise sta realizzando imponenti interventi di sistemazione e mitigazione del rischio geologico-idraulico sull'intera area.



Figura 1.37 – Esempio di un *soil slip* evoluto in colamento. Nella foto si osserva la caratteristica forma lobata dell'accumulo di frana. Su versanti particolarmente predisposti ai fenomeni gravitativi per la presenza di litotipi argillosi, di coltivazioni erbacee di tipo estensivo e per l'assenza di un'adeguata regimazione delle acque di deflusso superficiale, si verificano le condizioni favorevoli all'innesco di scivolamenti e alla loro evoluzione in colate. Località nella Regione Siciliana.



Figura 1.38 – In seguito alla violenta alluvione che colpì la Valtellina nel luglio del 1987, il giorno 28 si verificò nella Val Pola, a pochi chilometri da Bormio (SO), una gigantesca frana, classificata in letteratura come una valanga di roccia, che devastò il fondovalle del F. Adda, cancellò due abitati e causò molte vittime. L'immenso accumulo del materiale franato sbarrò completamente l'alveo del F. Adda e diede origine, nella zona di monte, a un vasto lago. Le Autorità competenti dovettero intervenire per far defluire progressivamente l'acqua dell'invaso ed evitare così la possibile improvvisa tracimazione, che avrebbe prodotto ulteriori gravissimi danni ai territori situati a valle. Nella parte alta della foto si osserva l'esteso bacino di alimentazione del fenomeno gravitativo, in basso l'enorme accumulo dei materiali franati.





Tra le frane complesse vengono considerate anche le valanghe di roccia. Nella “Guida alla compilazione della scheda frane IFFI” (AMANTI M. *et alii*, 2001) esse vengono descritte come “*grandi volumi di rocciosi, dislocati da rotture istantanee e caratterizzati da spostamenti molto rapidi, che inducono, tra i singoli elementi lapidei, formatisi per fratturazione intensiva della massa rocciosa dislocata, interazioni caratterizzate da elevati scambi di energia*”. Un esempio di valanga di roccia è rappresentato dall’enorme e distruttiva frana verificatasi in Val Pola (SO) (figura 1.38).



DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE

1.1.1.2. Deformazioni gravitative profonde di versante

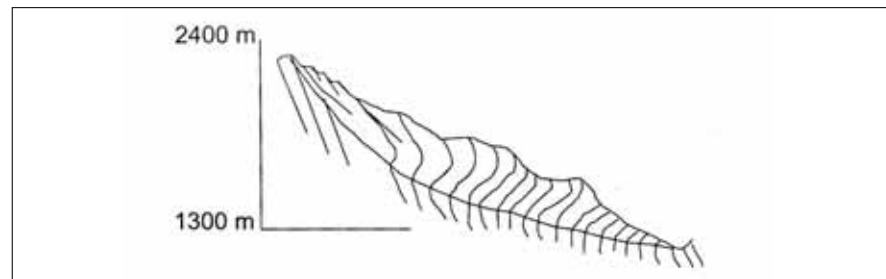
Riferimenti bibliografici: CAVALLIN *et alii*, 1987; DRAMIS 1984; DRAMIS, 1995; GIARDINO & POLINO, 1997; GOGUEL, 1978; ONIDA, 2001; SORRISO-VALVO (1988); VALLARIO, 1992.

Sinonimi: insaccamenti, colate di roccia, colamenti in rocce lapidee, deformazioni profonde da *creep* in roccia.

Inglese: *Deep-seated gravitational slope deformations, rock flows.*

Tedesco: *sackung.*

Figura 1.39 – Esempio di deformazione per *sackung* in rocce lapidee. (Tratta da ZISCHINSKY, 1996).



Deformazioni gravitative profonde di versante (D.G.P.V.)

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Le deformazioni gravitative profonde di versante implicano deformazioni plastiche, differenziali e spazialmente continue, con spostamenti estremamente lenti, anche dell'ordine di millimetri annui, lungo superfici di discontinuità, variamente orientate e non necessariamente estese. In tal modo l'ammasso roccioso in movimento viene frazionato in diverse unità, le quali conservano al loro interno una relativa integrità, e subiscono processi di rigonfiamento e piegamento (figura 1.39).

Questo tipo di fenomeno si distingue soprattutto per fattori di scala, infatti il volume delle masse coinvolte è dell'ordine di centinaia di migliaia fino a parecchie decine di milioni di metri cubi, la profondità della deformazione arriva ad alcune decine o centinaia di metri, le estensioni in lunghezza e larghezza sono dell'ordine di chilometri.

Le D.G.P.V. possono avere vistose ripercussioni sull'assetto morfologico dei versanti, infatti si riconoscono essenzialmente per gli effetti che producono in superficie. Le evidenze morfologiche principali sono rappresentate nella parte alta dei versanti dal tipico profilo concavo, per ribassamento della massa rocciosa, da piegamenti, sdoppiamenti di cresta, trincee, depressioni chiuse, scarpate rivolte verso valle, con-



tropendenze; mentre nella parte bassa dei versanti si hanno inarcamenti e rigonfiamenti, che conferiscono al versante un marcato profilo convesso, e piani di taglio a basso angolo.

Tipicamente nelle zone periferiche di versanti interessati da tali deformazioni si verifica l'insorgere di fenomeni franosi, generalmente crolli e scorrimenti, che danno origine a depositi detritici.

Negli stadi evolutivi più avanzati i processi deformativi possono portare al collasso dell'intero versante coinvolto o di sue porzioni. In questa sede si ritiene debbano essere inseriti nelle D.G.P.V. soltanto quei movimenti che implicano deformazioni gravitative e non quelli evoluti in un collasso. Questi ultimi dovranno essere classificati nelle categorie relative al tipo di movimento avvenuto durante il collasso, indipendentemente dalla dimensioni dei volumi coinvolti, ossia tra gli scorrimenti traslativi o le espansioni laterali

Il fenomeno si verifica solo in materiali lapidei.

Le D.G.P.V. si collocano in una posizione intermedia tra i movimenti franosi e i fenomeni di tettonica gravitativa (ONIDA, 2001); possono essere descritte come movimenti di massa di grandi dimensioni che si attuano attraverso una deformazione in prevalenza lenta e progressiva della massa coinvolta nello spostamento, senza che si produca necessariamente una ben definita o facilmente individuabile superficie di taglio continua. Il processo deformativo avviene per spostamenti differenziali estremamente lenti, che si sviluppano lungo una serie di micro-piani di discontinuità variamente orientati, o per deformazioni plastiche dell'ammasso roccioso, concentrate lungo fasce di maggior debolezza, localizzate a diversa profondità e aventi differenti spessori.

Le deformazioni plastiche, differenziali e spazialmente continue, comportano spostamenti lenti lungo superfici di discontinuità, non necessariamente estese, che tendono a frazionare la massa rocciosa in diverse unità, le quali conservano al loro interno una relativa integrità, originando così rigonfiamenti e piegamenti nel materiale in movimento, che hanno vistose ripercussioni sull'assetto morfologico del versante.

SORRISO-VALVO (1988) evidenzia la difficoltà di stabilire i limiti fenomenologici, prima che dimensionali, entro i quali un movimento di massa debba essere considerato una D.G.P.V. piuttosto che una frana in senso stretto o un fenomeno di tettonica gravitativa. Tuttavia l'Autore sottolinea un generale accordo nel considerare le D.G.P.V. qualunque tipo di deformazione gravitativa in cui l'insorgere o il divenire evidente di forme o processi particolari sono attribuibili a fattori di scala (GOGUEL, 1978).



DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE

Le D.G.P.V. sono caratterizzate da una varietà di situazioni diverse, ma accomunate dalle seguenti caratteristiche (ONIDA, 2001):

- il volume della massa coinvolta è dell'ordine di centinaia di migliaia fino a parecchie decine di milioni di metri cubi; la profondità della deformazione è di alcune decine o centinaia di metri; le estensioni in lunghezza e larghezza sono dell'ordine di chilometri;
- la deformazione della massa rocciosa non avviene necessariamente in presenza di una superficie o zona di rottura continua, come avviene nei fenomeni franosi, piuttosto è distribuita in una fascia che può avere anche vaste porzioni;
- il fenomeno nello stadio iniziale e intermedio è caratterizzato, generalmente, da deformazioni di taglio in evoluzione molto lenta nel tempo, la cui velocità, variabile da pochi millimetri a qualche centimetro all'anno, è controllata principalmente da un comportamento meccanico più o meno plastico della roccia, denominato "*creep* gravitazionale". L'entità della deformazione va crescendo con la plasticità del materiale coinvolto, l'attività e il contenuto d'acqua; inoltre essa è controllata dalle condizioni geologiche e geomorfologiche generali;
- nello stadio finale la velocità della deformazione aumenta raggiungendo molti centimetri al giorno; ciò comporta l'evoluzione da un fenomeno di tipo deformativo, a un fenomeno di rottura progressiva all'interno dell'ammasso roccioso, fino al collasso di settori localizzati o dell'intero volume coinvolto. L'accelerazione improvvisa del movimento può verificarsi specialmente in seguito ad eventi meteorici eccezionali (ad esempio oscillazioni meteo-climatiche a lungo periodo), a scosse sismiche o a una rapida evoluzione morfologica del versante.

Le D.G.P.V. possono essere considerate, pertanto, come lo stadio preparatorio di grandi frane generalmente di scorrimento (DRAMIS, 1995), che si sviluppano soltanto nel caso in cui l'ammasso roccioso arrivi a rottura; in tal caso si assiste alla formazione di veri e propri piani di taglio.

Le D.G.P.V. vengono riconosciute e studiate essenzialmente attraverso gli effetti che esse producono in superficie (ONIDA, 2001); DRAMIS (1984) ha evidenziato come la loro individuazione si basi soprattutto su criteri di ricerca geomorfologica (figura 1.40) e tecniche interferometriche. Le evidenze morfologiche principali, sulla base delle quali si effettua in genere il riconoscimento, sono rappresentate nella parte alta dei versanti da piegamenti, sdoppiamenti di cresta (figura 1.41), trincee (figura 1.42), depressioni chiuse, piani estensionali ad alto angolo che determinano scarpate rivolte verso valle e contropendenze; mentre nella parte bassa dei versanti si hanno rigonfiamenti, che conferiscono al versante un marcato profilo convesso, e piani di taglio a basso angolo. L'evoluzione dei fenomeni deformativi può produrre, nelle zone periferiche dei versanti, l'innesco di frane, ge-



neralmente per crolli e scorrimenti, che danno origine a depositi detritici, anche di notevoli dimensioni.

Gli ammassi rocciosi che tipicamente sono interessati da questo tipo di deformazioni sono costituiti da roccia duttile a grande scala (prevalentemente rocce metamorfiche scistose), da roccia rigida fratturata, da alternanze di litotipi a diverso comportamento meccanico, con presenza di livelli di argille e marne che costituiscono piani preferenziali di scorrimento, da banconi di roccia rigida poggianti su roccia duttile (CAVALLIN *et alii*, 1987).

Le principali cause predisponenti, oltre alle caratteristiche lito-strutturali e geomeccaniche, sono l'elevata energia del rilievo, sollevamenti tettonici associati a rapida erosione fluviale e il rilascio di stress da deglaciazione.

Per alcune D.G.P.V. è stata ipotizzata come causa predisponente la forte riduzione di volume dell'ammasso roccioso in profondità a seguito di processi di dissoluzione di rocce particolarmente solubili come i gessi (Note illustrative del Foglio N. 154 "Susa", della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 2002). Alcuni Autori (tra i quali GIARDINO & POLINO, 1997) ritengono esista un legame tra D.G.P.V. ed evoluzione geodinamica (ad es. l'apertura di conche intermontane).

Con riferimento alle tipologie di movimento della classificazione di VARNES (1978), sono state identificate sostanzialmente tre tipologie differenti di D.G.P.V.:

- *sackung* o "insaccamenti" o colate di roccia o colamenti in rocce lapidee o deformazioni profonde da *creep* in roccia (inglese *rock flows*);



Figura 1.40 – Vista di una dorsale interessata da deformazioni gravitative profonde evidenziate dalla presenza di alcuni caratteristici elementi geomorfologici quali: la scarpata situata nella parte alta del versante rivolta verso valle, corrispondente ad un piano estensionale ad alto angolo (evidenziata con una linea tratteggiata blu), le numerose trincee (alcune delle quali sono evidenziate dalle frecce) e i vari fenomeni franosi posti nella parte bassa del versante. Località Costa del Bosco del Conte, in alta Valtellina, comune di Bormio (SO).



DEFORMAZIONI GRAVITATIVE PROFONDE DI VERSANTE

- scorrimenti in blocco di roccia (inglese *block slides*);
- espansioni laterali (inglese *lateral spreads*).

In questa sede si ritiene debbano essere inseriti nelle D.G.P.V. soltanto i *sackung*, in quanto implicano deformazioni che non sono evolute in un collasso. Le altre due tipologie di fenomeni dovranno essere classificate nelle rispettive categorie, ossia rispettivamente tra gli scorrimenti traslativi e le espansioni laterali, sulla base del tipo di movimento e indipendentemente dalle dimensioni dei volumi coinvolti (vedi paragrafi 1.1.1.1.3 “Scorrimenti traslativi” e 1.1.1.1.6 “Espansioni laterali”).

Ricapitolando gli “insaccamenti” sono prodotti da movimenti lenti e continui lungo una serie di micro-piani di discontinuità o da lente deformazioni plastiche della massa rocciosa. Il tipico fenomeno del *creep* in roccia, infatti, avviene mediante deformazioni plastiche, differenziali e spazialmente continue, con spostamenti lenti lungo superfici di discontinuità, non necessariamente estese, che tendono a frazionare la massa rocciosa in diverse unità, le quali conservano al loro interno una relativa integrità, originando così rigonfiamenti e piegamenti nel materiale in movimento, che hanno vistose ripercussioni sull’assetto morfologico del versante.

Figura 1.41 – Vista di uno sdoppiamento di cresta in alta Valtellina. Comune di Bormio (SO).





Figura 1.42 – Vista di una trincea (*trench*), elemento morfologico tipico della presenza di movimenti estensionali. Alta Valtellina, comune di Bormio (SO).



MOVIMENTI LENTI SUPERFICIALI

1.1.1.3 Movimenti lenti superficiali

Riferimenti bibliografici: CASTIGLIONI 1992; PANIZZA, 1988; VALLARIO, 1992.

Movimenti lenti superficiali (o della coltre detritica superficiale)

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Con tali termini si indicano i fenomeni derivanti dal lento e continuo spostamento della coltre detritica superficiale, disposta sui versanti, che avvengono senza una superficie di scorrimento ben definita, per effetto della gravità in associazione con altri fattori, esplicitati in seguito. Si distinguono, non sempre in modo netto, due tipologie: soliflussi e reptazioni.

1.1.1.3.1 Soliflussi

Inglese: *solifluction*.

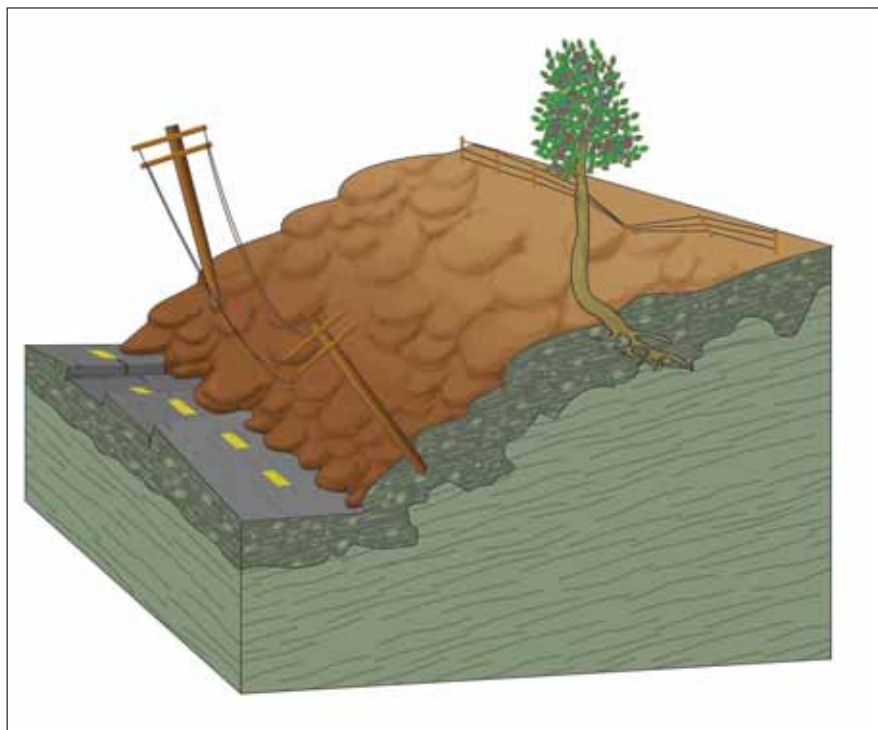


Figura 1.43 – Modello schematico di soliflusso. Questa tipologia coinvolge le porzioni più superficiali (1-2 m) di litotipi prevalentemente limosi e argillosi, generalmente alterate dagli agenti esogeni. Le tipiche evidenze sul terreno sono costituite da diffusi lobi per colamento dei materiali, alberi inclinati e/o ricurvi alla base, manufatti inclinati e/o deformati. (Tratta dal sito web della Provincia della Columbia Britannica: <http://www.em.gov.bc.ca>; modificata).

Soliflussi

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Tale fenomeno, da un punto di vista meccanico, può essere assimilato ad un colamento lento di una massa fluida molto viscosa; consiste in un movimento lento e discontinuo, che coinvolge le porzioni più superficiali di materiali sedimentari (figura 1.43), rese fluide e molto viscosi dal contenuto in acqua. È tipico di terreni poco permeabili, ricchi di limo e argilla e capaci di imbibirsi d'acqua.

In ambiente periglaciale, dove il contenuto in acqua proviene dal disgelo di neve e ghiaccio, si parla di geliflusso.

Il movimento si verifica anche su pendii di modesta acclività; l'inclinazione minima, affinché avvenga il soliflusso, sembra aggirarsi sui 5°. Coinvolge spessori modesti (1–2 metri) ed è caratterizzato da velocità dell'ordine di alcuni decimetri per anno.



SOLIFLUSSI

Le evidenze sul terreno tipiche di tale fenomeno sono rappresentate da: lobi, terrazzetti, alberi inclinati e/o ricurvi alla base, increspature e avvallamenti (figure 1.44 e 1.45), manufatti inclinati rispetto alla verticale (figura 1.46) e/o danneggiati.

Figura 1.44 – Immagine di un versante interessato da diffusi movimenti di tipo soliflusso, resi evidenti dalla presenza di una serie di rigonfiamenti e avvallamenti, elementi morfologici caratteristici. Questi fenomeni sono tipici di versanti costituiti da litotipi prevalentemente argillosi, estesamente coltivati a seminativi, privi di copertura arborea e arbustiva e di opere di regimazione delle acque di deflusso superficiale. Comune di Volterra (PI).





Figura 1.45 – Sono visibili numerosi avvallamenti e rigonfiamenti indicativi della presenza di diffusi movimenti superficiali lenti. Località in provincia di Campobasso.



Figura 1.46 – Vista di una lunga fila di pali, per la linea elettrica, disarticolata dai soliflussi. Comune di Volterra (PI).

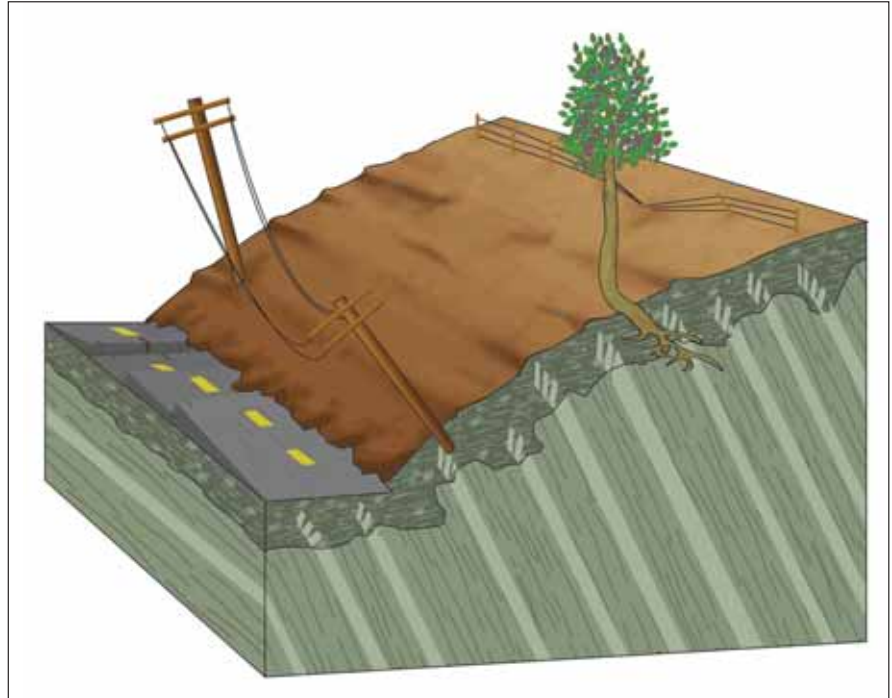


REPTAZIONI

1.1.1.3.2 Reptazioni

Inglese: *Soil creeps*.

Figura 1.47 – Modello schematico di reptazione. Anche questo fenomeno coinvolge la coltre detritica superficiale. Le tipiche evidenze sul terreno sono costituite da diffusi terrazzetti per lo spostamento dei materiali, alberi piegati, manufatti inclinati e/o deformati. (Tratta dal sito web della Provincia della Columbia Britannica: <http://www.em.gov.bc.ca>; modificata).



***Reptazioni***

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

La reptazione o *soil creep* coinvolge il suolo e la porzione alterata del substrato (figura 1.47). Il fenomeno costituisce il risultato dello spostamento complessivo di singole particelle, derivante da un insieme di piccoli movimenti parziali, dovuti alla incessante e ciclica azione di cause diverse, che si sommano all'azione della gravità, quali: circolazione di acqua nel terreno, dilatazioni e contrazioni termiche, gelo e disgelo, bioturbazioni, umidificazione ed essiccazione. Effetti di tali azioni sono la continua alternanza di fenomeni di microespansione e microcontrazione del suolo, che determinano lo spostamento delle particelle.

Le evidenze morfologiche caratteristiche di questi fenomeni sono analoghe a quelle del soliflusso: lobi, terrazzetti, alberi inclinati e/o ricurvi alla base, increspature, avvallamenti, manufatti inclinati rispetto alla verticale e/o danneggiati.

In alcune rocce stratificate, con giacitura a reggipoggio oppure a franapoggio più inclinata del versante, si possono verificare incurvamenti, verso il basso, di pacchi di strati più o meno disgregati, con forme dette a "uncino" (PANIZZA, 1988).

Il movimento procede con una bassissima velocità da qualche millimetro ad alcuni centimetri per anno, inoltre decresce in maniera esponenziale con l'aumento della profondità. L'inclinazione minima del pendio perché avvenga il movimento sembra aggirarsi sui 5°.

1.1.1.4 Altri fenomeni di dissesto

1.1.1.4.1 Aree soggette a frane superficiali diffuse

Aree soggette a frane superficiali diffuse

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Questa categoria di fenomeni è stata introdotta nella classificazione utilizzata nel Progetto IFFI – Inventario Fenomeni Franosi Italiani (AMANTI M. *et alii*, 2001), pertanto per la relativa descrizione riportiamo quanto indicato nella “Guida alla compilazione della scheda frane IFFI”.

Il termine di “*area soggetta a*” viene utilizzato per “*vari tipi di movimento diffuso, per poter classificare, con una certa facilità, tutti quei settori di versante su cui sono in atto o che sono stati sottoposti in passato a fenomenologie di instabilità diffuse sul territorio e contraddistinte dall’associazione, in corso di evento, o alla ripetizione nel tempo di singoli processi generalmente caratterizzati da movimenti piuttosto rapidi*”.

Con aree soggette a frane superficiali diffuse si intendono “*quei settori di versante che in passato sono stati interessati da frane di vario tipo a carico di spessori generalmente limitati dei terreni sciolti di copertura e che si sono innescate contestualmente ad eventi idrometeorologici di forte intensità. Devono essere circoscritte nell’area, quando possibile, sia la zona sorgente sia quella di invasione dei materiali franati*”.



1.1.1.4.2 Area soggetta a crolli e/o ribaltamenti diffusi

Riferimenti bibliografici: CASTIGLIONI, 1992.

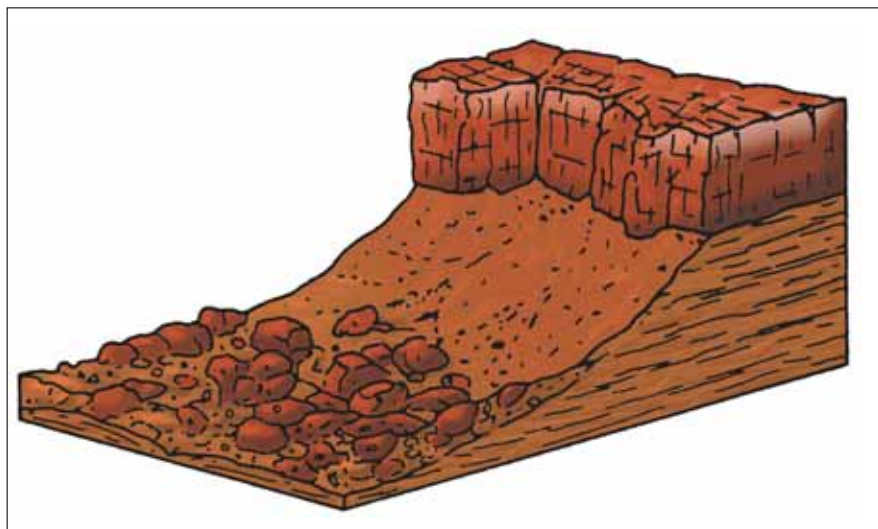


Figura 1.48 – Modello schematico di una falda detritica generata per il susseguirsi di fenomeni di distacco, da una rupe rocciosa, di elementi lapidei eterometrici, con dimensioni variabili da millimetriche a plurimetriche. (Tratta da VALLARIO, 1992; parzialmente modificata).

Area soggetta a crolli e/o ribaltamenti diffusi

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Si riferisce a quei settori presenti soprattutto in aree montuose, quali pareti rocciose e versanti acclivi, dove si ripetono fenomeni di caduta e scendimenti di singoli elementi lapidei o crolli di piccoli ammassi rocciosi, generalmente conseguenti ad uno stato di significativa fratturazione dell'ammasso roccioso e/o al susseguirsi di cicli stagionali caratterizzati da forte escursione termica (termoclastismo e crioclastismo).

In confronto con le frane, principalmente, di crollo e ribaltamento, si parla di caduta di detrito per frammenti rocciosi isolati o in masse non ingenti; nelle frane si spostano invece, più o meno simultaneamente, masse cospicue.

Per effetto della gravità, i frammenti rocciosi prodotti per vari processi di disgregazione meccanica su una parete si staccano e cadono liberamente, accumulandosi al piede; se la superficie topografica sottostante la parete è pressappoco uniforme, questo deposito può accumularsi e formare una falda detritica, cioè una fascia di detrito con superficie inclinata (figure 1.48 e 1.49). I singoli frammenti dopo il primo impatto sul terreno possono prolungare il loro spostamento per rotolamento e rimbalzo, avviene di solito che i più grossi arrivino più in basso o possano scivolare in massa. Essi si



AREA SOGGETTA A CROLLI E/O RIBALTAMENTI DIFFUSI

muovono comunque fino ad assestarsi secondo un angolo di inclinazione che generalmente si aggira intorno ai 30-35° (angolo di riposo) che dipende dalla forma e dalle dimensioni degli elementi e quindi dalle caratteristiche della roccia madre. Gli elementi caduti di solito hanno una tipica forma angolosa.

Un cono detritico si forma allo stesso modo, quando il detrito cade dalle pareti in una rientranza, per esempio al piede di un canalone, dove si formerà l'apice del cono (figura 1.50). Una falda detritica si forma per la coalescenza di più coni affiancati e fusi assieme.

Figura 1.49 - Il ripetersi di fenomeni di crollo ha generato una falda detritica ai piedi di una dorsale carbonatica intensamente fratturata e fessurata per tettonica, processi di termoclastismo e crioclastismo. Località Valle delle Cornacchie - Gran Sasso (TE).





Figura 1.50 – Cono detritico formatosi ai piedi di un canalone, che interessa una parte rocciosa costituita da litotipi carbonatici intensamente fratturati e fessurati. Il cono detritico è formato dall'accumulo di materiale di forma angolosa e di dimensioni molto variabili. Località Valle delle Cornacchie - Gran Sasso (TE).

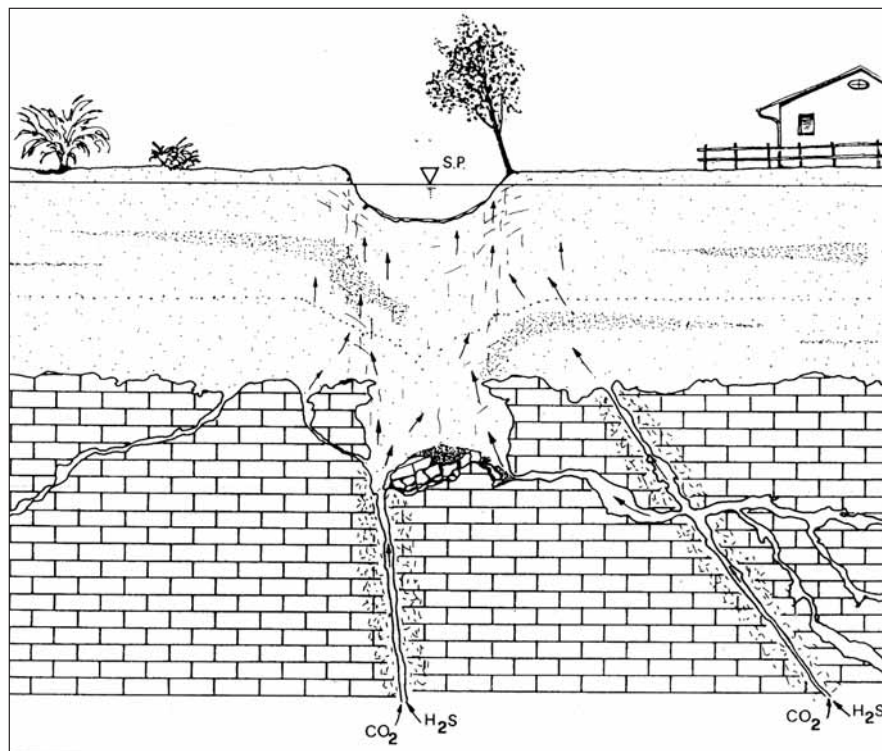


1.1.1.4.3 Sprofondamenti

Riferimenti bibliografici: NISIO & SALVATI, 2004; DEL GRECO *et alii*, 2004.

Inglese: *sinkholes*.

Figura 1.51 – Modello schematico dello sviluppo di un *sinkhole* s.s. Viene messo in evidenza che la circolazione di fluidi nel substrato carbonatico ha generato dei processi di dissoluzione carsica, con la formazione di una cavità carsica. Il crollo della volta della cavità si trasmette verso l'alto, attraverso l'intero spessore dei depositi di copertura, fino alla superficie, dove si forma una depressione, che può essere riempita dall'acqua di falda. (Tratta da FACCENNA *et alii*, 1993).



Sprofondamenti

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Il termine sprofondamento si riferisce a voragini, di forma generalmente sub-circolare, con diametro e profondità variabili da pochi metri a centinaia di metri, con pareti sub-verticali, che si aprono improvvisamente nel terreno, in un evento unico o più eventi successivi.

Qualora i fenomeni si ripetano nella stessa area, le voragini possono assumere forme più articolate, per la coalescenza dei vari sprofondamenti.

Tali fenomeni sono localizzati generalmente in corrispondenza di allineamenti tettonici, lungo i quali si evidenziano anomalie nella circolazione idrica sotterranea.



Le depressioni generate dagli sprofondamenti sono spesso riempite da acque, così da formare laghetti e specchi d'acqua.

In relazione ai processi genetici, gli sprofondamenti possono essere classificati in tre grandi classi:

- doline, fenomeni carsici dovuti alle acque di infiltrazione;
- fenomeni legati all'attività antropica (sprofondamenti antropici);
- fenomeni di *sinkholes s.s. (sensu strictu)*, generati per la risalita di fluidi.

Nelle doline l'evoluzione procede per fasi successive, dalla superficie in profondità, ad opera dei processi di dissoluzione carsica generati dalle acque meteoriche di infiltrazione.

Gli sprofondamenti antropici avvengono per il semplice collasso delle volte di cavità sotterranee prodotte da attività antropiche (cave, miniere, catacombe, cisterne per acqua, gallerie, cunicoli sotterranei di varia natura, ecc.), perciò presentano morfologia varia, non necessariamente sub-circolare.

Per quanto riguarda i *sinkholes s.s.*, si tratta di fenomeni a diffusione locale determinati dalle particolari condizioni geologiche del sottosuolo, che ne costituiscono le cause predisponenti. Gli elementi caratteristici, secondo NISIO & SALVATI (2004), sono:

- presenza di un substrato carbonatico sepolto, interessato da processi carsici, posto a profondità, dal piano campagna, anche superiori ai 100 m;
- si verificano solo in aree di pianura laddove sul substrato carbonatico sono depositi materiali di copertura, di varia natura, di origine continentale, con granulometria variabile, generalmente incoerenti e con scadenti proprietà geomeccaniche, sebbene possano essere presenti strati, anche di notevole spessore, di depositi coerenti o coesi;
- presenza di una potente circolazione idrica sotterranea, nel substrato, alimentata essenzialmente dai rilievi carbonatici situati ai bordi delle piane. Tali acque, che drenano naturalmente verso il livello di base locale, in parte emergono in corrispondenza del limite idrogeologico definito dal contatto tra i rilievi carbonatici più permeabili e i depositi di copertura meno permeabili, in parte vengono drenate dai terreni di copertura, dando luogo a diverse falde sovrapposte. Possono contribuire alla circolazione idrica sotterranea anche fluidi mineralizzati, in risalita da settori ancora più profondi e contenenti una variabile componente gassosa. La circolazione idrogeologica sotterranea deve avere: un regime carsico, notevoli carichi idraulici, elevate portate e rilevanti velocità. Nelle aree dove avviene l'evoluzione degli sprofondamenti, generalmente, si assiste alla risorgenza di acque di falda derivanti dalla circolazione sotterranea nei massicci carbonatici;



SPROFONDAMENTI

- propagazione della deformazione dal basso verso l'alto per crolli successivi, all'interno della copertura detritica posta al di sopra del substrato carsificabile, fino a intersecare il piano campagna;
- esistenza di lineamenti tettonici di importanza regionale che svolgono il ruolo di canalizzare la risalita dei fluidi, in corrispondenza dei quali avviene lo sviluppo preferenziale degli sprofondamenti.

In sintesi l'evoluzione di un *sinkhole* *s.s.* avviene quando, per varie cause di circolazione idrica sotterranea, si formano delle cavità in profondità nel substrato per fenomeni carsici, oppure all'interno dei materiali detritici sovrastanti. Questo svuotamento si propaga verso l'alto, per crolli successivi, attraverso l'intero spessore dei depositi di copertura fino ad arrivare in superficie (figura 1.52), dove si producono delle tipiche strutture a forma conica o dei condotti pseudo-cilindrici (chiamati camini di collasso, inglese *sinkholes*), in funzione del tipo di materiale coinvolto.

Figura 1.52 – Nella pianura a nord di Grosseto, in località Bottegone, il 29 gennaio 1999, nel volgere di poche ore si generò una voragine di forma pseudo circolare, con diametro pari a 140 m e approfondimento massimo di 15 m. Dagli studi effettuati sul fenomeno è emersa la sua origine naturale e profonda, causata dal collasso del tetto di una cavità carsica presente nel substrato calcareo, dovuto ai fenomeni di dissoluzione dei minerali carbonatici, e alla migrazione verso il basso di tutta la copertura terrigena sovrastante. Gli stessi studi hanno indicato che il substrato calcareo si trova a più di 200 m di profondità, pertanto si può ipotizzare che le dimensioni della cavità sotterranea devono essere elevate affinché il collasso possa essersi esteso fino in superficie. (DEL GRECO *et alii*, 2004).





1.1.2 Dissesti dovuti al dilavamento

Riferimenti bibliografici: CASTIGLIONI, 1992; DRAMIS *et alii*, 2005; GIORDANO, 2002; GISOTTI & BENEDINI, 2000; PANIZZA, 1988; VALLARIO, 1992.

Sinonimi: erosione pluviale.

Inglese: *slope wash*.



Figura 1.53 – Vista di un versante interessato dalla presenza di diffusi solchi erosivi di tipo *rill* e di alcuni solchi più profondi di tipo *gully* (nella parte centrale). L'innesco di tali fenomeni è stato favorito dall'affioramento sul versante di litotipi limoso-sabbiosi, poco coereni e facilmente erodibili, e dalla presenza di coltivazioni agricole essenzialmente di tipo erbaceo. Comune di Certaldo (FI).

Dissesti dovuti al dilavamento

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Le acque piovane costituiscono uno dei più importanti agenti morfogenetici, producono rilevanti effetti geomorfologici legati sia all'azione diretta d'impatto della pioggia sul terreno (inglese: *raindrop erosion*), sia all'azione dello scorrimento dell'acqua in superficie, ossia al ruscellamento (inglese: *runoff*) (PANIZZA, 1988). I processi che ne derivano sono detti di *dilavamento* o di *erosione pluviale*.

Le acque piovane, raggiunta la superficie terrestre, in parte possono infiltrarsi in profondità, nel suolo e nel sottosuolo, in parte possono scorrere sulla superficie se questa è appena inclinata, originando un flusso superficiale diretto secondo la massima pendenza. Questo fenomeno provoca sulla superficie del terreno l'asportazione e il trasporto di particelle solide, di suolo e di roccia, verso la parte bassa del versante, dove il materiale eroso può accumularsi formando depositi denominati colluviali (*colluvium*). In tali processi l'acqua interviene come agente diretto di erosione, trasporto e deposi-



to; è infatti l'energia dell'acqua che si trasmette alle particelle di terreno. Le acque piovane dapprima si dispongono a velo e scorrono disordinatamente, per questo sono dette “*selvagge*” o “*ruscellanti*” o “*di dilavamento*” o “*dilavanti*”. Successivamente tendono ad organizzarsi e incanalarsi in un alveo stabile, scorrono in un reticolo idrografico, perciò sono denominate “incanalate”. E' evidente che non si può mettere un limite preciso dove termina l'azione delle acque dilavanti e dove comincia quella delle acque incanalate, che rientra nella dinamica fluviale.

Le acque incanalate producono erosione lineare o fluviale che consiste nell'asportazione di materiale dal letto e dalle sponde del corso d'acqua. In particolare si parla di erosione verticale o di fondo, per quella esplicita dall'acqua corrente sul fondo dell'alveo, attraverso la quale esso tende sempre più ad approfondirsi. A questo tipo di azione si può associare l'erosione laterale od orizzontale o di sponda, che agisce lateralmente sulle sponde producendone lo scalzamento; in questo caso il corso d'acqua tende ad allargare il suo letto.

In questa sede trattiamo solo i fenomeni erosivi dovuti alle acque dilavanti che interessano i versanti, poiché quelli causati dalle acque incanalate riguardano la dinamica fluviale.

Le acque di dilavamento danno luogo all'erosione areale o superficiale, che si esplica sulle zone di interfluvio comprese tra due alvei, ossia sui versanti (figura 1.53).

Le acque piovane esercitano due distinte azioni erosive: una di distacco delle particelle dovuta agli urti delle gocce di pioggia che colpiscono il suolo (inglese: *splash*) e ai successivi processi chimici e fisici di disgregazione; l'altra di trasporto delle particelle distaccate, per effetto delle acque dilavanti. Connessa al trasporto delle particelle distaccate è l'abrasione del suolo e delle rocce ad opera delle stesse particelle trasportate dall'acqua.

Il dilavamento è un fenomeno discontinuo nel tempo, la cui entità dipende in prevalenza dall'intensità, dalla durata e dal tipo di precipitazione, dall'infiltrazione, dal tipo di copertura vegetale, dalla rugosità della superficie del terreno, dalla resistenza all'erosione del terreno, dalla pendenza e lunghezza dei versanti e dai fattori antropici (CASTIGLIONI, 1986).

Le azioni di mobilizzazione e trasporto prodotte dalla limitata energia cinetica posseduta dalle acque dilavanti, interessano di solito le particelle di piccole dimensioni, corrispondenti alla “terra fine”, cioè argilla, limo e sabbia, e ai minuti residui vegetali; tuttavia la frequenza con la quale si susseguono tali fenomeni contribuisce in modo sostanziale all'arretramento dei versanti, all'abbassamento delle creste e alla produzione di ingenti quantità di materiale solido da trasportare.



Nella valutazione dei danni prodotti dai fenomeni erosivi nel loro complesso, legati all'azione sia delle acque dilavanti sia di quelle incanalate, occorre considerare sia quelli prodotti sul posto dove l'erosione si è verificata, sia quelli prodotti in modo diretto e indiretto in località lontane (tabella 1.5).

Tabella 1.5 – Conseguenze derivanti dai fenomeni erosivi, differenziate tra quelle prodotte direttamente là dove l'erosione si è verificata e quelle indotte in luoghi lontani. (Tratta da GIORDANO, 2002; parzialmente modificata).

EROSIONE IDRICA	
DANNI IN <i>SITU</i> DOVE L'EROSIONE SI È VERIFICATA	DANNI OCCORSI IN LOCALITÀ LONTANE DAL LUOGO DOVE L'EROSIONE SI È VERIFICATA
<ul style="list-style-type: none"> • asportazione degli orizzonti organici dalla superficie del suolo; • rimozione di sostanze nutritive; • distruzione della struttura e compattazione della superficie del suolo; • riduzione di produttività del suolo; • riduzione dell'infiltrazione; • diminuzione nella ricarica della falda freatica; • erosione superficiale (<i>sheet erosion</i>); • asportazione di materiale fine e aumento di elementi grossolani in superficie; • formazione di incisioni (poco profonde <i>rills</i>, profonde <i>gullies</i>); • sradicamento di vegetali. 	<ul style="list-style-type: none"> • alluvioni; • inquinazione dell'acqua; • interrimento delle opere di sbarramento o dighe, dei bacini di raccolta dell'acqua, dei canali, dei corsi d'acqua; • modifiche dell'andamento o dell'assetto dei corsi d'acqua; • sedimentazione di materiali sabbioso-argillosi sui campi; • deterioramento dei luoghi di pesca; • eutrofizzazione dei corsi d'acqua.

L'azione erosiva del dilavamento superficiale si può esplicitare, con modalità diverse, come effetto dell'azione areale del ruscellamento. Le modalità di maggior rilievo per quanto riguarda il dissesto geologico-idraulico sono: “*Erosione areale per ruscellamento diffuso*” e “*Erosione a rivoli e solchi per ruscellamento concentrato*”.



EROSIONE AREALE PER RUSCELLAMENTO DIFFUSO O EROSIONE LAMINARE

1.1.2.1 Erosione areale per ruscellamento diffuso o erosione laminare

Inglese: *sheet erosion*.

Le acque piovane, che non si infiltrano nel terreno, inizialmente scorrono in superficie in modo diffuso, sotto forma di una fitta rete anastomizzata di filetti d'acqua, che si distribuiscono sul pendio in modo diverso da un evento pluviometrico all'altro. In tal modo l'acqua piovana, organizzata in filetti, produce un'erosione areale sui versanti, con energia variabile a seconda dell'acclività del pendio sul quale scorre e della presenza di ostacoli lungo il percorso.

L'acqua nel suo fluire mobilizza e poi trasporta le particelle lungo la linea di massima pendenza; infine, dopo un percorso generalmente non prolungato, queste possono essere abbandonate alla base dei versanti o in corrispondenza di riduzioni dell'acclività sui versanti, per formare depositi colluviali (*colluvium*). In seguito l'acqua può proseguire il suo cammino fino ad immettersi in rivoli più evoluti e, successivamente, in veri e propri corsi d'acqua; la maggior parte del materiale solido può essere coinvolto in diverse fasi di trasporto e deposito e può alimentare il trasporto fluviale.

Il suolo subisce un logoramento pressoché uniforme su tutta la superficie coinvolta, lo spessore interessato può essere molto variabile. Talvolta se l'erosione è particolarmente intensa e il suolo poco protetto si possono verificare troncature irreparabili del suo profilo.

Il fenomeno è particolarmente efficace sui terreni privi di copertura vegetale, già disgregati da processi di degradazione meteorica o sufficientemente impregnati d'acqua tanto da impedirne l'infiltrazione.

Generalmente i fenomeni di ruscellamento laminare evolvono verso una concentrazione in rivoli, facilitata dall'aumento dell'energia dell'acqua e dalla disomogeneità dei pendii.



1.1.2.2 Erosione per ruscellamento concentrato a rivoli e a solchi

Inglese: rill erosion e gully erosion.

L'aumento della quantità o dell'intensità della pioggia, il suo prolungarsi nel tempo oppure il progressivo arricchimento delle acque di ruscellamento dalla sommità alla base dei versanti, determinano un progressivo incremento della portata, della velocità e quindi dell'energia, ovvero del potere di erosione e di trasporto delle acque che scorrono in superficie (PANIZZA, 1988). Progressivamente le acque dilavanti tendono ad organizzarsi, i flussi idrici si concentrano in canali effimeri (*rills*) di scorrimento preferenziale, formano così lungo il pendio dei rivoli a regime intermittente, che tendono sempre più ad approfondirsi e subiscono continue modificazioni nel tempo e nello spazio (figure 1.54 e 1.55).

Lo sviluppo dei rivoli è generalmente controllato dalla presenza di discontinuità morfologiche, litologiche, strutturali e della copertura vegetale. I solchi che si originano sono di solito profondi alcuni centimetri e quindi non costituiscono un ostacolo per le attività agricole potendo essere eliminati con semplici operazioni meccaniche.

Il progressivo approfondirsi dei rivoli, con il graduale aumento della concentrazione dell'acqua entro linee preferenziali, determina un ulteriore incremento del potere erosivo delle acque dilavanti (PANIZZA, 1988) (figura 1.56). I flussi idrici concentrati, dotati di portata e velocità di corrente elevate, producono un'erosione lineare accentuata (*gully erosion*) (figura 1.57), scavano incisioni di tipo stabile (fossi, solchi di erosione e calanchi) che possono raggiungere profondità considerevoli fino ad alcune decine di metri, comunque maggiori di 0,5 m, e attrarre a sé ulteriore acqua che scorre nelle aree circostanti. Questi solchi non possono essere eliminati dalle lavorazioni agricole e quindi diventano permanenti.



Figura 1.54 – Immagine di un versante privo della copertura vegetale arborea e arbustiva, interessato da coltivazioni erbacee, sul quale affiorano litotipi marnoso-argillosi, quindi con elevata predisposizione ai fenomeni erosivi. Il versante è interessato da una miriade di solchi di erosione concentrata, che danno luogo a un'erosione a rivoli (*rill erosion*). Tali rivoli sono orientati secondo la massima pendenza e confluiscono negli impluvi principali. Località Lago di Occhitto, nel comune di Celenza Val Fortore (FG).



EROSIONE PER RUSCELLAMENTO CONCENTRATO A RIVOLTI E A SOLCHI

Tali fenomeni non rientrano più nel dilavamento in senso stretto, poiché producono una forte concentrazione del flusso superficiale che determina il ruscellamento concentrato, collocandosi in una posizione intermedia tra il dilavamento e la dinamica fluviale.

L'erosione a solchi, una volta innescata, può evolvere rapidamente, approfondendosi, allungandosi e ramificandosi, con un progressivo arretramento delle testate delle incisioni. Interi versanti possono essere coinvolti, in tal caso appaiono percorsi da un insieme di vallecole scavate da fossi molto ramificati e separati da creste a forma di lama (PANIZZA, 1988).

Le principali distinzioni dell'incisione a solchi rispetto a quella a rivoli sono basate sul maggiore sviluppo in lunghezza, larghezza e profondità dei primi rispetto ai secondi; inoltre l'evoluzione dinamica dell'erosione a solchi è diversa da quella a rivoli, in quanto la prima parte dal basso e risale il versante, la seconda procede al contrario dall'alto verso il basso. Nel caso dell'erosione laminare e per rivoli viene interessato generalmente il suolo, mentre nei solchi di erosione può essere coinvolto anche il substrato geologico, per spessori che possono raggiungere parecchi metri.

Figura 1.55 – Vista di una scarpata stradale priva di copertura vegetale e interessata da fenomeni di tipo *rill erosion*. Comune di Trivento (CB).





Figura 1.56 – Nella foto si può osservare il progressivo approfondirsi dei solchi di erosione sul versante, si osservano infatti fenomeni di *rill erosion* nella parte alta, *gully erosion* nella parte bassa e alla base del versante stesso l'accumulo del terreno eroso (*colluvium*). Le acque di ruscellamento hanno un notevole effetto erosivo sui terreni coltivati, privi della protezione vegetale nelle stagioni a maggiore piovosità. Comune di Civitacampomariano (CB).



Figura 1.57 – Vista di una profonda incisione riferibile ad un solco di ruscellamento concentrato (*gully*) in depositi argilloso-marnosi. Comune di Civitacampomariano (CB).



EROSIONE PER RUSCELLAMENTO CONCENTRATO A RIVOLTI E A SOLCHI

Il fenomeno di gully erosion si manifesta sovente lungo ruscelli confluenti in corsi d'acqua che hanno variato il loro livello di base. Altre cause predisponenti sono:

- affioramento di litotipi teneri, incoerenti o poco coerenti, alquanto erodibili, e poco permeabili, quali terreni prevalentemente argillosi, marnosi e tufi vulcanici; oppure affioramento di suoli sviluppati sulle citate litologie;
- fattori morfologici (forma, lunghezza e pendenza del versante);
- clima caratterizzato da lunghi periodi siccitosi alternati a piogge brevi e intense;
- assenza di copertura arborea e arbustiva.

Tra le forme di ruscellamento concentrato, una trattazione particolare meritano i calanchi (inglese: *calanco*).

Sono forme di erosione concentrata che si originano su litotipi in prevalenza argillosi, facilmente erodibili. Si tratta di una fitta rete di vallecicole separate da creste aguzze, con versanti ripidi e spogli, in rapida evoluzione. Tali processi iniziano con la formazione di una miriade di solchi che progressivamente si approfondiscono e si allungano a ritroso, ramificandosi e moltiplicandosi, riducendo la superficie tra un calanco e l'altro (figure 1.58 e 1.59). La loro origine è legata alla velocità e alla quantità di scorrimento in superficie dell'acqua, a loro volta connesse con la struttura impermeabile delle argille e l'acclività dei solchi (CASTIGLIONI, 1992; PANIZZA, 1988).

Il fattore genetico principale è la litologia, si originano in argille o in rocce argillose s.l., in particolar modo dove è presente una componente sabbiosa o carbonatica che consente ai versanti di mantenere una certa pendenza. I calanchi sono infatti caratteristici di pendii ripidi; per tale motivo sono particolarmente frequenti sui versanti a reggipoggio. L'acclività del versante può essere determinata da dislocazioni tettoniche, da accentuata erosione lineare dei corsi d'acqua o anche da fenomeni franosi che creano localmente un aumento della pendenza del versante.

Figura 1.58 – Nell'immagine sono visibili le principali caratteristiche morfologiche dei calanchi: il fitto reticolo di vallecicole separate da creste aguzze, l'elevata pendenza dei versanti e l'assenza di copertura vegetale. Località Riserva Naturale Calanchi di Atri (PE).





Figura 1.59 – Questa panoramica mette in evidenza l'estrema articolazione dei calanchi in una miriade di solchi che progressivamente evolvono regredendo e approfondendosi, ramificandosi e moltiplicandosi. I versanti assumono in tal modo una notevole pendenza, che favorisce ulteriormente i fenomeni erosivi. Località Riserva Naturale Calanchi di Atri (PE).

Interi versanti possono essere coinvolti da questo processo e venire ridotti a plaghe desertiche inutilizzabili (PANIZZA, 1988).

La formazione e conservazione dei calanchi risulta favorita dalla presenza, al top delle argille, di una roccia di copertura resistente (DRAMIS *et alii*, 2005).

L'erosione calanchiva in Italia è molto diffusa per la grande estensione di depositi argillosi teneri.



1.1.3 Dissesti dovuti alla valanghe

Riferimenti bibliografici: BENINI, 1990; CASTIGLIONI, 1992; GISOTTI & BENEDINI, 2000; FRASER 1970; PANIZZA, 1988.

Sinonimi: slavina, lavina.

Inglese: *avalanches*.

Figura 1.60 - Valanga nel versante nord del Piz Palù (tratta dal sito web del Servizio Valanghe del Club Alpino Italiano).





Dissesti dovuti alle valanghe

PRINCIPALI CARATTERI DI RICONOSCIMENTO

Le valanghe possono essere considerate come particolari tipi di frane, ossia come frane di neve, poiché esse si verificano sotto l'azione prevalente della gravità, quando le forze agenti superano la resistenza del manto nevoso, provocando lo spostamento di una certa massa. Si possono generare sia in occasione di abbondanti nevicate, sia in particolari situazioni allorquando si creano condizioni di squilibrio nel manto nevoso appoggiato su un pendio. Secondo l'A.I.NE.VA. (Associazione Interregionale Neve e Valanghe) "la valanga è una massa di neve in movimento lungo un pendio, piccola o grande che sia" (figure 1.60 e 1.61).

La caduta di valanghe di neve costituisce uno dei fenomeni più distruttivi che si verificano nelle zone di montagna, rappresenta, infatti, uno dei più importanti fenomeni di dissesto geologico-idraulico in queste aree. Il movimento di una valanga lungo un pendio produce l'asportazione di tutto ciò che incontra sul suo cammino (detriti, vegetazione ecc.), scava un solco nel versante (corridoio di valanga), infine disperde il carico alla base del versante formando conoidi o dossi allungati e irregolari. Nelle stagioni senza neve, l'acqua dilavante o la caduta di detrito per gravità accentuano e/o rielaborano tali forme.

Gli effetti morfologici delle valanghe sono evidenti soprattutto in quei luoghi dove esse si ripetono frequentemente. In tali aree si originano accumuli detritici di grandi dimensioni e viene impedita la crescita di una vegetazione boschiva stabilizzatrice.

I canali di valanga (figura 1.62) si formano o si accentuano lungo il percorso abituale delle valanghe, secondo la direzione di massima pendenza dei versanti, per effetto della forza di trascinamento della massa di neve sui materiali che essa incontra lungo il percorso, in particolare sui detriti preparati dall'azione meteorica.

Le valanghe possono inglobare, lungo il loro percorso, tutto il materiale con cui vengono a contatto, da questo deriva l'estrema eterogeneità degli accumuli detritici che esse producono alla base dei versanti. Gli accumuli detritici generati dalle valanghe, infatti, sono costituiti tipicamente da depositi caotici privi di qualsiasi organizzazione sedimentaria, in particolare privi di classazione e gradazione, nei quali si possono trovare mescolati insieme blocchi di enormi dimensioni con elementi fini argillosi o limosi.

Nel caso in cui una valanga attraversi un bosco può inglobare materiale vegetale, anche in grandi quantità e di notevoli dimensioni, come interi tronchi d'albero.



DISSESTI DOVUTI ALLE VALANGHE

Le valanghe costituiscono una delle cause più importanti del disordine idrogeologico delle aree di montagna. A tal proposito il Benini (1990) dice che le valanghe “... con la loro caduta possono distruggere boschi e piante, dare inizio a degradazioni superficiali, trasportare a valle depositi solidi anche in quantità considerevole, così da formare delle conoidi. Perciò la difesa dalle valanghe rientra nei provvedimenti da adottare per eliminare il disordine dei terreni montani. Esse spianano la via alla marcia a valle dei detriti di monte”.

La caduta di valanghe di neve rappresenta un problema che diventa ogni anno sempre più rilevante per la continua espansione delle aree urbanizzate, soprattutto a causa dell'accresciuto sviluppo turistico delle zone di montagna.

Le conseguenze della caduta di valanghe si misurano in termini di vite umane perdute, di danni alle vie di comunicazione, agli impianti sportivi, agli edifici per il ricovero di bestiame, alle case isolate o a interi centri abitati. Secondo l'A.I.NE.VA. in questi ultimi 25 anni sulle Alpi sono morte per valanga mediamente un centinaio di persone a stagione invernale. Gli sciatori alpinisti e gli sciatori fuori pista sono gli sportivi più coinvolti con il 60-70 % dei decessi. Le statistiche mostrano però una diminuzione delle vittime nei territori soggetti a controllo (centri abitati, vie di comunicazione), in conseguenza dei notevoli investimenti effettuati in opere di protezione e prevenzione.

Figura 1.61 – Valanga (tratta dal sito web del Servizio Valanghe del Club Alpino Italiano).





Uno strato di neve, inizialmente stabile su un pendio, può diventare instabile e trasformarsi in una valanga essenzialmente a causa dell'aumento delle sollecitazioni di taglio o per la diminuzione della resistenza al taglio o per il contemporaneo verificarsi di entrambi i fenomeni.

L'aumento della sollecitazione di taglio può avvenire per aumento del peso sulla neve, a causa di: caduta di nuova neve, caduta di un cornicione di neve, passaggio di uno sciatore, caduta di un blocco di neve o di un masso di roccia da un pendio sovrastante, ecc. La diminuzione della resistenza al taglio è causata dalla riduzione dei valori dei carichi unitari di rottura (a trazione o a taglio) per effetto di fenomeni di metamorfismo. In entrambi i casi quando le sollecitazioni di taglio o di trazione diventano superiori ai corrispondenti valori dei carichi di rottura, allora inizia il movimento.

Per processi di metamorfismo si intendono i cambiamenti delle caratteristiche che avvengono nella neve dopo la caduta sul terreno, soprattutto per fusione e ricristallizzazione dei cristalli di neve. Tali processi sono determinati e controllati dalle variazioni della temperatura, da sollecitazioni di compressione sulla neve, dalla presenza di acqua allo stato liquido. Secondo il tipo di cambiamenti che interessano la coltre di neve, le relative caratteristiche meccaniche possono migliorare o peggiorare; nel secondo caso favoriscono il distacco di valanghe.

Nella dinamica di distacco delle valanghe svolgono un ruolo fondamentale gli "strati di neve compatti" che costituiscono vere e proprie lastre di neve e gli "strati a debole resistenza", che favoriscono il distacco e il movimento delle masse nevose. I fattori climatici, meccanici e metamorfici agiscono sulla massa di neve contribuendo alla formazione di strati a diversa resistenza. Quelli che concorrono alla formazione degli strati di neve compatta sono: il peso della neve, l'azione del vento, l'alternanza di fusione e rigelo. I fattori che concorrono alla



Figura 1.62 – Canali di valanga sulle Dolomiti.



DISSESTI DOVUTI ALLE VALANGHE

formazione di strati a debole coesione sono: strato di neve rimasto troppo a lungo in superficie, brina di superficie, riscaldamento primaverile e pioggia.

La coltre di neve accumulata su un pendio è quindi costituita da una successione di strati a diversa densità e coesione e in equilibrio su un piano inclinato. Quello che impedisce il distacco della neve è la resistenza al taglio riferita allo strato più debole, che dipende dalla somma della forza di coesione dei cristalli di neve e dell'attrito esistente fra lo strato di neve stabile e quello debole. La forza che invece tende a far muovere la massa nevosa è la forza o sollecitazione di taglio, ossia la componente parallela al pendio del peso della neve che si trova al di sopra dello strato a debole resistenza.

Esistono molteplici condizioni ambientali che controllano e predispongono l'insorgere di valanghe.

- *Pendenza dei versanti.* Le valanghe interessano versanti con pendenze comprese entro determinati valori. Su pendii con pendenze inferiori a $25 - 30^\circ$, le valanghe, pur potendosi verificare in certi casi, sono rare e poco pericolose. Sono abbastanza rare anche quelle che avvengono su versanti con acclività sopra i 45° , e praticamente non si verificano sopra i 55° , perché al di sopra di queste pendenze la neve non fa in tempo ad accumularsi, ma tende, subito dopo

Figura 1.63 - Le tre zone riconoscibili in una valanga: zona di distacco, zona di scorrimento e zona di accumulo. (Tratta dal sito web dell'A.I.N.E.V.A.: www.ai-neva.it).





la deposizione, a scivolare in continuità e piccole quantità. Le pendenze per le quali più frequentemente si verificano le valanghe sono quelle comprese tra 30° e 45°.

- *Quota.* La genesi delle valanghe dipende direttamente dalla quota, nelle Alpi la maggior parte delle valanghe si verifica a una quota compresa tra 2000 e 3000 m. La quota di 1800-2000 m rappresenta, nelle Alpi, il limite superiore dei boschi fitti e ben sviluppati, la cui presenza impedisce generalmente la formazione delle valanghe. Oltre i 3000 m le valanghe sono relativamente rare, perché i pendii sono troppo ripidi e i venti molto forti; questo impedisce generalmente l'accumulo della neve.
- *Caratteristiche e configurazione dei versanti.* Altri fattori che controllano la formazione delle valanghe sono le caratteristiche e la configurazione dei versanti. I versanti rocciosi nudi e lisci e quelli privi di copertura boschiva favoriscono la formazione di valanghe. Le condizioni di rottura dipendono anche dall'andamento del profilo del terreno, nelle zone concave gli strati di neve si trovano in condizioni di compressione, nelle zone convesse in condizioni di trazione che favoriscono la rottura della neve e quindi l'innescare delle valanghe.
- *Esposizione dei versanti.* Sulla caduta delle valanghe influisce anche l'orientamento dei versanti, che determina la diversa insolazione. Sulle Alpi generalmente in inverno sono più pericolosi i pendii orientati a nord-est sui quali si accumula molta neve, in primavera quelli rivolti a sud e sud-est dove sono più intensi i fenomeni di fusione e di metamorfismo della neve.

In ogni valanga è in genere possibile riconoscere una “zona di distacco”, una “zona di scorrimento” e una “zona di accumulo” (figura 1.63).

La “zona di distacco” è il luogo dove si origina il fenomeno ed è sovente ubicata in prossimità delle creste, al di sopra del limite della vegetazione forestale o dove la neve, a seguito di nuove precipitazioni, si accumula. Qui la neve instabile si frattura e comincia a muoversi. Abbiamo visto che oltre all'inclinazione, ci sono altri fattori che influenzano il distacco: la morfologia del terreno, la quota, l'esposizione, la copertura vegetale e il sovraccarico esterno.

La “zona di scorrimento” è l'area compresa tra la zona di distacco e quella di arresto; è qui che la valanga raggiunge la sua massima velocità. Tale zona, spesso, è caratterizzata, oltre che da elevate pendenze, dalla quasi totale assenza di vegetazione arborea o dalla presenza di specie arboree differenti o di età diversa rispetto alle zone limitrofe.

La “zona di accumulo” è il luogo dove la massa nevosa rallenta progressivamente fino a fermarsi. Può essere un ampio ripiano, un fondovalle o il versante opposto di una vallata. Qui le valanghe possono essere deviate anche da piccoli ostacoli, come gli alberi di un bosco.

Sulla base delle molteplici variabili che entrano in gioco nella predisposizione e



DISSESTI DOVUTI ALLE VALANGHE

nell'innesco delle valanghe (tipo di distacco, tipo di neve, posizione del piano di scorrimento, ecc.), qualsiasi classificazione risulta insufficiente per cogliere tutti gli aspetti. L'unico modo per caratterizzare inequivocabilmente un evento valanghivo è definire una serie di criteri o fattori diagnostici. La classificazione delle valanghe alla quale si fa più frequentemente riferimento in letteratura è quella proposta da FRASER (1970) che prende a riferimento diversi criteri: le caratteristiche della neve (coerenza, spessore e umidità), la forma del percorso e il tipo di movimento (figura 1.64).

- *Tipo di distacco*. In base al grado di coerenza della neve si possono verificare due modalità di innesco di un fenomeno valanghivo:
 - Valanghe di neve incoerente. Avvengono generalmente per scivolamento di una piccola quantità di neve che durante la discesa ne mette in movimento una quantità sempre maggiore. Questa tipologia interessa gli strati superficiali del manto nevoso. Si tratta, quindi, di valanghe di superficie e non di fondo, che presentano un tracciato a forma di lingua e possono essere di neve asciutta o di neve bagnata;
 - Valanghe a lastre o a lastroni. Si distaccano in un sol colpo da un'area estesa, producendo un'ampia superficie di distacco, profondamente intagliata e pressoché subverticale. Nel movimento le lastre si frantumano in lastre minori e in detriti pulverulenti. Qualsiasi strato di neve, con un certo grado di coesione, che giaccia su una base alla quale non è saldamente ancorato o su uno strato a debole coesione, può formare una valanga di questo tipo. Queste valanghe possono essere asciutte o bagnate. Sono innescate spesso dal peso di sciatori che attraversano i pendii a mezza costa.
- *Forma del percorso*. Si distinguono:
 - Valanghe incanalate. Scorrono all'interno di un vallone o di un canalone o di una gola;
 - Valanghe di versante o non delimitate. Si verificano su pendii aperti.
- *Umidità della neve*. In base al diverso contenuto d'acqua si distinguono due tipi:
 - Valanghe di neve asciutta. Si verificano prevalentemente nel periodo invernale;
 - Valanghe di neve bagnata. Si verificano prevalentemente nel periodo primaverile. Hanno velocità relativamente basse (30-120 km/h), ma sono molto distruttive, sia perché possono raggiungere proporzioni enormi, sia per il forte peso specifico della neve bagnata. Possono essere polverose o nubiformi.
- *Posizione della superficie di slittamento*. Si possono suddividere:
 - Valanghe di superficie. La rottura avviene all'interno del manto nevoso;



CRITERI	CARATTERISTICHE ALTERNATIVE E NOMENCLATURE	
<i>Tipo di distacco</i>	 <p>Valanga a debole coesione</p>	 <p>Valanga di lastroni</p>
<i>Forma del percorso</i>	 <p>Valanga incanalata</p>	 <p>Valanga di versante</p>
<i>Umidità della neve</i>	Valanga di neve asciutta	Valanga di neve bagnata
<i>Posizione della superficie di slittamento</i>	 <p>Valanga di superficie</p>	 <p>Valanga di fondo</p>
<i>Tipo di movimento</i>	 <p>Valanga radente</p>	 <p>Valanga nubiforme</p>

Figura 1.64 - Classificazione delle valanghe (tratta da FRASER (1970) e dal sito web dell'A.I.N.E.A.: www.aineva.it; parzialmente modificata).



DISSESTI DOVUTI ALLE VALANGHE

- Valanghe di fondo. Si muove l'intero spessore della coltre di neve.
- *Tipo di movimento.* Si distinguono:
 - Valanghe radenti. La neve rimane radente al terreno, la velocità di spostamento è limitata e compresa tra 120-180 km/h. Una valanga di neve asciutta quando supera una certa velocità critica (dell'ordine di 180 km/h) si trasforma in valanga nubiforme;
 - Valanghe nubiformi. Sono quelle nelle quali la neve si distacca dal terreno e assume un aspetto nubiforme. Iniziano come valanghe di neve incoerente e asciutta, la cui velocità può raggiungere valori notevolissimi, dell'ordine di 300-400 km/h. Queste valanghe, per l'elevata velocità di spostamento, hanno un potere distruttivo enorme, inoltre sono accompagnate da un forte spostamento d'aria, chiamato "vento di valanga" o "soffio di valanga", che può produrre danni a boschi e manufatti situati anche a una sensibile distanza dal percorso della valanga stessa.

Le valanghe cadono prevalentemente durante la stagione invernale, ma si possono verificare anche nelle altre stagioni alle quote più elevate, laddove sono presenti ripidi pendii innevati. Oltre alla stagionalità delle valanghe, può essere fatta una distinzione, seppur grossolana, fra quelle "immediate", diretta conseguenza della precipitazione, alimentate dalla neve fresca che non si compatta sui pendii o sulla vecchia neve, e quelle "ritardate" che si verificano più in là nel tempo rispetto alle prime (giorni, settimane), a seguito dei metamorfismi e delle altre trasformazioni che normalmente avvengono nel manto nevoso. In particolare il vento, la temperatura o, addirittura, l'azione esterna dell'uomo possono influire significativamente su questi due tipi di valanghe.

La "previsione della caduta" di valanghe rappresenta una forma indiretta di difesa, non per le strutture e infrastrutture ma per le persone, che possono evitare i luoghi considerati pericolosi. La previsione indica se si stanno verificando le condizioni più o meno favorevoli al distacco delle valanghe. Essa viene effettuata associando dati di carattere meteorologico ad osservazioni effettuate in un certo numero di stazioni nivometriche, opportunamente dislocate e rappresentative del territorio. Queste osservazioni consistono in:

- misura dell'altezza totale del manto nevoso e dell'altezza della neve fresca;
- valutazione della resistenza, quindi della compattezza, dei vari strati di neve attraverso sondaggi penetrometrici;
- rilievo della temperatura, attraverso la misurazione della temperatura dell'aria e, su un profilo verticale appositamente predisposto, di quella della neve ad intervalli di 10 cm di altezza, che consente di avere il gradiente termico;
- esame dei cristalli di neve, per ogni strato si esaminano i vari tipi di cristalli e le loro dimensioni;
- misura del peso specifico dei vari strati con una bilancia da neve.



Tutti questi dati vengono raccolti in moduli opportunamente predisposti e trasmessi ad un centro che, sulla base di queste informazioni e delle condizioni generali meteorologiche, emette il “bollettino nivometeorologico”, conosciuto anche con il nome di “bollettino valanghe” (figura 1.65). Questo è uno strumento che fornisce, al momento dell’emissione, un quadro sintetico dell’innnevamento, dello stato del manto nevoso e indica il pericolo di valanghe in un determinato territorio. Dunque il bollettino può dare un valido aiuto nel prendere decisioni riguardanti la propria o altrui incolumità; in particolare si riferisce a sciatori, alpinisti, ma anche ad operatori della sicurezza, amministratori, organizzazioni di soccorso e protezione civile, forze dell’ordine, gestori della viabilità, residenti in località di montagna. Deve essere quindi necessariamente comprensibile ad un’utenza la più possibile ampia e diversificata.

Sull’arco alpino italiano i bollettini sono redatti e diffusi dalle diverse Regioni e Province Autonome, mentre sul rimanente territorio nazionale le informazioni possono essere reperite presso le strutture Meteomont del Corpo Forestale dello Stato. I bollettini locali possono essere diversi per veste grafica e sottolineatura ma presentano contenuti comuni, ossia:

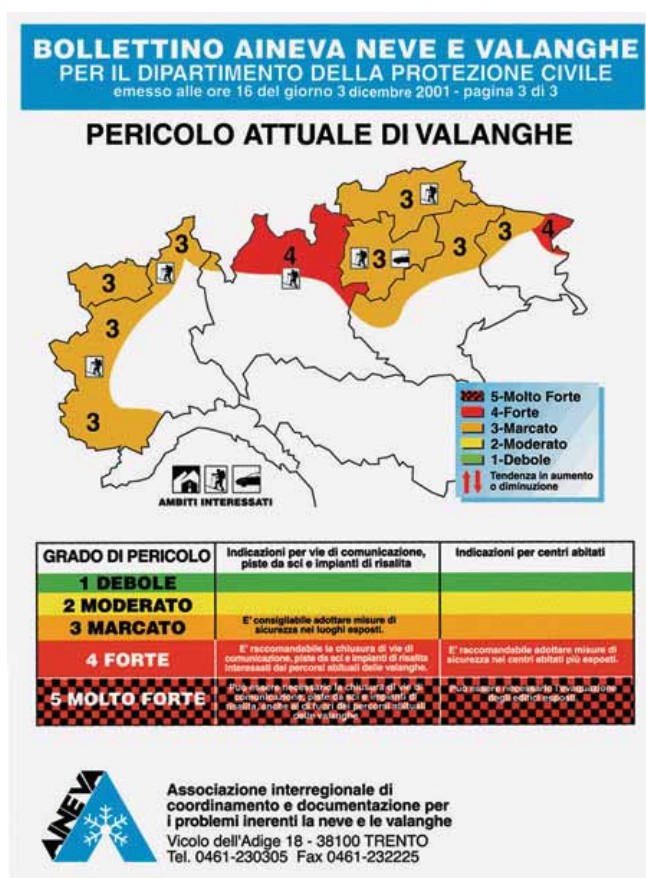


Figura 1.65 – Esempio di bollettino valanghe (tratta dal sito web della A.I.N.E.V.A.: www.aineva.it).



DISSESTI DOVUTI ALLE VALANGHE

- copertura nevosa, descrizione di: altezza della neve a determinate quote, distribuzione della neve sui vari versanti, quantità di neve fresca, ecc.;
- parte nivologica, indicazioni sulle caratteristiche strutturali del manto nevoso (consistenza, tendenza evolutiva) e segnalazioni sulla presenza di elementi che possono favorire eventi valanghivi;
- indicazione sul pericolo attuale, cioè sul pericolo esistente al momento dell'emissione del bollettino;
- parte meteorologica, vengono emesse dettagliate previsioni del tempo relativamente alla nuvolosità e alle precipitazioni, per un periodo di validità che va dalle 24-48 h fino alle 72 h, nel caso del bollettino del venerdì; vengono forniti, inoltre, i principali dati meteorologici (temperatura, vento, pressione atmosferica, ecc.) e il loro andamento nel tempo;
- pericolo di valanghe previsto nei giorni successivi all'emissione, con specifiche relative al tipo di valanghe previste e alla loro eventuale localizzazione.

In funzione del consolidamento del manto nevoso, della probabilità di distacco, del numero e dimensioni delle valanghe, il pericolo presente al momento dell'emissione del bollettino viene descritto con un testo sintetico ed un indice numerico da 1 a 5 secondo la "Scala Europea del pericolo valanghe" (figura 1.66). Essa si compone di tre sezioni: scala del pericolo (numero e aggettivo corrispondente), stabilità del manto nevoso e probabilità di distacco di valanghe. I principi sui quali si basa sono i seguenti:

- un unico aggettivo riassume tutte le particolarità del grado (debole, moderato, marcato, ecc.);
- la scala è crescente, infatti i vari gradi e i corrispondenti aggettivi rappresentano, da 1 a 5, situazioni crescenti di pericolo;
- la scala non è lineare, infatti il grado 3, che è il grado mediano della scala, non rappresenta il pericolo medio, bensì una situazione già critica (soprattutto per gli sci alpinisti o per chi pratica lo scialpinismo);
- la gradazione della scala è basata sull'aumento dell'estensione delle aree di debolezza del manto nevoso all'aumentare del pericolo;
- la probabilità di distacco di valanghe può essere aumentata in modo considerevole da un sovraccarico esterno; minore è il grado di consolidamento del manto nevoso, tanto più piccolo è il sovraccarico sufficiente per produrre un distacco.

Lo strumento che permette di evidenziare le aree potenzialmente interessate da fenomeni valanghivi è la "Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe" (C.L.P.V.); si tratta di una carta tematica, in scala 1:25.000, realizzata dalle regioni. In tali carte vengono cartografate sia le zone che sono state interessate in passato da fenomeni valanghivi sia quelle presunte pericolose.



La metodologia utilizzata, elaborata in Francia negli anni '70, è stata adottata in Italia dall'A.I.N.E.V.A. Essa si basa su tre fasi sequenziali: la fotointerpretazione, l'inchiesta sul terreno e la restituzione cartografica.

La prima fase è finalizzata all'individuazione, attraverso l'analisi di fotografie aeree estive, di tracce fisiche e/o geomorfologiche delle valanghe cadute, quali la presenza alla base dei versanti di depositi detritici molto eterogenei e privi di classazione, di canali ad andamento rettilineo, l'assenza di vegetazione arborea, ecc. In una seconda fase si procede all'inchiesta sul terreno, basata sia sul reperimento di testimonianze dirette presso le popolazioni locali sia nelle ricerche di archivio, al fine di reperire il maggior numero di informazioni sulle valanghe verificatesi nei siti in esame e giungere ad una ricostruzione storica degli eventi occorsi. Tutte le informazioni raccolte vengono, infine, restituite su una base topografica, avvalendosi di una simbologia standard.

Nella legenda proposta in questo Manuale è stata presa a riferimento tale simbologia per la rappresentazione cartografica sia delle aree che sono state già percorse dalle valanghe, sia di quelle presunte pericolose.

	Scala del pericolo	Stabilità del manto nevoso	Probabilità di distacco di valanghe
1	DEBOLE	Il manto nevoso è in generale ben consolidato e stabile.	Il distacco è generalmente possibile solo con forte sovraccarico su pochissimi pendii ripidi estremi. Sono possibili solo piccole valanghe spontanee (cosiddetti scaricamenti).
2	MODERATO	Il manto nevoso è moderatamente consolidato su alcuni pendii ripidi, per il resto è ben consolidato.	Il distacco è possibile soprattutto con un forte sovraccarico su pendii ripidi indicati. Non sono da aspettarsi grandi valanghe spontanee.
3	MARCATO	Il manto nevoso presenta un consolidamento da moderato a debole su molti pendii ripidi.	Il distacco è possibile con debole sovraccarico soprattutto sui pendii ripidi indicati. In alcune situazioni sono possibili valanghe spontanee di media grandezza e, in singoli casi, anche grandi valanghe.
4	FORTE	Il manto nevoso è debolmente consolidato sulla maggior parte dei pendii ripidi.	Il distacco è probabile già con un debole sovraccarico su molti pendii ripidi. In alcune situazioni sono da aspettarsi molte valanghe spontanee di media grandezza e, talvolta, anche grandi valanghe.
5	MOLTO FORTE	Il manto nevoso è in generale debolmente consolidato e per lo più instabile.	Sono da aspettarsi numerose grandi valanghe spontanee, anche su terreno moderatamente ripido.

Figura 1.66 - Scala Europea del pericolo valanghe (tratta dal sito web della A.I.N.E.V.A.: www.aineva.it).

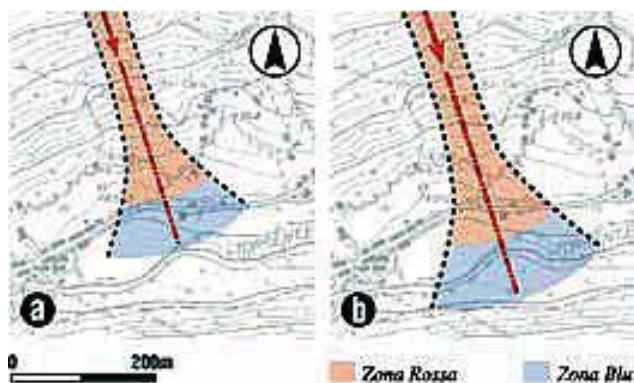


DISSESTI DOVUTI ALLE VALANGHE

La C.L.P.V. fornisce le informazioni di base per la pianificazione territoriale delle aree montane, permette l'ubicazione in aree sicure di nuovi insediamenti quali abitazioni, impianti sciistici, vie di comunicazione, ecc. Tale strumento, inoltre, consente di valutare e progettare le opere di difesa necessarie per un'adeguata protezione di strutture e infrastrutture.

Per l'urbanizzazione in montagna vengono elaborati dalle regioni i "Piani delle Zone Esposte al Pericolo di Valanghe" (P.Z.E.V.) (figura 1.67), che utilizzano carte a scala di dettaglio (variabile tra 1:5.000 e 1:2.000), nelle quali vengono individuati i siti valanghivi e le prevedibili aree di espansione nella zona di accumulo, ottenute mediante studi dinamici. Nei P.Z.E.V. la valutazione del rischio viene fissata tramite parametri matematici, che quantificano velocità e altezza di scorrimento delle valanghe, pressioni trasmesse e distanza d'arresto. Nella zona di arresto vengono individuate tre o quattro aree caratterizzate rispettivamente da rischio forte (colore rosso), debole (colore blu), e presumibilmente nullo (colore bianco); secondo alcune legislazioni regionali è prevista l'individuazione anche delle zone che potrebbero essere raggiunte dal soffio delle valanghe, o di zone per le quali esistono solo informazioni relative a valanghe eccezionali (colore giallo). In ciascuna delle zone individuate, sono previste prescrizioni urbanistiche ben definite.

Figura 1.67 – Esempio di P.Z.E.V. (tratta dal sito web della A.I.NE.VA.: www.aineva.it).





1.2 Alcuni fenomeni di dissesto idraulico

1.2.1 *Flussi detritici torrentizi*



Figura 1.68 – Nel corso dell'alluvione occorsa in Valle d'Aosta nell'ottobre 2000, in molti torrenti si sono verificate delle violente pulsazioni di piena, che hanno, tra l'altro, mobilitato grandi quantità di materiale solido e modificato profondamente la morfologia degli alvei. In questa immagine vediamo l'ingente deposito alluvionale accumulato nell'alveo di un torrente tributario del T. S. Barthelemy (comune di Nus), nel quale è interessante osservare la presenza di cospicue quantità di materiale vegetale.

Nei corsi d'acqua torrentizi, caratterizzati da elevata pendenza e costituenti generalmente il reticolo idrografico delle aree montuose, possono verificarsi improvvise e violente pulsazioni di piena, in concomitanza di intensi eventi meteorici o del repentino scioglimento delle nevi. Tali piene sono in grado di produrre rilevanti trasformazioni delle aste torrentizie e delle aree di conoide poste allo sbocco delle valli principali, con possibili effetti gravissimi sulle strutture e infrastrutture intercettate lungo il loro percorso.

Tali fenomeni evolvono rapidamente, per la notevole velocità di propagazione e per il limitato tempo di corrivazione, dovuto generalmente alle piccole dimensioni dei bacini idrografici sottesi dai torrenti.

Le piene nei torrenti hanno un'elevata capacità erosiva sul fondo e sulle sponde degli alvei, che può determinare la regressione e l'abbassamento del profilo longitudinale degli impluvi, la completa asportazione dei materiali sciolti presenti e l'affioramento del substrato roccioso. Per tali ragioni il materiale solido preso in carico può raggiungere ingenti quantità, poiché può amplificarsi notevolmente durante lo spostamento della piena verso



FLUSSI DETRITICI TORRENTIZI

valle, generando notevoli variazioni della portata solida lungo l'asta torrentizia (figura 1.68). Il materiale detritico trasportato può essere alimentato, anche, dai depositi franati dai versanti sovrastanti e dal materiale vegetale accatastato in alveo.

Questi fenomeni sono molto pericolosi poiché si muovono rapidamente, possono percorrere lunghe distanze, acquistare elevata energia cinetica e depositare con estrema violenza le grandi quantità del carico solido trasportato sia in zona di conoide, dove spesso sono presenti centri abitati e infrastrutture, sia lungo l'alveo, ad esempio in corrispondenza di restringimenti o di variazioni locali della pendenza, dove si possono formare delle dighe naturali in grado di innescare fenomeni di rigurgito o improvvise tracimazioni e rotture. Le tracimazioni fuori dell'alveo torrentizio possono, inoltre, provocare intense erosioni laterali, con il conseguente scalzamento della base dei versanti e l'innescare di fenomeni franosi.

Questi fenomeni, talvolta, vengono accomunati alle colate rapide di detrito e fango, che presentano caratteri affini. Tuttavia essi seguono principi idrodinamici e non reologici, come nel caso delle colate rapide di detrito o fango, pertanto sono stati riferiti al dissesto idraulico.



2. DEGRADAZIONI INDOTTE DA ATTIVITÀ ANTROPICA

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, il dissesto geologico-idraulico è causato da processi fisici che dipendono dalle caratteristiche naturali (essenzialmente geologiche, morfologiche, pedologiche, climatiche e vegetazionali) dell'ambiente in cui si verificano. Molteplici attività umane possono interagire con questi processi naturali e condizionarne l'evoluzione, producendo un'intensificazione più o meno marcata degli stessi, in relazione al tipo di intervento realizzato.

Negli ultimi decenni le profonde modificazioni socio-economiche registrate nel nostro Paese, hanno determinato un forte incremento della pressione antropica sull'ambiente; si è assistito a un'espansione urbanistica in aree prima libere, una crescente richiesta di reti di servizio e di trasporto, un rapido cambiamento delle strutture fondiarie e delle tecniche agronomiche. In molti casi queste attività antropiche sono state condotte in modo incontrollato e sconsiderato, causando un diffuso degrado ambientale e paesaggistico e predisponendo vaste aree ai fenomeni di erosione e dissesto geologico-idraulico.

Le attività antropiche trattate in questa sede, riportate in tabella 2.1, sono quelle che, a parere degli scriventi, esercitano un notevole impatto sul territorio e, quindi, possono predisporre ai fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti.

Tabella 2.1 – Schema di alcune attività antropiche che possono indurre la degradazione sui versanti e predisporre ai fenomeni di dissesto geologico-idraulico.

ALCUNI FENOMENI CHE INDUCONO LA DEGRADAZIONE SUI VERSANTI

- DEGRADAZIONI INDOTTE DA ATTIVITÀ ANTROPICA
 - *Degradazioni per uso agricolo improprio*
 - *Degradazioni per errata gestione del bosco*
 - *Degradazioni per pascolamento*
 - *Degradazioni per attività estrattiva*



2.1 Degradazioni per uso agricolo improprio

Riferimenti bibliografici: CHISCI, 1984; GISOTTI & BENEDINI, 2000; LANDI, 2004; NASI *et alii*, 1987; ORLANDINI *et alii*, 2005; PANIZZA, 1990.

Nel territorio italiano la presenza dell'uomo ha da sempre determinato un'ampia e intensa utilizzazione del suolo, che si è esplicata fino a metà del secolo scorso con il dissodamento e la messa a coltura di aree sempre più vaste, fino alla colonizzazione delle "terre marginali", cioè di quelle meno vantaggiose dal punto di vista fisico. In tal modo, il precario equilibrio naturale che si era instaurato, in precedenza, in vaste zone tra il clima, la vegetazione, il suolo e il sottosuolo è stato sostituito da uno nuovo, molto artificioso, ottenuto a costo di incredibili sacrifici e mantenuto attraverso la oculata e costante opera degli agricoltori e delle popolazioni montane. Questa opera era basata essenzialmente sulla realizzazione e sul mantenimento di adeguate opere di sistemazione idraulico-agraria (figure 2.1, 2.2 e 2.3) (terrazzamenti, gradonamenti, muretti a secco, reti idriche, drenaggi, ecc.) e di ordinamenti produttivi misti (colture con basso grado di specializzazione, non monoculture) che divennero, nel tempo, elementi fortemente caratterizzanti il paesaggio.

In generale, l'obiettivo primario delle tecniche di sistemazione idraulico-agraria è quello di contenere l'erosione del suolo entro limiti ammissibili, comunque non superiori alla sua quota di rinnovamento dovuta ai processi pedogenetici. In particolare esse devono consentire la maggiore capacità di infiltrazione delle acque

Figura 2.1 – Sistemazione di collina a girapoggio. (Tratta da NASI *et alii*, 1987; parzialmente modificata).





piovane, ridurre la velocità di ruscellamento, intercettare e canalizzare, in idonei recapiti, le acque di deflusso superficiale ed evitare i ristagni.

Dal secondo dopoguerra si è verificato il progressivo abbandono di vaste zone agricole, soprattutto di quelle in cui la prosecuzione dell'attività agricola risultava svantaggiosa, perché inaccessibili con i mezzi meccanici o perché poco produttive da un punto di vista agricolo. Sono state abbandonate principalmente le aree collinari e montuose, tendenti alla marginalità e a bassa redditività, generalmente ubicate su versanti di elevata pendenza, quindi particolarmente predisposte all'azione demolitrice degli agenti esogeni. In tal modo è venuta a mancare la funzione di presidio dell'uomo sul territorio, necessaria ad assicurare la salvaguardia di queste aree ancora fragili e il controllo sulle dinamiche naturali. Si è verificato, infatti, il progressivo abbandono delle opere di presidio dai fenomeni di erosione e di instabilità, derivanti da secoli di esperienza e faticosamente mantenute in efficienza.

D'altro canto una parte della vegetazione spontanea si è riappropriata di questi ambiti, con la possibilità nel tempo di ricostituirne una potenziale. Con **vegetazione potenziale** si intende il tipo di vegetazione più complesso e naturale che un dato territorio può ospitare, dovuta essenzialmente all'interazione tra il clima, l'orografia, le caratteristiche del suolo e sottosuolo.

Dalla seconda metà del secolo scorso, il paesaggio agricolo e l'uso del suolo han-

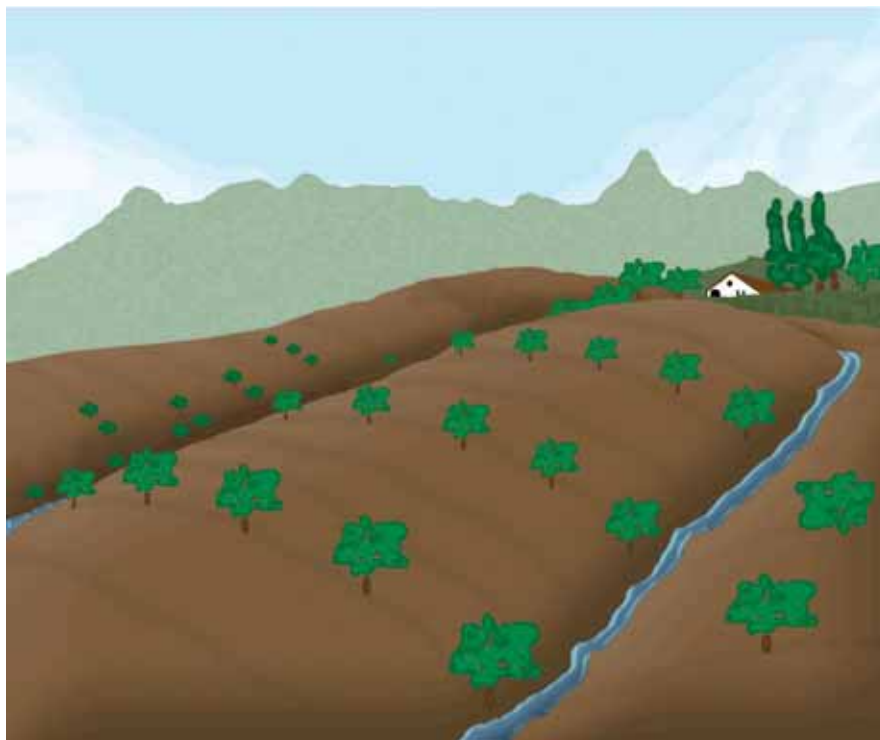


Figura 2.2 - Sistemazione di collina a cavalcapoggio. (Tratta da NASI *et alii*, 1987; parzialmente modificata).

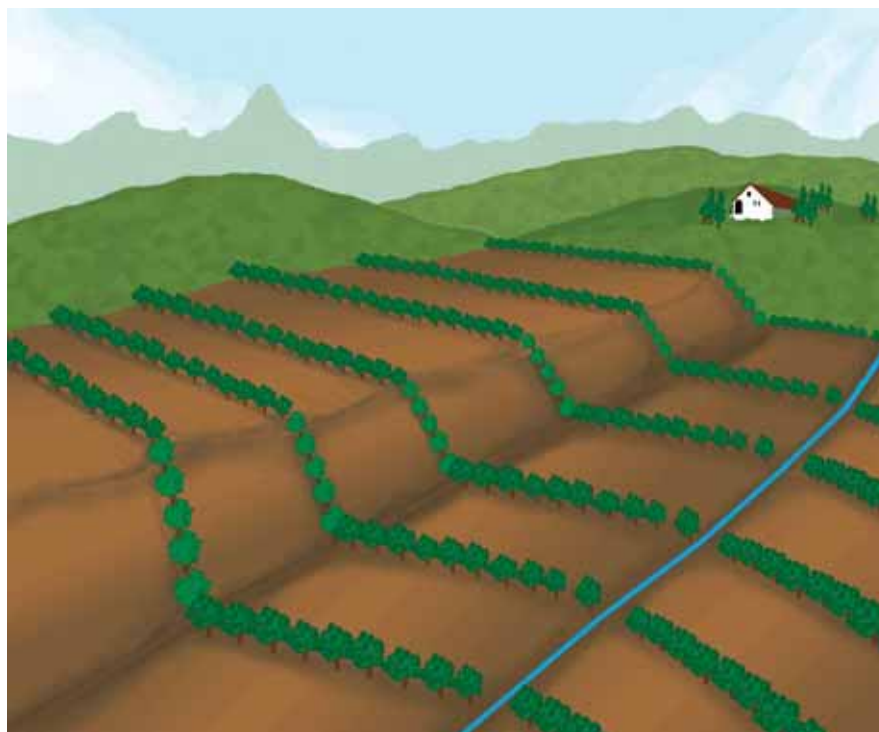


no subito, pertanto, profonde trasformazioni, infatti la maggiore disponibilità di capitali per gli investimenti ha rappresentato il motore dello sviluppo di un approccio all'agricoltura del tutto differente da quello che aveva caratterizzato il mondo agricolo italiano fino a quegli anni. Si è verificato un adeguamento delle strutture fondiari e delle tecniche agronomiche alle nuove esigenze produttive, che, in molti casi, si è tradotto in un'evidente intensificazione dei fenomeni erosivi e di dissesto geologico-idraulico.

Sul territorio, compreso quello collinare e montano, la specializzazione delle colture e la meccanizzazione delle lavorazioni hanno determinato il progressivo cambiamento di quella serie di sistemazioni idraulico-agrarie che avevano fin lì raggiunto un alto grado di perfezione nel mantenimento di un equilibrio tra le necessarie pratiche agricole e l'ambiente, spingendo, inevitabilmente, verso disegni sistematori più idonei all'impiego dei grandi macchinari per la lavorazione dei terreni.

Quello che era stato un territorio con una agricoltura capillarmente diffusa e differenziata, caratterizzata da seminativi intercalati a seminativi arborati, suddivisi in unità colturali generalmente piccole, ricalcanti la morfologia del terreno, delimitate da fossi, strade di fosso e filari arborati, ha cominciato a perdere questa sua identità. In sostanza le sistemazioni idraulico-agrarie precedentemente adottate sono state obliterate nella ricerca di superfici più ampie che permettessero un agevole e redditizio uso di mezzi meccanici, ma senza che venissero approntate

Figura 2.3 – Sistemazione di collina a spina. (Tratta da NASI *et alii*, 1987; parzialmente modificata).





nuove opere sistematorie efficaci come le precedenti (figura 2.4). Il processo si è compiuto negli anni '90, quando ormai la superficie agraria era composta, quasi completamente, da unità monoculturali di grandi dimensioni, con l'incremento estremo della superficie agricola utile e una minore differenziazione degli usi.

In tutte quelle situazioni in cui le preesistenti sistemazioni sono state risparmiate, gli alti costi di manutenzione e di gestione hanno portato verso il loro progressivo abbandono e deterioramento, con l'effetto di perdere i benefici per cui la sistemazione era stata ideata e realizzata (ad esempio l'abbandono della manutenzione dei muretti a secco caratteristici del paesaggio di intere regioni).

Uno dei risvolti di tali cambiamenti, a prescindere da quale ne sia stata la causa, è stato l'incremento dei fenomeni erosivi, dell'instabilità dei versanti e del disordine idrogeologico.

Ricordiamo che una oculata gestione agricola nelle aree collinari e montuose si traduce in benefici effetti, anche, sulle sottostanti aree di pianura, attraverso il consolidamento dei versanti, il controllo e il contenimento dei fenomeni erosivi (figura 2.5), la riduzione del trasporto solido e dei deflussi idrici, la prevenzione delle ondate di piena di fiumi e torrenti, la conservazione delle risorse naturali contro il degrado ambientale e paesaggistico.

L'introduzione dell'uso di macchinari in agricoltura ha senza dubbio portato a grossi vantaggi dal punto di vista economico, vantaggi derivanti, ad esempio, dalla riduzione drastica nel fabbisogno di lavoro umano (l'uso dei macchinari ha reso possibile l'automatizzazione di quasi tutti i processi agricoli), dall'incremento delle rese e dalla standardizzazione del prodotto. Nel contempo ha generato una serie di effetti negativi sulla qualità del suolo, in particolare sulla perdita di una proprietà fondamentale che è la sua struttura.



Figura 2.4 – Per ridurre i fenomeni erosivi su versanti dove affiorano litotipi facilmente erodibili, quali quelli argillosi, limosi o sabbiosi, e dove sono presenti coltivazioni erbacee estensive, è necessario ricorrere all'aratura perpendicolare alle linee di massima pendenza, associata ad un'ideale regimazione delle acque di scorrimento superficiale. Nella foto, infatti, osserviamo che, in mancanza di opere di regimazione delle acque di deflusso superficiale, la sola sistemazione trasversale al pendio non è stata sufficiente ad evitare l'innescarsi di fenomeni erosivi, lungo le linee di massima pendenza, su un pendio dove affiorano litotipi in prevalenza argillosi. Comune di Volterra (PI).



Per **struttura del suolo** si intende il modo con cui le particelle primarie (sabbie, limi e argille) si uniscono in particelle composte (aggregati) separate tra loro da superfici di rottura. La sostanza organica del suolo è la vera promotrice della struttura stessa, poiché favorisce l'aggregazione delle particelle. Occorre tener presente che per il suolo la resistenza all'erosione è legata in ultima analisi alla resistenza degli aggregati al distacco e al trasporto, quindi alla stabilità della sua struttura. Per **stabilità della struttura del suolo** si intende, quindi, la resistenza degli aggregati all'azione degli agenti climatici (acque di pioggia battenti, ruscellanti e stagnanti, alternanza del gelo e disgelo, siccità, vento, ecc.) e meccanici (impatto dei mezzi meccanici, errate lavorazioni del suolo, calpestio, ecc.), che tendono a demolire gli aggregati stessi. Un'elevata stabilità strutturale rende, inoltre, il suolo più fertile.

Per tali motivi, tra le pratiche maggiormente responsabili della perdita di sostanza organica, vanno menzionati i moderni modelli di produzione agricola (ad es. le monocolture), responsabili, tra l'altro, di una minor disponibilità di nutrienti e di acqua nel suolo, del ricorso crescente a somministrazioni esterne di sostanza organica e della riduzione del naturale controllo dei fitofagi.

L'ingegneria agraria ha prodotto nell'ultimo ventennio macchine agricole sempre più grandi, potenti e pesanti, che hanno sul terreno un deleterio effetto compattante, specialmente nelle realtà agrarie in cui il tenore di sostanza organica ha raggiunto livelli bassi (la maggior parte dei suoli agricoli italiani). La compattazione del terreno induce ad una contrazione ed alterazione del sistema dei pori che sconvolge le proprietà idrogeologiche dei suoli, diminuendo la quantità d'acqua che si infila e aumentando, di conseguenza, quella che scorre superficialmente. Molti dei fenomeni erosivi che interessano zone acclivi traggono origine o si accentuano proprio per questo effetto.

Figura 2.5 – In questa immagine si può osservare che il terreno intorno agli alberi, dove non possono lavorare i mezzi meccanici, è rilevato rispetto a quello circostante. Questa forma deriva sia dalla differente erodibilità da parte degli agenti esogeni (acqua e vento) dei suoli arati rispetto a quelli non arati, sia dall'azione protettiva esercitata sul suolo dalle radici delle piante arboree. Comune di Trivento (CB).





Anche gli organi lavoranti possono essere responsabili dei processi di compattazione del suolo, l'esempio più eclatante è rappresentato dall'aratura. In passato il vomere trainato dai buoi affondava fino ad una profondità massima di circa 15 cm, producendo un disturbo minimo agli equilibri naturali. L'introduzione del trattore ha comportato l'utilizzo di macchine pesanti e una maggiore profondità di aratura di 55-60 cm. L'aratura produce il taglio orizzontale di una fetta di terreno, esercita una pressione in profondità, aggravata dal peso del mezzo meccanico, creando, sotto lo strato di terra lavorato, una pellicola a bassa permeabilità chiamata **“suola d'aratura”** o **“soletta di lavorazione”**. Questa costituisce una superficie di discontinuità, in corrispondenza della quale la funzione drenante del suolo viene annullata o notevolmente ridotta, favorisce il ristagno delle acque che a sua volta può facilitare lo slittamento dello strato sovrastante, già deformato dall'aratura, e gli allagamenti in occasione di piogge intense e concentrate.

Questi metodi di lavorazione determinano la degradazione fisica dei suoli, con conseguente minore produttività e maggiore propensione al dissesto.

Sovente si riscontra la formazione di croste superficiali che incrementano il grado di compattazione del suolo. Il processo è dovuto alla diminuzione del contenuto di sostanza organica che determina la perdita di stabilità degli aggregati, i quali vengono distrutti dall'azione battente delle piogge, originando particelle che si depositano formando, appunto, uno strato compatto.

La meccanizzazione, unitamente all'utilizzo di colture specializzate, ha portato, tra l'altro, alla necessità di svolgere una serie di lavorazioni preparatorie del terreno, che sono spesso la causa di ulteriori impatti negativi sulla qualità del suolo. Tra queste i livellamenti del terreno, con scavi e riporti, generano notevoli tassi di traslocazione laterale del suolo. Questa pratica demolitrice origina troncamenti del profilo del suolo che espongono i suoi orizzonti più profondi, spesso poveri di sostanza organica e fragili, agli agenti atmosferici o possono portare all'affioramento del substrato, che può essere caratterizzato da una ridotta capacità di immagazzinamento di acqua e/o da una scarsa struttura. Nelle zone di riporto, invece, si vengono a determinare accumuli di materiali incoerenti, che possono essere interessati da movimenti gravitativi. Questa situazione si verifica comunemente nella collina italiana, dove non è raro osservare la presenza di piani uniformi suborizzontali o inclinati, contrastanti con l'originaria morfologia naturale.

Dal punto di vista agronomico, i processi erosivi sono responsabili non solo della perdita di particelle di terreno, ma rappresentano anche una delle cause principali di degradazione della fertilità del suolo. Producono infatti una riduzione dell'infiltrazione e della capacità di immagazzinamento dell'acqua, un peggioramento della struttura, una perdita di sostanza organica e di elementi nutritivi, che si traducono in un suolo meno favorevole alla crescita delle piante e alla sostenibilità delle attività agricole nel tempo.

Negli ultimi anni è maturata la consapevolezza sull'importanza di creare una mentalità moderna basata sull'uso responsabile del territorio e non sul suo sfrut-



tamento; ne è derivata l'esigenza di ricercare il giusto equilibrio tra le necessità delle produzioni agricole e la conservazione della fertilità dei suoli e delle risorse ambientali.

La scelta delle tecniche agronomico-conservative da applicare in un determinato ambiente, per essere adeguata ed efficace deve essere effettuata sulla base di valutazioni attendibili circa l'entità dell'erosione in atto o potenziale e, dunque, sulla conoscenza dei meccanismi di azione dei vari fattori che influenzano il processo erosivo.

Esistono molteplici pratiche agricole che se attuate permettono di controllare gran parte delle problematiche ricordate in precedenza. Tali accorgimenti sono di diversa tipologia e sostanzialmente non richiedono tecniche particolarmente artificiose, anzi alcune di queste sono poco onerose dal punto di vista della realizzazione e gestione e coincidono con "vecchi modi" di fare agricoltura, che possono essere efficacemente riproposti nei moderni schemi produttivi. Fra le varie tecniche agronomico-conservative si ricordano le più diffuse:

- le lavorazioni e la semina lungo le curve di livello (inglese *contour cultivation*) sono più efficaci rispetto a quelle eseguite nel senso della massima pendenza a "rittochino" (figure 2.6, 2.7 e 2.8), sia perché favoriscono la formazione di aggregati stabili, sia dal punto di vista conservativo e di difesa dai fenomeni di erosione e di dissesto geologico-idraulico;
- l'utilizzo di colture foraggere (piante erbacee che formano la base per l'alimentazione bovina) in rotazione o come colture permanenti (ad esempio come prati permanenti). Le rotazioni colturali migliori sono quelle che comprendono l'alternanza con le leguminose che rilasciano grandi quantità di sostanza organica nel terreno. Alle rotazioni colturali sono riconosciuti numerosi effetti positivi che vanno dall'aumento della sostanza organica, al miglioramento della disponibilità di nutrienti e di acqua, dal controllo dei fitofagi, alla limitazione dello sviluppo di infestanti, al controllo della dinamica delle malattie, passando per l'inibizione o la promozione della formazione di sostanze nel suolo (es. gli essudati radicali). I periodi a maggese espongono il terreno all'erosione, e di conseguenza anche alla perdita di sostanza organica. L'aggiunta di residui colturali e di ammendanti organici come compost, letami, fanghi di depurazione e residui legnosi aumenta il livello di sostanza organica nel terreno e contrasta i fenomeni erosivi, favorendo la strutturazione delle particelle di terreno in aggregati resistenti;
- il mantenimento costante di una copertura vegetale anche durante la stagione invernale, ad esempio mediante *cover crops* (colture pacciamanti) o *catch crops* (piante trappola), ossia mediante l'utilizzo di colture non finalizzate alla raccolta ma all'immagazzinamento di elementi nutritivi e sostanza organica, che verranno restituiti al suolo mediante sovescio o interrimento;
- il ricorso a colture intercalari, ossia quelle il cui ciclo si sviluppa tra due colture principali previste dall'avvicendamento, che vengono impiegate con funzione di copertura o per sovescio;

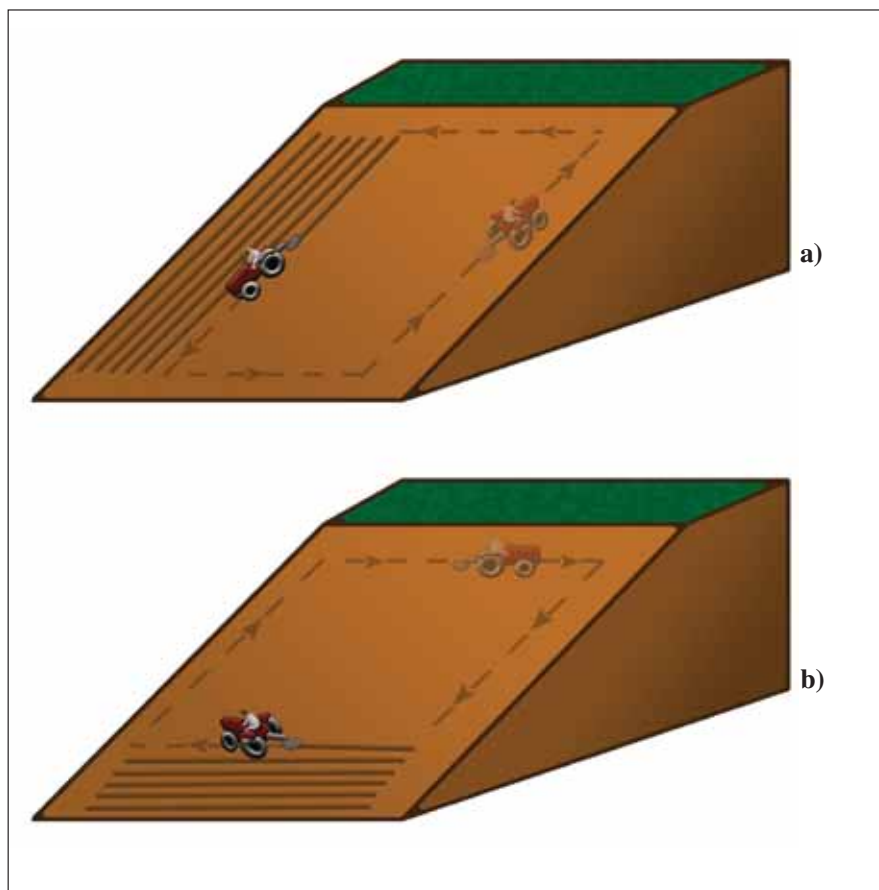


Figura 2.6 – Lavorazioni a “rittochino” (a) e disposte secondo le curve di livello (b). Nelle lavorazioni perpendicolari alle linee di massima pendenza, su terreni declivi, occorre tener conto del rischio di ribaltamento del trattore. La stabilità di un trattore dipende oltre che dall’acclività del pendio, anche da altri fattori: le caratteristiche del trattore, il tipo di terreno, la presenza o meno di irregolarità, l’eventuale sbilanciamento del carico o delle attrezzature utilizzate, ecc. Considerando un trattore a quattro ruote, senza zavorra, i valori di pendenza massima di un pendio, oltre i quali il rischio di ribaltamento diventa molto alto, sono: inclinazione massima 30 - 35%, angolo del pendio $\alpha = 16,7^\circ - 19,3^\circ$. Per trattori a cingoli i suddetti valori diventano: inclinazione massima 50 - 55%, angolo del pendio $\alpha = 26,5^\circ - 28,8^\circ$ (dati ISPESL, 2005). (Tratte da NASI *et alii*, 1987; parzialmente modificate).



Figura 2.7 –Versante sul quale è stata effettuata una aratura a “rittochino”, senza prevedere opere per la regimazione delle acque di scorrimento superficiale, ad esempio canalette di raccolta delle acque disposte trasversalmente e alla sommità del versante. Le acque dilavanti, pertanto, si sono incanalate lungo i solchi tracciati dall’aratro, approfondendoli e producendo diffusi fenomeni erosivi, tipo *rill erosion*. Località Val di Nizza (PV).



- la gestione dei residui colturali esplica una fondamentale azione protettiva nei confronti dell'erosione e delle perdite di acqua per ruscellamento ed evaporazione. Il pacciame lasciato sul terreno, infatti, lo protegge dall'azione battente delle gocce di pioggia e riduce sensibilmente la velocità di scorrimento superficiale dell'acqua, consentendo, inoltre, una maggiore infiltrazione e dunque, la possibilità di immagazzinamento nei limiti della capacità di campo;
- l'utilizzo di lavorazioni di tipo conservativo (*no-till*, lavorazioni ridotte), che rappresentano il modo migliore per lasciare la maggior parte dei residui colturali sulla superficie o nei primi strati del terreno (per definizione il 30% o più). In tali pratiche la velocità di decomposizione della sostanza organica è minore rispetto alle coltivazioni tradizionali poiché il suolo non subisce azioni di rimescolamento, né variazioni nel microclima (o le subisce in minima parte). Altri effetti positivi di questo tipo di lavorazioni sono rappresentati dal minor numero di passaggi delle macchine operatrici, il che influisce notevolmente sul risparmio energetico quindi sulla riduzione dei costi di produzione e sul mantenimento di una buona struttura del suolo;
- la consociazione di due colture seminate a fasce, con andamento trasversale rispetto alle linee di massima pendenza, lungo la pendice di un versante (*strip-cropping*) o più in generale l'uso di colture consociate, ossia, due o più colture presenti sul terreno simultaneamente solo per una fase o per tutta la durata del ciclo colturale. L'efficacia delle colture a fasce dipende essenzialmente dalla tipologia delle colture utilizzate e dalla loro reciproca posizione sul versante. L'effetto più conservativo si ottiene quando le colture più protettive, ad esempio le prative, sono disposte nella parte bassa dei versanti, in modo da frenare la velocità dell'acqua e far depositare l'eventuale trasporto solido. Una variante di questa tecnica è quella di intervallare alla fasce di coltivazione erbacea o arborea delle strisce permanentemente inerbite, costi-

Figura 2.8 – Solchi di erosione di tipo *rill* in un vigneto dove la disposizione dei filari a “rittochino” e la mancanza di opere di regimentazione delle acque piovane hanno favorito i fenomeni erosivi, su un versante dove affiorano litotipi prevalentemente limoso-sabbiosi, poco coerenti e facilmente erodibili. Comune di Certaldo (FI).



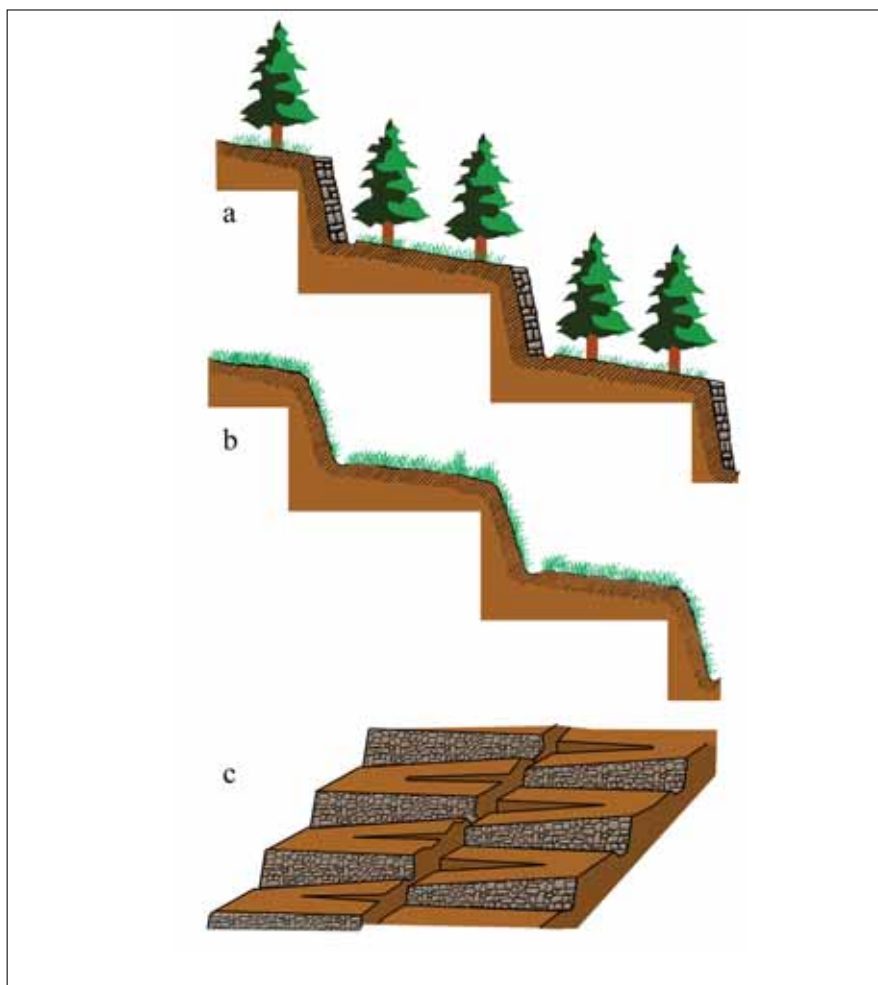


Figura 2.9 - Nella figura a) è rappresentata la tipica sistemazione per terrazzamento realizzata attraverso una serie di terrazze sostenute con muretti a secco di consolidamento e associate a canalette di scolo per la regimazione delle acque. Nella figura b) sono schematizzati dei ciglionamenti nei quali la funzione di sostegno del terrapieno è affidata a un cotico erboso, che favorisce anche la fertilità. Nella figura c) sono rappresentati i ripiani raccordati, si tratta di ripiani successivi collegati da un lato con il ripiano sovrastante e dall'altro con quello sottostante. Quest'ultima tecnica, rispetto alle due precedenti, consente un più agevole movimento dei mezzi meccanici da un ripiano all'altro. (Figure a) e b) tratte da NASI *et alii*, 1987; figura c) tratta da http://www.agroselviter.unito.it/enviro/studenti/eccesso_idrico.pdf; parzialmente modificate).

tuite da essenze prative perenni larghe circa 3 m, disposte trasversalmente al pendio e distanziate, tra loro, dai 20 ai 40 m, in funzione della pendenza del versante;

- l'adozione di *buffer strips*, ossia di fasce di vegetazione lungo bordi dei campi (siepi ed alberature), che negli ambienti collinari e montani devono essere disposte trasversalmente rispetto alle linee di massima pendenza, contribuiscono alla riduzione della perdita di elementi nutritivi, giocano un'azione frangivento, controllano la diffusione di pesticidi e reintroducono gli habitat per importanti antagonisti selvatici di fitofagi infestanti le colture;
- la realizzazione di opere di presidio, denominate sistemazioni idraulico-agrarie, quali reti scolanti, fosse, strade fosso livellari, canali terrazza, terrazzamenti (figura 2.9 a), gradonamenti (figura 2.10), ciglionamenti (figura 2.9 b), ripiani raccordati (figura 2.9 c) e scogliere. Queste rappresentano tecniche estremamente utili per contenere l'entità dei fenomeni di dilavamento,



poiché riducono le pendenze e il potere erosivo delle acque di ruscellamento. In particolare le sistemazioni a terrazza si applicano su terreni pendenti per contenere le azioni di erosione e trasporto esercitate dalle acque di ruscellamento, attraverso la diminuzione dell'acclività dei pendii e l'interruzione della continuità degli stessi. Esse, inoltre, proteggono la crescita e lo sviluppo dei vegetali, creano strutture di accumulo del suolo, favoriscono l'infiltrazione delle acque e aumentano i tempi di corrivazione, consentendo una riduzione, anche, sensibile dei picchi di deflusso (ORLANDINI *et alii*, 2005). In questa ottica le sistemazioni idraulico-agrarie possono essere utilizzate sia per la stabilizzazione dei versanti sia per la laminazione dei deflussi a valle;

- l'utilizzo degli inerbimenti tecnici in campo agricolo ha ricevuto negli ultimi tempi un crescente grado di attenzione, come dimostra il loro uso in vigneti, oliveti e frutteti, con evidenti vantaggi economici che derivano dal miglioramento della qualità del terreno. In alcune situazioni gli inerbimenti sollevano delle problematiche ancora irrisolte, infatti, sembra che possano entrare in competizione con le piante di vite nei periodi a scarsa piovosità;
- il ricorso al *set-aside*, una forma di riposo del terreno agrario collegata a incentivi economici e a criteri pratici di attuazione della politica agricola comune. In sostanza sono previste sovvenzioni per quegli agricoltori che decidono di abbandonare la coltivazioni dei loro terreni o che decidono di destinarli ad altri scopi non agricoli. Le soluzioni agronomiche più importanti dei terreni a *set-aside* sono la copertura vegetale naturale o quella artificiale, con funzioni ambientali, paesaggistiche, faunistiche, biocide e mellifere.

Figura 2.10 – Foto a) panoramica di una vasta sistemazione a gradonamenti, mediante l'utilizzo dei muretti a secco. Nella foto b) vista di un muretto a secco. Comune di Greve in Chianti (FI).



2.2 Degradazioni per errata gestione del bosco

Riferimenti bibliografici: DALLA FONTANA, 1996; DALLA FONTANA, 1992-2001; GIORDANO, 2002; GISOTTI & BENEDINI, 2000; MOTRONI *et alii*; PANIZZA, 1990.

Al fine di spiegare il disordine idrogeologico conseguente al disboscamento e/o alla riduzione dell'efficienza di un bosco, occorre trattare prioritariamente del ruolo svolto dal complesso suolo-vegetazione sul ciclo dell'acqua e le relative proprietà, in larga misura già elencati nei paragrafi precedenti.

La copertura vegetale esercita una fondamentale azione protettiva e tutelare del suolo e del sottosuolo, quindi di prevenzione dai fenomeni erosivi, dai fenomeni di dissesto geologico-idraulico, di difesa dalle valanghe e dal vento. Complessi vegetazionali con appropriate densità, dotati di buona complessità ecologica e capaci di garantire lo sviluppo e la conservazione di suoli forestali, agiscono svolgendo una funzione antierosiva nei confronti delle acque e del vento e interagiscono con il ciclo dell'acqua, esercitando una funzione regimante dei flussi idrici. Secondo questo metro di giudizio un bosco o una foresta funzionalmente ed ecologicamente integri assicurano il massimo grado di efficienza regimante e antierosiva, mentre l'estremo opposto è rappresentato da un terreno nudo e lavorato secondo le linee di massima pendenza.

L'azione regimante della vegetazione sul deflusso idrico viene esercitata tramite la sua capacità di modificare la circolazione idrica sia superficiale, sia sotterranea. Gli strati di vegetazione che costituiscono un bosco (arboreo, arbustivo, erbaceo) agiscono limitando e rallentando lo scorrimento superficiale, principalmente intercettando le precipitazioni e riducendo la velocità delle gocce di acqua che li attraversano. Essi insieme alla copertura morta o lettiera (sostanza organica caduta sul suolo e non ancora decomposta, costituita da foglie rami, fusti, escrementi, animali morti, ecc.), oltre alla funzione di intercettazione, sono capaci di trattenere parte delle precipitazioni e di restituirne una quota all'atmosfera, attraverso l'evapotraspirazione.

L'effetto regimante è svolto soprattutto a livello del suolo, grazie alle sue caratteristiche di permeabilità e ritenzione dell'acqua. Suoli forestali evoluti sono, in genere, profondi e dotati di una struttura equilibrata e di una porosità equamente distribuita, caratteri che favoriscono l'infiltrazione, la conducibilità e la ritenzione idrica; infatti essi sono capaci di contenere grosse quantità di acqua e di lasciarla muovere lentamente al loro interno anziché sulla superficie. In tali condizioni il deflusso superficiale è molto ridotto, anche in occasione di piogge intense.

L'azione frenante della vegetazione, rallentando lo scorrimento superficiale, modera le portate massime di piena nei corsi d'acqua e prolunga i tempi di corrivazione. In caso di eventi piovosi modesti e di breve durata l'intercettazione può essere totale, mentre in caso di precipitazioni intense le percentuali di acqua trattenuta si riducono drasticamente (massimo 15% in funzione di specie, densità, ecc.) fino a raggiungere la saturazione oltre la quale lasciano passare tutta l'acqua in afflusso.

Si può avere un'idea dell'importanza di quanto asserito, considerando che il taglio a raso provoca, infatti, aumenti del deflusso compresi fra il 20 e l'80%, con incremento degli eventi di piena dal 50% al 100%.

La grande importanza dell'intercettazione non è solo nell'acqua trattenuta, che come visto può essere anche modesta, bensì nella sua capacità di contenere l'erosione del suolo, riducendo l'azione battente che essa ha sul terreno, azione che può essere rilevante e disastrosa durante eventi meteorici di forte intensità.

L'azione esplicata dal bosco a contenimento dell'erosione dipende dagli stessi fattori che ostacolano il deflusso superficiale e favoriscono l'infiltrazione, ripetiamo: azione frenante della vegetazione, presenza della lettiera, buona struttura ed elevata permeabilità del suolo. La resistenza all'erosione del suolo dipende dalla resistenza degli aggregati al distacco e al trasporto, quindi dalla stabilità della struttura, come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti.

Altrettanto importante è la funzione protettiva svolta dalle radici delle piante, che hanno la capacità di bloccare volumi di terreno variabili da alcuni metri cubi a molte decine di metri cubi per individuo, intrecciando le radici con quelle di individui adiacenti su differenti piani.

L'azione stabilizzatrice sui versanti deriva dalla interazione sinergica di molteplici fattori di natura idrologica e meccanica, giustificabili solamente considerando la foresta (o il bosco) come un sistema formato in modo inscindibile da suolo e vegetazione. Si comprende quindi come nella prevenzione dei dissesti idrogeologici giochi un ruolo essenziale la copertura vegetale, intesa in tutte le sue varie articolazioni, passando dal bosco con terreni forestali evoluti, fino ad arrivare ai popolamenti arbustivi ed erbacei.

La vegetazione esplica, inoltre, un'azione di controllo nei confronti dell'erosione eolica, esercitata mediante l'azione di barriera che essa offre. Il vento viene intercettato, cambiato nella sua direzione e smorzato nell'intensità, fino a riduzioni quasi totali della velocità in un popolamento con buon grado di conservazione.

Le trasformazioni a cui può essere sottoposta la copertura forestale, intese in senso quantitativo e qualitativo, come abbiamo visto, hanno riflessi sul ciclo dell'acqua e su quello dell'erosione che al primo è strettamente legato. Generalmente le normali pratiche colturali legate a una selvicoltura naturalistica, se operate con oculatezza, hanno un impatto modesto sull'idrologia del bacino.

Il bosco d'alto fusto rappresenta la forma di governo più efficace nei riguardi della difesa del suolo, nonostante questo, è stato drasticamente ridotto e quello che rimane è stato in parte anche degradato. Attualmente in Italia l'alto fusto copre circa il 44% della superficie forestale, il bosco ceduo copre la parte restante.

Diverso è invece il caso di interventi che portano a drastici mutamenti dell'uso del suolo, ad esempio da una copertura vegetale forestale ad un'altra destinazione totalmente diversa, quale quella agricola.

In passato in Italia è stata diffusamente praticata la deforestazione, questo ha contribuito alla predisposizione in vaste aree ai fenomeni erosivi, ma il suo contributo negli ultimi 50 anni è stato insignificante, tant'è vero che dal 1948/49 al 2002 tale attività è stata poco praticata.

Elaborazioni APAT/CTN_NEB su dati ISTAT (APAT, 2004) mostrano, infatti, che nel periodo considerato l'incremento di superficie forestale (boscata e non boscata) è stato pari al 4,11 % del territorio nazionale, che in valore assoluto significa che si è avuto un incremento di 1.238.931 ha. Nel decennio 1990-2000 l'incremento di superficie forestale è stato pari a 93.702 ha, ossia allo 0,31% del territorio nazionale. Solo nel biennio 2000-2002 l'incremento è stato di 2.048 ha. Anche le elaborazioni APAT/CTN_TES su dati CORINE Land Cover 1990 – 2000 (ADA 2004), che si riferiscono alle variazioni percentuali dell'uso del suolo, indicano un trend positivo delle aree boschive e seminaturali pari all'1% rispetto ad un decremento dell'1,6% delle aree agricole. La maggior parte dei problemi degli ambiti forestali, compresi quelli di erosione accelerata, sono attribuibili perciò ad altre cause, essenzialmente alla degradazione per cause naturali, per cattiva gestione o, come troppo spesso accade, indotta dagli incendi.

Come si diceva, se operate con raziocinio, le attività umane in ambito forestale non hanno grosso impatto sull'idrologia. Va, tuttavia, sottolineato che ne esistono alcune potenzialmente dannose. Un pericolo è costituito dalla realizzazione delle infrastrutture viarie legate allo sfruttamento e al controllo da parte dell'uomo degli ecosistemi forestali. La costruzione di strade e di vie d'esbosco, se non realizzate secondo un piano coordinato e con appropriate tecniche costruttive, può far sì che in concomitanza di eventi di precipitazione, queste si comportino come una linea preferenziale di drenaggio superficiale delle acque. Ciò accade in genere quando il manufatto è realizzato su versanti ad elevata pendenza e su terreni prevalentemente impermeabili o poco permeabili. In presenza di forti concentrazioni di deflusso, aumenta considerevolmente il pericolo di innesco di potenziali fenomeni di erosione e dissesto.

Le attività di raccolta del legno possono essere un'altra fonte di problemi, tra queste sono incluse il tagliare, trascinare, caricare e trasportare. L'impatto è tanto più negativo quanto eccessiva è l'utilizzazione e quanto pessime sono le vie di comunicazione.

Altre situazioni rischiose sono la mancanza di programmi per tale gestione e tutta quella serie di attività ricreative che prevedono una fruizione della foresta come piste da sci, fuori strada, campeggio, ecc.

Per quanto concerne gli incendi i dati sono preoccupanti. Nel biennio 2000-2002 gli ettari di superficie forestale percorsi da fiamme sono stati pari a ben 231.861, scorpendo il dato della sola superficie boscata si ottengono ben 116.638 ha. Solo nel 2003 gli incendi sono stati 9.697 ed hanno colpito 91.804 ha di superficie boscata, tutto ciò nonostante la presa di coscienza del problema da parte della collettività.

L'efficacia di una foresta nella protezione idrogeologica è quindi strettamente correlata col suo armonico inserimento nelle condizioni ecologiche locali e dipende della sua composizione, struttura e densità, dalle forme di governo e trattamento. Ecco quindi che anche il rinfoltimento dei boschi radi, il miglioramento dei boschi degradati, le conversioni dei cedui in fustaie, la scelta delle forme di trattamento più consone con la protezione del suolo e con la rinnovazione e l'evoluzione della foresta, la lotta contro gli incendi boschivi, l'asestamento dei soprassuoli su basi naturalistiche (ossia cercando di favorire il più possibile la vegetazione naturale potenziale), sono altrettante componenti della sistemazione idrogeologica del territorio, non meno importanti del rimboschimento dei terreni nudi.

Per quanto riguarda il ruolo svolto dalla copertura vegetale sulla stabilità dei versanti, occorre considerare che in alcune condizioni la sua presenza può avere anche effetti negativi. Il bosco agisce sui pendii anche come fattore peso, quindi per quelli poco stabili e/o molto acclivi, può rappresentare uno dei fattori che predispongono ai fenomeni di dissesto geologico-idraulico, soprattutto per quei movimenti in cui il distacco si verifica al di sotto del limite raggiunto dalle radici.

L'origine di questi effetti va ricondotta, in parte, alla incapacità dell'uomo di presidiare e gestire il proprio territorio. Il peso di un bosco varia molto se esso è ad alto fusto oppure un ceduo abbandonato o "ceduo invecchiato", nel quale i numerosi polloni caricano le ceppaie oltremisura e possono costituire un peso ingestibile in situazioni di equilibrio precario. I cambiamenti socio-economici intervenuti nel secondo dopoguerra, citati nei paragrafi precedenti, hanno notevolmente ridotto l'interesse per la cura e la gestione dei boschi cedui, causandone spesso l'abbandono.

Altro effetto di una grossa quantità di biomassa vegetale sui pendii è rappresentato dalla possibilità di crollo di alcuni individui, dai quali si possono innescare movimenti franosi con portata ben più ampia.

A ciò va aggiunta la capacità della vegetazione di trasmettere gli sforzi dinamici esercitati dal vento al terreno, che sono in grado di innescare dei movimenti gravitativi, ma qui l'effetto si fa difficilmente ponderabile.

Occorre sottolineare che in quei movimenti gravitativi che coinvolgono masse di notevoli dimensioni, quali le Deformazioni gravitative profonde di versante, la presenza o meno della vegetazione può essere, considerata, ragionevolmente, influente ai fini della stabilità.

Le colate rapide di detrito che si sono verificate recentemente nella Regione Campania (Sarno 1998, Cervinara 1999, Ischia 2006), con drammatiche conseguenze, hanno interessato aree boschive (vedi paragrafo "Colate rapide di detrito e fango"). Per questi fenomeni gli effetti svolti dalla copertura vegetale sono ancora in esame.

Secondo vari Autori (GRAY & MEGAHAN, 1981; MULDER, 1991; SIDLE, 1992) l'effetto sui versanti del sovraccarico dovuto alla biomassa sarebbe comunque di entità modesta e soprattutto l'entità degli effetti positivi, dovuta alla presenza della vegetazione, è di gran lunga superiore a quella dei negativi.



2.3 Degradazioni per pascolamento

Riferimenti bibliografici: GUSMEROLI F., 2004; ZILLOTTO *et alii*, 2004; ZANCHI, 1981.

L'attività di pastorizia diventa un problema quando comporta il sovrappascolo, cioè la sovrabbondanza di animali per unità di superficie. L'eccessivo carico di bestiame in un pascolo può determinare molteplici alterazioni, più o meno consistenti, al sistema suolo-vegetazione, sia per l'eccessivo calpestamento, sia per l'intenso consumo di vegetazione, con la distruzione continua dei ricacci e del novellame che la dovrebbero ripristinare.

Il sovrappascolo causa il cambiamento del profilo del suolo, l'orizzonte più superficiale viene degradato e arricchito di letame, questo determina modifiche nella composizione e nella struttura.

Nelle zone di maggior transito animale si verifica la compattazione del suolo, specialmente se umido, dovuta al calpestio degli animali che altera le normali caratteristiche strutturali e di porosità, riducendo pertanto la capacità di infiltrazione delle acque e degradando la copertura erbosa fino alla sua scomparsa. Lungo i percorsi degli animali si formano dei camminamenti o dei sentieri (figura 2.11), che diventano direttrici preferenziali di scorrimento delle acque di deflusso superficiale, in modo tale da favorire il ruscellamento e innescare dei veri e propri fenomeni erosivi, anche di notevole intensità. Qualora questi processi si verificano in un ambiente fragile, in precarie condizioni di equilibrio, ad essi si possono associare fenomeni d'instabilità dei versanti, generalmente movimenti superficiali lenti, quali soliflussi o reptazioni.

Si è visto nei capitoli precedenti come la presenza della copertura vegetale possa esercitare un'importante azione di protezione del suolo e di stabilizzazione dei versanti: riduce l'azione battente della pioggia e l'entità del ruscellamento superficiale, facilita nel contempo l'infiltrazione nel suolo degli afflussi idrici, apporta sostanza organica nel suolo che ne favorisce una struttura maggiormente stabile, in alcune condizioni le radici svolgono un'azione fisica di ancoraggio del suolo o del sottosuolo.

Il sovrapascolamento determina una diminuzione della velocità di accumulo della sostanza organica nel suolo, in concomitanza della diminuita produttività della prateria; questo è dovuto alla variazione della composizione di specie, con sostituzione delle specie originarie con specie più tipiche di una intensa frequentazione animale (nitrofile), e al minor contributo della lettiera (residui organici prevalentemente vegetali, intatti o poco trasformati, disposti sulla superficie del suolo).

Per quanto riguarda il pascolo in foresta, esso contribuisce alla difesa dagli incendi, poiché concorre a tener pulito il sottobosco.

Tutte le funzioni elencate possono essere espletate in modo maggiore o minore, a seconda delle modalità di utilizzo del pascolo stesso.



In conseguenza della crisi della zootecnica e dell'abbandono della montagna, il pascolo è andato perdendo l'originale rilevanza produttiva, di contro è aumentata la consapevolezza del suo ruolo rispetto alla salvaguardia della biodiversità e al suo contributo alla determinazione del valore estetico del paesaggio.

L'impatto sul territorio generato dal pascolamento può essere mitigato attraverso una razionale gestione dei pascoli che consenta il mantenimento della cotica erbosa a un buon livello vegetativo, il contenimento dei fenomeni di degrado, l'adeguamento della produttività e, di conseguenza, l'appropriata funzione di conservazione del suolo.

L'eccessivo calpestamento, legato a un carico troppo forte di animali al pascolo, può essere evitato mediante il ricorso a pratiche tipo il riposo pascolativo e il controllo del carico di bestiame in base alla produttività del pascolo. A tal fine appare indispensabile la conoscenza delle caratteristiche dell'area soggetta a pascolo e del carico di animali che essa può sostenere. A questo riguardo è utile la conoscenza degli indici di pascolamento attuale (Actual Stocking Rate, ASR) e di pascolamento sostenibile (Sustainable Stocking Rate, SSR), calcolati tenendo conto del tipo, del numero e delle caratteristiche fisiologiche dei capi e della durata del pascolo.

Un ulteriore strumento da utilizzare è il piano di pascolamento che fornisce indicazioni su carico di bestiame teorico, organizzazione della mandria, tempo di permanenza della mandria nei lotti di pascolo, disegno dei lotti, processione nell'utilizzo dei lotti.

Le pratiche per una buona gestione dei pascoli prevedono, inoltre, la semina di specie miglioratrici, le concimazioni, il diserbo, l'irrigazione, la fertirrigazione

Figura 2.11 – Pendio degradato dall'eccessivo calpestio degli animali che hanno prodotto molteplici camminamenti, asportando parte della copertura erbosa. Località dorsale di M. Calvo, comune di Cagnano Amiterno (AQ).





(compreso il tracciamento di fosse livellari nel caso di alta erodibilità del suolo e morfologia a rischio).

Il pascolamento non dovrebbe essere esercitato nei periodi nei quali il suolo è troppo umido, poiché può essere maggiore l'effetto di riduzione della porosità.

Particolari attenzioni vanno dedicate ai punti d'acqua utilizzati per l'abbeverata del bestiame, in corrispondenza dei quali aumenta moltissimo il carico temporaneo degli animali, che, generalmente, compromette l'integrità del suolo.

Negli ultimi anni, in Italia, si è assistito ad una riduzione generale del patrimonio zootecnico e ad un incremento dell'attività di allevamento intensivo. Le ripercussioni maggiori si sono avute sull'uso del territorio, per cui si sono create principalmente due distinte situazioni: prevalentemente nelle zone pianeggianti si sono manifestati fenomeni di inquinamento ambientale dovuti alla necessità di smaltimento delle deiezioni animali su superfici spesso troppo limitate; in aree collinari e montane marginali si ricorre maggiormente all'utilizzo di aree a pascolo, limitato spesso a quelle di più facile accesso e meglio servite da infrastrutture e servizi. In queste aree si sono spesso riscontrati carichi animali eccessivi e conseguenti fenomeni di degrado della vegetazione naturale, compattazione ed erosione dei suoli e, nelle aree più vulnerabili, di processi di desertificazione.

Le problematiche relative al sovrapascolamento sono più frequenti nelle zone dove la pratica dell'allevamento è molto diffusa, le condizioni preesistenti (climatiche, di uso del suolo, geologiche, ecc.) sono più delicate e ostacolano la ricostituzione della cotica erbosa. In particolare, in alcuni ambiti italiani, come Sardegna, Toscana, Abruzzo e Campania, il pascolo costituisce la destinazione d'uso prevalente per quelle aree inadatte ad un uso agricolo intensivo.

2.4 Degradazioni per attività estrattiva

Riferimenti bibliografici: GISOTTI & BENEDINI, 2000; VALLARIO, 1998.

Dal dopoguerra ad oggi si è registrato in Italia un impulso importante alle attività estrattive; in un primo tempo questo è stato giustificato dalla ricostruzione post-bellica, in seguito dalla trasformazione della società italiana in realtà industriale, per la realizzazione di reti stradali e autostradali e di opere pubbliche. Questi sono i principali motivi che giustificano l'elevato numero di cave inattive, parzialmente attive ed attive presenti ad oggi sul territorio italiano.

Le attività estrattive sono state svolte in tempi passati e in alcuni casi anche in epoche recenti, senza troppi riguardi nei confronti del ripristino e della salvaguardia ambientale. Spesso ignorando il fatto che le risorse estratte non sono ricostituibili nell'arco della scala dei tempi umani, e che alcune delle alterazioni prodotte incidono negativamente sull'ambiente e possono manifestarsi anche in tempi lunghi.

Le attività estrattive, asportando strati di suolo e roccia, comportano tra l'altro modificazioni, spesso irreversibili, alla morfologia dei luoghi, alla circolazione e qualità delle acque superficiali e sotterranee, alla stabilità dei versanti, all'erosione superficiale e al paesaggio naturale. In sostanza viene interrotta la continuità vegetazionale e morfologica esistente e modificata la circolazione idrica.

Un aspetto di fondamentale importanza è la messa in sicurezza del fronte di cava relativamente ai fenomeni di instabilità, soprattutto dopo l'esaurimento dell'attività estrattiva, qualora il fronte stesso non abbia subito un idoneo modellamento (figura 2.12).

Frequentemente accade che siti estrattivi abbandonati ubicati in prossimità di centri abitati, vengano utilizzati come discariche abusive di rifiuti, spesso di tipo solido urbano, con i conseguenti danni causati dal percolato che può contaminare le acque superficiali e sotterranee.

Gli impatti possibili delle attività estrattive possono coinvolgere differenti ambiti, di seguito si elencano i principali:

- **Atmosfera.** Principalmente ad opera delle polveri derivanti dalle attività estrattive, che, una volta sedimentate, possono alterare la copertura vegetale, le acque superficiali e sotterranee e le caratteristiche dei suoli. Le polveri immesse nell'aria possono causare locali fenomeni di inquinamento, fino a rendere l'aria irrespirabile per la popolazione;
- **Acque superficiali.** Gli impatti sono dovuti a variazioni della morfologia dei versanti, che inducono modifiche all'andamento del reticolo idrografico. Viene modificato anche il chimismo delle acque, soprattutto attraverso l'immissione di prodotti di scarto nella rete drenante;
- **Acque sotterranee.** Le modificazioni alla morfologia originaria dei versan-

ti possono provocare riduzioni della portata e dei livelli di sorgenti e falde, favorire il richiamo delle acque sotterranee causando, di conseguenza, il rapido svuotamento dei serbatoi sotterranei. Sono da considerare possibili, anche, le contaminazioni da parte delle polveri trasportate in profondità dalle acque di infiltrazione;

- **Suolo e sottosuolo.** Il degrado può derivare dall'innesco o dalla ripresa di fenomeni franosi (figura 2.13) o erosivi, da modifiche della rete drenante, da variazioni della destinazione d'uso dei suoli, da modificazioni della circolazione delle acque sotterranee, da modificazioni della fertilità dei suoli stessi;
- **Paesaggio.** Impatti derivanti dall'alterazione degli equilibri dell'ambiente fisico e dalla degradazione degli equilibri visivi (forme e colori del paesaggio, disturbi della percezione d'insieme).

L'eccessiva estrazione dagli alvei fluviali di materiale per inerti, quando altera il profilo d'equilibrio dei corsi d'acqua, può causare profonde perturbazioni al regime di erosione e di trasporto solido. Si possono verificare varie conseguenze:

- sulla stabilità dei pendii poiché l'approfondimento degli alvei, per aumento dei fenomeni erosivi, può determinare lo scalzamento alla base dei versanti, che predispone ai fenomeni di dissesto;
- sulla stabilità dei manufatti situati lungo i corsi d'acqua, ad esempio eccessivi fenomeni erosivi scavano alla base delle pile o delle spalle dei ponti;
- sul regime dei litorali poiché modifica la quantità di apporto solido che viene trasportato alla foce dei fiumi.



Figura 2.12 – Nella foto a) è visibile il fronte subverticale di una cava in depositi argilloso-limosi, situata alla base del rilievo sul quale sorge l'abitato di Lucera (FG). Dopo l'abbandono dell'attività estrattiva, avvenuto nel 1965, il mancato ripristino dei luoghi, caratterizzati dall'affioramento di depositi particolarmente erodibili e alterabili, ha creato le condizioni per l'innesco di diffusi fenomeni di dilavamento superficiale (*rill erosion* e *gully erosion*) associati a movimenti gravitativi (scivolamenti traslativi, crolli, ribaltamenti e colamenti) di limitata estensione (particolare in figura b). I fenomeni di dissesto progressivamente si sono estesi sull'intero versante, determinando un elevato livello di rischio per le persone, gli edifici pubblici (nelle foto si osserva la Fortezza Svevo-Angioina) e privati e le infrastrutture situate nella parte alta del versante stesso.

Una conseguenza di un'attività estrattiva prolungata nel tempo è l'accumulo di grandi volumi di detrito di scarto che vengono riversati lungo i versanti. Tali accumuli possono a loro volta costituire elementi di instabilità, dovuta alla scarsa coesione e alla sovrapposizione nel tempo di strati a differente granulometria, composizione e permeabilità. In conseguenza dell'evoluzione nel tempo delle tecniche e dei macchinari usati per l'estrazione, generalmente gli strati disposti a maggiore profondità, cioè quelli più antichi, sono costituiti da blocchi di maggiori dimensioni rispetto agli strati superficiali, ossia quelli più giovani, che presentano una maggiore quantità di materiale fine. Tali accumuli di materiale vengono interessati spesso da fenomeni erosivi e da movimenti gravitativi (figure 2.14 e 2.15); in riferimento a questi ultimi i più frequenti sono: scorrimenti traslativi e rotazionali, crolli, colamenti e *debris flows*.

Per ridurre gli effetti ambientali negativi delle attività estrattive, risulta necessario che i singoli insediamenti siano dotati di idonei progetti di sfruttamento, i quali, pur considerando le esigenze produttive, rendano possibili efficaci interventi di recupero ambientale.

In siti estrattivi ubicati in ambiti montani o collinari rappresentati da versanti, a volte molto acclivi, lo sfruttamento dovrebbe garantire la sicurezza nel corso dei lavori e la stabilità finale dell'area. Inoltre, una buona regimazione delle acque superficiali concorre ad una ordinata conduzione dei lavori e ad un sicuro assetto definitivo dell'area. A tal proposito gli impluvi naturali, dovrebbero essere tendenzialmente salvaguardati e mantenuti costantemente efficienti.

Terminata l'attività di estrazione, bisogna affrontare l'aspetto del recupero am-

Figura 2.13 – Vista di un esteso movimento gravitativo che ha interessato un lato (destro nella foto) di una cava abbandonata. Comune di S. Giacomo degli Schiavoni (CB).



bientale del sito interessato. Le azioni di recupero si devono prefiggere principalmente due obiettivi: la salvaguardia dell'incolumità pubblica e privata e il ripristino degli equilibri naturali alterati. Principalmente sono tre i livelli di intervento utilizzabili a questo scopo: la sistemazione (quando non vi sia una destinazione d'uso finale), il ripristino (se l'uso finale del sito coincide con la situazione preesistente), il recupero (se l'uso finale dell'area differisce da quello iniziale).



Figure 2.14 e 2.15 – Due panoramiche della vasta area mineraria dismessa del Rio Albano, nel comune di Rio Marina – Isola d'Elba (LI). La morfologia originaria della zona è stata profondamente modificata dall'intensa attività estrattiva effettuata in passato, che ha creato ingenti accumuli di materiale detritico incoerente, derivante dai residui delle lavorazioni. Gli accumuli di detriti minerari privi della vegetazione spontanea (figura 2.14) e delimitati da scarpate alte e ripide, sono interessati da intensi e diffusi fenomeni erosivi per ruscellamento diffuso e concentrato a rivoli e a solchi. Questi fenomeni producono anche un notevole trasporto solido verso valle, testimoniato dall'accumulo di detriti visibile nella parte bassa della seconda immagine (figura 2.15).

3. SIMBOLOGIA

È stata predisposta una legenda di simboli abbastanza dettagliata, finalizzata alla rappresentazione cartografica dei principali fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti, di alcune delle attività antropiche che inducono la degradazione sui versanti e delle opere e degli interventi di prevenzione e difesa del territorio.

Al fine di organizzare per categorie differenti i simboli relativi a detti elementi, la legenda è stata strutturata prendendo a riferimento gli schemi di classificazione contenuti nelle parti precedenti, ossia nella tabella 1.1 “Quadro sinottico dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti” e nella tabella 2.1 “Alcuni fenomeni che inducono la degradazione sui versanti”.

Per quanto riguarda le opere e gli interventi di prevenzione e difesa del territorio, sono stati presi in considerazione quelli che vengono realizzati sia sui versanti, sia lungo i corsi d’acqua. Essi sono stati raggruppati in un unico schema di classificazione, denominato “Quadro sinottico delle opere e degli interventi” (tabella 3.1), che contiene tutte le soluzioni tecniche più frequentemente utilizzate in Italia. Per la definizione di questo schema sono stati presi a riferimento vari testi, tratti dalla più recente letteratura tecnico-scientifica, in particolare MAIONE (1995) e gli Atlanti delle opere di sistemazione dei versanti e dei fiumi (LIGATO & SERVA, 2002; LIGATO & SERVA, 2003).

Ne consegue che i simboli sono suddivisi per livelli, da quelli più generali a quelli specifici per ciascuna tipologia di fenomeni di dissesto di versante, opera e intervento. Si è ritenuto importante introdurre anche i simboli relativi alle categorie generali dei fenomeni di dissesto geologico-idraulico, delle opere e degli interventi, affinché essi possano essere utilizzati per cartografie a piccola scala, di sintesi o destinate ai non specialisti.

Per la definizione di tale legenda è stata presa come riferimento, tanto per i concetti base, quanto per la simbologia, quella contenuta nei Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, Serie III n. 4, “Carta Geomorfologica d’Italia – 1:50.000. Guida al rilevamento” (GRUPPO DI LAVORO PER LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA, 1994). Tale legenda, tuttavia, contiene solo alcuni dei simboli necessari per la rappresentazione cartografica di tutti i fenomeni di dissesto di versante, delle opere e degli interventi, elencati nei quadri sinottici suddetti. Per integrare la simbologia mancante e dare la priorità a quella già in uso nel nostro Paese, sono state consultate altre legende contenute in testi di letteratura scientifica, manuali, atlanti, cartografie e sistemi informativi territoriali, pubblicati da Enti vari, quali: Protezione Civile, Regioni, Province, ecc. Tutti i simboli recuperati nel corso di questa ricerca, ritenuti idonei alle finalità del presente lavoro, sono stati adottati. Nonostante tale ricerca, per molti degli elementi presenti nei citati quadri sinottici non è stata individuata la simbologia corrispondente; pertanto, per far fronte a questa esigenza, si è proceduto alla definizione di nuova simbologia.

SIMBOLOGIA

Nella definizione e scelta dei simboli si è cercato di tener conto delle seguenti esigenze:

- buona leggibilità e facile riproducibilità;
- immediatezza e univocità di interpretazione;
- possibilità di usare metodi di cartografia digitale.

In conformità a quanto proposto nella citata legenda dei Quaderni del Servizio Geologico Nazionale (GRUPPO DI LAVORO PER LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA, 1994), per ciascuna tipologia di fenomeni di dissesto di versante, di attività antropiche, opere e interventi sono previsti fino a tre tipi di simboli, areali, lineari e puntuali, che sono stati ordinati in legenda su tre colonne differenti. I simboli areali, riprodotti sulla prima colonna, possono essere utilizzati per quelle forme areali o lineari che presentano un'estensione tale da consentire un'accurata cartografia in scala. I simboli lineari, riprodotti sulla seconda colonna, possono essere utilizzati per le forme estese arealmente che si intende rappresentare come elementi lineari, in quanto la loro larghezza non è cartografabile. I simboli puntuali, posti nella terza colonna, rappresentano le forme la cui estensione areale o lineare non è cartografabile alla scala della carta e i fenomeni non aventi un'estensione determinabile.

Per quanto riguarda le valanghe è stata presa a riferimento la stessa simbologia adottata dalle Regioni e dall'A.I.NE.VA (Associazione Interregionale Neve e Valanghe) per la redazione delle "Carte di localizzazione probabile delle valanghe" (C.L.P.V.). In queste carte vengono rappresentate sia le zone che sono state interessate in passato da fenomeni valanghivi sia quelle presunte pericolose.

Per la redazione di queste carte si susseguono tre fasi diverse: la fotointerpretazione, l'inchiesta sul terreno e la restituzione cartografica. La prima fase è finalizzata all'individuazione, attraverso l'analisi di fotografie aeree estive, di tracce fisiche e/o geomorfologiche delle valanghe cadute, quali la presenza alla base dei versanti di depositi detritici molto eterogenei e privi di classazione, di canali ad andamento rettilineo, l'assenza di vegetazione arborea, ecc. In una seconda fase si procede all'inchiesta sul terreno, basata sia sul reperimento di testimonianze dirette presso le popolazioni locali sia nelle ricerche di archivio, al fine di reperire il maggior numero di informazioni sulle valanghe verificatesi nei siti in esame e giungere ad una ricostruzione storica degli eventi occorsi. Tutte le informazioni raccolte vengono, infine, restituite su una base topografica, in modo che si distingua la loro diversa origine.

Per quanto riguarda i simboli rappresentativi dei fenomeni di dissesto di versante, la legenda in esame distingue con un colore diverso ciascun agente morfogenetico, ossia *rosso* per i dissesti dovuti alla gravità, *verde* per i dissesti dovuti al dilavamento, *giallo* e *fucsia* per i dissesti dovuti alle valanghe, *azzurro* per il dissesto idraulico. Per quanto riguarda le attività antropiche che inducono la degradazione sui versanti è stato utilizzato il *viola*, per la degradazione indotta da incendi il

SIMBOLOGIA

marrone. Per la rappresentazione di opere e interventi si è ritenuto opportuno distinguere quelli esistenti da quelli in programmazione, utilizzando il colore *nero* per i primi, *grigio* per i secondi. Ricapitolando si utilizzano i seguenti colori:

- *rosso* per i dissesti dovuti alla gravità;
- *verde* per i dissesti dovuti al dilavamento;
- *giallo e fucsia* per i dissesti dovuti alle valanghe;
- *azzurro* per il dissesto idraulico;
- *viola* per la degradazione indotta da attività antropiche;
- *marrone* per la degradazione indotta da incendi;
- *nero e grigio* per le opere e gli interventi.

Come abbiamo visto nel paragrafo 1.1 “Dissesti di versante”, lo stato di attività di forme e processi di dissesto è distinto in attivo, quiescente e inattivo; per la relativa rappresentazione cartografica devono essere utilizzati colori diversi, ad esempio per le frane attive si utilizza il rosso, per quelle quiescenti l’amaranto, per le inattive l’arancione.

Per la valutazione della pericolosità di un fenomeno di dissesto è di fondamentale importanza la conoscenza del tipo di materiale coinvolto. Il materiale a cui si deve far riferimento è quello originario nel quale si è innescato il dissesto, non quello che costituisce l’accumulo di frana. Abbiamo visto nel paragrafo 1.1 che i materiali si distinguono in tre tipologie: terre, detriti e rocce. Le relative sigle sono costituite dalle rispettive iniziali:

- ⊕ per le terre;
- ⊙ per i detriti;
- ⊗ per le rocce.

Le tre tipologie di materiali possono essere distinte aggiungendo, dove possibile, all’interno del simbolo del fenomeno di dissesto, la sigla prevista per la tipologia del materiale coinvolto.

Ai fini della valutazione della pericolosità di un fenomeno di dissesto è di fondamentale importanza conoscere la velocità con la quale esso è avvenuto o potrebbe avvenire. Per tale ragione, nei casi in cui sia conosciuta o sia stata calcolata la velocità di spostamento di un fenomeno di dissesto, si propone di inserire, all’interno del simbolo del fenomeno, anche la sigla relativa a tale velocità. Le sigle rappresentative delle velocità sono riportate nella tabella 3.1.

SIMBOLOGIA

Tabella 3.2 – Scala delle velocità (tratta da IUGS/WGL, 1995; modificata) e relativi simboli.

Classe	Descrizione	Simbolo
1	ESTREMAMENTE LENTO	①
2	MOLTO LENTO	②
3	LENTO	③
4	MODERATO	④
5	RAPIDO	⑤
6	MOLTO RAPIDO	⑥
7	ESTREMAMENTE RAPIDO	⑦

Nonostante il volume abbia finalità divulgative, si è ritenuto importante inserire nella legenda, anche, i simboli relativi ad alcune forme di versante prodotte dai fenomeni gravitativi, corrispondenti a: nicchie di distacco di frane, contropendenze e trincee. Le motivazioni di questa scelta sono molteplici, di seguito se ne elencano alcune:

- le trincee e le contropendenze costituiscono elementi premonitori di incipienti movimenti gravitativi. In molti casi le Deformazioni gravitative profonde di versante, sono evidenziate in superficie solo attraverso la presenza di trincee e/o contropendenze;
- vi sono dei fenomeni gravitativi nei quali il materiale spostato si muove per notevoli distanze, ad esempio le colate rapide di detrito e fango possono percorrere diverse centinaia di metri, in tali casi diventa fondamentale indicare l'area dove è avvenuto il distacco del materiale che le ha alimentate, ossia la nicchia di distacco;
- alcuni fenomeni franosi evolvono per retrogressione della scarpata principale, la nicchia di distacco indica, quindi, il limite inferiore dell'area che potrebbe essere interessata da un successivo evento.

I simboli relativi a tali forme sono tratti da quelli contenuti nella legenda presa a riferimento (GRUPPO DI LAVORO PER LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA, 1994).

Ciascun simbolo puntuale può essere racchiuso in forme geometriche indicanti la vocazione dell'ambito territoriale in cui il dissesto si è verificato e l'opera o l'intervento sono inseriti. Tali forme sono:

- *quadrato* in aree urbanizzate;
- *rombo* in zone a vocazione industriale;
- *esagono* in zone a vocazione turistica;
- *cerchio* in zone a vocazione agricola;
- *rettangolo* per zone a vocazione non definita.

SIMBOLOGIA

Per poter riportare su una cartografia tematica il soggetto attuatore delle opere e degli interventi rappresentati con simboli puntuali, si propone di utilizzare colori diversi all'interno delle forme geometriche che individuano gli ambiti territoriali; tali colori sono:

- *rosso* per le regioni;
- *giallo* per le province;
- *verde* per i comuni;
- *celeste* per le autorità di bacino;
- *grigio* per i consorzi di bonifica;
- *marrone* per le comunità montane;
- *azzurro* per le autorità portuali;
- *trasparente* per altri soggetti.

Nelle figure 3.1 a) e b) sono riportati due esempi per la rappresentazione su una base topografica, mediante simboli puntuali, della vocazione dell'ambito territoriale e dei soggetti attuatori relativamente a due diversi interventi.

Figura 3.1 – Nella figura a) esempio di rappresentazione cartografica di un intervento di “Disgaggio e pulitura dei versanti”, realizzato in una zona a vocazione turistica e avente come soggetto attuatore un Comune. Nella figura b) esempio di rappresentazione cartografica di “Gabbionate”, realizzate in un'area a vocazione agricola e avente come soggetto attuatore una Provincia.



AUTORI DELLE FIGURE

- Figura 1.1 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.2 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.3 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.4 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.5 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.6 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.7 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.8 – Foto di Luca Ferreli (*).
Figura 1.9 – Foto di Marco Amanti (***)
Figura 1.10 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.11 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.12 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.13 – Foto di Lorenzo Pistocchi (*).
Figura 1.14 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.15 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.16 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.17 – Foto della Regione Piemonte.
Figura 1.18 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.19 – Foto di Marco Amanti (***)
Figura 1.20 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.21 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.22 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.23 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.24 – Foto di Alessandro Trigila (*).
Figura 1.25 – Foto di Alessandro Trigila (*).
Figura 1.26 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.27 – Foto di APAT.
Figura 1.28 – Foto di Marco Amanti (***)
Figura 1.29 – Foto di APAT.
Figura 1.30 – Foto di APAT.
Figura 1.31 – Foto di Alessandro Trigilia (*).
Figura 1.32 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.33 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.34 – Foto di Luca Guerrieri e Lorenzo Pistocchi (*).
Figura 1.35 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.36 – Foto di Sergio Baranello (Regione Molise).
Figura 1.37 – Foto di Lorenzo Pistocchi (*).
Figura 1.38 – Foto di Marco Amanti (***)
Figura 1.39 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.40 – Foto di Maurizio D'Orefice (**).
Figura 1.41 – Foto di Marco Amanti (***)
Figura 1.42 – Foto di Marco Amanti (***)
Figura 1.43 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).

- Figura 1.44 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.45 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.46 – Foto di Elisa Brustia (*).
Figura 1.47 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.48 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.49 – Foto di Domenico Berti (**).
Figura 1.50 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.51 – Immagine tratta da FACCENNA *et alii*, 1993.
Figura 1.52 – Foto di Nicola Casagli.
Figura 1.53 – Foto di Tommaso Marasciulo (*).
Figura 1.54 – Foto di Elisa Brustia (*).
Figura 1.55 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.56 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.57 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.58 – Foto di Lorenzo Pistocchi (*).
Figura 1.59 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.60 – Foto tratta dal sito web del Servizio Valanghe del Club Alpino Italiano.
Figura 1.61 – Foto tratta dal sito web del Servizio Valanghe del Club Alpino Italiano
Figura 1.62 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 1.63 – Immagine tratta dal sito web dell’A.I.N.E.V.A.: www.aineva.it
Figura 1.64 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 1.65 – Immagine tratta dal sito web dell’A.I.N.E.V.A.: www.aineva.it.
Figura 1.66 – Immagine tratta dal sito web dell’A.I.N.E.V.A.: www.aineva.it.
Figura 1.67 – Immagine tratta dal sito web dell’A.I.N.E.V.A.: www.aineva.it.
Figura 1.68 – Foto di Alessandro Trigila (**).
Figura 2.1 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 2.2 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 2.3 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 2.4 – Foto di Elisa Brustia (*).
Figura 2.5 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 2.6 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 2.7 – Foto di Lorenzo Pistocchi (*).
Figura 2.8 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 2.9 – Disegno tecnico di Raffaele Apuzzo (**).
Figura 2.10 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 2.11 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 2.12 – Foto di Tommaso Marasciulo (*).
Figura 2.13 – Foto di Stefania Silvestri (*).
Figura 2.14 – Foto di Tommaso Marasciulo (*).
Figura 2.15 – Foto di Tommaso Marasciulo (*).

(*) APAT – Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Istruttorie, Piani di Bacino e Raccolta Dati.

(**) APAT – Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio CARG, Geologia e Geomorfologia.

(***) APAT – Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologia Applicata e Idrogeologia.

BIBLIOGRAFIA

- AMANTI M., CASTALDO G., MARCHIONNA G. & PECCI M. (1992) - *Proposta di una nuova classificazione dei fenomeni franosi, ai fini del rilevamento geologico – tecnico e della corretta prevenzione del dissesto del territorio*. In: Bollettino del Servizio Geologico d'Italia (1994) - n° 111, pp. 3-19, I.P.Z.S., Roma.
- AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M. & MOTTERAN G. (1996) - *Guida al censimento dei fenomeni franosi e alla loro archiviazione*, In: Miscellanea del Servizio Geologico Nazionale, n° 7, pp. 109, I.P.Z.S., Roma.
- AMANTI M., CHIESI V., BERTOLINI G., RAMASCO M. & DE NARDO M.T. (2001) - *Guida alla compilazione della scheda frane IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia), Allegato 1 al Progetto IFFI*. Servizio Geologico Nazionale, Roma.
- ANDREATTA G. (2005) - *Problemi di instabilità meccanica in popolamenti forestali della regione alpina*.
[http://www.sisef.it/forest/@/index.php?action=download_pdf\(288\)](http://www.sisef.it/forest/@/index.php?action=download_pdf(288)).
- APAT (2004) - *Annuario dei Dati Ambientali (ADA)*. Edizione 2004.
- ARPA PIEMONTE. (2003) - *Eventi alluvionali in Piemonte, 13 – 16 Ottobre 2000*. pp. 327, 6 tavv, Torino.
- BARONI C., BRUSHI G., CRISCUOLO A. & RISOLINI A. (2001) - *Il rischio geomorfologico indotto dall'attività estrattiva nei bacini marmiferi apuani (Alpi Apuane, Toscana)*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, seria A (2000-2001) n° 107, pp. 87-96.
- BECK, A.C. (1968) – *Gravity faulting as a mechanism of topographic adjustment*. N. Z. J. Geol. Geophys., n° 11 (1), pp. 191 –199.
- BENINI G. (1990) - *Sistemazioni idraulico-forestali*, UTET, Torino.
- BERRY P. (1990) - *Aspetti tecnico economici dell'impatto ambientale da attività minerarie*, pp. 18-28, Quarry and Construction.
- BLASI C. & PAOLELLA A. (1992) - *Progettazione ambientale*, La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- BOLT B.A., HORN W.L., MACDONALD G.A., SCOTT R.F. (1975) - *Geological Hazards*, Springer-Verlag, Berlin.
- BRUGIONI M., BUSSOTTI F., GALLI G., MARZOCCHI A., MENDUNI G. (1998) - *Il bacino campione della Capriola e l'area di Cardoso*. In: R. ROSSO & L. SERVA [a cura di] *19 giugno 1996: alluvione in Versilia e Garfagnana*. ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) e ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana), pp. 231-258.
- CARRARA A., D'ELIA B. & SEMENZA E. 1985. *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. Fa parte di: Geologia Applicata e Idrogeologia, n° 20, II, pp. 223-243, Bari.
- CASTIGLIONI G.B. (1992) - *Geomorfologia*, pp. 436, U.T.E.T., Torino.
- CAVALLIN A., CRESCENTI U., DRAMIS F., PRESTININZI A. & SORRISO-VALVO M. (1987) – *Tipologia e diffusione delle deformazioni gravitative profonde di versante in Italia*. Atti Conv. Soc. Geol. It. “Le scienze della terra nella Pianificazione Territoriale”, Chieti 7/8 maggio 1987. Mem. Soc. Geol. It.

- CAZZANIGA C. & SCIESA E. [a cura di]. (2001) - *Valutazione della pericolosità e del rischio da frana in Lombardia*. Regione Lombardia - Territorio e Urbanistica, Università di Milano Bicocca – Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, CNR IRPI – Perugia e CNR CSITE - Bologna, n° 1, pp. 169, n° 2, pp. 153, n. 4 carte. Milano.
- CHISCI G. (1984) - *Analisi della degradazione dei versanti, causata dai cambiamenti di uso e gestione agricola e forestale, per la previsione degli interventi di conservazione del suolo*. In: *Annali dell'Istituto sperimentale per lo studio e la difesa del suolo*, n° 15, pp. 29-52. Firenze.
- COLOSIMO P. (1982) - *Manuale di Geologia Tecnica delle Frane*, Nuove Ricerche, Ancona.
- COMMISSIONE INTERMINISTERIALE PER LO STUDIO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA E DELLA DIFESA DEL SUOLO (Commissione De Marchi) (1970 e 1974). *Atti della Commissione*, n° 1, 2, 3, 4, Roma.
- CORCHI P., CORSINI A., VEZZALINI L., VENTURELLI P., TAZZIOLI F. & BARATTA P. (2002) – *Manuale di buona pratica agricola e di uso del suolo del territorio collinare e montano*. In: *Quaderni di documentazione Ambientale*, quaderno n° 15. Provincia di Modena – Difesa Attiva del Suolo e Tutela delle sue Risorse, Modena.
- CRUDEN D.M. & VARNES D. J. (1996) - *Landslide types and processes*. In: TURNER A.K. & SCHUSTER R.L. (eds) - “*Landslide: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board*”, Special Report 247, National Academy Press, pp. 36-75, Washington D.C.
- DA DEPPO L., DATEI C. & SALANDIN P. (1997) - *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova.
- D'ALESSANDRO L., BERTI D., BUCCOLINI M., MICCADEI E., PIACENTINI T. & URBANI A. (2003) - *Relationships between the geological-structural framework and landslide types in Abruzzi (Central Apennine)*. In: *Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale, Atti I° Congresso Nazionale*, Campus Universitario Chieti, 19-20 febbraio 2003.
- DALLA FONTANA G. (1996) - *Il contributo della foresta alla mitigazione della vulnerabilità del territorio*. *Parchi. Rivista del Coordinamento Nazionale dei Parchi e delle Riserve Naturali*, n° 19, Ottobre 1996. <http://www.parks.it/fe-derparchi/rivista/P19/56.html>
- DALLA FONTANA G. (1992-2001) - *Relazione di settore. Idrologia e sistemazioni idraulico-forestali*. Provincia Autonoma di Trento. Piano Generale Forestale. http://www.tesaf.unipd.it/Didattica/MaterialeCorsi/gdf/sif_0001/Lettere%20consigliate/piano%20forestale%20trentino.pdf
- DE ANTONIS L. & MOLINARI V. M. [a cura di]. (2003) - *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica*. Regione Piemonte, Direzione Tutela e Risanamento Ambientale, Programmazione Gestione Rifiuti, Direzione Opere Pubbliche, Torino.
- DEL GRECO O., GARBARINO E., OGGERI C. & PIOLI F. (2004) - *Esame del fenomeno di subsidenza del Bottegone (Grosseto)*. In: *I° Seminario – Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*, (2004) - APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, pp. 347 - 360.

- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L. & IBSEN M. [a cura di]. (1996) - *Landslide recognition - Identification, Movement and Causes*, John Wiley, Chichester.
- DI ROSA G. (2001) - *Rischio idrogeologico*, pp. 159, Flavio Flaccovio Editore, Palermo.
- DRAMIS F. (1984) - *Aspetti geomorfologica e fattori genetici delle deformazioni gravitative profonde di versante*. Atti I Sem. DGPV, Boll. Soc. Geol. It., n° 103, pp. 681-687.
- DRAMIS F. & BISCI C. (1998) - *Cartografia geomorfologica*, Pitagora Editrice, Bologna.
- DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI P. & G. PAMBIANCHI (1995) - *Neotectonics and large-scale gravitational phenomena in the Umbria-Marche Apennines, Italy*. In: O. Slaymaker (ed.). *Steepland Geomorphology*, J. Wiley & Sons, Chichester, 199-217.
- DRAMIS F., FLAMINI M., MARGOTTINI C., PAPASODARO F. & PUGLISI C. (2005) - *Evoluzione geomorfologica dell'area di Civita di Bagnoregio (VT)*. Poster presentato al Convegno "Rilevamento Geomorfologico di Terreno e da Remote Sensing, Trattamento dei Dati Tramite GIS per la Gestione del Territorio e la Mitigazione dei Rischi Geo-Ambientali" Rossano - Centro Studi San Bernardino
- FACCENNA C., FLORINDO F., FUNICELLO R. & LOMBARDI S. (1993) - *Tectonic Setting and Sinkhole Features: Case Histories from Western Central Italy*. Quaternary Proceedings No. 3, Quaternary Research Association, pp. 47-56, Cambridge.
- FERRO V. (2002) - *La sistemazione dei bacini idrografici*, pp. 676, Mc Graw-Hill, Milano.
- FRASER C. (1970) - *L'enigma delle valanghe*. Zanichelli, Bologna.
- GIARDINO M. & POLINO R. (1997) - *Le deformazioni di versante dell'alta Valle di Susa in relazione con l'evoluzione tettonica recente*. Dati preliminari. Il Quaternario, n° 10 (2), pp. 31-38.
- GIORDANO A. (2002) - *Pedologia forestale e conservazione del suolo*. Fa parte di: Collezione: Scienze Forestali e Ambientali, pp. 600, U.T.E.T., Torino.
- GISOTTI G. & BENEDINI M. (2000). *Il dissesto idrogeologico*. Roma: Carrocci Editore.
- GOGUEL J. (1978) - *Scale-dependent rockslide mechanisms, with emphasis on the role of pore fluid vaporisation*. In B. Voight (ed.), *Rockslides and Avalanches-Natural Phenomena*. Develop. in Geotechnical Engineering, 14a, Elsevier, Amsterdam.
- GRAY DH & MEGAHAN WF. (1981) - *Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith*. USDA - Forest Service, Ogden UT Intermountain Forest and Range Experiment Station, Res. Pap. INT 271.
- GRUPPO DI LAVORO PER LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA [a cura di] (1994) - *Carta Geomorfologica d'Italia - 1:50.000 Guida al rilevamento*. Fa parte di: Quaderni del Servizio Geologico Nazionale serie III n° 4, I.P.Z.S., Roma.
- GRUPPO NAZIONALE GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGICA. (1993) - *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. Geografia Fisica e Dinamica del Quaternario, pp. 129-152.

GUSMEROLI F. (2004) – Il piano di pascolamento: strumento fondamentale per una corretta gestione del pascolo. Quaderni SOZOOALP, n° 1, Il sistema delle malghe alpine, pp. 27-41.

<http://www.em.gov.bc.ca>

I materiali per usi industriali in Piemonte. <http://www.regione.piemonte.it/industria/cave/materiali2.htm>

ISPESL – ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA DEL LAVORO – DIPARTIMENTO TECNOLOGIE DI SICUREZZA – GRUPPO DI LAVORO NAZIONALE (2005) – *Adeguamento dei trattori agricoli o forestali ai requisiti minimi di sicurezza per l'uso delle attrezzature di lavoro previsti al punto 1.3 dell'allegato XV del D.Lgs. 359/99 – L'installazione dei sistemi di ritenzione del conducente.*

IUGS/WGL – International Union of Geological Sciences Working Group on Landslides. (1995) - *A suggested method for describing the rate of movement of a landslide.* IAEG Bull., n° 52, pp. 75-78.

JAHN A. (1964) – *Slopes morphological features resulting from gravitation.* Z. Geomorph., S. B., n° 5, pp. 59-72.

LANDI R. (2004). *Sistemazioni idraulico-agrarie.* In: Italia - Atlante dei Tipi Geografici, I.G.M., pp. 407-409, Firenze.

L'erosione ed il dissesto idrogeologico. Idrologia forestale e sistemazioni idraulico-forestali. http://www.liguriambiente.it/AMBIENTE/DISSESTO_IDROGEOLOGICO.HTM

LIGATO D. & SERVA L. [a cura di]. (2002) - *Atlante delle opere di sistemazione dei versanti.* ANPA, Manuali e linee guida, n° 10, pp. 125, Roma.

LIGATO D. & SERVA L. [a cura di]. (2003) - *Atlante delle opere di sistemazione fluviale.* APAT, Manuali e linee guida, n° 27, pp. 172, Roma.

MAIONE U. (1995) – *Pianificazione degli interventi di sistemazione idrogeologica a scala di bacino. Il quaderno delle opere tipo.* Fa parte di: MAIONE U. & BRAT A. [a cura di]. (1995) – *Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali.* Politecnico di Milano, Atti del corso di aggiornamento 10-14 ottobre 1994, Editoriale BIOS, pp. 291-303, Cosenza.

MAIONE U. (1981) - *Appunti di Idrologia 3 - Le piene fluviali,* La Goliardica Pavese, Pavia.

MOTRONI A., CANU S., BIANCO G. & LOJ G. [a cura di] – *Realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale per lo studio delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna.* Pubblicazione del Servizio Agrometeorologico per la regione Sardegna.

MULDER H.F.H.M. (1991). *Assessment of landslide hazard.* Faculty of Geographical Sciences, Ph.D. Thesis, University of Utrecht, pp.150, Olanda.

NASI F., LAZZARETTO R. & GHISI R. (1987) - *Fondamenti di produzione vegetale.* Liviana Editrice.

NISIO S. & SALVATI R. (2004) - *Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana.* In: *1° Seminario – Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio,* (2004) - APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, pp. 573- 583.

- ONIDA M. (2001) – *Deformazioni gravitative profonde di versante: stato delle conoscenze e progresso delle ricerche in Italia*. In: Tettonica recente e instabilità di versante nelle Alpi centrali. Fondazione Cariplo per la ricerca scientifica; CNR – Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali, pp. 35-73, Milano.
- ORLANDINI S., SASSAROLI R. & ZANCHI C. (2005) - *Tutela del territorio: tecniche agronomiche per la lotta all'erosione e al dissesto idrogeologico*. In: FERRUCCI E.M. & ZANI O. [a cura di] (2005) - *Secondo forum nazionale, Rischio di frana e assetto idrogeologico nei territori collinari e montani. Questioni, metodi, esperienze a confronto*. Regione Emilia Romagna, pp. 595-611, Maggioli Editore.
- OROMBELLI G. & SAURO U. (1988) – *I Lavini di Marco: un gruppo di frane oloceniche nel contesto morfotettonico dell'alta Val Lagarina (Trentino)*. Fa parte di: FEDERICI P.R. [a cura di] (1988) - *Giornata di studio sulla morfotettonica in Italia*. In: Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., n. 1, pp. 107-116.
- PAGLIAI M. (1998) - *Il sistema dei pori nel terreno: un indicatore utile per definire il grado di sensibilità dei suoli in funzione degli interventi antropici*. In: SEQUI P. & VIANELLO G. [a cura di] - *Sensibilità e vulnerabilità del suolo. Metodi e strumenti di indagine*. Franco Angeli editore, pp. 259-278, Milano.
- PANIZZA M. (1988). *Geomorfologia applicata*, pp.340 La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- PANIZZA M. (1992) – *Geomorfologia*, Pitagora Editrice Bologna.
- PELLEGRINI G.B., CARTON A., CASTALDINI D., CAVALLIN A., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., GENTILI B., LAURETI L., PRESTININZI A., RODOLFI G., SAURO U., SORRISO VALVO M., & SPAGNA V. (1993) – *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*, Geogr. Fis. Dinam. Quat., n° 16, pp. 129-152.
- PICARELLI L. (2005) – *Movimenti lenti di versante nell'Appennino: le caratteristiche, le conseguenze sulle opere e gli insediamenti, la gestione del territorio*. In: FERRUCCI E.M. & ZANI O. [a cura di] (2005) - *Secondo forum nazionale, Rischio di frana e assetto idrogeologico nei territori collinari e montani. Questioni, metodi, esperienze a confronto*. Regione Emilia Romagna, pp. 595-611, Maggioli Editore.
- GUERMANDI M., PRETI D., NOLÈ M., CALZOLARI C., BARTOLINI D. & ZANDOMENEGHI M. (2004) - *Rischio di erosione del suolo: un esempio nel comune di Monzuno*. In: Il Suolo. Bollettino dell'Associazione Italiana Pedologi, n° 1-3 (2004).
- Regimazione eccesso idrico*. http://www.agroselviter.unito.it/enviro/studenti/eccesso_idrico.pdf
- REGIONE LOMBARDIA, DIREZIONE GENERALE TERRITORIO E URBANISTICA, REPERTORIO CARTOGRAFICO E BANCHE DATI TERRITORIALI. (2001) - *Sistema informativo territoriale*. Milano.
- REGIONE PIEMONTE – DIREZIONE SERVIZI TECNICI DI PREVENZIONE (1998) – *Eventi alluvionali in Piemonte, 2-6 novembre 1994, 8 luglio 1996, 7-10 ottobre 1996*. Torino.
- REGIONE VENETO E ORDINE DEI GEOLOGI DEL VENETO (1999) - *Grafie geologiche per la pianificazione territoriale*. Libreria Padovana Editrice, Padova.
- REGIONE VENETO, DIPARTIMENTO FORESTE, CENTRO SPERIMENTALE VALANGHE E

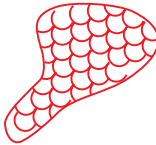




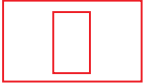








- DIFESA IDROGEOLOGICA. (1986) - *Carta di localizzazione probabile delle valanghe del comune di Auronzo di Cadore, alla scala 1: 25.000.*
- REGIONE VENETO, DIPARTIMENTO FORESTE, CENTRO SPERIMENTALE VALANGHE E DIFESA IDROGEOLOGICA. (1987) - *Carta di localizzazione probabile delle valanghe dei comuni di Zoldo Alto, Zoppé di Cadore, Forno di Zoldo, alla scala 1: 25.000.*
- SCOTTO DI SANTOLO A. (2002) - *Le calate rapide*. Argomenti di ingegneria geotecnica, Collana diretta da Carlo Vigiani, pp. 121, Napoli.
- SCRINZI G., GREGORI E., GIANNETTI F., GALVAGNI D., ZORN G., COLLE G. & ANDRELLI M.C. (2006). *Dissesti da fenomeni franosi superficiali: valutazione della propensione del territorio e della funzionalità protettiva della copertura vegetale. Indici derivati*. Forest@ 3 (1): 98-155, pp. 4-82.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2002) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. F. 154 "Susa"*.
- SIDLE R.C. (1992) - *A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability*. Water Resources Research 28 (7): 1897-1910.
- SORRISO-VALVO M. (1988) - *Studi sulle deformazioni gravitative profonde di versante in Italia*. Mem. Soc. Geol. d'It., n° 41, pp. 877-888, 1 fig.
- VALLARIO A. (1998) - *Attività estrattive, cave e recupero ambientale*. Liguori Editore, Napoli.
- VALLARIO A. (1992) - *Frane e territorio*, pp. 548, Liguori Editore, Napoli.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movement types and processes*. In: SCHUSTER R.L. & KRIZECK R.J. (Eds.) "*Landslides, analysis and control*". Washington Transportation Research Board, Spec. Rep., n° 176, pp. 11-33.
- WP/WLI – International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. 1993(a). *A suggested method for describing the activity of a landslide*. IAEG Bull., n° 47, pp. 53-57.
- WP/WLI – International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslide Inventory. 1993(b). *Multilingual Glossary for Landslides*. The Canadian Geotechnical Society. BiTech Publisher Ltd. Richmond, Canada.
- ZANCHI C. (1981) - *Influenza del diverso carico di pascolamento bovino sul ruscellamento superficiale, sul drenaggio e sulle asportazioni di suolo: esperienze pluriennali nel centro sperimentale di Fagna (Firenze)*. In: Annali dell'Istituto sperimentale per lo studio e la difesa del suolo, n° 12, pp. 193-216, Firenze.
- ZILIOU U., SCOTTON M. & DA RONC F. (2004) - *I pascoli alpini: aspetti ecologici e vegetazionali*. Quaderni SOZOOALP, n° 1, Il sistema delle malghe alpine, pp. 11-26.
- ZISCHINSKY U. (1966) - *On the deformation of high slopes*. Proc. 1st Conf. Int. Soc. Rock Mech., Sect. 2, pp. 179-185, Lisbon.

Legenda

DISSESTI DI VERSANTE

Dissesti dovuti alla gravità

- Forme Attive
- Forme Quiescenti
- Forme Inattive

	areali	simboli lineari	puntuali
Frane s.s.¹			
Crolli ²			
Ribaltamenti ²			
Crolli e/o Ribaltamenti ²			
Scorrimenti rotazionali ¹			
Scorrimenti traslativi ¹			
Colamenti lenti ¹			

DISSESTI DI VERSANTE

Dissesti dovuti alla gravità

- Forme Attive
- Forme Quiescenti
- Forme Inattive

	areali	simboli lineari	puntuali
Colate rapide di detrito ¹			
Colate rapide di fango ¹			
Colate rapide ¹ di detrito e fango			
Espansioni laterali ¹			
Movimenti complessi ¹⁻³			

DISSESTI DI VERSANTE

Dissesti dovuti alla gravità

- Forme Attive
- Forme Quiescenti
- Forme Inattive

DGPV

(Deformazioni gravitative profonde di versante)

Movimenti lenti¹ superficiali

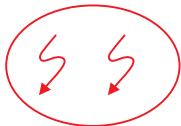
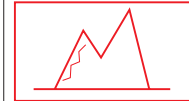
Soliflussi¹

Reptazioni
(soil creep)¹

areali

simboli
lineari

puntuali



DISSESTI DI VERSANTE

Dissesti dovuti alla gravità

- Forme Attive
- Forme Quiescenti
- Forme Inattive

Altri fenomeni di dissesto

Aree soggette a frane superficiali diffuse

Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi

Sprofondamenti

	areali	simboli lineari	puntuali

DISSESTI DI VERSANTE

Forme di versante dovute alla gravità

- Forme Attive
- Forme Quiescenti
- Forme Inattive

- Nicchie di frana
- Contropendenze
(L'apice del triangolo è orientato verso monte)
- Trincee
- Piccola frana¹
o gruppo di piccole frane non classificate

	areali	simboli lineari	puntuali
Nicchie di frana			
Contropendenze (L'apice del triangolo è orientato verso monte)			
Trincee			
Piccola frana ¹ o gruppo di piccole frane non classificate			

DISSESTI DI VERSANTE

Tipo di materiale coinvolto dai fenomeni dovuti alla gravità

Rocce (R)

Detriti (D)

Terre (T)

Esempi di applicazione:



Scorrimenti rotazionali
in rocce



Colate rapide di fango
in terre

Velocità di movimento dei fenomeni dovuti alla gravità

Classe	Descrizione	Scala delle velocità		Simbolo
1	ESTREMAMENTE LENTO	16 mm/anno	$5 \cdot 10^{-10}$ m/s	①
2	MOLTO LENTO	1,6 mm/anno	$5 \cdot 10^{-8}$ m/s	②
3	LENTO	13 m/mese	$5 \cdot 10^{-6}$ m/s	③
4	MODERATO	1,8 m/h	$5 \cdot 10^{-4}$ m/s	④
5	RAPIDO	3 m/min	$5 \cdot 10^{-2}$ m/s	⑤
6	MOLTO RAPIDO	5 m/sec	5 m/s	⑥
7	ESTREMAMENTE RAPIDO			⑦

Esempi di applicazione:



Colate rapide di detrito
"estremamente rapide"



D.G.P.V.
"estremamente lente"

DISSESTI DI VERSANTE

Dissesti dovuti al dilavamento

■ Forme Attive
■ Forme Quiescenti
■ Forme Inattive

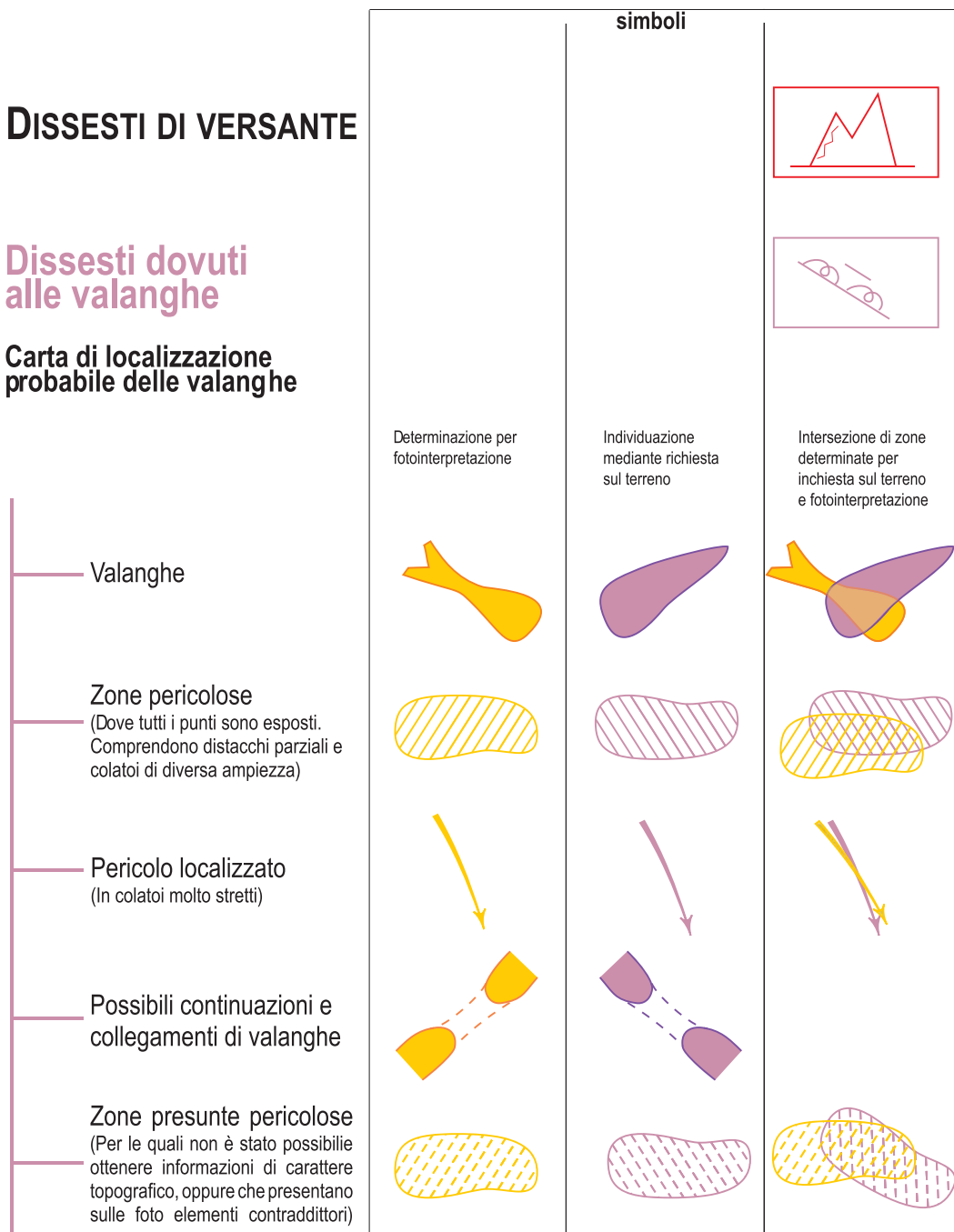
	areali	simboli lineari	puntuali
Erosione areale per ruscellamento diffuso (<i>sheet erosion</i>)			
Erosione per ruscellamento concentrato a rivoli e solchi (<i>rill erosion gully erosion</i>)			
Area a calanchi e forme similari			
Calanco isolato			
Solco da ruscellamento ¹ concentrato			



DISSESTI DI VERSANTE

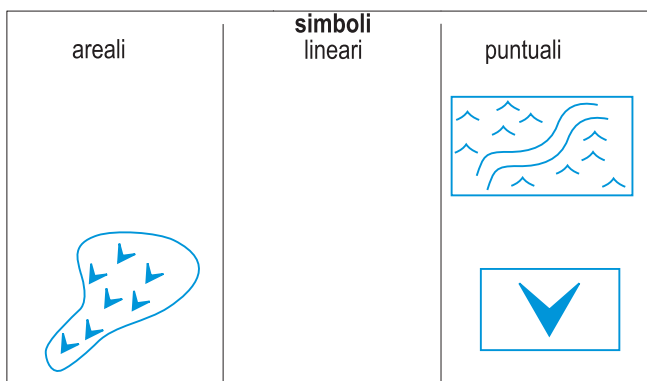
Dissesti dovuti alle valanghe

Carta di localizzazione probabile delle valanghe



ALCUNI FENOMENI DI DISSESTO IDRAULICO

Flussi detritici torrentizi⁴



Degradazioni indotte da attività antropica

Forme Attive

- Degradazioni per uso agricolo improprio
- Degradazioni per errata gestione del bosco
- Degradazioni per pascolamento
- Degradazioni per attività estrattiva

Degradazioni indotte da incendi

- Aree interessate da incendi

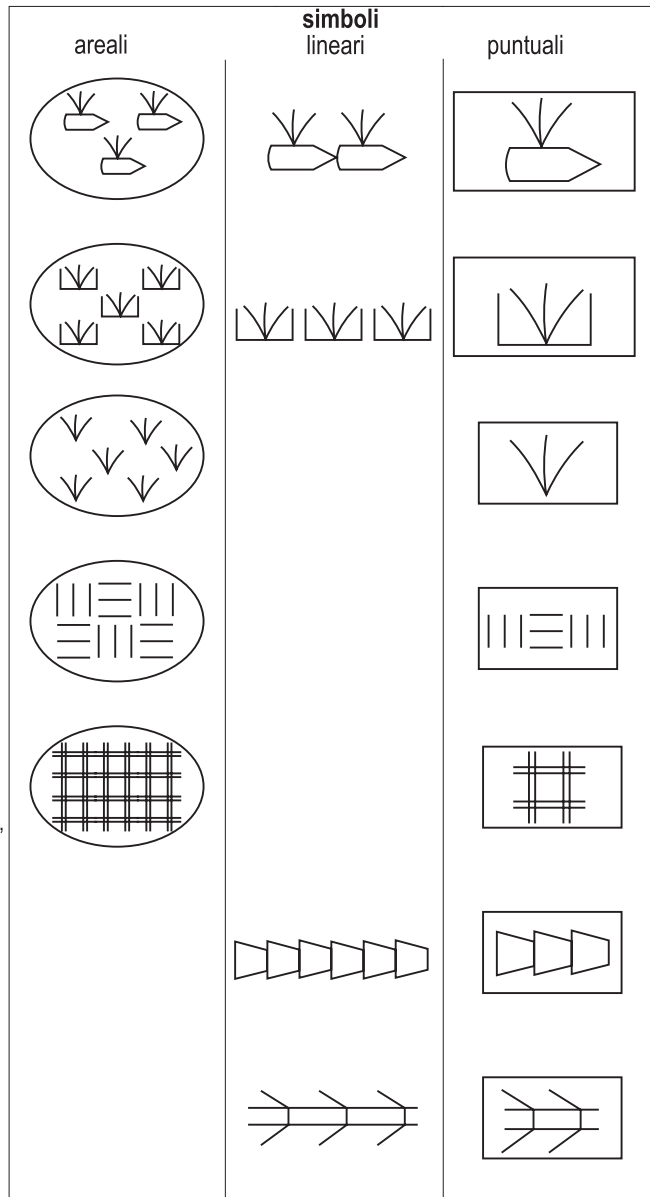
	areali	simboli lineari	puntuali
Degradazioni per uso agricolo improprio			
Degradazioni per errata gestione del bosco			
Degradazioni per pascolamento			
Degradazioni per attività estrattiva			
Aree interessate da incendi			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI ESTENSIVI

■ Opere Esistenti
■ In programmazione

Opere di controllo dell'erosione superficiale

- Inerbimenti
(semina a spaglio, idrosemina, zolle erbose, nero-verde)
- Rivestimenti antierosivi biodegradabili
(Biostuoia, biorete, biofiltro)
- Rivestimenti antierosivi sintetici
(geostuoia, geocomposto, geocella, rivestimenti vegetativi)
- Canalette
- Fossi di guardia



OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI ESTENSIVI

■ Opere Esistenti
 ■ In programmazione

Opere di stabilizzazione superficiale

	areali	simboli lineari	puntuali
Messa a dimora di talee, specie arboree e arbustive			
Fascinate, viminate, palizzate vive			
Palificate vive			
Gradonate e cordonate vive			
Grate vive			
Materassi			
Muretti a secco			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI ESTENSIVI

■ Opere Esistenti
 ■ In programmazione

Opere combinate

Consolidamento e rimodellamento di versanti eseguito con l'utilizzo misto e combinato di tecniche di ingegneria naturalistica

Interventi forestali

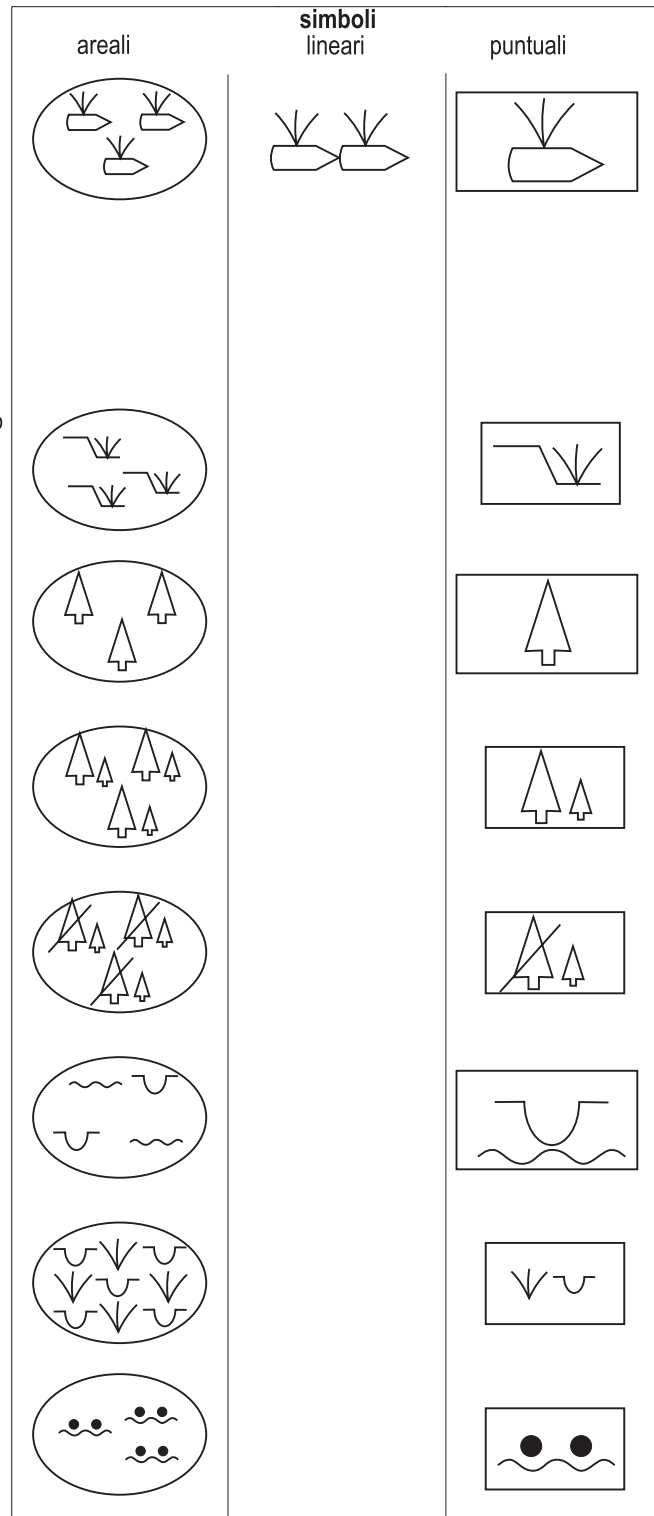
Rimboschimenti e rinfoltimenti, cure colturali

Taglio vegetazione,⁵ disboscamento selettivo

Interventi agronomici

Interventi di miglioramento e regolamentazione dei pascoli

Interventi di miglioramento e regolamentazione delle attività agricole



OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

Opere Esistenti
 In programmazione

Opere di protezione

	areali	simboli lineari	puntuali
Barriere paramassi			
	Elastiche		
Reti paramassi			
	Rigide		
Valli e scavi sagomati			
Rilevati			
Rilevati e valli			
Gallerie artificiali			
Disgaggi e pulitura dei versanti			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

■ Opere Esistenti
 ■ In programmazione

Opere di sostegno




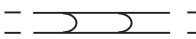
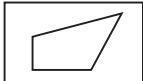


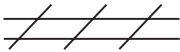
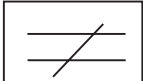
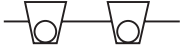





	areali	simboli lineari	puntuali
Muri			
Gabbionate			
Pali			
Ancoraggi			
Terre armate e/o rinforzate			
Muri cellulari			
Spritz beton con rete metallica e tiranti			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

 Opere Esistenti
 In programmazione

Opere drenanti

- Drenaggi superficiali
- Cunei filtranti e speroni
- Trincee drenanti
- Dreni suborizzontali
- Gallerie drenanti
- Pozzi drenanti
- Pali drenanti

areali	simboli lineari	puntuali
		
		
		
		
		
		
		
		

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

■ Opere Esistenti
■ In programmazione

Altre opere


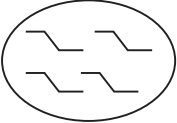



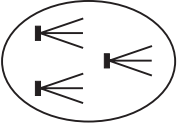
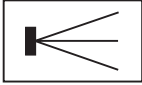
— Riprofilatura, gradonatura, scoronamento

Opere speciali

— Iniezioni, *jet grouting*

— Trattamenti termici, chimici, elettrici

— Reticoli di micropali

	areali	simboli lineari	puntuali
			
			
			
			
			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

Opere Esistenti
 In programmazione

Difesa dalle colate rapide di detrito e fango

	areali	simboli lineari	puntuali
Briglie ⁵			
Briglie chiuse ⁵ o di trattenuta			
Briglie aperte o selettive			
Rilevati ⁵			
Vasche di accumulo/ ⁵ piazze di deposito			
Strutture di diversione			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

Opere Esistenti
 In programmazione

Opere di difesa delle valanghe

	areali	simboli lineari	puntuali
Difesa passiva			
Cunei spartivalanghe			
Gallerie artificiali tettoie			
Muri e rilevati di deviazione o di arresto			
Deflettori del vento			
Coni di frenaggio			
Difesa attiva			
Rastrelliere, reti da neve, ponti da neve			

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI TORRENTI

■ Opere Esistenti
■ In pro. grammazione

Opere trasversali

- Briglie⁵
- Briglie chiuse⁵ o di trattenuta
- Soglie
- Pennelli o repellenti
- Tratti di corso d'acqua interessati da opere trasversali (briglie, soglie, pennelli)
- Rampe in pietrame

areali	simboli lineari	puntuali

OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI SISTEMAZIONE DEI TORRENTI

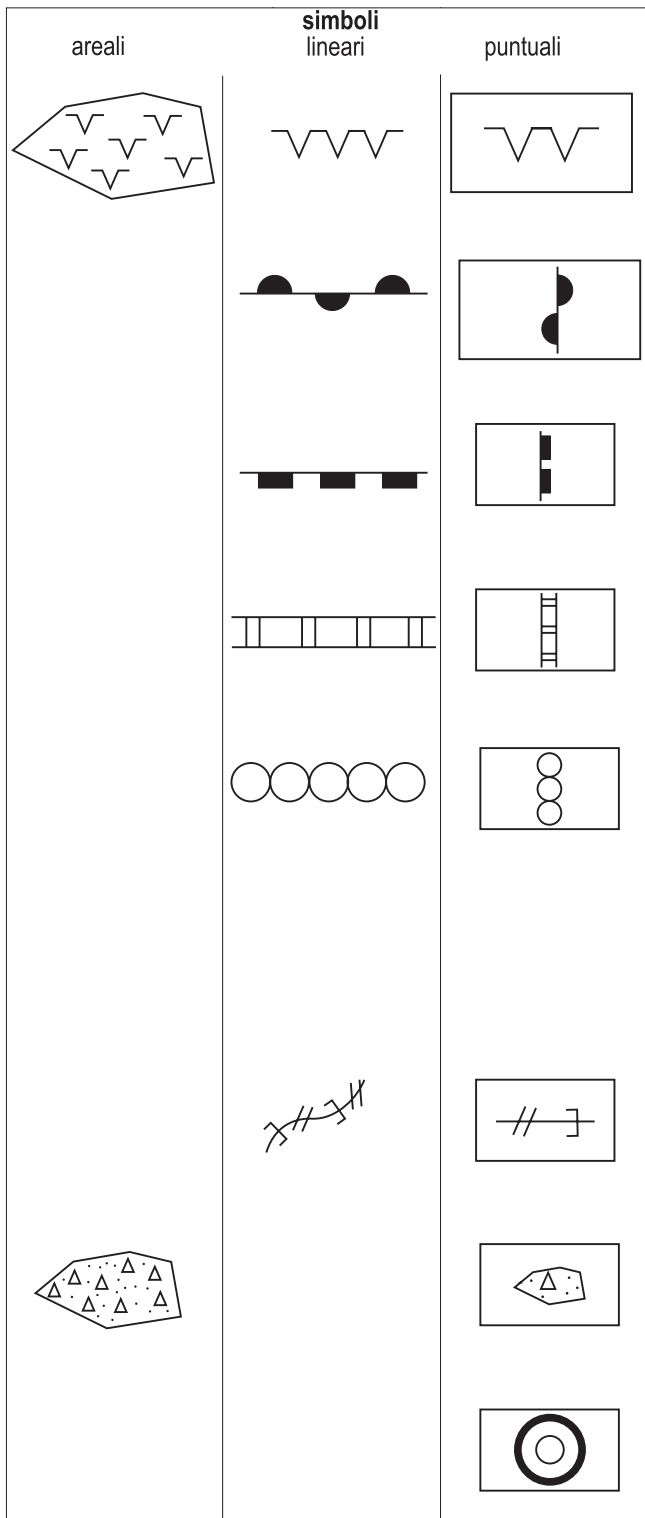
■ Opere Esistenti
 ■ In programmazione

Opere longitudinali

- Difese spondali
 (gabbionate, scogliere, muri di sponda, difese flessibili, ecc.)
- Cunettoni e canalizzazioni
- Rivestimenti

Altre opere

- Adeguamento sezione di deflusso dell'alveo
 (ricalibratura sezioni, rimozione depositi alluvionali, demolizioni, rinaturalizzazioni, tagli selettivi della vegetazione, sistemazioni delle confluenze, ecc.)
- Vasche di accumulo del⁵ trasporto solido o piazze di deposito
- Adeguamento delle luci⁵ di infrastrutture viarie e ferroviarie



OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI DIFESA DALLE PIENE

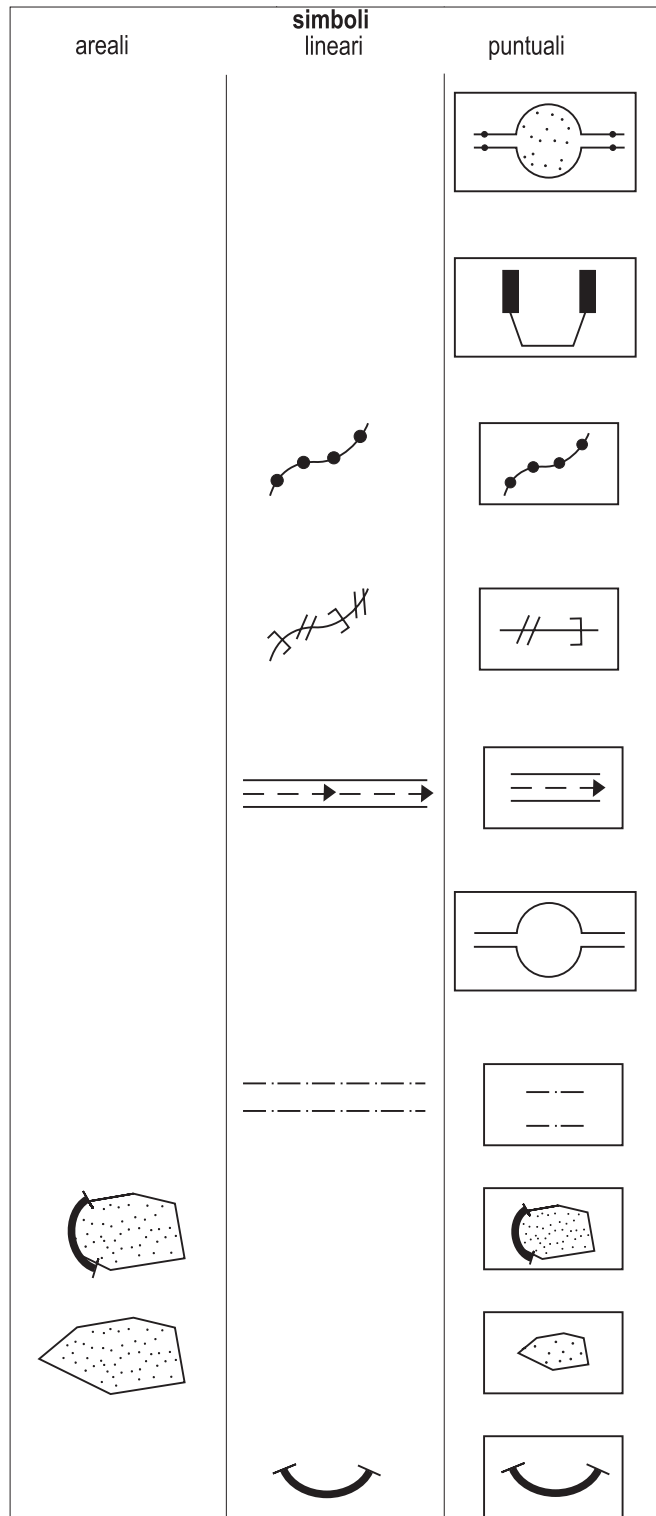
■ Opere Esistenti
 ■ In programmazione

Opere per l'aumento della capacità di portata dell'alveo

- Argini
- Ricalibrature e modellamenti degli alvei
- Drizzagni o rettifiche fluviali

Opere per la riduzione della portata dell'alveo

- Diversivi e scolmatori
- Serbatoi di piena
- Casse di espansione
- Dighe, opere principali di sbarramento fluviale

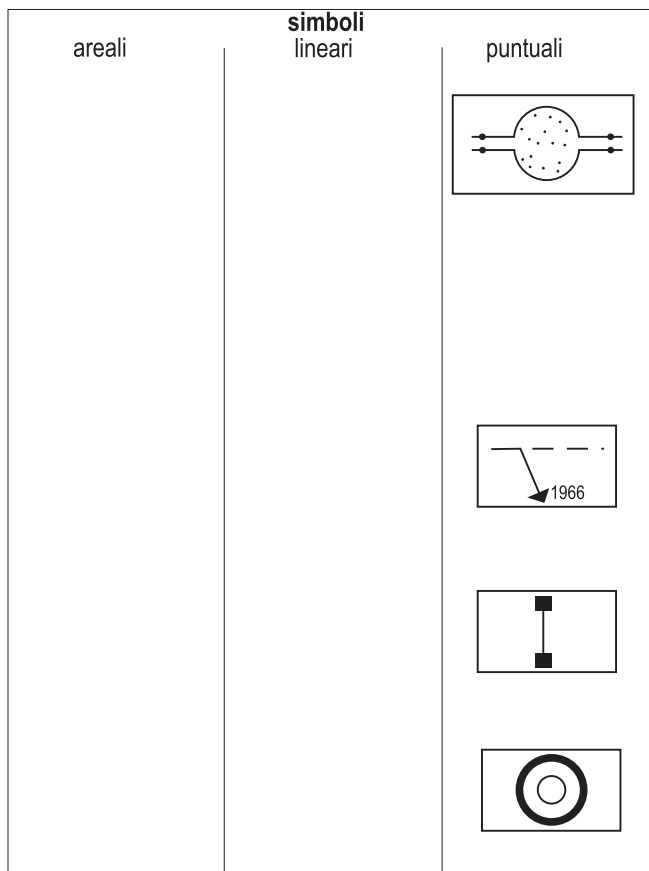


OPERE E INTERVENTI STRUTTURALI INTENSIVI DI DIFESA DALLE PIENE

■ Opere Esistenti
■ In programmazione

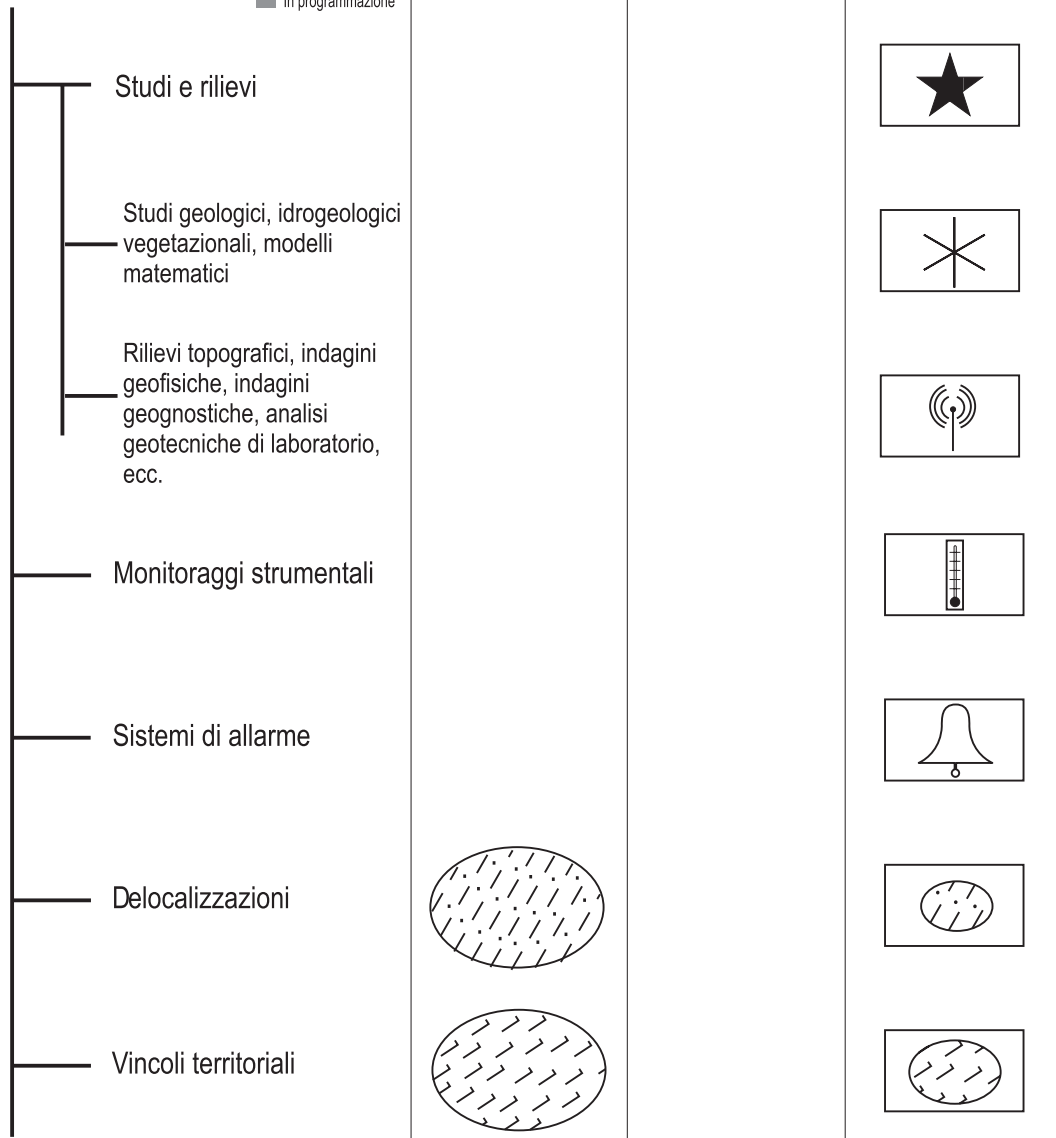
Altre opere

- Deviiazione artificiale⁶ di corso d'acqua
- Principali opere di regolazione idraulica (impanti di sollevamento, idrovore, paratie)
- Adeguamento delle luci⁵ di infrastrutture viarie e ferroviarie



INTERVENTI NON STRUTTURALI



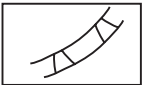

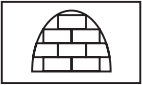

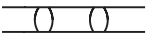
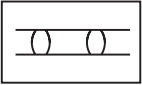



■ Opere Esistenti
■ In programmazione



OPERE E INTERVENTI COMPLEMENTARI

■ Opere Esistenti
■ In programmazione

Realizzazione, adeguamento, ripristino viabilità
Consolidamento edifici
Consolidamento e riempimento cavità sotterranee
Demolizioni
Ripristino, adeguamento condotte acque bianche e nere
Manutenzioni (opere esistenti)
Taglio vegetazionale, ⁵ disboscamento selettivo

areali	simboli lineari	puntuali
		
		
		
		
		
		
		
		

NOTE

- 1 *I simboli vanno orientati secondo la linea di massima pendenza del versante.*
- 2 *Per i crolli e i ribaltamenti i relativi simboli (triangoli e rettangoli) non vanno orientati.*
- 3 *Indicare i due o tre movimenti prevalenti attraverso la combinazione dei rispettivi simboli.
Es.: Scorrimento rotazionale evolvente in colamento lento.*
- 4 *I simboli vanno orientati secondo la direzione dell'impluvio*
- 5 *Voce e simbolo presente in altre categorie*
- 6 *In associazione con in simbolo di canale artificiale.
Indicare quando possibile l'anno di realizzazione della deviazione artificiale*

QUADRO SINOTTICO DELLE OPERE E DEGLI INTERVENTI

Opere e interventi	Strutturali	Estensivi	Opere di controllo dell'erosione superficiale	Inerbimenti (semina a spaglio, idrosemina, zolle erbose, nero-verde) Rivestimenti antierosivi biodegradabili (biostuoia, biorete, biofeltro) Rivestimenti antierosivi sintetici (geostuoia, geocomposito, geocella, rivestimenti vegetativi) Canalette Fossi di guardia		
			Opere di stabilizzazione superficiale	Messa a dimora di talee, specie arboree e arbustive Fascinate, vimate, palizzate vive Palificate vive Gradonate e cordonate vive Grate vive Materassi Muretti a secco		
			Opere combinate	Consolidamento e rimodellamento di versanti eseguito con l'utilizzo misto e combinato di tecniche d'ingegneria naturalistica		
			Interventi forestali	Rimboschimenti e rinfoltimenti, cure colturali Taglio vegetazione, disboscamento selettivo		
			Interventi agronomici	Interventi di miglioramento e regolamentazione dei pascoli Interventi di miglioramento e regolamentazione delle attività agricole		
			Strutturali	Sistemazione dei versanti	Opere di protezione	Barriere paramassi (elastiche e rigide) Reti paramassi Valli e scavi sagomati Rilevati Rilevati e valli Gallerie artificiali Disgaggi e pulitura dei versanti
					Opere di sostegno	Muri Gabbionate Pali Ancoraggi Terre armate e/o rinforzate Muri cellulari Spritz beton con rete metallica e tiranti
					Opere drenanti	Drenaggi superficiali Cunei filtranti e speroni Trincee drenanti Dreni suborizzontali Gallerie drenanti Pozzi drenanti Pali drenanti
					Altre opere	Riprofilatura, gradonatura, scoronamento
					Opere speciali	Iniezioni, jet grouting Trattamenti termici, chimici, elettrici Reticoli di micropali
					Opere di difesa dalle colate rapide di detrito e fango	Briglie Briglie chiuse o di trattenuta Briglie aperte o selettive Rilevati Vasche di accumulo/piazze di deposito Strutture di diversione
	Opere di difesa dalle valanghe	Cunei spartivalanghe Gallerie artificiali, tettoie Muri e rilevati di deviazione o di arresto Deflettori del vento Coni di frenaggio Rastrelliere, reti da neve, ponti da neve				
	Intensivi	Sistemazione dei torrenti			Opere trasversali	Briglie Briglie chiuse o di trattenuta Soglie Pennelli o repellenti Tratto di corso d'acqua interessato da opere trasversali (briglie, soglie, pennelli) Rampe in pietra
					Opere longitudinali	Difese spondali (gabbionate, scogliere, muri di sponda, difese flessibili, ecc.) Cunettoni e canalizzazioni Rivestimenti
					Altre opere	Adeguamento sezione di deflusso alveo (ricalibratura sezione, rimozione depositi alluvionali, demolizioni, rinaturalizzazioni, tagli selettivi della vegetazione, sistemazioni delle confluenze, ecc.) Vasche di accumulo del trasporto solido o piazze di deposito Adeguamento delle luci di infrastrutture viarie e ferroviarie
		Difesa dalle piene			Opere per l'aumento della capacità di portata dell'alveo	Argini Ricalibrature e modellamenti degli alvei Drizzagni o rettifiche fluviali
					Altre opere	Diversivi e scolmatori Serbatoli di piena Casse di espansione Dighe, opere principali di sbarramento fluviale Deviazione artificiale di corso d'acqua Principali opere di regolazione idraulica (impianti di sollevamento, idrovoce, paratie) Adeguamento delle luci di infrastrutture viarie e ferroviarie
	Non strutturali	Studi e rilievi (studi geologici, idrogeologici, vegetazionali, modelli matematici) Rilievi topografici, indagini geofisiche, indagini geognostiche, analisi geotecniche di laboratorio, ecc.) Monitoraggi strumentali Sistemi di allarme Delocalizzazioni Vincoli territoriali				
		Opere complementari Realizzazione, adeguamento, ripristino viabilità Consolidamento edifici Consolidamento e riempimento cavità sotterranee Demolizioni Ripristino, adeguamento condotte acque bianche e nere Manutenzioni (opere esistenti) Taglio vegetazionale, disboscamento selettivo				

Tabella 3.1 – Schema di classificazione delle opere e degli interventi più utilizzati nel territorio italiano per la prevenzione e difesa dei versanti e dei fiumi.