

# I processi d'instabilità naturale nella Regione Piemonte

MARIO GOVI

*Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica Bacino Padano, Torino*

La diffusa lacuna conoscitiva esistente in molte regioni italiane in merito ad una precisa individuazione delle aree esposte a pericolo di frane ed esondazioni fluviali, non solo costituisce motivo d'incertezza nella scelta degli interventi di sistemazione e difesa da attuare con priorità, ma risulta altresì condizionante negli studi di pianificazione territoriale dedicati ad espansioni urbane e a nuove proposte localizzative.

Al fine di colmare tale lacuna nel territorio di sua competenza, la Regione Piemonte avviava nel 1978 un rapporto collaborativo con l'Istituto del CNR per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano, che si impegnava a promuovere e coordinare una serie di ricerche per la cartografia sistematica dei fenomeni d'instabilità nell'intero territorio regionale.

Tale esigenza era particolarmente sentita e sollecitata dall'Assessorato alla Pianificazione Territoriale, che poneva in evidenza come ogni atto pianificatorio non possa prescindere da una preventiva analisi delle interazioni tra processi evolutivi naturali e linee di evoluzione del sistema socio-economico (Rivalta 1978). La produzione di un quadro conoscitivo di sintesi riguardanti i pericoli di natura geologica ed idraulica in tutta la regione piemontese, appariva indifferibile, tenuto conto anche dei gravi danni provocati dagli eventi alluvionali che nel maggio 1977 avevano colpito le Valli Pellice e Chisone, nell'ottobre del medesimo anno i bacini dell'Alessandrino meridionale e nell'agosto del 1978 la Val d'Ossola.

Le attività di rilevamento, ricerca e selezione dei vari dati, inerenti le condizioni geologiche, morfometriche, idrologiche, idrografiche e vegetazionali hanno richiesto apporti interdisciplinari e lunghi tempi, in parte per l'addestramento del personale e soprattutto per l'interpretazione, la sintesi e la rappresentazione cartografica delle informazioni. Al lavoro hanno partecipato ricercatori e tecnici dell'Istituto CNR per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano, geologi ed ingegneri del Settore per la Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico ed altro personale tecnico assunto dalla Regione Piemonte nell'ambito della legge 285/77 per l'occupazione giovanile.

## Analisi dei problemi e metodologie d'indagine

I fenomeni d'instabilità presi in considerazione sono prevalentemente quelli che si manifestano attraverso

pulsazioni più o meno intense, sotto l'azione delle quali viene modificato l'assetto morfologico precedente e si creano nuove condizioni di equilibrio dinamico, raggiunte soprattutto attraverso movimenti di materiali rocciosi e traslazione di volumi idrici, spesso in miscele solido-liquide, nelle quali le due componenti sono variamente rappresentate.

Esperienze recenti e del passato pongono chiaramente in evidenza che la difesa da questi processi, la tutela della pubblica incolumità e delle risorse ambientali devono fondare su un quadro di conoscenza che ponga in evidenza non solo i fenomeni in atto, ma fornisca anche gli elementi necessari ad una previsione di quelli potenziali, onde prevenirli adottando opportune strategie d'intervento che, secondo le diverse situazioni saranno finalizzate a:

- rimuovere le cause che generano il pericolo ed impedire quindi che un determinato fenomeno si verifichi;
- realizzare sistemi difensivi capaci di controllare lo sviluppo dei fenomeni annullandone od attenuandone gli effetti più gravi;
- imporre vincoli o limitazioni d'uso del territorio onde evitare la proliferazione di nuove situazioni di potenziale pericolo.

Considerare l'eventualità dei processi ed esaminare i possibili effetti significa, per usare una terminologia ormai di uso corrente, valutare la pericolosità ed il rischio presenti in una determinata area.

Secondo la più recente letteratura internazionale (Tung & Mays 1981, U.S. Geol. Survey 1982, Proje Dut 1983, Canceill 1983, Haymes 1984, Varnes 1984, Hartlen & Viberg 1988, Einstein 1988), il rischio geologico è definito dalla probabilità che un determinato evento naturale si verifichi, incidendo sull'ambiente fisico in modo tale da recare danno all'uomo ed alle sue attività.

La valutazione in termini probabilistici dell'instabilità potenziale, indipendentemente dalla presenza antropica, definisce invece il grado di pericolosità di una certa area in funzione della tipologia, della quantità e della frequenza dei processi che vi si possono innescare. La pericolosità, dunque, si traduce in rischio non appena gli effetti dei fenomeni naturali implicano un costo socio-economico da valutarsi in relazione all'indice di valore attribuibile a ciascuna unità territoriale. Tale mi-

sura di valore socio-economico integra i parametri indicatori dei processi naturali nella determinazione dei diversi livelli di rischio.

Questi criteri di valutazione derivano fondamentalmente da una generalizzazione di procedure specificatamente adottate da vari paesi in zone sismiche ed in aree inondabili, soprattutto per rispondere ad esigenze conoscitive previsionali nel campo assicurativo e progettuale. Si tratta dunque di indagini a grande scala riguardanti settori con sviluppi insediativi per lo più concentrati, interessati da processi naturali tipologicamente omogenei e spazialmente per lo più continui. In questi casi esiste quasi sempre un rapporto diretto e immediato di causa ed effetto, tra l'attivazione dei processi naturali e i danni prodotti.

Un'impostazione di lavoro secondo questo schema pone tuttavia dei problemi di realizzazione, quando si debbano considerare fenomenologie come la franosità e l'attività torrentizia, tipologicamente variabili da un luogo ad un altro, e per lo più puntuali e quindi discontinue, spesso reciprocamente interagenti con possibilità di produrre pericolosi effetti indiretti. Esempio più recente il grande franamento in alta Valtellina, che ha prodotto lo sbarramento del fiume Adda, un vaso lacustre con allagamento verso monte e situazioni di elevato pericolo verso valle, nell'eventualità di rapida tracimazione al di sopra dei materiali d'accumulo (Govi 1989).

Le complicazioni più importanti derivano da una mancanza di dati statistici specificatamente raccolti, da utilizzarsi per la determinazione della frequenza di questi processi. Esistono gli Annali Idrologici che ci forniscono, per gli ultimi cinquant'anni, dati circa la distribuzione giornaliera o talora oraria delle piogge e delle portate, ma non esistono "Annali dei dissesti", non abbiamo cioè una registrazione continua dei fenomeni franosi e torrentizi con indicazioni parametriche delle modalità con cui si sono verificati. Di conseguenza gli elementi conoscitivi di base normalmente disponibili forniscono, di questi fenomeni, solo un quadro attualistico e perciò del tutto statico.

I principali condizionamenti ad una zonizzazione integrale ed omogenea del territorio in funzione della pericolosità e quindi anche del rischio, sono riconducibili pertanto alla peculiare discontinuità dei fenomeni franosi e di quelli torrentizi che, se esaminati solo nel loro contesto geolitologico e/o morfologico, risultano spesso difficilmente prevedibili e valutabili in termini di frequenza. Ma se di questi fenomeni si considerano le principali cause innescanti, analizzandole sistematicamente in relazione alle diverse tipologie di processi, il problema può trovare un'accettabile soluzione, poiché i motivi che più spesso provocano direttamente l'instabilità (precipitazioni, gelo e disgelo, oscillazioni di falda, piene dei corsi d'acqua e sismicità), sono quantificabili sia nei loro valori soglia di intensità che nella distribuzione di frequenza. Essi esercitano la loro azione sull'intero spazio considerato, pur producendo effetti differenziati

da punto a punto, a seconda delle locali condizioni più o meno predisponenti al dissesto dei singoli luoghi.

Una procedura di ricerca che tenga conto di tali fatti deve necessariamente basarsi su una raccolta, la più ampia possibile, di dati retrospettivi circa la ripetitività nel tempo dei vari processi, in relazione alla frequenza di determinate cause.

In sintesi, occorre acquisire dettagliati elementi conoscitivi sui seguenti argomenti:

- tipologia e caratteristiche cinematico-evolutive dei processi di instabilità;
- localizzazione dei fenomeni in funzione delle differenti condizioni ambientali;
- principali cause innescanti che possono condizionare lo sviluppo dei processi nello spazio e regolarne la frequenza nel tempo.

Questo approccio implica una preventiva conoscenza delle caratteristiche naturali del territorio, della litologia, della struttura, della morfologia, che singolarmente o interagendo fra di loro, possono realizzare condizioni più o meno predisponenti all'instabilità. Il quadro conoscitivo riguardante i rapporti fra questi fattori deve essere integrato dai dati sui fenomeni avvenuti in passato, e di questi va esaminata la tipologia e la distribuzione su intervalli di tempo sufficientemente ampi.

Adottando questi criteri di indagine è possibile utilizzare modelli statistici, con cui elaborare ai fini previsionali i dati relativi a eventi verificatisi in passato, estrapolandoli al futuro sia per quanto riguarda la loro frequenza nel tempo che la maggiore o minore potenziale concentrazione in un determinato spazio. In questa elaborazione si assume che la probabilità di un determinato evento non cambi entro ragionevoli intervalli di tempo, purché non si modifichino drasticamente gli attributi intrinseci d'ordine naturale.

## **Elaborazione dei dati e cartografie tematiche**

L'attività di documentazione sistematicamente svolta dal personale dell'Istituto CNR di Torino in tutte le provincie dell'Italia settentrionale, ha condotto alla costituzione di una banca-dati riguardante i dissesti verificatisi nel bacino padano a partire dall'inizio del secolo scorso.

Le numerose notizie storiche raccolte sulle calamità naturali che hanno colpito il Piemonte nell'intervallo di tempo considerato, hanno messo in luce che in questa regione i danni prodotti risultarono in grandissima prevalenza connessi ad eventi idrologici di elevata intensità o di lunga durata. Dal 1801 al 1989 gli eventi di pioggia che hanno provocato dissesti, interessando più bacini principali del Piemonte, furono 82 (fig. 1); in termini statistici ciò significa che questa regione viene colpita, in settori diversi del suo territorio, mediamente una volta ogni 2,3 anni.

Le ricerche sulla regione piemontese, condotte dall'I.R.P.I. di Torino in stretta collaborazione con il Setto-

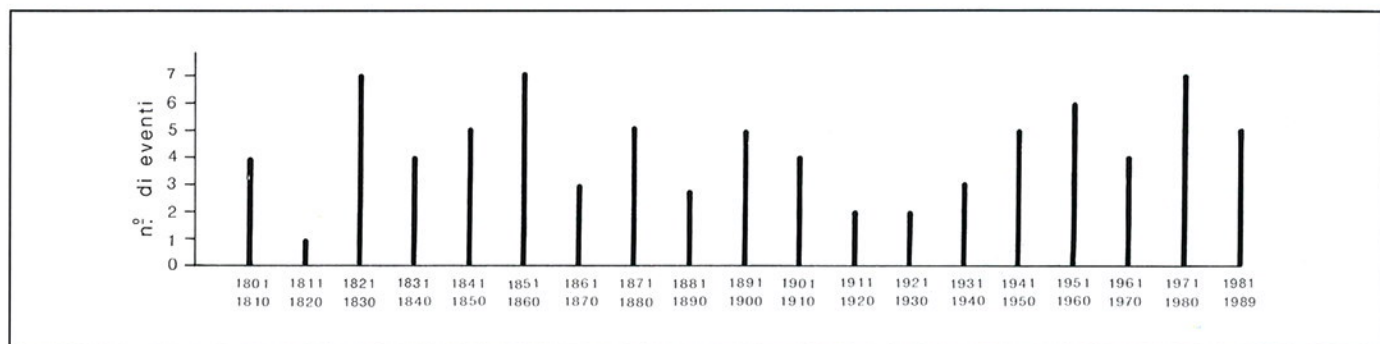


Fig. 1. Frequenza per decenni degli eventi pluviometrici ed alluvionali in Piemonte, nel periodo 1801-1989.

re per la Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico sono state sviluppate pertanto con riferimento soprattutto alla valutazione dei pericoli derivanti dai processi d'instabilità innescabili da fenomeni meteorologici straordinari.

Il lavoro si è articolato nelle sue linee essenziali in base ai criteri precedentemente esposti.

Per l'intero territorio regionale sono state realizzate o derivate le cartografie tematiche di base, (alla scala 1:100.000 o 1:25.000 secondo il dettaglio delle informazioni disponibili) che evidenziano gli attributi naturali intrinseci:

a) caratteristiche litologico-tecniche, strutturali e giaciture dei materiali rocciosi che costituiscono il substrato e distribuzione dei terreni incoerenti che compongono la coltre di rivestimento superficiale;

b) caratteristiche morfologiche e vegetazionali dei versanti e delle incisioni vallive, soprattutto in riferimento ad una distinzione per classi dei valori di pendenza, dell'energia del rilievo, della densità della rete di drenaggio e della distribuzione della copertura boschiva a carattere permanente;

c) caratteristiche climatiche con particolare riferimento alla distribuzione delle precipitazioni medie annue e delle piogge intense di prefissata frequenza, nonché all'andamento stagionale delle isoterme, con indicazioni sui cicli di gelo e disgelo.

La documentazione citata ai primi due punti (a-b), sulla quale esiste un'ampia letteratura in merito a metodologie e procedure di realizzazione, ha posto in luce principalmente i fattori naturali, che interagendo predispongono all'instabilità; i parametri indicati al punto c), corrispondono invece a forze agenti esterne che, nel contesto delle condizioni ambientali determinate dai fattori precedenti, possono svolgere sia un ruolo preparatorio che innescante.

A questi elementi conoscitivi di base, è stato sovrapposto il quadro dei processi di instabilità, realizzato secondo i seguenti criteri distintivi:

#### **Instabilità attuale**

In questa categoria rientrano oltre ai fenomeni in atto anche quelli che hanno manifestato più o meno ricorrenti attivazioni negli ultimi 30 anni. I processi di instabilità verificatisi entro questo intervallo di tempo sono risultati quasi sempre precisamente databili, ben

identificabili nella tipologia e negli effetti prodotti, nonché verificabili negli stati d'equilibrio raggiunti attraverso osservazioni dirette, sia sul terreno che su tre serie di riprese aerofotografiche effettuate a cadenza pressoché decennale sull'intero territorio regionale (1954, 1963, 1976-79); per alcuni bacini sono stati eseguiti studi di aggiornamento in base ad aerofotografie del 1987-88.

Dati riguardanti le frane attive, i processi d'erosione e gli alluvionamenti recenti lungo i corsi d'acqua sono stati sistematicamente raccolti in tutto il Piemonte presso gli Uffici Tecnici del Genio Civile, degli Ispettorati Forestali, delle Comunità Montane e delle Amministrazioni provinciali e comunali. Un quadro degli effetti prodotti in diversi bacini del Piemonte in occasione dei più gravi eventi alluvionali verificatisi nell'ultimo trentennio, è stato inoltre ricavato in base allo studio interpretativo di aerofotografie effettuate sulle zone colpite a breve distanza di tempo degli eventi stessi (giu. 1957, nov. 1962, nov. 1968, febb. 1972, mag. 1977, ott. 1977, ago. 1978, ott. 1979, ago. e sett. 1981, ago. 1987, ago. 1988).

Indagini specifiche sul terreno riguardanti la tipologia delle frane, il meccanismo dei fenomeni di trasporto in massa torrentizio e gli effetti delle piene fluviali, sono state condotte da personale dell'Istituto di Torino in occasione di tutti gli eventi pluviometrici, manifestatisi negli ultimi 20 anni.

Uno studio sistematico è stato dedicato all'analisi dei processi lungo i corsi d'acqua (esondazione, erosione, trasporto e deposito), che sono stati esaminati nei loro aspetti dinamici attraverso lo studio di aerofotografie effettuate con frequente ripetitività nell'ultimo trentennio.

Un esame delle forme caratteristiche assunte dagli alvei, ha consentito di classificarli tipologicamente in funzione dei processi prevalenti che ne condizionano l'attuale sviluppo plano-altimetrico.

#### **Instabilità progressa**

Questo aspetto delle fenomenologie d'instabilità è stato preso in attenta considerazione, tenuto conto della frequenza con la quale, sia in Italia che in altri paesi, viene sottolineata la diffusa tendenza di molti processi d'instabilità a presentarsi come riattivazione di fenomeni già avvenuti in passato nei medesimi luoghi (fig. 2).



Fig. 2. Lo scivolamento di Monte Mater in Val Vigizzo (Osso-la), generato dalle piogge durante l'evento dell'8 agosto 1978, per riattivazione di un antico fenomeno post-glaciale.

Tale situazione è stata riscontrata con rilevante frequenza anche in Piemonte, ogni qualvolta in occasione di un importante movimento franoso, è stato possibile esaminare per mezzo di documentazioni pregresse, soprattutto aerofotografiche, le condizioni antecedenti del versante.

Sono state quindi sistematicamente cartografate tutte le paleo-frane, cioè quei movimenti gravitativi verificatisi in epoca post-glaciale, non meglio precisabile, in periodi comunque successivi alla configurazione degli attuali fondovalle. Si tratta spesso di fenomeni di grandi dimensioni, coinvolgenti quasi sempre il substrato roccioso, per i quali la zona di distacco e le forme di accumulo risultano ancora molto ben identificabili.

La maggior evidenza morfologica presentata in genere da questi fenomeni nei tratti superiori delle vallate alpine, rispetto a ciò che si osserva nei tronchi medi ed inferiori, e le più strette relazioni con lo stadio evolutivo della rete idrografica, lasciano supporre che procedendo da valle verso monte i processi gravitativi si siano verificati in epoche progressivamente più recenti.

Il grado di sviluppo di queste antiche masse instabili varia da luogo a luogo, potendosi riscontrare un'intera gamma di situazioni da quella corrispondente ad una fase d'instabilità iniziale, fino a quella di completo collasso. I principali stadi evolutivi, che esprimono anche la diversa dinamica dei processi, possono così esser sintetizzati:

a) deformazioni gravitative in roccia (sackung, deep creep), riguardanti le parti alte dei versanti, con fratturazioni a cuneo e scarpate in contropendenza disposte parallelamente al crinale; i settori medio inferiori risultano interessati da fenomeni di rigonfiamento e talora piegamento plastico delle masse rocciose, progressivamente meno accentuati procedendo verso il basso. Nell'insieme si tratta di processi ancora poco evoluti che non corrispondono ancora a vere e proprie frane;

b) dai precedenti si passa a fenomeni che denunciano traslazioni sull'intera massa destabilizzata, con evidenti

svuotamenti in nicchia e rigonfiamenti nella parte inferiore sopravanzata, senza tuttavia che quest'ultima abbia raggiunto il fondovalle producendovi significative forme di accumulo;

c) in ordine crescente di sviluppo evolutivo seguono franamenti di masse rocciose che hanno invaso parzialmente il fondovalle, determinando spesso sensibili deviazioni nei corsi d'acqua;

d) i fenomeni dinamicamente più attivi trovano infine riscontro in quelle situazioni caratterizzate da rilevanti accumuli sull'intera sezione del fondovalle, con appoggio e talora con risalita dei materiali sul versante opposto, creando condizioni più o meno prolungate di sbarramento del corso d'acqua ed accentuate modificazioni nel profilo longitudinale di quest'ultimo.

Le caratteristiche esterne delle masse destabilizzate non sempre consentono un loro preciso inquadramento nella classificazione proposta da Varnes (1978): crolli e scorrimenti traslativi, semplici, rotazionali o planari, sembrano esser subordinati a forme complesse, contraddistinte da meccanismi di movimento differenziati, soprattutto nella evoluzione delle parti inferiori rispetto a quelle superiori del corpo di frana. Nei tratti alti di quasi tutti i bacini risultano abbastanza frequenti le deformazioni gravitative profonde.

Il quadro così ottenuto, circa la distribuzione di questi fenomeni, risultando molto ampio nello spazio ed essendosi realizzato in un lungo intervallo di tempo, ha fornito inequivocabili elementi di giudizio in merito alla modalità con cui hanno reagito i vari litotipi alle sollecitazioni climatiche, morfogenetiche e neotettoniche, anche le più sfavorevoli.

Oltre il 25% delle paleofrane rilevate presenta diffusi segni di riattivazione recente, talora di movimenti in atto, collocandosi quindi nella categoria precedente. Tutte le grandi frane (di dimensioni superiori a 8-10 ha) segnalate in Piemonte negli ultimi 70 anni ed il 90% di quelle riguardanti abitati da consolidare o trasferire ai sensi della Legge dello Stato n. 445, corrispondono a "paleofrane" tuttora in condizioni di equilibrio geostatico precario.

Dall'insieme delle considerazioni precedenti emerge l'importanza di un preciso riconoscimento di questi fenomeni: il loro sviluppo areale in un ambiente montano ove gli spazi per insediamenti sono per lo più limitati, la presenza in seno ad essi di settori a debole pendenza od in contropendenza, la diffusione di emergenze idriche, costituiscono spesso motivi preferenziali per nuove localizzazioni abitative, qualora si ignori l'esistenza dell'instabilità latente.

Per quanto riguarda i processi torrentizi di trasporto in massa, una misura dell'intensità con cui si sono manifestati in passato, è stata ricavata da un attento esame delle conoidi alluvionali, attraverso le quali in genere i bacini tributari si raccordano al fondovalle principale. Se si considera infatti che queste forme di accumulo, sono il risultato di ripetute pulsazioni di piena con rilevante apporto solido, una valutazione dei loro volu-

mi ed osservazioni sulle caratteristiche dei canali di scarico, costituiscono indici molto significativi dell'intensità e pericolosità dei processi che globalmente si sono verificati all'interno dei bacini alimentatori.

Lungo la rete idrografica principale, la persistenza nel tempo di determinati tipi d'alveo, in relazione agli effetti esercitati dai processi di modellamento prevalenti nei vari tronchi, è stata verificata tramite uno studio foto-interpretativo delle antiche forme fluviali adiacenti agli attuali corsi d'acqua ed in base ad un sistematico confronto con cartografie antiche.

Un esame sulle aerofotografie ha consentito infatti di riconoscere spesso al contorno dei corsi d'acqua, diffuse tracce di tronchi d'alveo disattivati, corrispondenti a più antichi sviluppi planimetrici fluviali; se n'è ricavato un quadro dei luoghi caratterizzati da più o meno attive trasformazioni idrografiche ed attraverso documentazioni storiche relative ad intervalli di tempo pari a circa 180 anni, si sono ricostruite le successive fasi evolutive naturali od artificialmente indotte, fino al raggiungimento della situazione attuale. È stato possibile inoltre identificare le relazioni intercorrenti tra le più importanti modificazioni fluviali e i maggiori eventi di piena ricavando, sulla scorta di quanto accaduto in passato, basi di orientamento sulla tendenza evolutiva futura.

### **Instabilità potenziale**

L'esame delle relazioni intercorrenti tra i fenomeni d'instabilità recentemente attivi o quiescenti ed i parametri naturali intrinseci del territorio ha consentito di delineare, per estrapolazioni successive, zone omogenee caratterizzate da più o meno elevata propensione a certi tipi di dissesto.

La distribuzione delle diverse frane nell'ambito delle varie unità litologico-strutturali, ha fornito un quadro generale della franosità potenziale in funzione dei fattori geologici, nel contesto delle differenti condizioni morfo-evolutive del rilievo.

Ad esempio, nel settore alpino, la franosità nel complesso dei Calcescisti, espressa come percentuale di area in frana rispetto alla superficie occupata dall'unità litologica, è risultata mediamente del 16,1%, presentando valori massimi nei Fogli Bardonecchia e Cesana dove raggiunge percentuali pari a circa il 25%. Nel complesso delle Pietre Verdi (serpentiniti e prasiniti ecc.) la franosità non supera in media il 5,9%, quella degli Gneiss occhiadini e granitoidi si riduce a 2,25%. Nell'ambito delle formazioni sedimentarie dei bacini collinari e appenninici, il Complesso flyschoido indifferenziato presenta in Val Borbera una franosità del 42%, la Serie miocenica, tra il fiume Tanaro ed il Belbo risulta interessata da frane per il 29%, mentre l'Oligocene conglomeratico ha percentuali di area in frana non superiori al 2,5%.

Ricerche specifiche sono state dedicate allo studio delle frane innescabili da piogge nei terreni incoerenti della copertura superficiale. Si tratta di fenomeni che

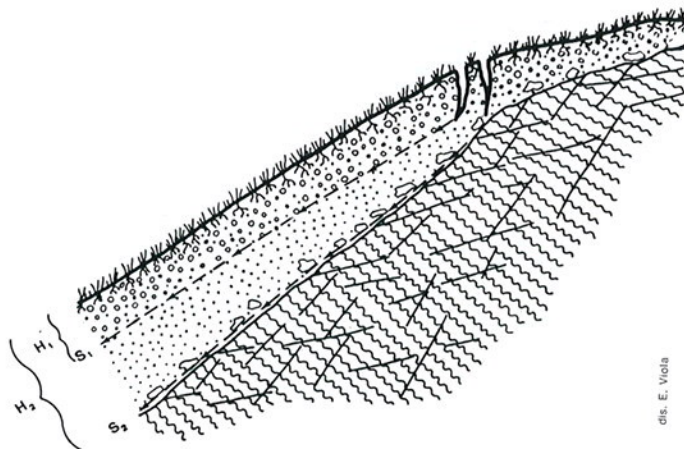


Fig. 3. Rappresentazione schematica di una frana per fluidificazione di un suolo su rocce cristalline: per piogge di elevata intensità il processo di saturazione riguarda essenzialmente l'orizzonte sopra S1, caratterizzato da alta capacità di infiltrazione. Sotto S1 il fronte di umidità può diffondersi solo molto più lentamente a causa della diminuzione piuttosto rapida dei processi di infiltrazione. Il distacco pertanto avviene lungo S1 e coinvolge uno spessore H1 variabile in media tra 0,30 e 0,50 m. Per piogge prolungate, a medio bassa intensità, il suolo si satura progressivamente sopra S2 ed il franamento coinvolge l'intera coltre H2 fino al substrato roccioso.

si manifestano inizialmente come uno scivolamento di suolo ed evolvono in breve tempo in rapido colamento spesso incanalato entro le incisioni torrentizie d'ordine inferiore; oltre ai suoli ed alla loro copertura vegetale ne risultano coinvolti talora anche frammenti del substrato roccioso alterato (fig. 3).

I settori di versante maggiormente vulnerabili da questo tipo di dissesto, sono stati distinti in base ad operazioni di confronto e sovrapposizione tra carta delle pendenze (classi 16° - 45°), carta dei terreni superficiali e carta della copertura vegetazionale (zone prive di boschi o con copertura arborea di scarsa efficienza protettiva).

I problemi di instabilità dei versanti collinari in ampie aree del bacino Terziario Piemontese, costituito da rocce marnoso-siltoso-arenacee, sono risultati chiaramente correlati oltre che alla litologia, anche soprattutto alle condizioni giaciture, diffusamente caratterizzate da una disposizione degli strati a franapoggio, con inclinazione inferiore al pendio.

Tali caratteristiche costituiscono fattori altamente predisponenti a frane di scivolamento lungo superfici di strato e giustificano la diffusione e l'elevata potenzialità di questi fenomeni in tutto il territorio delle Langhe e del Monferrato.

Collateralmente a queste operazioni, dedicate ad uno studio della suscettività a franare, sono state svolte ricerche al fine di adottare uno schema previsionale anche per i processi che avvengono lungo i corsi d'acqua nei bacini montani ove gli effetti morfologici prodotti da nubifragi, anche se circoscritti, sono molto marcati e le conseguenze per centri abitati ed infrastrutture spesso gravissime.



Fig. 4. La conoide del Torrente Renanchio, presso Quincinetto, nella bassa Valle d'Aosta; si nota l'alluvionamento prodotto dal violento fenomeno di trasporto in massa verificatosi il 22 settembre 1981. (Fot. Alifoto).

In particolare evidenza si pongono i violenti fenomeni connessi all'attività torrentizia dei tributari minori sulle conoidi ed alla confluenza con i corsi d'acqua principali, luoghi che in tutte le valli alpine son spesso sede di centri abitati (fig. 4).

Un ruolo preponderante viene assunto in questi casi dalle rilevanti quantità di materiali solidi mobilizzate dai torrenti in piena.

Si tratta di un trasporto in massa nel quale vengono rapidamente presi in carico i materiali alluvionali e detritici di ogni granulometria presenti in alveo ed al suo contorno, fino talora al completo svuotamento dell'asta torrentizia. La miscela mobile ha un'elevata densità (fino 1,8-2 ton/m<sup>3</sup>); trascina spesso tronchi d'albero sradicati che ne aumentano il volume complessivo, raggiungendo in alveo altezze considerevoli, soprattutto nel settore frontale. Le quote, osservate sono fino a 4-5 volte maggiori rispetto a quelle ipotizzabili in base alla procedura di calcolo per la previsione delle massime piene generate da soli deflussi liquidi.

I criteri adottati per caratterizzare i torrenti alpini in funzione di potenziali attività parossistiche di questo tipo, si fondano essenzialmente sui seguenti fattori: entità di materiali sciolti fini e grossolani disponibili negli alvei, caratteristiche geometriche delle aste torrentizie e delle conoidi, presenza a monte di masse glaciali e di invasi lacustri, condizioni pluviometriche locali in relazione soprattutto alla probabilità di piogge orarie molto intense.

Gli effetti producibili dai corsi d'acqua principali durante gli eventi di piena, con particolare riferimento alla delimitazione delle aree allagabili ed alluvionabili nei settori di fondovalle e nella pianura, sono stati evidenziati in base a studi morfologici ed analisi dei dati altimetrici, integrati da elementi conoscitivi ricavati da

documentazione storiche riguardanti i più importanti fenomeni di esondazione avvenuti in passato.

È stato possibile individuare inoltre una serie di forme fluviali cui corrispondono diversi gradi di stabilità naturale, intesa quest'ultima come suscettibilità al modellamento dell'alveo in risposta a determinati stati di piena, in base alle granulometrie dei materiali trasportati, di quelli costituenti il fondo e le sponde ed alla pendenza e configurazione dell'asta fluviale.

La stabilità diminuisce dal modello unicursale a meandri regolari (es. Po a Carmagnola, Tanaro tra Asti ed Alessandria) fino a quello a ramificazione multiple (es. Sesia a monte di Vercelli, Scrivia fino a Tortona). Nel tipo a meandri l'alveo subisce trasformazioni localizzate in alcuni settori (accentuazioni di curve concave, tagli di meandri), nel tipo a ramificazione multiple l'intera asta fluviale può risultarne modificata, con sviluppo dei canali di deflusso in gran parte diverso da quello precedentemente in atto.

Nelle considerazioni fatte in precedenza il termine "stabilità" si riferiva fondamentalmente alla potenziale mobilità delle vie di deflusso ordinariamente occupate dalla corrente; se gli si attribuisce un significato di pericolosità in riferimento alla delimitazione delle aree di massima divagazione naturale e di espansione delle piene, si deducono conclusioni pressoché opposte, in quanto basate su criteri di valutazione diversi. Lungo i corsi d'acqua pluricursali tali aree risultano in genere ben definibili a priori, soprattutto su aerofotografie (in base a terrazzi naturali, tracce di canali abbandonati, banchi ghiaiosi, sviluppi della vegetazione permanente). Un confronto tra riprese aeree recenti (1988) e quelle di più antica data (1954) dimostra che i limiti estremi di queste zone di espansione rimangono sensibilmente costanti nel tempo, salvo modificazioni antropiche. Le capacità di invaso durante le piene sono ampie; poiché la corrente ha sempre un abbondante carico solido, al di fuori dell'area di espansione possono verificarsi alluvionamenti, quasi sempre però su superfici limitate.

Lungo gli alvei meandriiformi, quando non incassati tra sponde o terrazzi insommergibili, l'area di massima espansione delle acque di piena risulta più difficilmente precisabile e si è reso necessario utilizzare basi topografiche con dati altimetrici sufficientemente dettagliati, unitamente alle notizie storiche di cui si è già fatto cenno in precedenza. I fenomeni sono in genere meno rapidi e violenti ma le conseguenze connesse all'estensione degli allagamenti possono essere in alcuni settori della pianura piemontese abbastanza gravi.

Nella carta di sintesi si è tenuto conto inoltre dei fenomeni di riattivazione dell'erosione di fondo nei letti fluviali, quantificandone l'abbassamento, apparso particolarmente accentuato a seguito soprattutto dell'intensa attività estrattiva esercitata negli ultimi 20 anni in quasi tutti i fiumi della pianura piemontese, con risvolti positivi per quanto riguarda la limitazione degli allagamenti, ma con effetti negativi sulla stabilità dei ponti e degli altri manufatti in alveo e lungo le sponde.

## Analisi delle cause innescanti

In analogia all'ovvia correlazione tra precipitazioni piovose e piene fluviali, è sovente dimostrabile un evidente rapporto di causa ed effetto anche tra eventi di pioggia e movimenti di massa sui versanti.

Per alcuni tipi di fenomeni franosi (colamenti rapidi per saturazione e fluidificazione dei terreni superficiali, scivolamenti in serie stratificate marnoso-arenacee) tale rapporto è traducibile in termini pressoché quantitativi, essendo stata riscontrata una relazione tra l'innescarsi dei franamenti e l'altezza cumulata di precipitazioni che li hanno preceduti. Per altri tipi di processi gravitativi (crolli, scosscendimenti profondi, grandi colate in complessi argillosi flyschoidi) che si verificano localmente in tempi diversi, le correlazioni con le piogge o con particolari situazioni climatiche, qualora i fenomeni vengano singolarmente esaminati, appare più incerta.

Come già detto la mancanza di un preciso quadro della distribuzione nel tempo dei movimenti gravitativi, all'interno di un certo spazio, costituisce un fattore fortemente limitativo qualora si voglia esaminare la contemporaneità dei fenomeni, in relazione alla identificazione delle principali cause innescanti; è altresì condizionata quando si debba esprimere una valutazione sulla ricorrenza dei processi d'instabilità, sulla loro tendenza evolutiva e quindi sul loro grado di pericolosità.

Una ricerca specifica su tale problematica è stata svolta pertanto, utilizzando i dati d'archivio e selezionando sistematicamente tutte le notizie riguardanti i più importanti fenomeni franosi, verificatisi negli ultimi cento anni nella regione piemontese (Govi, Mortara & Sorzana, 1984). Si sono considerate solo quelle segnalazioni, nelle quali veniva precisata la data dei movimenti, ricavandone un campione costituito da 639 casi.

I diagrammi di fig. 5 forniscono un quadro abbastanza significativo della influenza delle condizioni climatiche medie sulla distribuzione delle frane in Piemonte, durante i vari mesi dell'anno, nell'ambiente collinare (a) e nell'ambiente alpino (b).

La quantità di frane segnalate nei diversi mesi dell'anno, nel primo caso (fig. 5a), è posta in relazione con il valor medio ragguagliato delle altezze di precipitazione mensile registrate nell'ultimo cinquantennio in stazioni significative dell'arco alpino occidentale. Il ruolo della temperatura e dell'innescamento è valutabile in base ai diagrammi che esprimono in percentuale per ciascun mese, il numero medio di giorni di disgelo (temperature minime superiori allo zero) e di permanenza della neve al suolo. Nella fig. 5b gli istogrammi di frequenza delle frane nel settore collinare sono confrontati con le altezze di pioggia calcolate come nel caso precedente, e con la distribuzione dei valori medi di surplus e di deficit idrico, connessi alle entità dell'evapotraspirazione potenziale.

Delineate così le cause principali, la fase successiva della ricerca è stata sviluppata fondamentalmente per raggiungere i seguenti obiettivi:

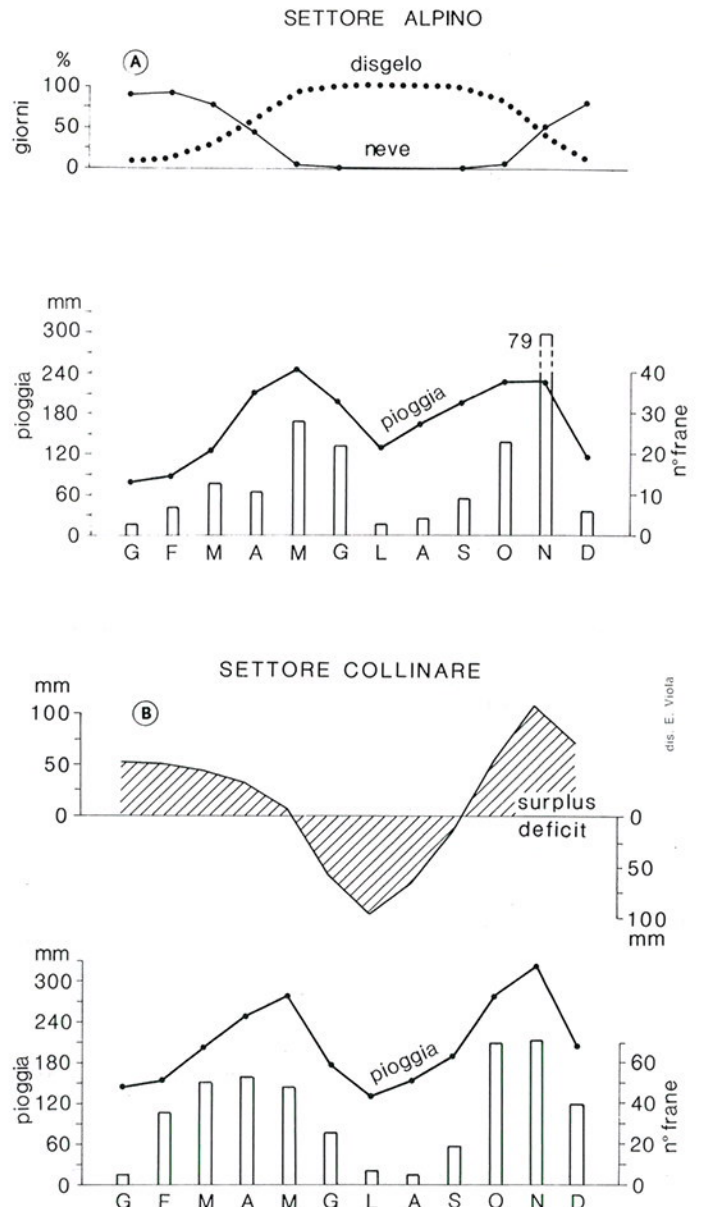


Fig. 5. Istogrammi di frequenza delle frane sviluppatesi in vari bacini piemontesi negli ultimi 100 anni, posti in relazione con le precipitazioni medie mensili di un cinquantennio, registrate in stazioni significative del Piemonte. Nella parte superiore di fig. 5A è indicato il numero medio di giorni di disgelo e dei giorni di permanenza della neve al suolo. In fig. 5B, parte superiore, è fornito il diagramma dei valori medi di surplus e di deficit idrico (in mm), connessi all'entità dell'ETP.

- identificare le quantità critiche di precipitazione al di sopra delle quali si generano diffusi movimenti di massa sui versanti e violenti fenomeni di piena negli alvei torrentizi;

- valutare con i consueti metodi statistico-probabilistici le frequenze e/o i tempi di ritorno di piogge con durata ed intensità pari a quelle così individuate.

I fenomeni che meglio si prestano a questo tipo d'indagine sono le frane per scivolamento e fluidificazione di materiali sciolti della copertura superficiale.

Sono state esaminate diverse decine di pluviografi relativi a numerosi eventi verificatisi in vari periodi stagionali e registrati da stazioni idrologiche distribuite in quasi tutti i bacini del Piemonte. La sistematica rac-

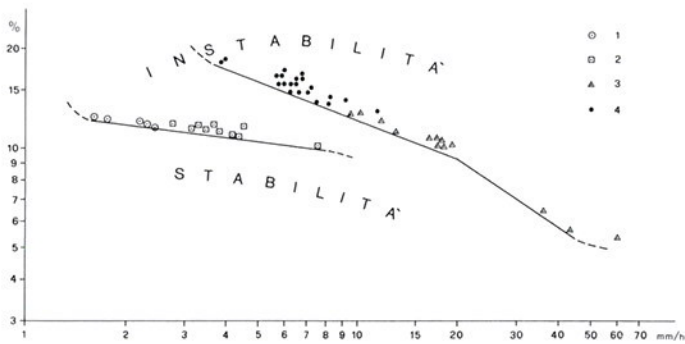


Fig. 6. Relazione tra fase iniziale della franosità in terreni superficiali e parametri idrologici: intensità oraria e precipitazione cumulata dell'evento, espressa in % della p.m.a. (1: eventi invernali; 2: eventi primaverili; 3: eventi estivi; 4: eventi autunnali). Le linee definiscono i valori soglia di precipitazione al di sopra dei quali, nelle varie stagioni, nei bacini piemontesi si innescano le prime frane.

colta di informazioni circa l'ora in cui erano avvenuti i primi dissesti, ha consentito di quantificare i valori critici della pioggia, la durata (da qualche ora a 1-2 giorni) e l'intensità oraria.

Nello stadio iniziale della franosità le altezze critiche di precipitazione cumulata, espresse in percentuale della pioggia media annua, variano in funzione dell'intensità media oraria e delle condizioni stagionali. Le relazioni intercorrenti tra questi parametri sono evidenziate in fig. 6: le linee che involuppano inferiormente i punti corrispondenti alle precipitazioni critiche, definiscono la "soglia" oltre la quale si passa dal campo della stabilità a quello della franosità.

Un secondo tema di ricerca ha riguardato le frane in roccia nel bacino Terziario Piemontese, dove sono particolarmente diffuse le frane di scivolamento lungo superfici di strato. I movimenti sono risultati chiaramente condizionati da eventi piovosi che si verificano

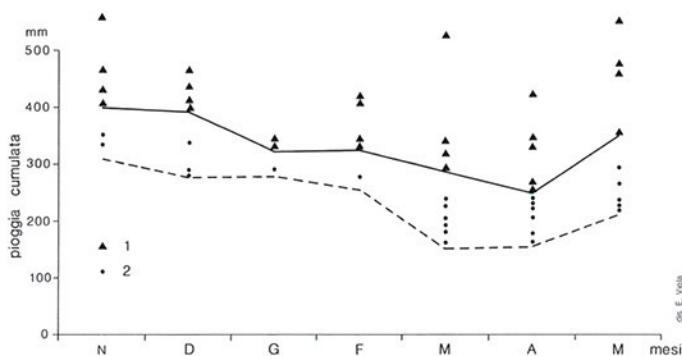


Fig. 7. Diagramma delle quantità minime di pioggia necessarie per attivare nei vari mesi frane di scivolamento planare in roccia nel Bacino Terziario Piemontese. La linea a tratti definisce il campo dei valori minimi di precipitazione totalizzata nei 60 giorni precedenti gli eventi che hanno determinato l'instabilità. La linea continua corrisponde ai valori "soglia" globali (piogge antecedenti + piogge dell'evento) oltre ai quali si sviluppano i franamenti (1: piogge cumulate che hanno prodotto scivolamenti; 2: piogge cumulate che non hanno prodotto scivolamenti).

nel periodo compreso tra novembre e maggio, purché la precipitazione nei 60 giorni antecedenti superi certi valori critici ben definiti (fig. 7). I processi di scivolamento si innescano quindi per determinati valori nel surplus di precipitazione cumulata, variabili nel tempo principalmente in funzione del deficit idrico mensile.

La documentazione storica raccolta in riferimento alle grandi frane di roccia pone in evidenza che una larga percentuale di tali fenomeni (oltre 1500) si è innescata in epoca preistorica. Nell'intervallo di tempo che copre gli ultimi 400 anni, corrispondente al quale si ha una migliore continuità nelle informazioni, le segnalazioni di importanti processi gravitativi nella catena alpina occidentale pongono in luce una maggior concentrazione di fenomeni nel periodo della cosiddetta "piccola era glaciale" che si colloca tra la fine del 1500 ed il 1850 circa. Non si può escludere che in alcuni casi si sia trattato di riattivazione di fenomeni in luoghi già precedentemente destabilizzati; ciò in buona parte è stato verificato in base a frequenti indizi che denunciano l'esistenza di movimenti nel tempo, spesso circoscritti a determinati settori del versante in frana.

Anche negli ultimi 200 anni le segnalazioni di frane coinvolgenti volumi superiori a qualche milione di m<sup>3</sup>, fanno chiaro riferimento, nel 70% dei casi, a fattori climatici. Recenti osservazioni svolte sul terreno dimostrano che questi grandi fenomeni del passato, attualmente evolvono attraverso movimenti localizzati e lenti, che si manifestano soprattutto nelle stagioni primaverili, precedute da abbondante innevamento.

Tenuto conto di quanto sopra esposto si può dedurre che alcune delle cause innescanti originarie attualmente non sussistano o non agiscano con la medesima intensità: in tale contesto si collocano possibili variazioni nell'attività sismica e neotettonica, ma soprattutto nelle condizioni climatiche, cui sono riconducibili gli effetti prodotti sui versanti da processi di glacio-pressione e decompressione, quelli dovuti al manto nevoso ed alla sua fusione ed altri legati alle precipitazioni piovose, alle piene torrentizie e ai connessi fenomeni di erosione al piede del pendio.

Le relazioni con i mutamenti climatici ciclici appaiono comunque confermate da un'indagine appositamente svolta in merito alla distribuzione dei periodi umidi, secchi, caldi e freddi riconosciuti da vari autori a partire dal 1600. Su 59 casi di frane importanti segnalate dalla letteratura storica per il medesimo intervallo di tempo, il 67% risulta essersi verificato in periodi freddi-umidi o caldo-umidi, il 30% in periodi definiti caldi-secchi, il 3% in concomitanza a cicli freddi-secchi.

A condizioni di prolungata siccità sono per lo più da ascrivere invece gli avvallamenti di sponda lacustre, che con ripetitività si sono manifestati durante periodi di magra sia sul Lago d'Orta (Ronco di Pella 1972) che sul Lago Maggiore dove in località Feriolo un ampio fenomeno di questo tipo, il 15 marzo 1867, provocò 14 vittime.



## I parametri per la definizione della pericolosità

Il quadro conoscitivo realizzato attraverso la serie di indagini descritte in precedenza, ha consentito di delineare il grado di pericolosità esistente all'interno di ciascuna area, analizzando la tipologia dei fenomeni in atto o potenziali, la loro distribuzione nello spazio e la loro più probabile frequenza nel tempo, in relazione a determinate cause innescanti.

### *Meccanismi evolutivi e caratteristiche cinematiche*

Per quanto riguarda la tipologia dei fenomeni di instabilità, soprattutto nell'ambito delle frane, un parametro fondamentale per ricavare una graduatoria secondo diversi livelli di pericolosità è definito dalle caratteristiche cinematiche dei fenomeni stessi. Il pericolo maggiore è connesso infatti alla rapidità dei processi, oltre che per l'influenza sugli effetti producibili, anche in relazione alla possibilità di attivare sistemi di previsione che rispondano ad esigenze di preallarme in tempi operativamente utili.

In una classifica tipologica fondata su tali criteri si collocano al primo posto le frane per crollo. Questi fenomeni si generano spesso senza indizi premonitori per distacchi da pareti rocciose (fig. 8) o comunque da pendii ad elevatissima inclinazione; le condizioni predisponenti alla caduta di materiali più o meno abbondanti si rendono manifeste soprattutto in base ad osservazioni sul grado di fratturazione delle rocce, sulla disposizione geometrica delle fratture e delle altre discontinuità e sui loro reciproci rapporti di intersezione.

I fenomeni si innescano oltre che sotto l'azione prolungata di agenti climatici anche per effetto di scosse sismiche (es. Pinerolese); quando i volumi coinvolti sono ingenti, si generano "valanghe di roccia" ad elevatissima mobilità. I tempi di sviluppo, in ogni caso, variano da poche decine di secondi ad alcuni secondi.

Numerosi sono i casi noti antichi e recenti in Piemonte a partire dal 1391 quando un enorme crollo (circa 60 milioni di m<sup>3</sup> coinvolti) distrusse la frazione di Eusebio presso Casteldelfino. Nel 1628 l'antico centro abitato di Locana venne devastato per l'improvvisa caduta di notevoli volumi di roccia; un crollo di rocce da M. Pozzoli in Valle Antrona nel 1642 investì buona parte dell'abitato di Antronapiana provocando 150 morti. Fenomeni analoghi hanno prodotto gravi danni e vittime nella frazione Villa di Acceglio nel 1810, ed a Rosone, nella Valle dell'Orco, dove si sono più volte manifestati tra il 1940 ed il 1964. Tra gli episodi più recenti il crollo in Val Formazza (loc. Frua) avvenuto il 29 agosto 1985 (3 morti) e quello verificatosi il giorno 8 aprile 1986 immediatamente a monte dell'abitato di Carema (bassa Valle d'Aosta).

Per altri tipi di frane coinvolgenti il substrato roccioso, che si manifestano come scivolamenti planari o rotazionali lungo superfici di movimento più o meno inclinate ma ben definite (fig. 9), gli spostamenti delle masse litoidi possono avvenire in qualche caso rapidamente



Fig. 8. Frana per crollo in quarziti presso la località Rossa di Chiappera (Valle Maira).



Fig. 9. Scivolamento planare lungo superficie di strato nella serie marnoso-sabbioso-arenacea dell'Ovadese (Cascina Piazzollo).

(pochi minuti) ma spesso, si verificano mediamente entro intervalli di tempo misurabili in alcune decine di minuti talora in qualche ora.

Generalmente i movimenti principali sono preceduti da modesti ma diffusi fenomeni di instabilità, che si manifestano talora per lungo tempo, attraverso numerosi indizi consistenti nell'apertura di fessurazioni, rigonfiamenti del terreno, emergenze idriche, inclinazione degli alberi.

Fenomeni di questo tipo, caratterizzati da lunghi periodi di preparazione cui segue la fase parossistica, sono

avvenuti a più riprese nel Monferrato e soprattutto nelle Langhe cuneesi. In quest'ultima area sono stati spesso coinvolti centri abitati e cascine: Vergne di Barolo nel maggio 1917, Lerice nel maggio 1926, Castino nel marzo 1936, Cissone nell'aprile 1941, Cigliè nel gennaio 1963, Altavilla di Somano nel marzo 1972, Arnulfi di La Morra nel febbraio 1974, Pianezze di Dogliani nell'aprile del 1983.

Nel settore alpino, analoghi franamenti sia pure con meccanismo di movimento più complesso (talora con trasformazione in valanghe di roccia), si sono verificati coinvolgendo talora interi versanti per alcune centinaia di milioni di m<sup>3</sup>. Descrizioni storiche ricordano gli scoscendimenti che distrussero nel 1655 l'abitato di Pertusio, in Valle di Lanzo, devastato dalle acque per cedimento di un temporaneo sbarramento prodotto da una frana caduta poco a monte.

Frane imponenti, generatesi quasi ovunque sotto l'azione di piogge intense o persistenti, in parte per riattivazione di antichi fenomeni postglaciali, si sono manifestate a Millaures in alta Valle di Susa nel 1728, a monte di Crodo nell'agosto 1834, a Civiasco (Val Sesia) nell'ottobre 1857, ed a Baio Dora nel 1890 con riattivazioni in anni successivi. Gli effetti morfologici di questi fenomeni sono ancora oggi visibili con evidenza non molto diversa rispetto ai movimenti gravitativi avvenuti nel secolo attuale. Tra questi ultimi va menzionata la frana innescatasi nel 1926 presso la frazione Pornassino, nell'alta Valle del Tanaro, lo scoscendimento del Casas in Val di Susa, prodotto dalle piogge della primavera 1957, e le attivazioni di pericolosi movimenti prodotti dalle piogge sul versante a monte di Perrero in Val Germanasca nel 1977 e sopra Albogno, in Val Vigezzo, nel 1978.

Frane decisamente più lente sono quelle che avvengono per colamento di masse argilloso-marnose o di corpi rocciosi scistoso-fogliettati, minutamente pieghettati e fratturati. I movimenti non avvengono in questo caso lungo una superficie ben definita e continua, ma attraverso processi di progressiva deformazione e rottura a diversi livelli di profondità più o meno collegati fra loro. Tali fenomeni una volta innescati possono restare costantemente attivi per lunghi periodi, talora per diversi anni. Episodi franosi di questo tipo sono particolarmente diffusi e sono noti da molto tempo, nel complesso flyshoide della Val Borbera ed in alcuni settori della collina casalese; altri casi, talora di grandi dimensioni, sono stati recentemente riconosciuti anche nelle unità metamorfiche della catena alpina occidentale.

Occorre segnalare infine che nel corso delle indagini sono state riconosciute 52 frane di varie caratteristiche tipologiche, che in momenti successivi all'ultima glaciazione, hanno provocato in diverse vallate alpine del Piemonte, lo sbarramento di corsi d'acqua con formazione di più o meno estesi e persistenti invasi lacustri a monte degli accumuli. Solo in quattro casi tuttavia la fase di primo distacco è storicamente documentata: essi corrispondono alle frane di M.te Pertusio in Valle Varai-



Fig. 10. Recente sbarramento di un corso d'acqua per frana di roccia e detrito; torrente Piota, in prov. di Alessandria, 19 marzo 1978. (Foto Alifoto).



Fig. 11. Frane per fluidificazione dei terreni superficiali, provocate nel bacino del Torrente Lemme, dall'evento di pioggia del 7 ottobre 1977.

ta (1391, di Antrona in Val d'Ossola (1951) (cfr. anche fig. 10).

Il quadro di fenomenologie descritte, caratterizzate da instabilità di masse rocciose, va completato con le numerose frane di piccole dimensioni che coinvolgono i terreni incoerenti della copertura superficiale durante gli eventi di pioggia. Quando il suolo è saturo d'acqua (fig. 11) i fenomeni si innescano e si esauriscono quasi sempre in pochi minuti e quindi in una classifica generale per grado di pericolosità, questi processi si collocano subito dopo i crolli di roccia. Frane di questo tipo, in numero di varie decine per km<sup>2</sup>, hanno provocato effetti devastanti su abitazioni e infrastrutture durante gli eventi di pioggia del novembre 1968 in Biellese, nell'ottobre 1977 nell'Alessandrino meridionale e nell'agosto 1978 in valle d'Ossola.

Quasi sempre in stretta connessione con i fenomeni appena descritti, si generano anche improvvisi pulsazioni di piena lungo le aste torrentizie, che assumono caratteristiche particolarmente violente lungo i tributari minori ad elevata pendenza soprattutto, come già sottolineato, per le rilevanti quantità di materiali solidi trasportati. Le velocità di spostamento della miscela solido-liquida sono comprese tra qualche m/s e 10-12 m/s. I tempi di sviluppo, a partire dall'inizio della pioggia, dipendono dall'intensità di quest'ultima: sotto precipitazioni violente i fenomeni di trasporto in massa possono generarsi in poco più di un'ora. Ripetutamente si è osservato in occasione di recenti episodi alluvionali che questo tipo di fenomeno si innesca come effetto di temporanei sbarramenti in alveo, prodotti da accumuli di frana o da restringimenti artificiali del letto torrentizio, ben presto sfondati ad opera della corrente.

Le cronache riportano numerose notizie di gravi effetti prodotti da questi processi torrentizi, frequenti soprattutto nel settore alpino, nell'ambito del quale rappresentano uno dei maggiori motivi di pericolo. Vittime e distruzioni di abitati sono state ripetutamente provocate da fenomeni avvenuti in Val di Susa lungo i torrenti Prebec (1887-1957), Pissaglio (1798-1811-1846), Gelassa (1728-1977), Gerardo (1876-1920). In Valle dell'Orco l'abitato di Campiglia Soana ne risultò pressoché distrutto nel 1845 ed analoghe conseguenze subì il paese di Ornavasso nel 1839 e nel 1858, per alluvionamenti del torrente S. Carlo. Nella bassa Valle d'Aosta il torrente Pisone provocò a Quassolo 7 morti nel 1942 e l'abitato di Villar S. Costanzo in Val Maira, soffersse gravissimi danni a causa delle violente esondazioni con trasporto solido del torrente Taluto, nel 1817, 1871 e 1906. Tra i casi più recenti vanno citati gli intensi fenomeni registrati nel 1978 sulla conoide del Rio Cui, a Druogno in Val d'Ossola, e quelli manifestatisi nel 1981 lungo il torrente Bersella, presso l'abitato di Traversella e sulla conoide del torrente Renanchio a Quincinetto.

Anche località nei bacini collinari sono state talora sconvolte da violente pulsazioni di piena torrentizia, caratterizzate soprattutto da elevati volumi d'acqua torbida e generate per sfondamento di temporanei sbarramenti in alveo; fenomeni di questo tipo hanno provocato vaste distruzioni nel 1584 a Ceva per una piena del torrente Cevetta, a Cortemilia nel 1878, per esondazione nel paese del torrente Uzzone e ad Alba (Borgo Moretta) nel 1948, a seguito di una forte piena del torrente Cherasca.

Per quanto riguarda infine la rete idrografica principale nella pianura piemontese, assumono importanza i tempi di traslazione dell'onda di massima piena: ad esempio nel tratto di Po a monte di Torino sotteso dalla stazione idrometrica di Moncalieri, la propagazione di piene generate dalle portate dei torrenti Pellice e Chisone, avviene in 11 ore circa, a partire dallo sbocco in pianura di questi due corsi d'acqua (64 km). Nel tronco a Valle di Torino, tra le sezioni di San Mauro e Casale



Fig. 12. Ponte lungo l'autostrada Torino-Milano per l'attraversamento del Torrente Orco. La fotografia mostra un tratto del corso d'acqua durante l'evento di piena dell'8 ottobre 1977 che ha provocato la demolizione della corsia verso Torino.

(68 km), la piena, per apporto soprattutto dei tributari Stura di Lanzo, Orco e Dora Baltea, si propaga in 12-13 ore (fig. 12).

Più rapidi appaiono gli eventi che si manifestano lungo il tratto di fiume Sesia tra Vercelli ed il Ponte di Valenza sul Po (50 km), che risulta coperto dalle piene maggiori in 8 ore circa; analogo comportamento o talora dinamicamente più accentuato, si è registrato in occasione di piene in traslazione lungo l'alveo dei torrenti Orba e Bormida tra Ovada ed Alessandria.

I dati più recenti sembrano porre in luce per diversi corsi d'acqua della pianura piemontese, una tendenza verso un incremento di rapidità nella traslazione dell'onda di piena, in relazione ai diffusi processi di approfondimento degli alvei ed alla loro "canalizzazione" per diminuzione delle larghezze nelle sezioni trasversali.

#### **Individuazione dei luoghi esposti a pericolo**

Il riconoscimento e la delimitazione dei settori di territorio potenzialmente instabili per processi di vario tipo, richiedono una serie di operazioni abbastanza complesse, fondate su elementi di conoscenza diretta dei luoghi, tanto più dettagliati quanto più ristretta è l'area presa in esame.

Indagini di questo tipo applicate a scala regionale presentano qualche vantaggio, in quanto possono fondarsi sull'elaborazione di una grande quantità di dati che, se ben distribuiti, possono vicendevolmente integrarsi con possibilità di estrapolazioni sufficientemente affidabili da un settore all'altro.

È noto che le frane o quanto meno certi tipi di frane ed i fenomeni torrentizi di trasporto in massa, sono più diffusi in certe aree piuttosto che in altre.

Ciò è dovuto al fatto che le caratteristiche litologiche strutturali e giaciture dei materiali rocciosi e la composizione e distribuzione dei terreni incoerenti superficia-

li, è diversa da luogo a luogo. Analogamente differiscono da un'area all'altra le forme del rilievo, la densità ed il tipo di copertura vegetazionale e gli elementi che determinano le condizioni climatiche medie ed estreme.

L'uno o l'altro di questi fattori, o spesso più d'uno, possono presentare caratteristiche tali da realizzare condizioni variamente predisponenti all'instabilità. La composizione litologica degli strati, la loro giacitura in rapporto alla forma e pendenza dei versanti, il grado di fratturazione delle rocce, sono elementi distintivi primari per giudicare se una determinata zona sarà sede probabile di un certo tipo di dissesto a livello del substrato roccioso. Per quanto riguarda i terreni della copertura superficiale la franosità in essi dipende fondamentalmente dalle potenzialità pluviometriche dell'area, dalle pendenze del versante e dal grado di efficienza protettiva della copertura boschiva.

Nel territorio piemontese la catena alpina è costituita da diverse unità strutturali in cui compaiono rocce metamorfiche di vario tipo: il settore collinare a sua volta presenta soprattutto formazioni sedimentarie composte da litotipi diversi. In entrambe le zone, alcuni complessi strutturali ed unità litologiche si contraddistinguono, come già sottolineato in precedenza, per una particolare predisposizione al dissesto. Nell'ambito stesso di ciascuna unità geologica si sono poste inoltre in particolare evidenza alcune aree ad elevata concentrazione di grandi fenomeni franosi coinvolgenti il substrato roccioso; situazioni di questo tipo sono riscontrabili nell'alta Valle di Susa, nella parte medio alta della Val Chisone ed in Val Germanasca; anche negli alti bacini dei Torrenti Varaita, Maira e Grana sono emerse condizioni analoghe d'instabilità particolarmente diffusa.

Nell'ambito delle formazioni sedimentarie che costituiscono i rilievi collinari ed appenninici tra i fiumi Po, Tanaro ed il torrente Scrivia, i fattori predisponenti sono identificabili fondamentalmente nella composizione litologica di questa serie, in cui si alternano strati marnoso-argillosi ed arenaceo-sabbiosi, e nelle condizioni giaciture di questi strati. Le dorsali allungate presentano alternativamente un fianco ripido, con stratificazione a reggipoggio ed uno a pendenza molto modesta con disposizione degli strati a franapoggio, frequentemente ad inclinazione inferiore a quella del versante. Su entrambi i lati le dorsali sono delimitate al piede da profonde incisioni torrentizie, per processi erosivi recenti, tuttora attivi.

Tali condizioni, diffuse soprattutto nelle Langhe cuneesi e nei bacini dei torrenti Belbo e Bormida sono alla base dell'elevato numero di frane per scivolamento riscontrate in quest'area.

Motivi soprattutto litologici ed anche di deformazione tettonica, determinano infine l'altissima concentrazione di grandi frane per colamento nel Complesso argilloso flyschoidale della Valle Borbera.

Gli argomenti fin qui trattati hanno notevole peso nelle procedure di delimitazione delle aree esposte a differenti livelli di pericolosità; il maggiore o minore

addensamento di un certo tipo di fenomeni (antichi e recenti) in una determinata zona è ovviamente un elemento discriminante di grande importanza ai fini della "localizzabilità" dei fenomeni, cioè della possibilità di prevederne lo sviluppo entro un determinato spazio, in relazione alle caratteristiche d'insieme più o meno manifeste o latenti dei processi attivabili.

Le sistematiche ricerche retrospettive, come già ripetutamente segnalato, hanno messo in evidenza che una gran parte dei fenomeni attuali d'instabilità si erano già manifestati in passato nei medesimi luoghi, e tale diffusa tendenza alla ripetitività può essere considerata un ulteriore importante elemento ausiliario di riconoscimento e di localizzazione. Per alcuni processi tuttavia (ad es. scivolamenti rapidi per fluidificazione dei terreni incoerenti superficiali durante le piogge intense) tale criterio è raramente adottabile, se non considerando estesi areali quì e là potenzialmente instabili: in questo caso devono sopporre condizioni di pericolo più elevate. In base alle esperienze del passato i bacini maggiormente esposti a questo tipo di fenomeni sono quelli dove rocce facilmente disgregabili, per motivi di composizione o di alterazione chimico-fisica, hanno dato origine a potenti coltri eluviali o colluviali. Tali situazioni, associate a possibilità pluviometriche caratterizzate da eventi di elevata intensità, si riscontrano soprattutto nell'area del Biellese, tra il torrente Cervo e la bassa Val Sesia, nelle colline dell'Alessandrino meridionale, in valli tributarie del Toce ed in parte anche nella collina di Torino.

Dall'insieme delle considerazioni fin qui fatte si può dedurre che l'individuazione dei luoghi potenzialmente instabili per frana, implica un esame comparativo di molteplici fattori, nelle loro varie interazioni. Dal punto di vista metodologico ciò significa predisporre un quadro il più dettagliato possibile dei diversi tipi di frane esistenti in una certa area, analizzandone la distribuzione in rapporto ai fattori litologici e strutturali espressi dalla cartografia geologica ed inquadrandone il significato nel contesto delle differenti condizioni morfologiche e climatiche.

La localizzazione dei potenziali pericoli connessi ai processi torrentizi di trasporto in massa ha posto minori difficoltà, essendosi fondata in buona parte su osservazioni dettagliate delle conoidi alluvionali edificate dai tributari sui fondovalle percorsi dal corso d'acqua principale. Tali apparati infatti possono essere considerati elementi morfologici molto sensibili, come affermano Gregory & Wallis (1973), in quanto significativi dell'insieme delle caratteristiche litologiche, topomorfiche e climatiche del bacino alimentatore.

In un quadro di pericolosità potenziale piuttosto elevata si collocano numerosi piccoli tributari del fiume Sesia e la maggior parte delle conoidi edificate dai torrenti sui fondovalle del fiume Toce in Val d'Ossola, nella bassa Valle della Dora Baltea, lungo quasi tutta la Valle di Susa e la Valle del Torrente Pellice.

Per quanto riguarda infine la rete idrografica principale piemontese, la sua caratteristica più saliente è de-

terminata per lo più da una diffusa tendenza all'instabilità degli alvei, sia planimetrica che altimetrica (quest'ultima accentuata dalle attività estrattive). La configurazione geometrica della pianura in Piemonte non consente estese espansioni delle acque di esondazione, salvo che in alcune aree individuabili nel basso Vercellese, nell'Alessandrino settentrionale e nel settore tra Carmagnola e Moncalieri.

Lo studio delle piene ha posto in luce che i danni maggiori sono conseguenti più frequentemente, non già a situazioni che vedono coinvolti tutti o quasi i corsi d'acqua della regione, ma a quelle nelle quali risultano interessati solo alcuni gruppi di bacini, tra i quali spicca per la concomitanza degli eventi, quello del Sesia-Toce-Bormida, cui si unisce sovente la Dora Baltea. Per gli effetti prodotti, vanno segnalate anche le piene alimentate dal gruppo dei bacini idrografici più occidentali (dal torrente Maira ai torrenti Stura di Lanzo ed Orco).

### **Ripetitività e frequenza degli eventi**

Lo studio della frequenza assegnabile ai vari fenomeni d'instabilità, presenta maggiori difficoltà rispetto alle procedure d'indagine adottate per l'analisi degli altri due parametri che definiscono il grado di pericolosità in base alla tipologia ed alle possibilità di localizzazione dei processi evolutivi naturali.

Per i motivi generali già esposti in paragrafi precedenti il problema è stato affrontato attraverso un approccio indiretto, fondato sulla valutazione della più probabile distribuzione nel tempo degli eventi idrologici, considerati come primarie cause innescanti.

L'importanza del ruolo attribuibile alle precipitazioni piovose, in merito alla possibilità di innescare fenomeni franosi, è stata verificata in termini quantitativi oltre che nell'ambito dei bacini piemontesi anche su un'area ben più vasta, corrispondente agli interi versanti alpino ed appenninico del sistema idrografico padano.

Con riferimento a questo ampio territorio, la raccolta di dati d'archivio e l'estrazione di notizie dalla letteratura e dalla stampa hanno consentito di selezionare, 743 "casi" di frana, verificatisi nel periodo 1801-1900 in diversi bacini.

I fenomeni segnalati sono stati suddivisi, secondo un criterio geologico-regionale, in tre gruppi che schematicamente corrispondono alle unità alpine costituite da rocce cristalline, alle serie sedimentarie prevalentemente carbonatiche ed in parte vulcaniche delle Alpi meridionali ed ai complessi essenzialmente flyschoidi e maroso-arenacei dell'Appennino settentrionale e del Bacino Terziario Piemontese.

Le fonti d'informazione non hanno consentito di effettuare precise distinzioni in merito alle dimensioni dei fenomeni, genericamente definiti per lo più "piccoli" "grandi" o "importanti". Una ulteriore distinzione fa riferimento anche alla segnalazione di "numerose frane", avvenute contemporaneamente su aree circoscritte, comprensiva sia di grandi che di piccoli fenomeni.

Un elemento di rilievo ricavato dalla ricerca è quello

riguardante le relazioni intercorrenti tra processi gravitativi e tipologia delle cause innescanti: il 64% delle frane censite risulta in connessione ad eventi di pioggia; il 2% circa è conseguente a terremoti; il 2,5% appare legata ad attività antropiche. Nel 30,6% dei casi non è stato possibile identificare precise cause.

Si è posto in evidenza inoltre il consistente ruolo di alcuni eventi piovosi concentrati o ricorrenti su un lungo periodo, per i quali sono noti gli effetti disastrosi, anche in riferimento alle piene prodotte nei corsi d'acqua. Rientrano tra questi casi le frane segnalate nel settore alpino occidentale nell'anno 1839, innescate in ottobre in concomitanza a piogge che alle stazioni di Torino e di Ivrea hanno raggiunto nel mese valori di 378 mm e 480 mm rispettivamente, contro un valore medio mensile, quasi secolare, di 117 e 122 mm. Nella zona delle Alpi Meridionali calcareo-dolomitiche si pongono in risalto gli effetti provocati sui versanti dalle piogge del settembre 1882, che ad Asiago ed a Belluno sono risultate cumulativamente pari a 617 e 494 mm, a fronte di un valore medio mensile di 154 mm e 107 mm rispettivamente. Appare infine ancora in maggior rilievo il gran numero di frane verificatesi nella catena Appenninica nel periodo d'anni 1895-1898, caratterizzato da una straordinaria abbondanza di piogge, che mediamente a Bologna ed a Parma risultarono non inferiori a 1040-1050 mm per anno, contro valori medi annuali di 651 mm per la prima stazione e 720 mm per la seconda.

L'analisi delle relazioni intercorrenti tra quantità di pioggia e franamenti diventa più complesso quando si debbono considerare potenziali instabilità coinvolgenti profondamente il substrato roccioso, corrispondentemente alle quali una risposta, in termini di movimenti gravitativi, può manifestarsi con ritardo rispetto all'evento di pioggia, in relazione alle caratteristiche litotecniche dei materiali ed alle condizioni della circolazione idrica sotterranea.

Al fine di ottenere un quadro omogeneo in riferimento specifico a grandi frane in roccia, con volumi coinvolti non inferiori ad alcuni milioni di m<sup>3</sup>, sono stati presi in considerazione 38 casi ben documentati nella letteratura, distribuiti nell'intero arco alpino su un intervallo d'anni sufficientemente ampio, a partire dal 1500. La distribuzione dei fenomeni nel tempo presenta più periodi con durata all'incirca cinquantennale caratterizzati da maggior concentrazione di frane, separati da intervalli di relativa quiescenza di circa 30 anni. Il 58% delle frane è distribuito nelle serie sedimentarie, soprattutto calcareo-dolomitiche delle Alpi Meridionali, mentre il rimanente 42% riguarda rocce cristalline e metamorfiche delle altre unità strutturali, in Lombardia e Piemonte; i fenomeni risultano in media 6-7 per secolo.

I dati raccolti pongono in evidenza che almeno nel 66% dei casi la causa innescante delle frane è attribuibile alle piogge; raramente si tratta di eventi piovosi eccezionali per estensione ed intensità; caratteristica comune è la loro persistenza su lunghi periodi.

Un'altra più recente indagine svolta con il medesimo obbiettivo, ha riguardato l'intero bacino montano del Fiume Sesia, del torrente Cervo e tributari minori dell'area Biellese-bassa Valle Sesia. Per motivi di omogeneità in questo caso sono stati considerati solo i fenomeni di frana, per lo più di medie e piccole dimensioni, che negli ultimi 100 anni hanno provocato danni in centri abitati, a strade, acquedotti ed infrastrutture varie.

I risultati ottenuti possono esser così sintetizzati: nell'alta valle del Fiume Sesia e nell'alto bacino del tributario torrente Cervo (area tot. 900 km<sup>2</sup>, altit. media 1450 m s.l.m., p.m.a. 1800 mm), le frane censite sono 227, distribuite su un intervallo di tempo pari a 56 anni sui 100 esaminati; mediamente quindi si verifica almeno un fenomeno di frana ogni 21 mesi circa. Il 51,6% dei processi d'instabilità si manifesta nella stagione autunnale, il 27% ed il 15,6% rispettivamente durante la primavera e l'estate. Si è riscontrato infine che il 65,6% delle frane censite sono state innescate da eventi pluviometrici.

Nel settore della bassa Valle Sesia e bacini tributari delle colline biellesi (area tot. 600 km<sup>2</sup>, altit. media 670 m s.l.m., p.m.a. 1550 mm) il numero di frane è 770, distribuite su un periodo di 60 anni e quindi con ricorrenza media di almeno una frana ogni 20 mesi; il 69,7% dei fenomeni si è verificato durante l'autunno, il 15% e l'11,5% rispettivamente nel corso dell'estate e della primavera. In quest'area l'88,3% dei fenomeni risulta strettamente connesso ad eventi di pioggia.

Per quanto riguarda le frane per fluidificazione dei terreni sciolti dalla copertura eluviale, le ricerche compiute in occasione degli eventi pluviometrici avvenuti in Piemonte tra il 1968 ed 1987, hanno portato alla constatazione che quantità confrontabili di fenomeni erano innescate da precipitazioni cumulate talora ben diverse, ma proporzionali ai locali valori della piovosità media annua. In base a questi dati di fatto, si possono dedurre le seguenti considerazioni fondamentali: i vari settori di territorio sono in una situazione di equilibrio dinamico con le locali condizioni idroclimatiche medie che su di essi hanno influito per tempi sufficientemente lunghi. Tale equilibrio può essere più o meno drasticamente modificato, da luogo a luogo, per effetto di pulsazioni corrispondenti ad eventi idrologici straordinari che comportano il superamento delle condizioni limite realizzatesi fino a quel momento.

Sulla scorta di tali criteri si è effettuata una suddivisione del territorio piemontese in zone omogenee per franosità dei terreni superficiali, in funzione di diverse altezze critiche di precipitazione, fornendo altresì un indice significativo del livello di pericolosità in base al diverso grado di probabilità statistica di eventi con valori critici di pioggia pari a quelli individuati.

In base alla serie storica dei dati si è ottenuta inoltre per ciascun settore di territorio una frequenza empirica dei processi di trasporto in massa torrentizio in ambiente alpino. In quanto ai corsi d'acqua più importanti dell'area collinare del Monferrato, le indagini hanno

messo in luce, per il periodo degli ultimi quattro secoli, una frequenza di piene, cui sono associate esondazioni ed intensi processi erosivi, con tempi medi di ritorno pari a 20-30 anni.

Nell'ambito delle piene fluviali nel settore di pianura o nelle grandi vallate si è riscontrata una diffusa tendenza alla ripetitività degli eventi in alcuni bacini o gruppi di bacini, piuttosto che in altri.

Tale situazione è stata dedotta da uno studio riguardante i più importanti fenomeni di piena avvenuti in Piemonte tra il 1801 ed il 1989; le indagini sono state specificatamente finalizzate alla selezione di quei fenomeni alluvionali nei quali erano stati coinvolti più di due bacini o più gruppi di bacini onde identificare, sulla base di una lunga serie di dati (189 anni), il diverso sviluppo spaziale dei maggiori eventi idrologici ed il tipo di associazione più frequente di bacini interessati del medesimo evento. Sugli 80 casi considerati il gruppo costituito dai tre sottobacini del torrente Bormida, torrente Belbo e spesso anche del torrente Orba è presente 44 volte; il gruppo Toce-Sesia e talora Dora Baltea, compare 41 volte ed in molte occasioni, come già fatto cenno, gli eventi di piena, in questi corsi d'acqua, sono concomitanti o solo posticipati di un giorno, rispetto agli eventi riguardanti il gruppo precedente. Più rare le piene nei bacini occidentali tra l'alto Tanaro ed il torrente Orco, per i quali i casi accertati sono solamente 26.

Dalla ricerca è risultato inoltre che quasi tutte le grandi piene del Po, registrate a Pontelagoscuro, in Polesine, dall'inizio del secolo scorso ad oggi, hanno ricevuto un contributo d'importanza determinante dai corsi d'acqua piemontesi e tra questi va ancora una volta menzionato il gruppo Sesia-Bormida e tributari, per la sua partecipazione pressoché costante.

Sulla cartografia alla scala 1:100.000 delle aree esposte a pericolo di allagamenti, sono state delimitate le zone inondabili dalle piene ordinarie (tempi di ritorno inferiori 5 anni), le aree sommergibili durante le massime piene (tempi di ritorno tra 50 e 100 anni), con indicazioni sul tipo di deposito alluvionale prevalente associato ai fenomeni di esondazione.

Quando noti, sono stati indicati in carta i valori delle portate al colmo registrate, od indirettamente valutate, in occasione delle maggiori piene avvenute negli ultimi cinquanta anni.

### **Parametri per una stima del rischio e condizionamenti connessi alla presenza antropica**

Nel contesto del lavoro svolto, elementi di orientamento per una valutazione dei livelli di rischio nel significato già definito, vengono forniti fundamentalmente per applicazioni su punti discreti, con particolare riferimento agli insediamenti abitativi ed alle principali vie di comunicazione.

Una misura del grado di vulnerabilità attribuibile ai centri abitati, anche a livello di frazioni, è stato ottenuto

attraverso un esame della loro localizzazione ed un'analisi delle distribuzioni degli interventi di difesa attuati negli ultimi 50 anni, classificati secondo attitudine ed efficienza a contrastare uno o più tipi di processi. Gli elementi di giudizio così ottenuti integrano il quadro ricavato dalla documentazione storica che evidenzia gli effetti prodotti dagli eventi del passato nei centri abitati, lungo le vie di comunicazione e le opere di attraversamento sui corsi d'acqua. Il rischio per ciascun luogo è valutabile esaminando la frequenza e la tipologia dei fenomeni, nonché la gravità dei danni prodotti negli ultimi 150 anni. Importanza preminente assumono in tal caso i tempi di sviluppo dei fenomeni, in relazione alla possibilità di adottare opportuni sistemi di preavviso.

Per ciò che riguarda in particolare i fenomeni di dissesto per frana od esondazione, avvenuti all'interno di centri abitati del Piemonte, nel periodo compreso tra il 1920 ed il 1981, per il quale sono ricostruibili le caratteristiche idrologiche degli eventi innescenti, l'elaborazione dei dati raccolti ha fornito i seguenti risultati:

- su 1209 comuni della Regione Piemonte, 576, pari al 47,6%, sono stati colpiti una o più volte entro il centro abitato principale o in frazioni contigue, da fenomeni alluvionali e/o da frane;

- un maggior numero di comuni (57%) risulta danneggiato da eventi di piena; tra quelli che hanno subito gli effetti di fenomeni franosi il 61% è distribuito nella zona collinare del bacino terziario piemontese;

- molti comuni come già detto, risultano ripetutamente danneggiati, fino a 6-8 volte; tra questi ultimi compaiono centri abitati importanti come Alessandria, Asti, Vercelli, Moncalieri, Alba, Borgosesia e Verbania;

- nell'ambito dei 62 anni esaminati, il numero di casi riscontrati presenta una notevole variabilità: suddividendo l'intervallo di tempo in 6 periodi di pressoché uguale durata (10-11 anni), si nota che a partire dagli anni 1940 la frequenza dei danni provocati da frane e/o alluvioni nei centri abitati aumenta considerevolmente, fino a raggiungere un massimo nel periodo 1951-1960, mantenendosi comunque su valori elevati anche nei due decenni successivi;

- il progressivo rapido aumento di cui al punto precedente, è in relazione all'aumentata ricorrenza degli eventi idrologici, soprattutto di quelli a maggiore sviluppo spaziale (uguale o superiore a 4000 km<sup>2</sup>); oltre il 70% dei centri abitati danneggiati nel periodo 1951-1970, risultano colpiti nel corso di tali eventi. Nell'intervallo 1971-1981 hanno avuto invece maggiore incidenza gli eventi locali o comunque riguardanti aree inferiori a 4000 km<sup>2</sup>.

La ricorrenza degli eventi idrologici, per ciascuno dei quali è in corso di completamento l'analisi delle caratteristiche pluviometriche ed idrometriche, non fornisce tuttavia una sufficiente spiegazione dell'aumentato numero di centri abitati danneggiati e dell'incremento nella frequenza con la quale molti di essi sono stati colpiti. È significativo a questo proposito il confronto tra quanto avvenuto nei periodi 1941-50 e 1961-70: il

primo decennio è stato caratterizzato da 6 importanti eventi idrologici, tra i quali 4 di notevole intensità (ott. 1945, sett. 1947, sett. 1948, mag. 1949), cui furono associati, in diversi corsi d'acqua, colmi di piena straordinari, non più superati; il numero di segnalazioni riguardanti centri abitati colpiti da alluvionamento o frane è 188. Nel periodo 1961-1970 gli eventi di notevole sviluppo spaziale furono 4, dei quali solo tre particolarmente intensi, (nov. 1962, ott. 1966, nov. 1968); massimi valori di portata furono registrati solo nel nov. 1968 nei bacini del Sesia e in alcuni tributari del Tanaro. Le segnalazioni di danni subiti da centri abitati sono ben superiori a quelle del periodo precedentemente discusso, essendo 320.

L'insieme dei dati raccolti va esaminato alla luce delle seguenti considerazioni riguardanti il periodo preso in esame:

- dall'abbondante documentazione consultata è risultato che tra il 1920 ed il 1941 i lavori di sistemazione idraulica e soprattutto idraulico-forestale furono abbastanza scarsi nei bacini piemontesi. Questo periodo è caratterizzato invece da una notevole attività nel campo della costruzione di invasi per produzione idroelettrica. La frequenza dei fenomeni idrologici è molto modesta e solo in un caso (agosto 1935) l'intensità dell'evento raggiunge valori eccezionali, pur sempre entro un'area piuttosto limitata;

- il periodo 1941-1960 è caratterizzato per contro da una straordinaria ricorrenza di intensi ed estesi fenomeni alluvionali. Dopo l'evento del nov. 1951 vengono avviate sistematiche indagini da parte degli Uffici del Genio Civile e del Corpo Forestale onde accertare le esigenze di interventi sistematori in tutti i bacini del Piemonte; l'inchiesta si conclude evidenziando necessità di intervento da attuarsi in un decennio per una spesa globale di circa 42 miliardi. Solo una parte modesta dei lavori previsti risultava tuttavia attuata degli anni 1960;

- negli anni compresi tra il 1961 ed il 1981 la frequenza degli eventi di pioggia diminuisce di poco rispetto al periodo precedente; in alcuni casi (1966-1968-1977-1978) l'intensità dei fenomeni è particolarmente accentuata. Questo periodo è caratterizzato da una diffusa, talora incontrollata espansione urbanistica, anche in aree collinari cronicamente instabili. Aumenta sensibilmente tuttavia l'attività dedicata alla costruzione di opere sistematorie, in quasi tutti i bacini compresi nelle aree classificate "territorio montano".

La tabella 1 sintetizza la distribuzione dei casi osservati riguardanti comuni colpiti una o più volte durante i tre accennati periodi, nell'area di pianura e nei settori alpino e collinare. Si può notare che l'unica zona in cui il numero di casi riscontrati tende ad aumentare negli anni recenti è quella corrispondente al settore collinare del bacino terziario piemontese che, sebbene costituito da bacini con diffusa suscettibilità al dissesto, è stato oggetto di più scarsi interventi sistematori essendo in gran parte tale area tra quelle non classificate "territorio montano".

Tabella 1

Numero di casi osservati	1920-40	1941-60	1961-81
<i>Pianura</i> (Area 6.722 km <sup>2</sup> )	35	152	105
<i>Zona alpina</i> (Area 12.747 km <sup>2</sup> )	74	284	244
<i>Zona collinare</i> (Area 5.945 km <sup>2</sup> )	39	257	277

Frequentemente in occasione di fenomeni alluvionali e franosi avvenuti negli ultimi vent'anni, si è constatato come accanto agli effetti connessi alla naturale evoluzione morfologica del territorio, esistano, all'origine di molti danni, implicazioni strettamente legate all'intervento dell'uomo. Le situazioni predisponenti al dissesto, più frequentemente collegate alle varie forme di attività antropica, possono esser così sintetizzate:

- sedi stradali delimitate da ampi tagli del versante senza opere di consolidamento e con inadeguate opere di drenaggio;

- opere di attraversamento dei corsi d'acqua insufficientemente dimensionate con riduzione delle sezioni di deflusso, talora anche per la presenza di rilevati d'accesso su entrambi i lati, parzialmente occupanti l'alveo di piena;

- edifici e manufatti di vario tipo per recupero di spazi edificabili a spese dell'area di naturale espansione del corso d'acqua;

- presenza di discariche negli alvei e carente manutenzione dei medesimi con particolare riferimento alla rimozione di accumuli alluvionali nel letto e di vegetazione arbustiva ed arborea lungo le sponde;

- opere sistematorie a carattere contingente e del tutto locale, con effetti negativi su tratti adiacenti non difesi;

- sviluppo edilizio su settori di conoidi alluvionali ricorrentemente attivi;

- insediamenti abitativi su versanti sede di antiche frane, od alla base di ripidi pendii potenzialmente instabili o destabilizzati per tagli al piede;

- instabilità sui versanti acclivi connesse ad alcuni tipi di pratiche agricoli, che per facilitare il lavoro con mezzi meccanici, comportano l'occlusione più o meno estesa della rete idrografica d'ordine inferiore.

La maggior parte degli argomenti ora trattati sono noti non solo a chi si occupa di protezione idrogeologica ma anche a quanti risiedono in zone morfogeneticamente attive. Gli effetti di tali interventi errati sul territorio, se singolarmente esaminati, possono talora apparire modesti per incidenza dei danni localmente prodotti, ma se globalmente considerati, a livello regionale ed a più lungo termine, comportano pesanti costi socio-economici, sia per l'ampia distribuzione dei dissesti innescati che per la loro moltiplicazione e tendenza ad aggravarsi nel tempo.

## Considerazioni conclusive

Il lavoro svolto per la individuazione delle aree esposte a pericolo di frane ed esondazioni nella regione piemontese, ha avuto per obiettivo principale quello di produrre due tipi di documentazioni cartografiche: l'una (alla scala 1:100.000) per rappresentare i processi d'instabilità in atto o potenzialmente attivabili, oggettivamente indicati nei loro vari raggruppamenti tipologici e nella loro distribuzione all'interno delle diverse unità litologiche. L'altra (alla scala 1:250.000) per sintetizzare gli elementi precedenti ed integrarne il significato con i parametri di frequenza, evidenziando varie zone omogenee per differenti livelli di pericolosità (cfr. lo schema di fig. 13).

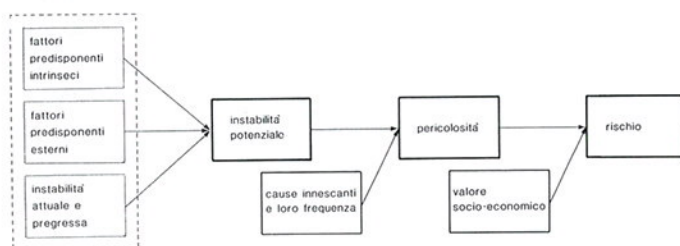


Fig. 13

Non sono stati raccolti dati per definire in termini quantitativi un indice di valore socio-economico attribuibile alle varie unità territoriali; la valutazione di tale parametro richiede apposite analisi specialistiche che non rientrano nelle competenze del geologo o dell'ingegnere. La stima del rischio può esser fatta con esclusivo riferimento alla presenza antropica nelle sue sedi permanenti (centri abitati anche a livello di frazioni); il grado di rischio, sempre molto elevato in questi casi, può variare soprattutto in funzione della tipologia dei fenomeni, in relazione alla possibilità di valutarne la rapidità dei tempi di sviluppo.

È necessario sottolineare inoltre che tra i fattori di pericolo non sono stati considerati la sismicità e le valanghe, problematiche di cui si occupano con una ben distribuita rete di monitoraggio, appositi servizi tecnici regionali.

Nella sua veste attuale, come già sottolineato, la documentazione cartografica prodotta fa riferimento fondamentale alla pericolosità connessa ad eventi pluviometrici; fornisce inoltre elementi di orientamento per valutare la riattivabilità di antichi grandi fenomeni franosi.

I risultati ottenuti, dai quali traspare un quadro precedentemente in gran parte sconosciuto, costituiscono una base conoscitiva da utilizzarsi a livello di programmazione regionale. Ogni applicazione ed areali più ristretti, senza opportuni controlli più dettagliati e verifiche di aggiornamento, sarebbe poco corretta, se non pericolosa, potendo dare un falso convincimento di precisione e completezza della carta, anche là dove gli



elementi di conoscenza riportati sono in parte insufficienti.

Da quanto esposto nelle pagine precedenti emerge la complessità dei problemi trattati, per ciascuno dei quali vengono descritte metodologie e schemi procedurali trasferibili a scale più dettagliate. Ad esempio, un fatto da accertare su aree rappresentative sufficientemente estese, è il grado di ripetitività nel tempo di fenomeni franosi, al fine di confrontarne la diffusione e l'importanza in rapporto ai processi sicuramente classificabili di "primo distacco". I risultati potranno chiarire in quale misura una conoscenza dettagliata della franosità regressa riferita ad un lungo intervallo di tempo, risponda alle esigenze previsionali sulla potenziale instabilità di un territorio.

La previsione deterministica dei processi gravitativi, in riferimento alla loro localizzazione ed in parte anche alla tipologia, ne risulterebbe facilitata. La probabilità di accadimento dei fenomeni, in termini di frequenza nel tempo, allo stato attuale delle conoscenze, sono valutabili solo sul lungo periodo ed in base alla frequenza dei fattori riconosciuti come principali cause innescanti.

Questi ed altri problemi riguardanti il riconoscimento del più probabile meccanismo evolutivo di un fenomeno fin dai suoi primi sintomi, l'identificazione dei valori critici assegnabili ai vari tipi di cause innescanti, la messa a punto della strumentazione più idonea per attivare sistemi automatici di controllo dell'instabilità e la taratura di modelli analitici e numerici per l'elaborazione in tempo reale dei dati di monitoraggio, costituiscono ulteriore materia di studio e di approfondimento.

Il numero di pericoli che oggi minacciano l'integrità dell'ambiente e la vita stessa sembra paradossalmente crescere, anche per entità di danni producibili, in relazione diretta con lo sviluppo economico-sociale e quindi con il progresso culturale e tecnologico raggiunto dalle varie comunità.

Giustamente in anni recenti si sono richieste con fermezza, ed in gran parte sono state ottenute, maggiori garanzie di sicurezza nei luoghi di lavoro e nei pubblici ritrovi; nulla giustifica per contro la sottovalutazione o l'accettazione di rischi naturali o generati da azioni antropiche nell'ambiente che permanentemente ci circonda, laddove con analoghe iniziative codificate o quanto meno attraverso più adeguate forme di comportamento, sarebbe possibile prevenirne i potenziali effetti.

La frattura che si apre con sempre maggiore ampiezza tra quello che si fa e ciò che si dovrebbe fare al fine di evitare i danni di un evento idrometeorologico, è determinata indubbiamente oltre che da fattori economici e speculativi, anche da scarsa conoscenza ed informazione.

A rimuovere quest'ultima motivazione si spera possano effettivamente contribuire i risultati delle ricerche qui esposti, nell'ambito dei quali si è più volte fatto riferimento al maggior numero possibile di dati sui dissesti avvenuti in passato.

L'intera serie di indagini svolte ha posto in luce l'im-

portanza sia sul piano conoscitivo che su quello metodologico, di raccogliere sistematicamente dati e documentazioni circa i fenomeni d'instabilità ogni qualvolta si verificano; ha posto in evidenza inoltre le difficoltà per il reperimento delle notizie pregresse, sia in termini di tempo che di accessibilità alle disperse fonti di informazioni, spesso restie a fornire i dati.

Con soddisfazione pertanto va registrata l'iniziativa assunta dalla Regione Piemonte per salvaguardare il patrimonio di informazioni già esistente e per aggiornarlo con continuità, al fine di costituire una banca-dati, strumento di base indispensabile per ogni attività tecnico-scientifica rivolta alla difesa da eventi naturali.

## Bibliografia

ANDERSON M.G., RICHARDS K.S. (1987), *Slope Stability. Geotechnical, Engineering and Geomorphology*. Wiley & Sons, Plymouth 648 pp.

ANSELMO V. (1978), "L'evento idrologico del 19 maggio 1977 nei bacini del Pellice e Germanasca". Atti 16° Conv. Idr. e Costr. Idr., Torino B3, 1-12.

ANSELMO V. (1979), *Il nubifragio del 7 agosto 1978 nel bacino del Toce*. Boll. Ass. Min. Subalpina, 16, 2, 283-300.

ANSELMO V. (1979), *Sul comportamento delle infrastrutture stradali in ambiente alpino nel corso di eventi alluvionali*. Atti Rass. Tecnica Soc. Ingg. e Arch., Torino, 113, 2, 61-73.

ANSELMO V., CARONI E., DI NUNZIO F., GODONE F. (1980), *Precipitazioni di breve durata in Piemonte. Contributo preliminare*. Atti e Rass. Tecnica Soc. Ingg. e Arch., Torino, 113, 9, 315-326.

ANSELMO V., ROLANDO G., TROPEANO D. (1986), *Cenni sull'evento alluvionale del 26-27 agosto 1834 in Valsesia. Sintesi retrospettiva*. Atti e Rass. Tecn. Soc. Ingg. e Arch., Torino, 40 (11-12), 345-347.

AUTORI VARI (1981): *Mapping Geological Hazards*. Engineering Geology Bull., 23, 7-61.

BARISONE G., BOTTINO G., CIVITA M., MASSAZZA G. (1980), *Fenomeni franosi e franosità nel basso Monferrato (Piemonte): analisi della franosità reale e potenziale del Complesso argilloso indifferenziato*. Ass. Min. Subalp., 17, 3-4, 1-60, Torino.

BRUNSDEN D., PRIOR D.B. (1984), *Slope Instability*. Wiley and Sons, Salisbury, 620 pp.

CANCEIL M. (1983), *Risques naturels et théorie mathématique du risque*. Hydrogéologie, Géologie de l'Ingénieur, 2, 137-143.

CARONI E. (1979), *Pluviometria del Biellese Orientale*, Boll. Ass. Min. Subalpina, 16, 4, 889-909.

CARONI E., MARAGA F. (1985), *Flood prediction from channel width in the Po river basin*. Atti del Convegno "Progress in mass movement and sediment transport studies" C.N.R.-P.A.N. Meeting, Torino 5-7 dicembre 1984, 265-275.

CIVITA M. (1977), *La Geologia Tecnica nella pianificazione globale del territorio: schema operativo di cartografia tematica integrata a livello regionale*. Boll. Soc. Min. Subalpina, XIV, 2, 28 pp.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1983), *Eventi alluvionali e frane nell'Italia Settentrionale*. Ist. Protez. Idrogeologica nel Bacino Padano, 486 pp.

CROZIER M.J. (1986), *Landslides. Causes, Consequences & Environment*. Croom Helm, London, 252 pp.

EINSTEIN H.H. (1988), *Landslides risk assessment procedure*. In "Landslides" Proc. Int. Symp. on Landslides, ed. Bonnard, Lausanne 2, 1075-1090.

- GANDINO E., LAVAZZA F., MASSAZZA G. (1981), *I dissesti nei bacini dei torrenti Melezze, Fenecchio e basso Isorno*. Regione Piemonte, Servizio Geologico, Carta alla scala 1:25.000.
- GIODA A. (1978), *Dynamique paroxystique du bas Pellice: aménagement et protection du milieu riverain*. Atti 16° Conv. Idr. e Costr. Idr., Torino, B15, 1-3.
- GOVI M. (1975), *Cartographie, documentation et interprétation de crues et coulées de boue dans les Alpes italiennes*. Atti "Interpraevent" 1975, Innsbruck, 2, 209-224.
- GOVI M., SORZANA P.F. (1980), *Landslide susceptibility in function of critical rainfall depths in Piedmont basins*. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 15, 81-98.
- GOVI M. (1985), *The instability processes induced by meteorological events. An approach for hazard evaluation in the Piedmont region (NW Italy)*. C.N.R.-P.A.N. Meeting on "Progress in Mass Movements and Sediment Transport Studies", Torino 5-7 dic. 1984, 11-19.
- GOVI M., MORTARA G., SORZANA P.F. (1985), *Eventi idrologici e frane*. Geol. Applicata e Idrogeol., 20, (2), 359-375.
- GOVI M. (1989), *The 1987 landslide on Mount Zandila in the Valtellina, Northern Italy*. Landslide News, 3, 1-3.
- GREGORY K.I., WALLING D.E. (1973), *Drainage basin, form and process*. E. Arnold ed., Londra.
- HAIMES Y. (1984), *Integrated risk and uncertainty assessment in water resources within a multiobjective framework*. J. Hydrology, 68, 405-417.
- HARTLEN J., VIBERG L. (1988), *Evaluation des risques de glissement*. In: "Landslides", Proc. Int. Symp. on Landslides, ed. Bonnard, Lausanne, 2, 1037-1057.
- MARAGA F., MORTARA G. (1982), *Le cave per inertì lungo i corsi d'acqua: rapporti con la dinamica fluviale*. Boll. Ass. Min. Subalpina, 18, 3-4, 385-395.
- MC BEAN E., HIPEL K.W., UNNI T.E. (1979), *Input for risk Analysis in water systems*. 480 pp, Fort Collins, Colorado.
- MIN. ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE (1980), *Lutte contre les nuisances des inondations*. B.C.E.O.M., 71 pp.
- MIN. ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE (1981), *Risques géologiques, Mouvements de Terrain*. Bull. di Liaison del Laboratoire des Ponts et Chaussées. 130 pp.
- MORTARA G., TURITTO O. (1989), *Considerazioni sulla vulnerabilità di alcuni siti adibiti a campeggio in ambiente alpino*. Atti Convegno Internazionale Geingegneria "Suolosottosuolo", Torino 27-30 settembre 1989, Ass. Min. Subalpina, (1) 137-144.
- PROJET DUTI (1983), *Rapport d'activité à fin 1982*. Relaz. ined. Ecole Polyt. Federal., Losanna, 130 pp.
- RAMASCO M., SUSELLA G. (1978), *Carta della instabilità idrogeologica in Alta Valle di Susa (scala 1:25.000)*. Regione Piemonte, Servizio Geologico.
- RAMASCO M., ROSSANIGO P. (1988), *Evoluzione morfologica dell'alveo del Torrente Cervo nel tratto di pianura e studio fotointerpretativo dell'inondazione verificatasi il 2-3 novembre 1968*. Provincia di Vercelli, Regione Piemonte, 28 pp.
- REIS R. (1988), *Contributo allo studio sulla dinamica fluviale dei fiumi Cervo e Sesia presso Vercelli*. Boll. Ass. Min. Subalpina, 25, 2-3, 303-314.
- RIVALTA L. (1978), *Linee programmatiche dell'attività della Regione Piemonte nel Campo della pianificazione territoriale*. Regione Piemonte, Atti Convegno "Pianificazione territoriale e geologia", 3-10.
- TROPEANO D., ORSI E., VERCELLOTTI C., MASSOBRIO R. (1987), *Osservazioni sul trasporto solido in sospensione nel bacino del Torrente Erro (Piemonte meridionale). La piena del 24 agosto 1987*. Ass. Min. Subalpina, 24 (3-4), 475-501.
- TROPEANO D., TERZANO P. (1987), *Eventi alluvionali nel bacino del Torrente Belbo: tipologia e frequenza dei dissesti in base a notizie storiche*. Boll. Ass. Min. Subalpina, 24 (3-4), 437-474.
- TROPEANO D. (1989), *An historical analysis of flood and landslide events, as a tool for risk assessment in Bormida Valley*. Atti Convegno Internazionale Geingegneria "Suolosottosuolo", Torino 27-30 settembre 1989, Ass. Min. Subalpina, (1), 145-151.
- TUNG Y.K., MAYS L.W. (1981), *Risk models for flood levee design*. Water Res. Research, 17, 4, 833-841.
- TURITTO O. (1987), *Dinamica fluviale*. In "Manuale per la prevenzione dei pericoli ambientali", Ammin. Prov. di Torino, Torino, 25-35.
- U.S. GEOL. SURVEY (1982), *Goals and Tasks of the Landslide Part of a Ground-Failure Hazards Reduction Program*. Circular 880, 48 pp.
- VARNES D. (1978), *Slope Movements Types and Processes*. In: SCHUSTER R.L. & KRIZEK R.J. (edit.) "Landslides Analysis and Control", Transp. Research Nat. Sc. Spec. Report, 176, Washington, 11-33.
- VARNES D.I. (1981), *The principles and practice of landslide hazard zonation*. Engin. Geology, 23, 13-14.