



REGIONE PIEMONTE

SETTORE PREVENZIONE DEL
RISCHIO GEOLOGICO
METEOROLOGICO E SISMICO



U.E.



**UNIVERSITE J. FOURIER
LIRIGM**

GEOLOGIE ET MECANIQUE

RISCHI GENERATI DA GRANDI MOVIMENTI FRANOSI

Studio comparato di 4 siti nelle Alpi franco-italiane

TESTO DI RACCOMANDAZIONI

RISQUES GENERES PAR LES GRANDS MOUVEMENTS DE VERSANT

Etude comparative de 4 sites des Alpes franco-italienne

RECOMMANDATIONS

Consolidamento ed armonizzazione dell'esperienza acquisita sui due versanti alpini
in materia di supporto alla decisione nella gestione del rischio.

*Consolidation et harmonisation de l'expérience acquise sur les deux versants alpins
en matière d'aide à la décision pour la gestion du risque.*

Programma INTERREG I Italia - Francia
Programme INTERREG I France - Italie

1996

Redazione del testo:

Rédaction du texte:

Gianfranco SUSELLA - Françoise ZANOLINI

È doveroso ringraziare:

Vincenzo COCCOLO

per la rilettura critica del testo,

Pier ALIATTA, Flavio BAUDUCCO,

Silvia SICARDI, Ferdinando TAMBERLANI

per informatizzazione, trattamento grafico, acquisizione
dati e dattiloscrittura di parti del presente lavoro.

Nous tenons a remercier:

Bernard COUTURIER

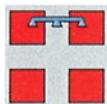
pour la rélecture critique de cet ouvrage

et Véronique TISSEYRE

pour le secrétariat et la gestion administrative de ce projet.

Questo lavoro è stato realizzato da personale tecnico delle Amministrazioni Pubbliche ed Istituti di Ricerca italiani e francesi sotto indicati:

Ce travail a été réalisé grâce aux scientifiques des organismes français et italiens indiqués ci-dessous:



REGIONE PIEMONTE

SETTORE PER LA PREVENZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO, METEOROLOGICO
E SISMICO

*Matteo BROVERO, Stefano CAMPUS, Ferruccio FORLATI,
Manlio RAMASCO, Gianfranco SUSELLA
Via Pisano 6, I, 10152 Torino*



UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER

LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE DE RECHERCHE IMPLICANT LA GEOLOGIE
ET LA MECANIQUE (LIRIGM)

*Pierre ANTOINE, David AMITRANO, André GIRAUD, Didier HANTZ,
Jean Marc VENGEON
IRIGM, BP 53, F, 38041 Grenoble Cedex 9*



**PÔLE GRENOBLOIS D'ETUDE ET DE RECHERCHE POUR LA PREVENTION
DES RISQUES NATURELS**

*François GILLET, Françoise ZANOLINI
IRIGM, BP 53, F, 38041 Grenoble Cedex 9*



POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE

*Claudio SCAVIA
Corso Duca degli Abruzzi 24, I, 10129 Torino*



CENTRE D'ETUDES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT DE LYON (CETE)

LABORATOIRE RÉGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES RHÔNE-ALPES

*Henri EVRARD
109 Avenue Salvador Allende, Case n.1, F, 69674 Bron Cedex*



CENTRE D'ETUDES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT MEDITERRANEE (CETE)

LABORATOIRE DE NICE

*Jean Paul FOLLACCI
56 Boulevard Stalingrad, F, 06300 Nice*



LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES (LCPC)

RÉSEAU DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES
MISSION MÉCANIQUE DES ROCHES

*Louis ROCHET
4 Rue Clément Ader, F, 69500 Bron*

L'Europa degli Stati si avvia, seppure tra molte comprensibili difficoltà, a divenire una realtà tangibile. Precorritrice di questo "spazio aperto", prima ancora dello scambio delle merci e delle tecnologie, è stata, da sempre, la circolazione delle idee.

Nel momento in cui le distanze che separano le varie nazioni paiono per certi versi aumentare anziché diminuire, seguendo in queste tensioni di natura economica, sociale o, a volte, di sola apprensione per un futuro dagli orizzonti incerti, è compito del politico e dell'amministratore il produrre un'azione di indirizzi volti a promuovere crescita delle conoscenze e quindi livello scientifico ed economico.

È significativa quindi, in questo senso, la pubblicazione qui presentata; la proficua collaborazione tra tecnici e ricercatori di Italia e Francia ha permesso di predisporre un testo di indicazioni metodologiche per un campo ambientale della massima importanza: l'uso del suolo nelle regioni montuose in situazioni particolari di rischio.

Questo testo ha il pregio, allora, di essere, oltre che il risultato voluto di un progetto di studio, nell'ambito dei contratti "INTERREG" per l'armonizzazione delle conoscenze tra Stati confinanti, anche uno dei volumi di quella ideale "biblioteca europea" in via di formazione.

Ugo Cavallera

Assessore Regionale
Ambiente, Cave e Torbiere, Energia,
Pianificazione e Gestione delle Risorse Idriche,
Lavori Pubblici e Tutela del Suolo

Aujourd'hui, les questions d'aménagement du territoire doivent être prises en compte, non seulement dans leur dimension locale, régionale ou nationale mais également dans leur dimension européenne. Ceci est particulièrement important pour un territoire tel que les Alpes.

En effet, les problèmes rencontrés dans la gestion et l'aménagement de l'espace alpin présentent un certain nombre de caractéristiques communes qui tiennent au fait que ces territoires montagnards sont des systèmes sensibles soumis à des conditions naturelles extrêmes et à de fortes pressions humaines (urbanisation, tourisme, voies de communication...).

Ils constituent ainsi un enjeu significatif pour la politique de développement régional mise en place par l'Union Européenne.

Dans l'aménagement du territoire alpin, les risques naturels imposent des contraintes fortes et jusqu'à une date récente, ces questions n'étaient guère abordées que dans un cadre purement national.

Grâce à l'initiative communautaire "INTERREG" pour la coopération transfrontalière, il a été possible de travailler à une échelle plus large et d'établir une collaboration fructueuse entre spécialistes français et italiens. La mise en commun de ces savoir-faire ne peut être que bénéfique pour progresser dans la lutte contre ces phénomènes naturels dont l'impact, en région alpine, est considérable.

Gérard Gineste

Commissaire à l'aménagement
et au développement économique des Alpes

INDICE SOMMAIRE

1. PREMESSA	pag. 11
AVANT-PROPOS	
2. TESTO DELLE RACCOMANDAZIONI	» 13
RECOMMANDATIONS	
Introduzione	» 15
<i>Introduction</i>	
2.1. Caratteri specifici degli studi di stabilità dei versanti	» 15
<i>Caractères spécifiques des études de stabilité des versants</i>	
2.2. Metodologia dello studio	» 16
<i>Méthodologie de l'étude</i>	
2.2.A. Approccio storico	» 17
<i>Approche historique</i>	
2.2.B. Approccio geologico	» 19
<i>Approche géologique</i>	
2.2.C. Approccio morfodinamico	» 20
<i>Approche morphodynamique</i>	
2.2.D. Approccio idrologico e climatologico	» 21
<i>Approche hydrologique et climatologique</i>	
2.2.E. Approccio idrogeologico	» 23
<i>Approche hydrogéologique</i>	
2.2.F. Approccio geometrico	» 25
<i>Approche topométrique</i>	
2.2.G. Approccio geomeccanico	» 27
<i>Approche géomécanique</i>	
2.2.H. Scenari d'evoluzione spazio-temporale dei movimenti	» 28
<i>Scénarios d'évolution spatio-temporelle des mouvements</i>	
Conclusioni	» 30
<i>Conclusion</i>	
Allegato - Esempi di schede per la raccolta di dati storici	» 33
<i>Annexe - Modèle de fiche d'enquête historique</i>	
3. ANALISI DI 4 MOVIMENTI DI VERSANTE	» 37
ANALYSE DE 4 CAS DE GRANDS MOUVEMENTS DE VERSANT	
Carta dell'ubicazione dei siti studiati	» 38
<i>Carte de localisation des sites étudiés</i>	

3.1. Schede riassuntive	pag. 39
<i>Fiches résumées</i>	
3.1.a. La frana del “Cassas” (I)	» 41
<i>Le mouvement de versant de “Cassas” (I)</i>	
3.1.b. La frana de la “Clapière” (F).	» 48
<i>Le mouvement de versant de la “Clapière” (F)</i>	
3.1.c. La frana di “Rosone” (I)	» 54
<i>Le mouvement de versant de “Rosone” (I)</i>	
3.1.d. La frana di “Ruines de Séchilienne” (F)	» 63
<i>Le mouvement de versant des “Ruines de Séchilienne” (F)</i>	
3.2. Schede dettagliate	» 69
<i>Fiches détaillées</i>	
3.2.a. La frana del “Cassas” (I)	» 71
<i>Le mouvement de versant de “Cassas” (I)</i>	
3.2.b. La frana de la “Clapière” (F).	» 105
<i>Le mouvement de versant de la “Clapière” (F)</i>	
3.2.c. La frana di “Rosone” (I)	» 143
<i>Le mouvement de versant de “Rosone” (I)</i>	
3.2.d. La frana di “Ruines de Séchilienne” (F)	» 179
<i>Le mouvement de versant des “Ruines de Séchilienne” (F)</i>	

I. PREMESSA

Il presente lavoro è stato condotto collegialmente da un gruppo di specialisti italiani e francesi aventi esperienze simili e al tempo stesso complementari nel campo dello studio della stabilità dei versanti.

La motivazione fondamentale dello studio è stata la considerazione del limitato sviluppo delle collaborazioni tra specialisti italiani e francesi nel campo delle analisi delle frane di cui è nota l'importanza soprattutto per quanto riguarda le problematiche inerenti l'ambiente alpino (urbanizzazione, grandi vie di comunicazione ecc.). Tali specialisti (ricercatori scientifici e tecnici più direttamente coinvolti nella soluzione dei problemi applicativi) hanno affrontato per diversi anni problemi di instabilità sul territorio italiano e francese delle Alpi, separatamente, senza mettere in comune quanto maturato nel tempo.

Il progetto colma tale lacuna e avvia una collaborazione che risulta particolarmente interessante in relazione al carattere complementare delle diverse esperienze.

La condivisione di questo patrimonio conoscitivo porta a progressi nelle modalità e nei mezzi utilizzati per affrontare i problemi connessi con i rischi naturali.

Nel presente lavoro sono state analizzate in modo critico le *metodologie* utilizzate nei due paesi per studiare l'instabilità dei versanti in un'ottica di *gestione del rischio*.

A partire da tale esame è stato redatto un *testo di raccomandazioni*, che individua le modalità più coerenti ed efficaci per affrontare questi problemi. Sono stati quindi analizzati *4 casi reali* di grandi movimenti di versante, per alcuni dei quali esisteva una serie di informazioni significative:

- in Italia, i siti di:
Cassas (Valle della Dora Riparia)
Rosone (Valle dell'Orco)
- in Francia, i siti di:
Clapière (Valle della Tinée)
Séchilienne (Valle della Romanche)

La prima fase del lavoro ha riguardato l'acquisizione e la raccolta dei dati e la loro *organizzazione* (sotto forma di schede) secondo uno schema comune. Ciò ha portato alla stesura di quattro diversi rapporti, uno per ogni caso reale studiato¹.

La seconda fase è consistita nell'*analisi dei dati*, nella *formalizzazione dei metodi di studio* e nella

I. AVANT-PROPOS

Le présent travail a été conduit collectivement par un groupe de spécialistes italiens et français ayant des expériences à la fois similaires et complémentaires dans le domaine de la stabilité des versants.

Il s'efforce de répondre aux préoccupations suivantes : dans le domaine des *mouvements de versants*, dont on sait l'importance notamment en ce qui concerne l'aménagement des vallées alpines (urbanisation, grandes voies de communication...), les collaborations entre spécialistes français et italiens étaient jusqu'alors peu développées. Ces spécialistes (scientifiques et praticiens) ont depuis des années, travaillé à résoudre les problèmes d'instabilité sur les versants italiens et français des Alpes, mais ils l'ont fait en travaillant chacun de leur côté, sans mettre en commun leur expérience ni leurs moyens d'analyse.

Ce projet vient combler cette lacune et amorcer une collaboration dont l'intérêt est d'autant plus marqué que les partenaires ont des compétences très complémentaires. La mise en commun de ces savoir-faire ne peut qu'être bénéfique pour progresser dans la résolution de problèmes de risques naturels dont l'importance dans les Alpes est considérable.

Le but de ce travail a donc été de faire le point sur les *méthodologies* pratiquées dans les deux pays pour étudier les instabilités de versants montagneux dans une optique de *gestion du risque* encouru par les populations. A partir de cette analyse, l'objectif final a été de rédiger un *texte de recommandations* indiquant la manière la plus cohérente et la plus efficace d'aborder ces problèmes.

Pour cela, il a été décidé de partir de l'analyse de *4 cas concrets* de grands mouvements de versants pour certains desquels il existait déjà une somme d'informations importantes :

- en Italie :
Cassas (vallée de la Dora Ripaire)
Rosone (vallée de l'Orco)
- en France :
Clapière (vallée de la Tinée)
Séchilienne (vallée de la Romanche)

La première phase du travail a consisté à acquérir ou collecter des données et à les *structurer* en utilisant une présentation type sous forme de fiches. Des textes de synthèse d'une trentaine de pages chacun présentent ainsi les 4 cas étudiés¹.

¹ Ogni testo (cfr. cap. 3.2 - Schede dettagliate) è stato redatto nella rispettiva lingua nazionale per mantenere le modalità di pensiero, di lavoro e di espressione dei due paesi.

¹ Chacun de ces rapports (cfr. chap. 3.2 - Fiches détaillées) est rédigé dans sa langue nationale afin de préserver les modes de pensée, de travail et d'expression des deux pays.

conseguente *redazione* del presente testo di raccomandazioni.

La metodologia proposta, per quanto basata sullo studio di un numero limitato di grandi movimenti franosi, porta a risultati generalizzabili ad altri casi similari. Alcune indicazioni contenute prescindono dalle dimensioni dei siti analizzati e conservano validità nel caso di movimenti franosi di minore estensione.

Il testo, volutamente conciso e limitato all'essenziale, si rivolge alle *autorità responsabili* ed ai *servizi tecnici* italiani e francesi che sono coinvolti nella gestione dei rischi relativi alle frane.

La deuxième phase a consisté, à *analyser ces données* et à *formaliser les méthodes* d'études. Ces réflexions ont conduit à la rédaction du présent fascicule de recommandations.

Cet ouvrage, volontairement concis et se limitant à l'essentiel, est destiné aux *décideurs* et aux *services techniques* de France et d'Italie qui sont impliqués dans la gestion du risque "mouvement de terrain".

TESTO DELLE RACCOMANDAZIONI
RECOMMENDATIONS

INTRODUZIONE

Il testo è stato redatto con l'obiettivo di mettere a punto una metodologia di studio integrata a partire dalle differenti esperienze acquisite in ciascuno dei due paesi.

Gli autori sono infatti convinti che tale metodologia debba derivare da un approccio multidisciplinare e che necessiti di uno sforzo da parte degli specialisti per armonizzare le conoscenze e i risultati nel campo della geologia e dell'ingegneria. Ciò ha condotto alla redazione di *raccomandazioni metodologiche comuni* che possono servire di indirizzo per orientare le scelte delle autorità responsabili e per fornire una metodologia di analisi del problema per coloro che vi si devono confrontare ad un livello prettamente tecnico.

Nelle intenzioni degli autori il lavoro deve sottolineare i tratti essenziali dell'approccio e le relative implicazioni tecnologiche e scientifiche. La preoccupazione principale è che in futuro gli studi possano essere affrontati e condotti nel modo più efficace possibile, tenendo nel debito conto l'ambito generale e le caratteristiche del contesto geologico.

Inoltre, come suggerisce l'esperienza comune a tutti i partecipanti, si è enfatizzata l'importanza di una comunicazione il più possibile chiara ed oggettiva tra gli specialisti, i gestori del rischio e le popolazioni che possono esserne interessate.

È stato quindi indispensabile chiarire un certo numero di aspetti che la pratica mostra essere all'origine di incomprensioni tra le diverse parti sociali che si trovano direttamente o indirettamente coinvolte dal fenomeno d'instabilità. La complessità degli studi e l'incertezza della conoscenza scientifica rendono problematiche le decisioni amministrative spesso avvertite come costrizioni dalle popolazioni.

Nel testo viene dedicata particolare attenzione alla precisazione dei limiti delle conoscenze teoriche e dei metodi impiegati in modo che nessuno si attenda dagli specialisti più di quello che le conoscenze attuali sul tema possano fornire.

2.1 CARATTERI SPECIFICI DEGLI STUDI DI STABILITÀ DEI VERSANTI

Gli obiettivi degli studi di stabilità dei versanti in un'ottica di protezione civile possono essere così sintetizzati:

1. individuazione e delimitazione delle zone attive;
2. identificazione della tipologia del movimento, stima delle geometrie e dei volumi interessati;
3. valutazione della evoluzione possibile del fenomeno e delle zone minacciate.

INTRODUCTION

L'objectif est de mettre au point une méthodologie d'approche intégrée à partir des différentes expériences acquises dans chacun des deux pays.

Les auteurs sont convaincus que l'étude doit dériver d'une approche pluridisciplinaire et suppose un effort de la part des spécialistes pour intégrer et harmoniser les connaissances et les résultats dans le domaine de la géologie et de l'ingénierie.

La comparaison entre les approches théoriques, les méthodes d'investigation mises en oeuvre et l'interprétation des résultats, a permis d'intégrer au mieux les connaissances acquises et a conduit à la rédaction de *recommandations méthodologiques communes*. Celles-ci peuvent être utilisées comme fil conducteur soit pour orienter les *choix* des décideurs, soit pour fournir une méthodologie expérimentale d'approche du problème pour ceux qui y sont confrontés à un niveau plus technique.

Dans l'esprit des auteurs, le texte doit souligner les traits essentiels de l'approche et ses implications scientifiques, technologiques et temporelles. La préoccupation principale est que à l'avenir, les études puissent être engagées et conduites de la façon la plus efficace possible, en tenant le plus grand compte du contexte général et des caractéristiques du milieu. D'autre part, l'expérience commune des participants démontre clairement toute l'importance d'une communication claire et objective entre les spécialistes, les gestionnaires du risque et les populations concernées. Compte tenu de la complexité des études qui conditionnent les décisions administratives, souvent perçues comme contraignantes, et de l'incertitude de la connaissance scientifique, liée à l'interprétation des phénomènes naturels, il est indispensable de clarifier un certain nombre de points dont la pratique montre qu'ils sont à l'origine d'incompréhensions entre les différentes parties. Ce fascicule prend soin, en outre, de bien préciser les limites de la connaissance théorique ainsi que des méthodes, afin que personne n'attende de la part des spécialistes plus que ce que les connaissances acquises jusqu'ici peuvent fournir.

2.1 CARACTÈRES SPÉCIFIQUES DES ÉTUDES DE STABILITÉ DES VERSANTS

Il convient avant tout de préciser les objectifs des études de stabilité des versants dans une optique de sécurité civile. Celles-ci ont pour but de définir les points suivants :

1. reconnaissance et délimitation des zones actives ;
2. identification de la typologie du mouvement, estimation de la géométrie et des volumes mis en jeu ;

1. Per *zona attiva* si intende una porzione di territorio caratterizzato da condizioni di instabilità. Queste zone sono identificate dalla presenza di disordini superficiali che sono spesso indizio di movimenti profondi. Tali movimenti possono essere accertati solo mediante indagini in profondità.

La delimitazione delle zone attive richiede tecniche opportune che ne consentano una rappresentazione cartografica utile per avviare azioni normative ed interventi di salvaguardia.

2. Il movimento gravitativo di un versante può dipendere da diversi meccanismi. A tale riguardo occorre osservare come ad ogni tipo di meccanismo corrisponda generalmente una tipologia frana caratterizzata da una specifica morfologia ed evoluzione temporale.

La comprensione del meccanismo permette:

- di formulare ipotesi sull'evoluzione del movimento;

- di conoscere gli elementi che ne condizionano l'evoluzione e la dinamica;

- di poter intervenire, se ciò è possibile, a titolo preventivo su alcuni fattori, per rallentare o contenere l'evoluzione prevista.

3. Le *zone minacciate* corrispondono alle aree che possono essere interessate dalla propagazione più o meno rapida del movimento, dopo il suo innesco.

La comprensione del meccanismo permette:

- di trarre indicazioni sull'evoluzione del movimento e, in caso di rottura, sull'ulteriore comportamento del fenomeno;

- di individuare gli elementi che condizionano l'evoluzione del movimento e quindi, di agire, se possibile, a titolo preventivo su alcuni di questi, per rallentarne o contrastarne l'evoluzione prevista.

Nota: La delimitazione delle aree coinvolte e minacciate richiede tecniche differenti. Nei due casi il risultato degli studi si concretizza in zonizzazioni cartografiche che costituiscono la base per l'applicazione di leggi e regolamenti in vigore.

La metodologia proposta, anche se basata sullo studio di quattro grandi movimenti franosi, ha tuttavia una portata più generale e può applicarsi anche a movimenti circoscritti.

3. évolution possible du phénomène et évaluation des zones menacées.

1. Par *zone active* on entend un territoire qui réunit un certain nombre de conditions qui déterminent l'instabilité. Ces zones sont identifiées par la présence de désordres superficiels qui sont souvent des indices de mouvements profonds. Ceux-ci ne peuvent être avérés que si l'on peut accéder à la troisième dimension, en utilisant les moyens techniques appropriés.

2. Le mouvement gravitaire d'un versant peut obéir à divers mécanismes, correspondant à des lois physiques différentes :

- à chaque type de mécanisme correspond généralement un *type de mouvement* caractérisé par un aspect morphologique et une évolution temporelle.

- la connaissance de la géométrie et du volume en mouvement est un élément fondamental.

La détermination du mécanisme est ainsi un élément fondamental pour l'appréciation du danger.

3. Les *zones menacées* correspondent aux aires qui peuvent être intéressées par la propagation plus ou moins rapide du mouvement, après son déclenchement.

La compréhension du mécanisme permet :

- de se faire une idée sur l'évolution du mouvement et, dans le cas où celui-ci conduit à une rupture brutale, sur le comportement ultérieur ;

- de connaître les éléments qui conditionnent l'évolution du mouvement et ainsi d'agir à titre préventif si cela est possible, sur certains d'entre eux, pour ralentir ou contenir l'évolution envisagée.

Remarques : La délimitation des zones concernées et menacées requiert différentes techniques. Dans les deux cas, le résultat des études se traduit par une représentation graphique des limites cartographiques qui serviront de base à l'application des lois et règlements en usage.

La méthodologie proposée, bien que basée sur l'étude de quatre mouvements de grande ampleur, a une portée plus générale ; en particulier, elle peut s'appliquer à des mouvements plus restreints.

2.2 METODOLOGIA DELLO STUDIO

La metodologia mira a stabilire un quadro globale del fenomeno, attraverso l'integrazione di approcci essenzialmente complementari:

- A) Approccio storico.
- B) Approccio geologico.
- C) Approccio morfodinamico.
- D) Approccio idrologico e climatologico.
- E) Approccio idrogeologico.

2.2 MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

La méthodologie vise à établir une image globale du phénomène par l'intégration d'un certain nombre d'approches essentiellement complémentaires :

- A) Approche historique.
- B) Approche géologique.
- C) Approche morphodynamique.
- D) Approche hydrologique et climatologique.
- E) Approche hydrogéologique.

F) Approccio geometrico.

G) Approccio geomeccanico.

Questi aspetti devono essere sviluppati ed approfonditi in parallelo e devono interagire il più possibile tra loro, per condurre ad una modellazione d'insieme. Essa è, per sua natura, un processo in divenire in relazione al progredire delle conoscenze. Il quadro d'insieme, costituito dal concorso di tutti gli approcci, deve permettere la definizione di:

H) Scenari di evoluzione spazio-temporale dei movimenti.

A) APPROCCIO STORICO

Lo studio storico è particolarmente utile per formare un quadro conoscitivo sul movimento frano e stabilirne una ricorrenza temporale e spaziale, fornendo inoltre utili elementi di definizione tipologica.

Si constata che questo tipo di indagine è raramente realizzata per i movimenti di versante o si riduce molte volte a fornire una serie di informazioni presentate in modo disorganico. Ciò può essere molto dannoso per la qualità dei dati.

Si raccomanda quindi che all'approccio classico (geologia, climatologia, idrologia, ecc.) si aggiunga quello specifico da parte di uno specialista storico delle questioni riguardanti la pianificazione del territorio in senso lato (aspetto tecnico, economico, politico e sociale) ed esperto conoscitore degli archivi, per contribuire in modo più efficace alla ricerca e alla critica dei dati.

Il lavoro di ricerca storica non è sufficiente in ogni caso a stabilire gli scenari di evoluzione futura.

Definizione - L'analisi storica costituisce la prima tappa del processo di conoscenza di un fenomeno di instabilità. Essa permette di posizionarlo tra le altre trasformazioni spaziali di origine naturale o umana sopravvenute nel corso degli ultimi secoli nel settore interessato (infrastrutture di comunicazione, habitat, copertura vegetale, ecc.) e di precisarne la natura e la frequenza delle fasi di riattivazione.

Finalità - L'analisi storica deve permettere di stabilire a partire da quanto tempo il fenomeno è conosciuto e di ottenere informazioni sui danni provocati, sulla frequenza delle fasi di riattivazione e sull'evoluzione generale dell'instabilità.

Potenzialità - Se la raccolta delle informazioni storiche è sufficientemente completa ed affidabile, è possibile affinare i risultati ottenuti per mezzo di altri metodi di indagine.

Difetti e limiti - Il metodo di ricerca storica trova un limite importante nella carenza e nella imprecisione dei dati. Importanti riattivazioni di feno-

F) Approche topométrique.

G) Approche géomécanique.

Ces approches doivent être conduites en parallèle, interagissant entre elles le plus possible pour conduire à une modélisation d'ensemble. Une telle étude est par sa nature un processus en devenir du fait du progrès des connaissances. Le cadre d'ensemble constitué par le concours de toutes les approches doit permettre la définition des :

H) Scénarios d'évolution spatio-temporelle des mouvements.

A) APPROCHE HISTORIQUE

L'étude historique est particulièrement utile pour se faire une idée générale du phénomène et appréhender son éventuel caractère récurrent. Elle doit permettre de mieux positionner le phénomène sur une échelle chronologique large (siècles) dont la logique échappe souvent à l'observateur du présent. Elle fournit ainsi d'utiles éléments de définition et de typologie. Tous les travaux de recherche historique ne suffisent pas pour autant à établir des scénarios d'évolution future.

Par contre, ils peuvent enrichir utilement les banques de données spécialisées dont le développement est envisageable dans un proche avenir. On constate en fait que ce type d'investigation est très rarement réalisé pour les mouvements de versant. Lorsqu'il l'est, il se réduit le plus souvent à une série d'informations rassemblées et mises à disposition sans aucune méthode. Cela est très dommageable pour la qualité des données.

Aussi recommande-t-on qu'aux approches scientifiques classiques (géologie, climatologie, hydrologie, etc.), on adjoigne celle d'un historien spécialiste des questions touchant à l'aménagement du territoire au sens large (aspects technique, économique, politique et social). Il devra être un fin connaisseur des archives pour contribuer encore plus efficacement à la recherche et à la critique des données.

Définition - L'analyse historique constitue la première étape du processus de connaissance d'un phénomène d'instabilité. Elle permet tout d'abord de le repositionner parmi les autres transformations spatiales d'origine naturelle ou humaine survenues au cours des derniers siècles dans le secteur affecté (infrastructures de communication, habitat, couvert végétal, etc.) et de préciser ensuite, s'il y a lieu, la nature et la fréquence des phases de réactivation du glissement.

Finalité - L'analyse historique doit permettre d'établir à partir de quand le phénomène est connu et d'obtenir des informations sur les dommages provoqués, sur la fréquence des phases de réactivation et sur l'évolution générale de l'instabilité.

meni possono in effetti non essere state registrate per mancanza di testimonianze scritte od orali. Ciò può risultare particolarmente pregiudizievole se gli eventi hanno provocato danni a beni e a persone. Inoltre, le descrizioni dei fenomeni, effettuate molto spesso da persone non specializzate, possono essere incomplete o inesatte.

Elementi necessari - Non esiste un minimo richiesto. In qualche raro caso, la ricerca storica può non essere possibile per mancanza di dati. La prima fase d'indagine, dovrà essere dedicata ad un inventario critico delle fonti.

Da evitare - L'analisi storica deve essere effettuata, nella fase di ricerca dei documenti, da personale in possesso di conoscenze tecniche adeguate, al fine di evitare di accumulare informazioni di poca utilità o anche di trascurare dati fondamentali.

Come fare - L'analisi storica combina due approcci complementari, che fanno riferimento l'uno alla memoria orale, l'altro alla memoria scritta:

- la ricerca d'archivio (documenti testuali o iconografici, manoscritti o stampe, ecc.). È certamente il metodo più affidabile, anche se comporta un investimento importante in termini di tempo e quindi di denaro;

- l'inchiesta orale presso le popolazioni locali. È un metodo da utilizzarsi, anche se i risultati che può fornire non sono sempre affidabili. La memoria orale può d'altra parte essere in certi casi la sola testimonianza disponibile e può anche confermare o sconfessare la memoria scritta.

L'analisi storica dovrebbe essere costituita da:

- una raccolta dei dati: predisposizione di uno schedario ricavato dalla consultazione di tutti i documenti inventariati (manoscritti, giornali, fotografie, testimonianze orali, ecc.). L'insieme di queste informazioni grezze deve essere l'oggetto di un dossier organizzato cronologicamente o tematicamente;

- un rapporto tecnico di sintesi dei diversi documenti. Dovranno essere indicati i riferimenti esatti alle fonti utilizzate, ad esempio sotto forma di note a piè di pagina;

- una sintesi finale, nella quale venga descritta l'evoluzione storica del fenomeno di instabilità considerato e vengano commentati e ponderati in maniera critica i dati.

Nota - I risultati così ottenuti, non possono essere considerati come definitivi. In effetti, in linea teorica, la raccolta dei dati, come anche l'analisi critica di quelli esistenti, possono proseguire indefinitamente. È necessario precisare su ogni scheda la data della sua stesura. Si vigilerà con cura

Potentialité - Si la collecte des informations historiques est suffisamment complète et fiable, elle peut constituer la base d'un (outil de type statistique) et fournir la possibilité d'affiner les résultats obtenus au moyen d'autres méthodes d'investigation.

Défauts et limites - La méthode de recherche historique trouve une limite notable dans la carence et l'imprécision des données. D'importantes réactivations de phénomènes peuvent, en effet, ne pas être remarquées du fait d'un manque de témoignages écrits ou oraux. Ceci peut être particulièrement préjudiciable si ces événements ont provoqué des dommages à des biens et personnes. De plus, les descriptions des phénomènes, effectuées très souvent par des personnes non spécialisées, peuvent être incomplètes ou inexactes.

Éléments nécessaires - Il n'existe pas un minimum requis; dans quelques rares cas la recherche historique peut ne pas être possible par manque de données. La première phase d'investigation devra donc être consacrée à un inventaire critique des sources.

A éviter - Dans la phase de recherche de documents, l'analyse historique doit être effectuée par un personnel en possession des connaissances géotechniques adéquates, afin d'éviter l'accumulation de données de piètre utilité ou bien d'en négliger d'autres plus fondamentales. Il faut éviter également le manque d'analyse critique dans la phase de présentation synthétique des données.

Comment faire? - L'analyse historique combine deux approches complémentaires faisant appel l'une à la mémoire orale, l'autre à la mémoire écrite...

- la recherche en archives (documents textuels ou iconographiques, manuscrits ou imprimés, etc.): c'est certainement la méthode la plus fiable même si elle comporte un investissement important en temps et donc coûteux.

- l'enquête orale auprès des populations locales: c'est une méthode à utiliser, même si les résultats qu'elle peut fournir ne sont pas toujours fiables. La mémoire orale peut cependant être, dans certains cas, le seul témoignage disponible, ou bien encore confirmer ou infirmer la mémoire écrite.

L'approche historique se compose:

- d'une collation des données: fichier établi à partir de la consultation de tous les documents inventoriés (manuscrits, journaux, photographies, témoignages oraux, etc...). L'ensemble de ces informations brutes doit faire l'objet d'un dossier organisé chronologiquement ou selon différents thèmes.

- d'un rapport technique faisant la synthèse des différents documents. On veillera ici à indiquer les références exactes des sources utilisées, sous forme de notes de bas de page par exemple.

- d'une synthèse finale dans laquelle est décri-

sulle questioni di metodo, in modo che lo strumento di analisi storica conservi nel tempo rigore e flessibilità.

B) APPROCCIO GEOLOGICO

Definizione - Stabilisce le conoscenze riguardanti la natura e la struttura dei materiali che costituiscono l'ammasso roccioso sede del movimento di versante, al fine di stabilire il contesto geologico regionale che servirà di base alla costituzione del modello geo-strutturale del versante.

Finalità - Deve permettere la comprensione dei grandi meccanismi geologici che hanno condotto alla formazione dell'ammasso roccioso attuale e quindi alle recenti evoluzioni, che possono aver contribuito all'instabilità del versante. Si sintetizza in una carta geo-strutturale che deve essere più estesa della zona in movimento.

Potenzialità - Permette di stabilire la rappresentazione sintetica necessaria alla costituzione dei modelli idrogeologici e geomeccanici.

Difetti e limiti - La formulazione del modello geologico comporta una parte di soggettività, in particolare se non si hanno informazioni sull'ammasso roccioso in profondità. La qualità del rilievo geologico dipende da quella della base topografica, dal numero e dalla qualità degli affioramenti, dall'esperienza del geologo, dalle condizioni di accesso, ecc.

Elementi necessari - Base topografica di buona qualità, a scala idonea, foto aeree, archivi, ecc.

Risultati minimi - Una carta geo-strutturale originale in scala adeguata (almeno 1:5.000) e un rapporto che contenga:

- caratterizzazione litologica-strutturale;
- sezioni geologiche interpretative;
- una legenda esplicativa;
- note ed illustrazioni.

Da evitare - Evitare l'assunzione acritica di risultati di studi precedenti, soprattutto se aventi finalità differenti. I lavori precedenti, consultati o utilizzati, devono essere citati.

Come fare - Per elaborare una carta geologica, è necessario condurre una campagna di rileva-

te l'évolution historique du phénomène d'instabilité considéré, et où les données sont commentées et pondérées de façon critique.

Remarque - Les résultats ainsi obtenus ne peuvent toutefois être considérés comme définitifs. Par principe, en effet, la collation des données ne prend jamais fin, de même que l'*analyse critique* de celles précédemment recueillies. Il est nécessaire de préciser sur chaque fiche sa date de création. On veillera donc *avec soin* aux questions de méthode afin que l'outil d'analyse historique conserve dans le temps rigueur et souplesse.

B) APPROCHE GÉOLOGIQUE

Définition - Elle établit un ensemble de connaissances sur la nature et la structure des matériaux qui constituent l'édifice montagneux où se produit le mouvement de versant. Ces connaissances doivent permettre d'établir un contexte géologique régional qui servira de base à la constitution du modèle géologique local du versant.

Finalité - Elle doit permettre la compréhension des grands mécanismes géologiques, qui ont conduit à la mise en place de l'édifice montagneux actuel puis aux évolutions récentes, contribuant à l'instabilité du versant. Elle s'exprime par une carte géologique qui doit déborder largement la zone en mouvement.

Potentialité - Elle permet d'établir les représentations synthétiques nécessaires à la constitution des modèles hydrogéologiques et géomécaniques.

Défauts et limites - La formulation du modèle géologique comporte une part de subjectivité, notamment si on n'a pas accès à la 3^e dimension notamment en l'absence de reconnaissance en profondeur. La qualité du relevé géologique dépend : de celle du fond topographique, du nombre et de la qualité des affleurements, de l'expérience du géologue...

Éléments nécessaires - Un fond topographique de bonne qualité, à bonne échelle, photos aériennes, archives....

Résultats minimaux - Une carte géologique originale d'échelle adéquate (au moins au 1: 5000) et un rapport contenant :

- des coupes géologiques interprétatives ;
- une notice explicative ;
- des illustrations ;
- les interprétations possibles et leurs limites ;
- les indications pour des analyses ultérieures ;
- des annexes photographiques illustratives.

A éviter - Eviter de se fier aveuglement à des études antérieures surtout si leur finalité est diffé-

mento, la cui programmazione dovrà tener conto delle condizioni climatiche ed ambientali. La definizione dei tempi necessari è di competenza dello specialista e può variare in modo sensibile in funzione delle difficoltà incontrate. È importante che, a partire da questa fase, siano disponibili tutte le foto aeree e le basi topografiche.

Nota - È essenziale insistere sull'importanza del *rilevamento in situ*. I rilevamenti dovranno essere realizzati da un *geologo con idonea esperienza* nel campo dei movimenti di versante. Il ricorso a tecniche di indagine, quali i sondaggi, non avverrà eventualmente che in una seconda fase per verificare i dati geologici. La rappresentazione cartografica dei rilevamenti dovrà essere effettuata in modo tale da produrre facilmente più copie consultabili.

C) APPROCCIO MORFODINAMICO

Definizione - Si tratta essenzialmente di un metodo osservazionale che permette, per mezzo dell'analisi delle forme e delle loro evoluzioni spaziotemporali, di formulare, ipotesi sulla natura, la geometria e i meccanismi di evoluzione delle zone instabili.

Finalità - Permette una buona definizione della tipologia, delle dimensioni e dell'evoluzione del fenomeno di instabilità, la cui rappresentazione su supporto cartografico costituisce una base per studi più approfonditi.

Potenzialità - È possibile ottenere per confronto indicazioni qualitative sull'evoluzione del fenomeno, qualora i rilievi topografici e aerofotografici realizzati in periodi successivi siano disponibili. Se si dispone di cartografie numeriche ottenute posteriormente, è possibile effettuare simulazioni quantitative dell'evoluzione morfologica del fenomeno di instabilità.

Difetti e limiti - Il modello morfodinamico, che rappresenta il meccanismo di evoluzione dell'instabilità, è il risultato di una interpretazione. Per questo necessita di una esperienza notevole e di specializzazione, in particolare per la fase fotointerpretativa. Comunque esso venga realizzato non è mai esente da soggettività e dipende inoltre da possibili errori, mancanza di precisione o dall'aggiornamento della carta topografica utilizzata.

Elementi necessari - È necessario disporre di una carta topografica in scala adatta alle dimen-

rente. Les travaux précédents, consultés et utilisés, doivent être cités.

Comment faire? - Pour élaborer une carte géologique adaptée, il est nécessaire de mener une campagne de relevés. La programmation de celle-ci devra tenir compte des conditions climatiques et environnementales. La définition du temps nécessaire est de la compétence du spécialiste et peut varier sensiblement en fonction des difficultés rencontrées. Il est important que dès cette phase toutes les photos aériennes et les fonds topographiques soient disponibles.

Remarque - Il est essentiel d'insister sur l'importance des *relevés de terrains*. Ceux-ci devront être réalisés par un *géologue expérimenté* qui aura acquis les compétences spécifiques dans le domaine des mouvements de versant. Le recours à des techniques de reconnaissance tels que les sondages ne viendra éventuellement que dans une seconde phase pour valider les données géologiques. Il est opportun que soient réalisées des copies consultables de ces travaux.

C) APPROCHE MORPHODYNAMIQUE

Définition - Il s'agit essentiellement d'une méthode d'observation qui permet, au moyen de l'analyse des formes et de leurs évolutions spatio-temporelles, d'établir des hypothèses sur la nature, la géométrie et les mécanismes d'évolution des zones instables.

Finalité - Elle permet une bonne définition de la typologie, de la dimension et de l'évolution du phénomène d'instabilité, dont la représentation sur support cartographique constitue une base pour les projets d'étude et d'enquête plus approfondies.

Potentialité - Si des relevés topographiques et aéro-photographiques, réalisés à des périodes successives, sont disponibles, il est possible d'obtenir, par comparaison, des indications qualitatives sur l'évolution du phénomène. Si on dispose à ces différentes dates de cartographies numériques, des simulations *quantitatives* d'évolution du phénomène d'instabilité sont alors possibles.

Défauts et limites - Le modèle morphodynamique qui représente le mécanisme d'évolution de l'instabilité est le résultat d'une interprétation : il nécessite une expérience notable et une spécialisation et, de toute façon, n'est jamais exempt de subjectivité. Il dépend en outre des possibles erreurs, manques de précision ou de mise à jour de la carte topographique utilisée.

Éléments nécessaires - Il est nécessaire de disposer d'une carte topographique d'échelle adaptée aux dimensions du phénomène. Celle-ci devra

sioni del fenomeno. Tale carta dovrà coprire anche un'area sufficientemente estesa intorno alla zona interessata dal fenomeno di instabilità. Si può, a titolo indicativo, considerare la scala 1:5000 come sufficiente (se necessario verrà condotta una campagna di rilevamento appropriata). È indispensabile inoltre disporre di una copertura di fotografie aeree specifiche, per le quali bisognerà stabilire a priori la scala del volo, il periodo più adatto di effettuazione e la superficie da ricoprire.

Da evitare - Sono da evitare l'utilizzazione di un supporto topografico poco preciso o non aggiornato e l'effettuazione di ingrandimenti eccessivi ottenuti da carte a scala troppo ridotta.

Nota - Una carta topografica ottenuta da una fotorestituzione molto dettagliata facilita e rende molto più preciso l'approccio morfodinamico, sia nel corso della campagna di rilevamento, sia durante la fase di analisi delle foto aeree sia ancora nella fase di preparazione delle cartografie elaborate. Ci si dovrà basare sull'approccio geologico per l'elaborazione degli schemi di evoluzione.

D) APPROCCIO IDROLOGICO E CLIMATOLOGICO

Definizione - Consiste nell'analisi dei dati climatologici, effettuata a partire dalla raccolta dei valori dei parametri climatici (precipitazioni e temperatura) e dal loro trattamento con strumenti di tipo statistico.

Finalità - Occorre caratterizzare il sito interessato dal movimento di versante da un punto di vista climatico, vale a dire cercare di identificare i parametri più significativi in rapporto alla mobilitazione del fenomeno di instabilità.

Potenzialità - Gli strumenti di analisi appropriati, sviluppati nel campo dell'idrologia, permettono la determinazione della probabilità statistica del verificarsi di un evento meteorologico particolare, capace di provocare una riattivazione dell'instabilità.

Difetti e limiti - I dati possono essere quantitativamente poco numerosi o variamente lacunosi. La loro affidabilità dipende dalla cura con la quale sono stati registrati e poi elaborati.

Elementi necessari - L'analisi statistica di una serie di dati idro-climatologici è tanto più valida quanto più estesa e completa. A titolo indicativo, si deve considerare una serie storica ininterrotta di alcune decine di anni, contenenti almeno un processo di riattivazione del fenomeno.

Da evitare - È da evitare l'utilizzo di serie storiche di lunghezza troppo limitata o comprendente dati poco affidabili; è opportuno ricordarsi inol-

covrire una area sufficientemente grande della zona entourant l'instabilité. On peut, à titre indicatif, considérer l'échelle 1/5000 comme suffisante (si nécessaire mener une campagne de relevés appropriée). Il est nécessaire, en outre, de disposer d'une couverture de photographies aériennes spécifique dont il faudra établir à priori: l'échelle de vol, la période la plus adaptée pour la prise de vue ainsi que la surface à couvrir.

A éviter - Utilisation d'un fond topographique peu précis ou non tenu à jour. Éviter les agrandissements excessifs obtenus à partir de carte d'échelle trop petite.

Remarque - Une carte topographique obtenue, par photorestitution très détaillée facilite et rend plus précise l'approche morphodynamique, soit au cours de la campagne de relevés, soit durant la phase d'analyse des photos aériennes, soit encore dans la phase de préparation des cartographies élaborées. On se base sur l'approche géologique pour l'élaboration des schémas d'évolution.

D) APPROCHE HYDROLOGIQUE ET CLIMATOLOGIQUE

Définition - L'analyse des données climatologiques nécessite une récolte des valeurs des paramètres climatiques (précipitations et températures), et leur traitement avec des instruments de type statistique afin de décrire le climat d'une région donnée.

Finalité - Caractériser le site intéressé par le mouvement de versant d'un point de vue climatique, c'est à dire chercher à identifier quels sont les paramètres les plus significatifs vis à vis de la mobilisation du phénomène d'instabilité.

Potentialité - Les instruments d'analyse appropriés, issus de l'hydrologie, permettent la détermination de la probabilité statistique de l'occurrence d'un événement météorologique particulier, potentiellement en mesure de déclencher une réactivation de l'instabilité.

Défauts et limites - Les données peuvent être quantitativement peu nombreuses ou plus ou moins lacunaires et leur fiabilité peut dépendre du soin avec lequel les données sont enregistrées puis élaborées.

Éléments nécessaires - L'analyse statistique d'une série de données hydro-climatologiques sera d'autant plus soignée que cette dernière sera étendue et complète. A titre indicatif on peut donner comme valeur minimale une série historique ininterrompue d'au moins dix ans, dans laquelle soit compris au moins un processus de réactivation du phénomène.

tre che l'indagine dei dati climatici fornisce risultati esclusivamente in forma probabilistica.

Come fare - È necessario consultare organismi specializzati, pubblici o privati, la cui esperienza sia provata e che gestiscano l'acquisizione e l'interpretazione dei dati meteorologici.

Nota - Tenuto conto del ruolo fondamentale giocato dall'acqua nella stabilità dei versanti, è essenziale caratterizzare gli apporti idrici, vale a dire le precipitazioni, la fusione della neve e l'eventuale influenza della evapotraspirazione.

Per valutare le precipitazioni, si dispone in generale di una rete più o meno fitta di stazioni pluviometriche situate ad alcuni chilometri o decine di chilometri intorno alla zona interessata dal movimento di versante. Il primo obiettivo consiste nell'identificare le stazioni di interesse e nell'analizzare le serie di dati di cui si dispone per ciascuna di esse. Tali dati sono sovente disponibili ad intervalli di tempo variabili: un'ora, due ore, ... 24 ore. A differenza di quanto avviene per l'idrologia nella valutazione del tempo di ritorno di piena, per lo studio delle instabilità dei versanti potrebbe essere sufficiente in molti casi un intervallo di tempo di 24 ore (piogge giornaliere). Il secondo obiettivo consiste nell'effettuare un'interpolazione spaziale tra i dati rilevati nelle diverse stazioni pluviometriche al fine di stimare le precipitazioni in corrispondenza del sito in cui avviene l'instabilità. Questo lavoro deve essere affidato a *specialisti*. Nelle regioni a rilievo più marcato, le precipitazioni possono in effetti variare in modo notevole in funzione della situazione meteorologica (orientazione dei versanti e posizione in rapporto alle cime circostanti). Si viene così a poter disporre sul sito ove si produce l'instabilità di una serie di dati pluviometrici calcolati su periodi abbastanza lunghi (venti, trent'anni o più). Parallelamente, è comunque buona norma allestire rapidamente una stazione pluviometrica sul sito stesso. Devono allora essere individuate delle correlazioni tra le precipitazioni eccezionali che si sono prodotte nel passato e i processi di riattivazione del fenomeno che sono stati osservati come pure correlazioni della stessa natura tra le precipitazioni misurate oggi e le fasi di accelerazione degli spostamenti misurati (vedi più oltre alla voce "approccio geometrico").

È infatti essenziale determinare come la frana reagisce alle precipitazioni e con quale ritardo di risposta (precipitazioni cumulate su periodi più o meno lunghi, effetto soglia, effetti di saturazione dei suoli, che possono prodursi con la fusione della neve o con piogge regolari seguite da piogge intense).

A éviter - Il faut éviter une utilisation de séries historiques de mesures trop courtes ou comprenant des données peu fiables. Il est opportun de se rappeler, en outre, que l'analyse de données climatiques fournit des résultats exclusivement sous forme de probabilité.

Comment faire - Il est nécessaire de recourir à la consultation d'*organismes spécialisés*, publics ou privés, dont l'expérience soit éprouvée et qui gèrent l'acquisition et l'interprétation des données météorologiques.

Remarque - Compte tenu du rôle primordial joué par l'eau dans les instabilités de versant, il est essentiel de caractériser les apports hydriques : précipitations, fonte de la neige, éventuellement influence de l'évapotranspiration.

Pour évaluer les précipitations, on dispose en général de stations pluviométriques qui sont situées à quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres autour de la zone concernée par le mouvement de terrain, constituant un réseau plus ou moins dense.

La 1^{re} tâche consiste à identifier ces stations et à analyser les séries de données dont on dispose pour chacune d'elles. Ces données sont souvent disponibles à des pas de temps variables : 1h, 2h, ..., 24h. Seuls les hydrologues ont besoin de pas de temps faibles pour évaluer les risques de crues éclair. Pour l'étude des instabilités de versant, le pas de temps de 24h (pluies journalières) est suffisant.

La 2^e tâche consiste à faire une interpolation spatiale entre les diverses stations pluviométriques pour estimer les précipitations sur le site même de l'instabilité. Dans les régions à relief marqué, les précipitations peuvent en effet varier dans des proportions notables en fonction des situations météorologiques (orientation des versants et position par rapport aux sommets environnants).

Ce premier travail étant fait, on dispose alors sur le site où se produit l'instabilité de séries de données pluviométriques calculées assez longues (souvent 20, 30 ans ou plus). Parallèlement, il est bon de mettre en place rapidement une station pluviométrique sur le site même.

Il faut alors chercher à établir des corrélations entre les précipitations exceptionnelles qui se sont produites dans le passé et les processus de réactivation du phénomène qui ont pu être observés. Des corrélations de même nature sont à établir entre les précipitations mesurées aujourd'hui et les éventuelles phases d'accélération du glissement que l'on mesure (voir plus loin "approche topométrique").

Il est en effet essentiel de déterminer comment le glissement réagit aux précipitations et avec quel délai de réponse (précipitations cumulées sur des périodes plus ou moins longues, effet de seuil, effets de saturation des sols – qui peuvent se produire

avec la fonte de la neige ou avec des pluies régulières – suivies de pluies intenses...). On cherchera à établir un modèle décrivant les types de réponse du mouvement aux précipitations auxquelles il est soumis.

E) APPROCCIO IDROGEOLOGICO

L'acqua gioca un ruolo essenziale nell'evoluzione e nell'attivazione dei movimenti, tanto nei suoli come nelle rocce.

Definizione - L'approccio idrogeologico di un movimento di versante di grande ampiezza consiste nel caratterizzare l'acquifero (il mezzo che riceve l'acqua) e le circolazioni di acque sotterranee che lo attraversano. Tale caratterizzazione deve interessare la zona attiva e una zona sufficientemente estesa intorno ad essa. L'acquifero è definito dalla geometria dei vuoti (fessure e fratture aperte, come anche interstizi intergranulari), le cui dimensioni (in particolare la larghezza delle fessure), orientazioni, connessioni, continuità e densità determinano la (le) permeabilità. I caratteri dell'acquifero si evolvono poco e in modo relativamente lento sotto l'effetto degli spostamenti che inducono dilatazioni e contrazioni e sotto l'effetto della saturazione.

Le circolazioni subiscono variazioni cicliche (stagionali) e istantanee sensibilmente più rapide.

Finalità - Le sollecitazioni che si producono nell'ammasso roccioso a causa della circolazione delle acque sotterranee costituiscono un fattore primario di instabilità dei versanti. La conoscenza di tali circolazioni contribuisce, insieme all'approccio geomeccanico, alla valutazione delle sollecitazioni. Tale valutazione costituisce un elemento di base necessario alla diagnostica e alla previsione dell'instabilità del versante.

Potenzialità - L'approccio idrogeologico presenta un interesse particolare, in quanto può evidenziare la possibilità di intervenire con particolari tecniche di drenaggio che, in alcuni casi, rappresentano le uniche tecniche di intervento efficaci possibili.

Difetti e limiti - L'approccio idrogeologico è sovente ostacolato, nel caso dei grandi movimenti franosi, dalla difficoltà e dal costo a volte esorbitante delle indagini in profondità, le sole in grado di fornire dati affidabili. La strumentazione disponibile è sovente di difficile uso nei mezzi fessurati. In queste condizioni, non si dispone di modelli di comportamento di provata validità e generalizzabili. D'altra parte, l'estrapolazione di modelli relativi ai movimenti di versante di ampiezza minore deve essere effettuata con molte precauzioni.

E) APPROCHE HYDROGÉOLOGIQUE

L'eau joue un rôle essentiel dans l'évolution et le déclenchement des mouvements tant dans les sols que dans les roches.

Définition - L'approche hydrogéologique d'un mouvement de terrain de grande ampleur consiste à caractériser dans le volume propre du glissement et dans un environnement assez large l'aquifère, c'est à dire le milieu qui reçoit l'eau, et les circulations d'eaux souterraines qui le traversent.

L'aquifère est défini par la géométrie des vides (fissures et fractures ouvertes ainsi qu'interstices intergranulaires). Leurs dimensions (notamment largeur pour les fissures), leurs orientations, leurs connexions, leurs continuités, leur densité déterminent la (les) perméabilité(s).

Les caractères de l'aquifère évoluent peu et relativement lentement, sous l'effet des déplacements induisant dilatations et contractions et sous l'effet du colmatage.

Les circulations connaissent des variations, cycliques (saisonnières) et instantanées, sensiblement plus rapides.

Finalité - Les sollicitations exercées par la circulation des eaux souterraines sur le terrain qui les contient constituent un facteur prépondérant de l'instabilité des versants. La connaissance de ces circulations contribue, associée à l'approche géomécanique, à une évaluation de ces sollicitations nécessaire pour fonder des diagnostics et des pronostics de stabilité pertinents.

Potentialités - L'approche hydrogéologique présente un intérêt particulier : elle peut dans certains cas mettre en évidence des possibilités de drainage du site et déboucher sur l'une des rares modalités de confortement efficaces pour les mouvements de terrain de grande ampleur.

Défauts et limites - L'approche hydrogéologique est souvent contrariée, dans le cas des mouvements de grande ampleur, par la difficulté et le coût, parfois rédhibitoires, des investigations en profondeur seules susceptibles de fournir des données incontestables.

L'instrumentation en usage est souvent mal adaptée aux milieux fissurés. Dans ces conditions, on ne dispose pas de modèles de comportement-type éprouvés et généralisables tandis que l'extrapolation de ceux mis en évidence dans les mouvements de terrain de moindre ampleur est sujette à caution.

Elementi necessari - Si tenta sovente di supplire all'assenza di informazioni dirette in profondità con una metodologia indiretta che si basa sull'analisi dei dati forniti dagli approcci geologici, idrogeologici e climatologici. Tale metodologia consiste in:

- censimento delle sorgenti permanenti e temporanee;
- interpretazione e utilizzazione dei dati strutturali relativi alla fratturazione forniti dall'approccio geologico;
- analisi dei fattori di alimentazione ottenuti dagli approcci idrologico e climatologico, quali pioggia, fusione della neve, acqua di ritenuta.

È anche possibile analizzare la tipologia delle sequenze accelerazioni-decelerazioni degli spostamenti e delle loro relazioni temporali con gli eventi meteorologici scatenanti. Ciò può essere fatto quando l'approccio geometrico fornisce dati cinematici sufficientemente frequenti.

Da evitare

- una durata insufficiente del periodo di osservazione. L'unità di tempo è un ciclo idrologico di quattro stagioni che costituisce il campione minimo. Conviene superare questa durata per evitare conclusioni sbagliate;
- una strumentazione troppo limitata in relazione alla grande ampiezza della zona potenzialmente instabile che implica necessariamente di strumentare dei volumi importanti;
- misure troppo discontinue. Le sollecitazioni determinanti per la stabilità possono risultare da parossismi idrogeologici di durata molto breve, che possono sfuggire alle misure discontinue. A fronte di errori di registrazione, si privilegeranno misure di tipo maxi-mini.

Come fare - L'approccio idrogeologico deve essere coerente con gli altri approcci. Il necessario censimento delle sorgenti superficiali può essere condotto in parallelo con la cartografia geologica e lo studio morfodinamico. La programmazione delle indagini idrogeologiche invece non può precedere la raccolta dei primi dati geologici (in particolare strutturali), idrogeologici e climatologici. Quando le indagini in profondità sono possibili, la fase di esecuzione dei fori permette osservazioni, misure e prove insostituibili. L'esecuzione non deve essere lasciata ai soli sondatori, ma deve essere supervisionata da tecnici specializzati.

Nota - I regimi a carattere marcatamente transitorio, legati a circostanze meteorologiche eccezionali o a modifiche interne associate con processi di rottura, possono determinare le instabilità maggiori e sono da considerarsi molto più importanti dei regimi ordinari. Il livello attuale di conoscenza delle specificità dell'idrologia dei mezzi rocciosi fratturati, che sono la sede della maggioranza dei

Éléments nécessaires - En l'absence d'investigations, on tente souvent de pallier l'absence d'informations directes en profondeur par une démarche indirecte reposant sur l'analyse des données fournies par les approches géologiques, hydrologiques et climatologiques :

- recensement des exutoires permanents et temporaires,
- dépouillement des données structurales relatives à la fracturation fournies par l'approche géologique,
- facteurs d'alimentation résultant de l'approche hydrologique et climatologique : pluie, fonte des neiges, niveau dans les éventuelles retenues.

On peut aussi analyser la typologie des séquences accélération-ralentissement et de leur relations temporelles avec les événements météorologiques susceptibles de les déterminer, quand l'approche topométrique fournit des données cinématiques suffisamment suivies.

A éviter

- une durée insuffisante de la période d'observation : l'unité de temps est un cycle hydrologique de quatre saisons qui constitue l'échantillon minimum ; il convient de dépasser cette durée pour éviter des conclusions hâtives.
- une instrumentation trop réduite : la grande ampleur de l'instabilité implique nécessairement de reconnaître des volumes importants.
- des capteurs inadaptés dans les milieux fissurés.
- des mesures trop discontinues : les sollicitations majeures déterminantes peuvent résulter de paroxysmes hydrogéologiques de durée très brève qui peuvent échapper aux mesures discontinues. À défaut d'enregistrement, on privilégiera des mesures du type maxi-mini.

Comment faire - L'approche hydrogéologique doit être cohérente avec les autres approches. Le nécessaire recensement des exutoires superficiels peut être conduit en parallèle avec la cartographie géologique et l'étude morphodynamique, mais la conception d'un programme d'investigations hydrogéologiques ne peut précéder les premières données géologiques (notamment structurales), hydrogéologiques et climatologiques qu'il doit prendre en compte.

Lorsque des investigations en profondeur sont possibles, la phase d'exécution des forages permet des observations, des mesures et des essais irremplaçables ; elle ne doit pas être abandonnée aux seuls sondeurs mais mobiliser des techniciens spécialisés.

Remarque - Des régimes très transitoires, liés à des circonstances météorologiques exceptionnelles ou à des modifications internes associées aux ruptures, peuvent déterminer les instabilités majeure-

movimenti di terreno di grande ampiezza, è ancora insufficiente. La realizzazione di un modello idrogeologico rappresentativo rimane un'operazione delicata.

F) APPROCCIO GEOMETRICO

Definizione - La caratterizzazione degli spostamenti e delle deformazioni passate e attuali è un elemento essenziale dell'analisi dei movimenti di terreno. L'approccio geometrico permette di quantificare questa analisi attraverso la misura della superficie topografica, delle sue deformazioni, e per quanto possibile, dei movimenti in profondità.

Finalità - L'approccio mira alla costruzione di una rappresentazione spazio-temporale oggettiva dei movimenti e della deformazione della zona instabile e della loro evoluzione. Essa contribuisce in modo determinante all'elaborazione dei modelli geologici e geomeccanici del sito e alla loro taratura.

Potenzialità - L'approccio geometrico riguarda un insieme di metodologie di misura varie e complementari che, se impiegate in modo corretto e in funzione delle condizioni particolari del sito, permettono di avere accesso a un livello di informazioni variabili in densità e precisione:

- deformazioni superficiali di insieme (fotogrammetria differenziale, modelli numerici del terreno, trattamento di immagini);
- determinazione precisa dei movimenti superficiali localizzati (geodesia ottica o satellitare);
- movimenti in profondità (inclinometri, strumentazione di gallerie di indagine);
- cinematica continua dei movimenti (stazioni geodetiche automatiche, estensimetri).

Difetti e limiti - La messa in opera delle metodologie sudette necessita sempre (ad eccezione della fotogrammetria) dell'installazione di una strumentazione preliminare (reticoli di riferimento, capisaldi di misura, reti di sensori, ecc.). La realizzazione e la messa a punto della strumentazione e delle metodologie necessitano a volte di tempi lunghi, variabili a seconda delle caratteristiche del sito. La realizzazione delle misure geodetiche dipende dalle condizioni meteorologiche. Esistono d'altra parte metodi fotogrammetrici che impongono un limite supplementare relativo alla visibilità e alla illuminazione del suolo (fotografie prese in assenza di foglie, scelta dell'ora in funzione dell'esposizione del sito). La presenza di una vegetazione densa costituisce ugualmente una difficoltà per le misure geodetiche che necessitano di condizioni di visibilità (geodesia ottica) oppure di spa-

res et ils sont à considérer en sus des régimes ordinaires. Le niveau actuel de connaissance des spécificités de l'hydrogéologie des milieux rocheux fracturés, qui sont le siège de la plupart des mouvements de terrain de grande ampleur, reste très insuffisant. L'établissement d'un modèle hydrogéologique représentatif reste délicat.

F) APPROCHE TOPOMÉTRIQUE

Définition - La caractérisation du déplacement et des déformations passés et actuels est un volet essentiel de l'analyse des mouvements de terrain. L'approche topométrique permet de quantifier cette analyse par la mesure de la géométrie de la surface topographique, des déformations de celle-ci et dans la mesure du possible des mouvements en profondeur.

Finalité - L'approche topométrique vise à l'établissement d'une image spatio-temporelle objective des mouvements et des déformations de la zone instable et de leur évolution. Elle contribue de manière déterminante à l'élaboration des modèles géologiques et géomécaniques du site et à leur adaptation. Elle constitue le support intégrateur de l'ensemble des données géométriques et cinématiques.

Potentialité - La topométrie recouvre un ensemble de méthodes de mesures variées et complémentaires. Employées judicieusement et en fonction des conditions particulières du site, celles-ci peuvent permettre d'avoir accès à des niveaux d'informations variables en densité et en précision :

- déformation superficielle d'ensemble (photogrammétrie différentielle, modèles numériques de terrain, traitement d'images),
- détermination précise de mouvements superficiels localisés (géodésie optique ou satellitaire),
- mouvements en profondeur (inclinométrie, pendules inversés, équipement de galeries de reconnaissance),
- cinématique continue des mouvements (stations géodésiques automatiques, capteurs extensométriques).

Défauts et limites - La mise en oeuvre des méthodes topométriques nécessite toujours (à l'exception de la photogrammétrie) un équipement préalable du site (canevas d'appui, repères de mesure, réseaux de capteurs...). La réalisation et la mise au point de cette infrastructure et le rodage des méthodes, nécessitent un délai éventuellement important, variable selon le site. La réalisation des mesures géodésiques est tributaire des conditions météorologiques. Il en est de même des méthodes photogramétriques qui imposent en outre une contrainte supplémentaire de visibilité et d'éclairage du sol (prises de vues en l'absence de feuil-

zi liberi davanti all'antenna (geodesia satellitare). La determinazione dei movimenti in profondità necessita della realizzazione di sondaggi strumentati. Tali sondaggi possono essere resi impossibili a causa di movimenti di grande entità o della limitata sicurezza della zona attiva, ma risultano indispensabili per ottenere informazioni sui movimenti in profondità.

Elementi necessari - La definizione del dispositivo geometrico deve essere fatta a tappe, in funzione dello stato di avanzamento del modello geologico, e quindi di quello geomeccanico. La concezione e la collocazione dei dispositivi di misura richiedono un piano topografico rappresentativo della morfologia del versante (piano fotogrammetrico in scala 1:5.000 o superiore). La scelta dei punti di riferimento stabili posti ai margini esterni della zona instabile deve essere effettuata con molta attenzione. Tale scelta si basa sui dati disponibili (in particolare quelli geologici). La conoscenza di eventuali dati precedenti, relativi a movimenti avvenuti nel sito di interesse o nelle immediate vicinanze, costituisce un elemento importante.

Da evitare - Un allestimento non strettamente coordinato con l'approccio geologico o geomeccanico può condurre a misure difficilmente utilizzabili e di poco interesse.

L'assenza della supervisione di uno specialista competente nel campo del rilevamento dei movimenti di terreno, può condurre a una inadeguatezza dei metodi o dei mezzi messi in opera e ad una perdita definitiva di informazioni essenziali. Oltre al possibile aumento dei costi, ciò potrebbe comportare un ritardo nella diagnostica, pregiudizievole per la sicurezza.

Nota - L'approccio si sviluppa durante l'intero processo di indagine e di studio del sito. Per questo motivo, è di carattere evolutivo e deve adattarsi alle variazioni di assetto del sito. Parallelamente, questa evoluzione deve essere legata a quella dei modelli geologici e geomeccanici e implica un adattamento dei dispositivi e dei metodi in funzione del progredire delle conoscenze del sito¹.

les, choix de l'heure en fonction de l'exposition du site).

La présence d'une végétation dense constitue également une difficulté pour les mesures géodésiques qui nécessitent des conditions de visibilité (géodésie optique) ou de dégagement d'antenne (géodésie satellitaire).

La détermination des mouvements en profondeur nécessite la réalisation de forages instrumentés. Celle-ci peut être rendue impossible par la vitesse des mouvements ou l'insécurité de la zone active.

Éléments nécessaires - La définition du dispositif topométrique doit être faite par étape, en fonction de la mise en place du modèle géologique, puis du modèle géomécanique, que l'approche topométrique contribue parallèlement à éclairer. La disposition d'un plan topographique correctement représentatif de la morphologie du versant (plan photogrammétrique à l'échelle du 1/5000 ou supérieur) est nécessaire pour la conception et l'implantation des dispositifs de mesure.

La recherche de points de références stables à l'extérieur de la zone active doit être effectuée avec attention. Les données disponibles, notamment géologiques, doivent permettre cette recherche. La connaissance de données antérieures éventuelles, relatives à des mouvements sur le site ou dans son environnement, constitue un élément important à prendre en compte.

A éviter - La mise en place d'un dispositif topométrique qui ne serait pas étroitement coordonné avec l'approche géologique et géomécanique, peut conduire à des mesures difficilement exploitables et de peu d'intérêt, nécessitant des compléments d'instrumentation coûteux.

L'absence d'étude d'ensemble correcte de la démarche topométrique par un spécialiste compétent dans le domaine de l'auscultation des mouvements de terrain, peut conduire à une inadéquation des méthodes ou des moyens mis en oeuvre, et à une perte définitive d'informations essentielles. Outre le surcoût qu'elle implique, celle-ci entraîne un recul des délais de diagnostic qui peut être préjudiciable à la sécurité.

Remarque - L'approche topométrique se développe pendant tout le processus d'investigation et de suivi du site. Elle est de ce fait évolutive et doit être adaptée en continu aux modifications intervenant sur le site. Parallèlement, cette évolution doit être liée à celles des modèles géologiques et géomécaniques, et elle implique une adaptation des dispositifs et des méthodes en fonction de la progression de la connaissance du site¹.

¹ MISURA E DESCRIZIONE DEGLI SPOSTAMENTI E DI TUTTI I PARAMETRI MISURABILI IN SITU.

Definizione- Si intende per misura e descrizione dei movimenti quella fase del processo conoscitivo di un fenomeno di

¹ MESURE ET DESCRIPTION DES DÉPLACEMENTS ET DE TOUS LES PARAMÈTRES MESURABLES IN SITU.

Définition - On entend par mesure et description des mouvements, la phase du processus de connaissance d'un phé-

G) APPROCCIO GEOMECCANICO

Definizione - Si tratta dell'integrazione sintetica dal punto di vista meccanico delle conoscenze ottenute dagli approcci geologico, morfodinamico, idrogeologico, geofisico e topometrico.

Finalità - Stabilire un quadro del fenomeno d'instabilità sufficientemente rappresentativo delle proprietà del mezzo e dei principali meccanismi che determinano e controllano l'evoluzione del fenomeno.

Potenzialità - Deve permettere di formulare e di verificare le indicazioni quantitative messe in evidenza dagli altri approcci, relative all'evoluzione del fenomeno d'instabilità. Inversamente, l'approccio geomeccanico permette di precisare o di suggerire un adattamento delle ipotesi di base assunte negli altri approcci.

Difetti e limiti - Necessita della conoscenza quantitativa di numerosi parametri fisici, geometrici e meccanici di difficile valutazione. In ogni caso, le scelte e le ipotesi necessariamente semplificative, possono impedire di cogliere la complessità della realtà e condurre a interpretazioni riduttive o anche erronee del problema.

Come fare

– Raccolta, analisi, schematizzazione delle conoscenze ottenute con gli approcci precedenti;

instabilità in cui si cerca di definire la cinematica e l'estensione geometrica della porzione di versante instabile e di mantenere sotto sorveglianza l'insieme delle dislocazioni.

Il controllo viene effettuato in superficie fissando alcuni punti significativi e rappresentativi dell'evoluzione degli spostamenti nel tempo; allo stesso modo si ripete il procedimento in profondità, avendo cura di scegliere con altrettanta cura sia la localizzazione in superficie che la quota sotto il piano campagna in base a considerazioni geomeccaniche ed idrogeologiche.

Il controllo, nel tempo, di tutte le grandezze misurabili, ad esempio le pressioni piezometriche, permette di valutare nell'insieme l'evoluzione del fenomeno.

Difetti e limiti - Essendo le misure di tipo puntuale, si corre il rischio di estendere valutazioni estremamente circoscritte all'insieme del fenomeno. Inoltre i risultati dipendono in modo determinante dal tipo e dalla sensibilità dello strumento.

Come fare

– In superficie: metodi topografici, estensimetri superficiali.

– In profondità: inclinometri, estensimetri profondi.

Nota - Le misure devono essere frequenti. I risultati devono essere convalidati mediante l'interpolazione di tutti i metodi disponibili.

G) APPROCHE GÉOMÉCANIQUE

Définition - Il s'agit de l'intégration synthétique du point de vue mécanique des connaissances obtenues par les approches géologique, morphodynamique, hydrogéologique, géophysique et topométrique.

Finalité - Etablir une image du phénomène d'instabilité suffisamment représentative des propriétés du milieu et des principaux mécanismes qui déterminent et contrôlent l'évolution du phénomène.

Potentialité - Elle doit permettre de formuler et de vérifier les hypothèses quantitatives, mises en évidence par les autres approches, sur l'évolution du phénomène d'instabilité. Inversement, l'approche géomécanique permet de préciser ou de suggérer une adaptation des hypothèses utilisées dans les autres approches.

Défauts et limites - Elle nécessite la connaissance quantitative de nombreux paramètres physiques, géométriques et mécaniques dont l'évaluation est difficile. Dans tous les cas, les choix et les hypothèses nécessairement simplificatrices, peuvent empêcher de saisir la complexité de la réalité et conduire à des interprétations réductrices voire erronées du problème.

Comment faire

– Récolte, analyse et schématisation des connaissances recueillies par les approches précédentes;

nomène d'instabilité, dans laquelle on cherche à reconnaître la cinématique et l'extension géométrique du désordre et à maintenir sous surveillance l'ensemble des déplacements.

La surveillance s'applique en surface à quelques points considérés comme significatifs et représentant l'évolution des déplacements dans le temps. Il en est de même en profondeur, en ayant soin de choisir aussi bien la localisation en surface que la profondeur en se basant sur des considérations géomécaniques et hydrologiques.

Le suivi de toutes les grandeurs mesurables, par exemple les pressions piézométriques, permet d'évaluer dans l'ensemble l'évolution du phénomène.

Défauts et limites - Les mesures étant ponctuelles, on court le risque d'étendre des comportements locaux à l'ensemble du phénomène. En outre, les résultats dépendent de manière déterminante du type de lissage, et de la sensibilité de l'instrumentation.

Comment faire

– En surface: méthodes topographiques, extensomètres superficiels.

– En profondeur: inclinomètres, extensomètres profonds.

Remarque - Les mesures doivent être fréquentes.

Il faut valider les résultats avec toutes les méthodes disponibles.

- definizione e misura dei parametri meccanici²;
- elaborazione di un modello concettuale del comportamento meccanico del versante;
- scelta del metodo di calcolo;
- scelta dei parametri d'ingresso del modello di calcolo;
- confronto dei risultati ottenuti dal calcolo con le misure disponibili e le conoscenze acquisite in precedenza;
- valutazione dei risultati ottenuti, allo scopo di una formulazione di ipotesi quantitative sull'evoluzione del fenomeno.

H) SCENARI D'EVOLUZIONE SPAZIO-TEMPORALE DEI MOVIMENTI

Definizione - La definizione degli scenari d'evoluzione spatio-temporale consiste nel valutare i differenti tipi di evoluzione possibili (verso una stabilizzazione, o verso un movimento lento o rapido), dei volumi messi in gioco, delle zone minacciate (in particolare dai movimenti rapidi) e l'or-

- Définition et mesure des paramètres mécaniques²;
- Elaboration du modèle conceptuel du comportement mécanique du versant ;
- Choix des méthodes de calcul ;
- Choix des paramètres d'entrée du modèle de calcul ;
- Comparaison des résultats obtenus par le calcul avec les mesures disponibles et avec les connaissances acquises précédemment ;
- Evaluation des résultats obtenus, dans le but d'une formulation des hypothèses quantitatives sur l'évolution du phénomène.

H) SCÉNARIOS D'ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES MOUVEMENTS

Définition - La définition des scénarios d'évolution spatio-temporelle consiste à évaluer les différents types d'évolution possibles (vers une stabilisation, un mouvement lent ou rapide), les volumes mis en jeu, les zones menacées (en particulier par des mouvements rapides) et les échelles de

² DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ FISICO-MECCANICHE RAPPRESENTATIVE

Definizione - Si intendono, per proprietà fisico-meccaniche, le caratteristiche fisiche e meccaniche che condizionano il comportamento della roccia.

Finalità - La valutazione dei parametri fisici e meccanici da utilizzare per un modello di verifica o di previsione, costituisce il punto di partenza per l'analisi quantitativa del fenomeno d'instabilità. Indipendentemente dai metodi di calcolo utilizzati, l'affidabilità dei parametri d'entrata rappresenta un elemento indispensabile per ottenere risultati validi e quindi per operare scelte appropriate di progetto.

Difetti e limiti - Può risultare difficile determinare valori realistici dei parametri. Inoltre bisogna tener conto della variabilità, avendo cura di verificare i valori sia massimi che minimi.

Elementi necessari - È d'importanza fondamentale conoscere i seguenti parametri:

- parametri di deformabilità (modulo di deformabilità);
- parametri di resistenza (coesione e angolo di attrito o anche qualunque altro parametro definito secondo la legge di resistenza utilizzata, resistenza a compressione).
- peso di volume.

Da evitare - È opportuno realizzare il maggior numero di prove possibili in modo da avere un numero sufficientemente grande di dati da trattare statisticamente.

Come fare - Prove di laboratorio e in situ, rilievo geomeccanico.

Nota - La stima dei parametri deve essere sempre un processo in divenire, suscettibile di aggiustamenti continui dovuti al progresso delle conoscenze. Non occorre mai considerare come terminata questa fase del processo conoscitivo del processo di instabilità.

² DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES REPRÉSENTATIVES

Définition - On entend, par propriétés physico-mécaniques, les caractéristiques physiques et mécaniques qui conditionnent le comportement de la roche.

Finalité - L'évaluation des paramètres physiques et mécaniques à utiliser pour un modèle de vérification ou de prévision constitue le point de départ pour des analyses quantitatives du phénomène d'instabilité. Indépendamment des méthodes de calcul employées, la fiabilité des paramètres d'entrée représente un élément indispensable pour obtenir des résultats valides et ainsi opérer des choix de projet appropriés.

Défauts et limites - Il peut être difficile de déterminer des valeurs réalistes des paramètres avec, par conséquent, un risque d'analyse erronée. En outre, il faut tenir compte de la variabilité en ayant soin de vérifier les valeurs aussi bien maximales que minimales.

Éléments nécessaires - Il est d'une importance fondamentale de connaître les paramètres suivants:

- paramètres mécaniques: déformabilité: module d'élasticité; résistance: cohésion et angle de frottement ou bien tout autre paramètre défini selon la loi de résistance employée, résistance à la compression;
- physiques: poids volumiques.

A éviter - Il est opportun de réaliser le plus d'essais possible de façon à avoir le plus possible de données à traiter statistiquement.

Comment faire - Essais de laboratoire et in situ, relevés géomécaniques.

Remarque: L'estimation des paramètres doit toujours être un processus en devenir, susceptible d'ajustement continus dus au progrès de la connaissance. Ne jamais considérer cette phase du processus cognitif d'un phénomène d'instabilité comme terminée.

dine di grandezza degli intervalli di tempo nei quali il fenomeno previsto può svilupparsi (giorni, mesi, anni, decenni).

Finalità - La definizione degli scenari deve permettere una migliore gestione dei rischi incombenenti su persone e cose.

Elementi necessari - La definizione degli scenari è basata su una modellizzazione globale che utilizza i risultati dei diversi approcci descritti precedentemente.

Metodologia - Nei casi più semplici trattati nell'ingegneria civile è possibile, integrando i dati forniti dai differenti approcci, realizzare un modello geomeccanico sufficientemente vicino alla realtà che permetta una previsione relativamente affidabile del comportamento di un pendio.

Nel caso dei movimenti di versante, la complessità del fenomeno generalmente non consente la realizzazione di modelli geomeccanici di previsione sufficientemente rappresentativi. La definizione degli scenari di evoluzione del fenomeno deve perciò basarsi sull'insieme degli approcci descritti in precedenza, anche se l'approccio geomeccanico risulta spesso determinante. Tale definizione comporta necessariamente un aspetto empirico e soggettivo.

Gli scenari possono essere migliorati nel tempo in quanto basati su modelli del fenomeno, che si affinano grazie alle informazioni raccolte durante l'evoluzione degli spostamenti o nel corso di nuove indagini. Di conseguenza, gli scenari devono essere periodicamente aggiornati, con frequenza tanto più elevata quanto più alta è la velocità di evoluzione del fenomeno. Ai fini della sicurezza, è necessario stabilire alcuni criteri che permettano di individuare gli scenari che comportano i rischi più evidenti per le persone e le cose. Tali criteri si riferiscono ai risultati del monitoraggio del sito (per esempio, agli spostamenti registrati in alcuni punti).

Risultati - L'individuazione degli scenari di evoluzione deve essere accompagnata dalla definizione e dall'installazione di un dispositivo di controllo, che permetta di stabilire con sufficiente anticipo il verificarsi di scenari che comportano una fase di rischio. Tale dispositivo comprende in genere un sistema di misura degli spostamenti, un sistema di acquisizione dati e una procedura di trattamento dei dati.

temps sur lesquelles les phénomènes envisagés sont susceptibles de se dérouler (jour, mois, année, décennie...).

Finalité - La définition des scénarios doit permettre une meilleure gestion des risques encourus par les personnes et les biens.

Éléments nécessaires - La définition des scénarios est basée sur une modélisation globale qui utilise les résultats des différentes approches décrites précédemment.

Méthodologie - Dans les cas les plus simples traités en génie civil, il est possible, en intégrant les données fournies par les différentes approches, de constituer un modèle géomécanique suffisamment proche de la réalité, qui permette une prévision relativement fiable du comportement d'un talus.

Dans le cas des mouvements de versants, la complexité des phénomènes est généralement telle, qu'il n'est pas possible de constituer un modèle géomécanique suffisamment représentatif pour qu'il constitue le seul moyen de prévision. La définition des scénarios d'évolution doit alors s'appuyer sur l'ensemble des approches décrites précédemment, même si l'approche géomécanique reste souvent déterminante. La démarche comporte nécessairement un aspect empirique et une part de subjectivité.

Les scénarios retenus doivent être suffisamment crédibles. Leur définition peut s'améliorer au cours du temps car elle est basée sur les différents modèles du phénomène, qui s'affinent grâce aux informations fournies par l'évolution du mouvement ou par de nouvelles investigations. Les scénarios doivent donc être périodiquement actualisés, avec une fréquence d'autant plus élevée que le phénomène évolue rapidement.

Pour une bonne gestion de la sécurité, des critères doivent être fixés, permettant de détecter l'occurrence de scénarios comportant des phases de risque pour les personnes et les biens. Ces critères concernent les résultats de la surveillance du site (par exemple les déplacements de certains points).

Résultats - La définition des scénarios d'évolution doit être accompagnée de la définition et de la mise en place d'un dispositif de surveillance, qui permette d'identifier suffisamment tôt l'occurrence d'un scénario comportant une phase de risque. Ce dispositif comprend généralement un appareillage de mesure des déplacements, une chaîne d'acquisition et une procédure de traitement des données.

CONCLUSIONI

Sembra utile far precedere alle conclusioni alcune osservazioni sul carattere scientifico degli studi di stabilità dei versanti. L'approccio scientifico a tali problemi è basato su alcune caratteristiche specifiche che distinguono questo genere di studi da quelli che riguardano le scienze dell'ingegneria o della fisica.

Queste per esempio analizzano fenomeni riproducibili e prevedibili: il medesimo esperimento può essere ripetuto, entro certi limiti, in ogni momento, in qualunque laboratorio. Negli studi dei movimenti di versante le condizioni di accadimento sono irripetibili, vale a dire un fenomeno franoso non può essere riprodotto nello stesso luogo ed alle medesime condizioni.

Contrariamente a quanto si verifica in molti campi dell'ingegneria, gli studi di stabilità dei versanti hanno come oggetto un materiale (l'ammasso roccioso) che il progettista non sceglie e le cui caratteristiche meccaniche e geometriche (ad esempio i limiti tra le diverse unità geologiche, giacitura e caratteristiche delle discontinuità) sono di difficile valutazione.

Da un punto di vista geometrico, ad esempio, gli episodi di deformazione subiti dall'ammasso roccioso nel corso della sua storia portano a stati complessi di fratturazione che rendono molto difficile la schematizzazione di dettaglio dei blocchi elementari all'interno del pendio.

Se poi si considerano le forze che concorrono all'equilibrio di una massa rocciosa, si constata che alcune possono essere valutate con sufficiente grado di affidabilità mentre altre possono essere difficilmente conosciute in modo oggettivo. Tra le prime, citiamo ad es. il peso di volume della roccia o le sollecitazioni esercitate da manufatti. Per contro, le forze d'origine idraulica, sismica o tettonica (legate ai movimenti passati o presenti della crosta terrestre) non sono ben conosciute. Si capisce perciò che l'approccio puramente analitico ad un problema di stabilità di versante roccioso è generalmente destinato al fallimento.

Ciò che caratterizza dunque gli studi di stabilità è l'incertezza. L'origine di questa incertezza ineluttabile è una lacuna "insormontabile" nella conoscenza delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, anche se vengono impiegate le tecniche più evolute. Dire che la mancanza di conoscenza che sta all'origine dell'incertezza è "insormontabile" significa che oltre una determinata soglia, l'aumento di spesa non produrrà che un aumento minimo di conoscenza.

Ecco il significato profondo dei modelli, che rappresentano un aspetto semplificato della realtà e il cui comportamento d'insieme deve essere il più possibile rappresentativo del reale. Appare chiaro allora che tutti i modelli proponibili e tutti gli scenari di evoluzione che ne deriveranno pre-

CONCLUSION

Avant toute conclusion, il semble utile de bien situer le contexte scientifique des études de versants instables. L'approche scientifique de ces problèmes révèle un certain nombre de caractères spécifiques qui distinguent ce genre d'études de celles qui relèvent des sciences de l'ingénieur ou de la physique. Cette dernière par exemple traite de phénomènes reproductibles et prévisibles : la même expérience peut être répétée, à tout moment, dans n'importe quel laboratoire. Il n'en est pas de même pour l'étude des mouvements de versants instables où contrairement à d'autres risques (crues, avalanches...), les conditions d'occurrence étant irréversibles, un autre glissement ne peut pas se produire, au même endroit, dans les mêmes conditions.

Les massifs rocheux, au sein desquels se manifestent les instabilités étudiées, sont en fait constitués par un agencement complexe de masses rocheuses, de tailles et de natures différentes, parcourues par un réseau plus ou moins dense de fractures. La nature et donc la qualité des roches, ainsi que la fracturation qui affecte le massif, représentent l'aboutissement d'une très longue histoire géologique dont la durée peut se chiffrer en millions d'années. Les épisodes de déformations parfois nombreux et importants auxquels le massif a été soumis pendant de telles durées (par exemple lors de la formation des chaînes alpines) font que l'arrangement de détail des blocs élémentaires est parfois très complexe et, de ce fait, impossible à reconstituer.

Dans le meilleur des cas, on doit donc se contenter d'approcher les grandes lignes de l'architecture des blocs rocheux qui constituent le massif. C'est bien la signification profonde des modèles qui représentent un aspect simplifié de la réalité et dont le comportement d'ensemble doit être aussi représentatif que possible du réel.

Si maintenant on considère les forces qui concourent à l'équilibre d'une masse rocheuse donnée, on constate rapidement que certaines peuvent être évaluées correctement alors que beaucoup d'autres restent objectivement inconnues. Parmi les premières, citons les poids de volumes rocheux bien définis, ou les sollicitations exercées par des ouvrages. Par contre, les forces d'origine hydraulique, sismique, tectonique (liées aux mouvements passés ou présents de l'écorce terrestre) sont très mal connues. On conçoit bien que l'approche purement analytique d'un problème de stabilité d'un versant rocheux soit vouée à l'échec.

Ce qui caractérise donc les études de stabilité, c'est l'incertitude.

L'origine de cette incertitude est une lacune obligatoire et «incompressible» dans la connaissance que l'on peut acquérir du massif, y compris par l'emploi des techniques actuelles les plus évo-

senteranno caratteri di aleatorietà e dovranno esprimersi solamente in termini di probabilità.

La metodologia per lo studio di instabilità si fonda su una concatenazione di ipotesi che dovrà affinarsi nel tempo, in modo da migliorare la verosimiglianza delle ipotesi ultime. Il fattore tempo gioca dunque un ruolo primario in tutti gli studi di instabilità. Ciò significa che si può disporre in un dato momento solo di risultati parziali, i quali consentono di formulare una diagnosi provvisoria. Ciò rende necessario controllare il movimento mediante misure in modo da rivedere la correttezza delle ipotesi assunte e, conseguentemente, verificare le ipotesi evolutive più probabili, mediante un procedimento di affinamento iterativo.

L'evoluzione gravitativa di un versante è generalmente caratterizzata da periodi di crisi e periodi di quiescenza. Le sollecitazioni possono infatti rivestire un carattere periodico dovuto a fluttuazioni climatiche. Ogni crisi determina il decadimento della resistenza globale dell'ammasso che non può, in alcun caso, migliorare durante il periodo di calma successivo. Il degrado del versante instabile è generalmente progressivo.

Generalmente le popolazioni minacciate non sopportano l'incertezza e dubitano facilmente della competenza degli specialisti. È per questo motivo che occorre sforzarsi di limitare al massimo le cause di contrapposizione tra amministrazione e amministratori e predisporre efficacemente le misure di prevenzione.

luées. Dire que le défaut de connaissance qui se trouve à l'origine de l'incertitude est «incompréhensible» signifie pratiquement que l'argent ne peut résoudre le problème: au delà d'un certain seuil, *l'accroissement des dépenses ne conduira qu'à un gain en connaissances relativement minime.*

Il s'ensuit que tous les modèles qu'il sera possible de proposer, et tous les scénarios d'évolution qui en seront tirés devront être considérés comme aléatoires et ne devraient logiquement s'exprimer qu'en termes de probabilités.

La méthodologie d'étude des instabilités repose sur un enchaînement d'hypothèses que l'on ne cessera d'affiner avec le temps de façon à améliorer la vraisemblance des hypothèses ultimes.

L'évolution gravitaire d'un versant passe généralement par des périodes de crises et par des périodes de latence ou de rémission. Les sollicitations peuvent en effet revêtir un caractère périodique qu'il s'agisse de fluctuations climatiques (variation des précipitations) ou de secousses sismiques... Mais il faut bien voir que chaque crise détériore davantage la résistance du massif et que la situation ne peut, en aucun cas, s'améliorer au cours de la période de calme suivante. Il y a une dégradation progressive du versant instable. Le facteur temps joue donc un rôle majeur dans toute étude de stabilité et on ne peut disposer à un moment donné que de résultats partiels permettant d'étayer un diagnostic provisoire.

Les populations menacées ressentent généralement très mal l'incertitude et en viennent rapidement à douter de la compétence des spécialistes. C'est bien pour cette raison qu'il faudrait s'efforcer de limiter au maximum les causes de litiges entre administrations et administrés par la mise en oeuvre de mesures de prévention.

Per affrontare in modo corretto lo studio dell'instabilità di un versante naturale è opportuno:

- costituire un gruppo di studio interdisciplinare, formato da esperti, competenti nei diversi approcci descritti in precedenza;
- stabilire un programma di studi coerenti. Le fasi ed i mezzi di studio devono essere identificati da un collegio di esperti;
- approfondire il più possibile le indagini, le quali devono includere i dati storici, geologici, morfologici ed idraulici.

Per quanto riguarda la gestione del rischio:

- le incertezze condizionano sovente le conoscenze acquisite in un dato momento. Le decisioni che ne derivano dipendono da tali incertezze e in qualche misura esse devono adattarsi;
- è pertanto necessario che l'evoluzione del fenomeno e le condizioni meteorologiche vengano costantemente controllate in modo da procedere ad un'attualizzazione permanente del rischio diretto o indotto. Ciò comporta il reperimento dei mezzi finanziari necessari per tutto il tempo di osservazione previsto;
- sulla base della formulazione di scenari di evoluzione spazio-temporali, occorre stabilire uno schema coerente degli scenari che serviranno di base per l'allestimento di misure di sicurezza (piani di soccorso, studio delle misure preventive, opere, ecc.);
- è inoltre bene realizzare un'analisi il più dettagliata possibile della vulnerabilità dei settori minacciati dal fenomeno in sé e da eventuali fenomeni indotti, nonché organizzare con gli esperti un sistema di informazione e fissarne i criteri di diffusione, per non ingenerare nella popolazione inutili allarmismi e provvedere alle modalità di gestione dell'emergenza.

Pour aborder dans de bonnes conditions l'étude de l'instabilité d'un versant naturel il convient :

- de constituer une équipe d'étude pluridisciplinaire, expérimentée, compétente dans les diverses approches préalablement citées ;
- d'établir un programme d'études cohérent, le phasage et les moyens d'études devant être identifiés par un collège d'experts ;
- de lancer le plus tôt possible les investigations lesquelles doivent inclure les données historiques, géologiques, morphologiques et hydrauliques.

Pour ce qui concerne la gestion du risque :

- les décisions étant tributaires des connaissances acquises à un instant donné, elles doivent intégrer les incertitudes et s'adapter en conséquence ;
- il est donc nécessaire d'assurer un suivi continu de l'évolution du phénomène et des conditions météorologiques afin de procéder à une actualisation permanente du risque direct ou induit ce qui implique de prévoir les moyens financiers nécessaires dans la durée ;
- il faut faire établir un schéma cohérent de scénarios, lesquels serviront de base à l'établissement des mesures de sécurité (plans de secours, étude de mesures préventives, ouvrages...) ;
- il convient de réaliser une analyse aussi détaillée que possible de la vulnérabilité en prenant en compte les aspects économiques, sociaux, juridiques, urbanistiques ... des secteurs menacés par le phénomène lui-même et par les éventuels phénomènes induits ;
- il est nécessaire d'organiser avec les experts une politique de communication envers les populations en y associant les représentants des populations concernées ;
- il est indispensable de mettre au point un système d'information très complet ;
- il convient d'étudier et de déterminer très rapidement les mesures de prévention et de protection ;
- enfin si les études de vulnérabilité, la législation ou la réglementation imposent une alerte aux populations, les mesures topométriques adéquates doivent être diligentées.

ALLEGATO
al testo delle Raccomandazioni

ANNEXE
aux Recommandations

ESEMPIO DI SCHEDA
per la raccolta di dati storici

MODÈLE DE FICHE
d'enquête historique

SCHEDA:

RILEVATORE:

LUOGO:

DATA:

Persona intervistata

Sesso:

Professione:

Età:

Residenza:

Testimonianza

DIRETTA

INDIRETTA

Parenti:

Altra persona:

Documento:

FENOMENO

DESIGNAZIONE:

Altra(e) denominazione(i):

DATAZIONE (*secolo, 1/2 secolo, decennio, anno, mese, giorno, ora*):

SE FENOMENO RIPETITIVO

Data del più recente:

Casi osservati (*conoscenza diretta o indiretta*):

SITUAZIONE GEOGRAFICA

Comune:

Località:

Limiti d'estensione (*terreno, carta, schema*):

– Punto d'inizio:

– Punto di fine:

DESCRIZIONE

Caratteristiche degli elementi naturali coinvolti:

Dimensione:

Velocità:

Energia di movimento (*indicativa*):

Assetti morfo-dinamici:

Altre indicazioni (*rumore, soffio, polvere, ecc.*):

DANNI

Vittime:

Infrastrutture (*strada, pista, traliccio, diga, opere murarie, sbarramento, ecc.*):

Costruzione (*precisare*):

Terreni agricoli (*precisare*):

Bosco (*precisare*):

Altro:

FICHE :

ENQUÊTEUR :

LIEU :

DATE :

Personne interrogée

Sexe :

Profession :

Age :

Résidence :

Témoignage :

DIRECT

INDIRECT

Parents :

Personne autre :

Document :

PHÉNOMÈNE

DÉSIGNATION(s) :

Autre(s) appellation(s) :

DATATION (siècle, 1/2 siècle, décennie, année, mois, jour, heure) :

SI PHÉNOMÈNE RÉPÉTITIF

Date du plus récent :

Nombre observé ou rapporté :

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Commune :

Lieu-dit :

Limites d'extension (terrain, carte, croquis) :

Point de départ :

Point d'arrivée :

DESCRIPTION

Nature des éléments mobilisés :

Dimensions :

Vitesse :

Puissance relative (indices) :

Aspects morpho-dynamiques :

Divers (bruit, souffle, poussières, etc.) :

DÉGÂTS

Pertes humaines :

Infrastructures (route, piste, pylone, digue, mur, barrage, etc.) :

Bâtiments (préciser) :

Espaces agricoles (préciser) :

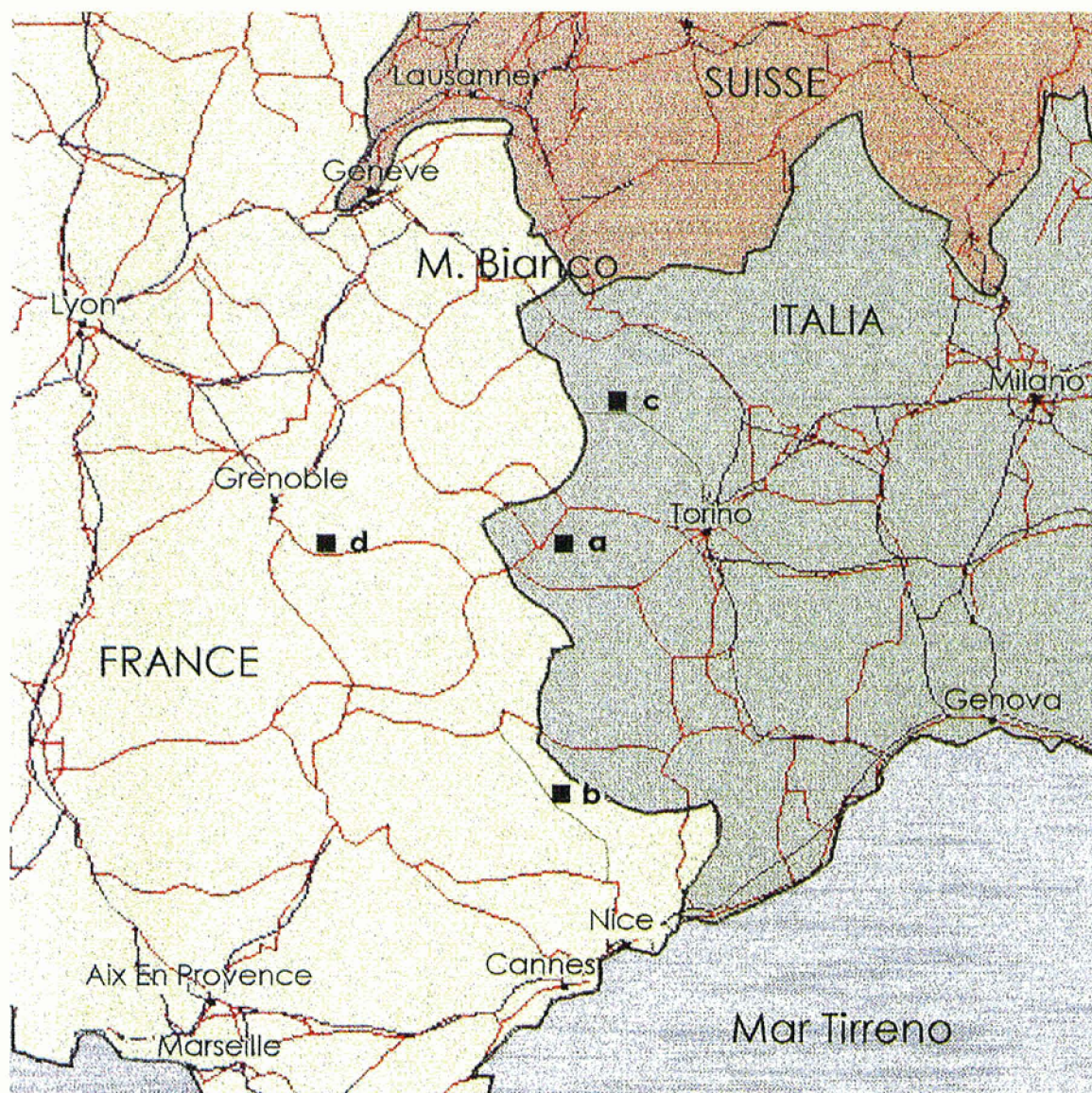
Forêt (préciser) :

Autres :

ANALISI DI 4 MOVIMENTI DI VERSANTE
ANALYSE DE 4 CAS DE GRANDS MOUVEMENTS
DE VERSANT

**UBICAZIONE DEI SITI OGGETTO D'INDAGINE
NEL CONTESTO DELL'ARCO ALPINO OCCIDENTALE**

**LOCALISATION DES SITES ETUDIES
AU SEIN DE L'ARC ALPIN OCCIDENTAL**



a Cassas (Valle di Susa)

c Rosone (Valle Orco)

b Clapière (Vallée de la Tinée)

d Séchillienne (Vallée de la Romanche)

SCHEDE RIASSUNTIVE
FICHES RESUMEES

FRANA DEL "CASSAS" (Salbertrand, Val di Susa)

RIASSUNTO

Introduzione

La frana del Cassas si sviluppa, coinvolgendo una superficie di circa 0.52 km², sul versante destro orografico della media valle di Susa, nelle Alpi occidentali piemontesi, con esposizione NW di fronte al centro abitato di Salbertrand.

La valle di Susa penetra profondamente la catena alpina tanto da spostare materialmente lo spartiacque italo-francese di alcuni chilometri verso Ovest. In tal modo, con la sua continuità, si è da sempre posta come via preferenziale al transito di comunicazione tra Italia e Francia: è ormai completata l'autostrada Torino-Modane ed è in fase di progetto un eventuale collegamento transfrontaliero ferroviario ad «alta velocità» a prevalente sviluppo sotterraneo, nel tratto qui considerato.

Il fenomeno franoso in oggetto coinvolge il versante per un dislivello di circa 900 m, giungendo dai 1000 m di quota del fondovalle sino a circa 1900 m di quota in corrispondenza di una cresta spartiacque secondaria.

Sintesi storica

La frana, che si situa in corrispondenza di un pendio emblematicamente designato da tempo con il termine «cassas» o «casas» (possibile derivazione dal termine francese «casser»), si colloca in un quadro di instabilità generale che caratterizza significativamente questo tratto di versante tra Chiomonte ed Ulzio.

Le prime notizie concernenti fenomeni gravitativi inerenti questo settore di versante risalgono all'evento alluvionale che colpì la Valle di Susa nel maggio del 1728.

Alla fine del secolo scorso la costruzione della galleria lungo il tratto Chiomonte-Salbertrand fu resa estremamente problematica dalla generale instabilità del versante destro orografico.

Durante questo secolo, dopo una serie di attivazioni locali avvenute nella prima metà degli anni '50, nel corso dell'alluvione che colpì la Valle di Susa nel giugno del 1957, si verificò il grande fenomeno gravitativo qui esaminato che conferì al versante la morfologia che lo caratterizza ancora attualmente, sebbene riattivazioni anche notevoli siano avvenute almeno sino alla prima metà degli anni '60 e siano tuttora osservabili indizi di movimenti in atto.

LE MOUVEMENT DE VERSANT DE "CASSAS" (Salbertrand, Val de Suze)

RÉSUMÉ

Introduction

Situé sur le versant droit de la moyenne vallée de Suze, dans les Alpes occidentales piémontaises, l'instabilité de Cassas s'étend sur une superficie d'environ 0.52 km² en versant NW, en face du village de Salbertrand.

La vallée de Suze pénètre profondément la chaîne alpine, ce qui déplace la crête orographique franco-italienne de quelques kilomètres vers l'ouest. De ce fait, elle a toujours été une voie de transit préférentielle: elle est désormais parcourue par l'autoroute Turin-Modane et devrait accueillir une jonction ferroviaire à grande vitesse projetée en bonne partie en galerie sur le tronçon considéré.

Historique

L'instabilité du Cassas, terme ancien probablement dérivé du terme français «casser», se trouve dans un contexte d'instabilité générale qui caractérise significativement ce tronçon de vallée entre Chiomonte et Ulzio.

Les premiers témoignages concernant des phénomènes gravitaires affectant ce secteur du versant remontent aux inondations qui affectèrent la vallée de Suze en mai 1728.

A la fin du siècle dernier, la construction du tunnel entre Chiomonte et Salbertrand fut rendue très problématique du fait de l'instabilité générale du versant droit.

Durant ce siècle, une série d'activations locales survinrent dans la première moitié des années 50. Puis, au cours des inondations qui affectèrent la vallée de Suze en juin 1957, un grand phénomène gravitaire se produisit et conféra au versant la forme qui le caractérise encore actuellement. Des réactivations, parfois notables, se sont produites au moins jusqu'à la première moitié des années 60 et des indices de mouvements actifs sont encore observables.

Documents disponibles

Sont disponibles:

- des photographies aériennes réalisées à différentes périodes: 1954, 1963, 1978, 1979, 1986 à des échelles allant de 1/13 500 à 1/50 000, en couleur, noir et blanc et panchromatique.
- des cartes topographiques, obtenues par pho-

Documenti tecnici disponibili

Sono disponibili:

- fotografie aeree riprese in diversi periodi: 1954, 1963, 1978, 1979, 1986, a scale diverse variabili tra 1:13.500 e 1:50.000, in colore, bianco-nero o falso colore;
- carte topografiche, le più recenti fotorestituite, in scale diverse tra 1:2.000 e 1:100.000;
- studi, e relative carte tematiche in scale variabili tra 1:25.000 e 1:500.000.

Quadro geologico regionale

La valle di Susa, nel tratto superiore, è impostata in corrispondenza del contatto fra il Massiccio d'Ambin (Dominio Brianzonese) in sinistra orografica ed il Complesso dei Calcescisti con pietre verdi (Dominio Piemontese) in destra, ove si sviluppa, appunto, la frana del Cassas. Il Massiccio d'Ambin, affiorante sotto forma di finestra tettonica entro il Complesso dei Calcescisti, è costituito da sequenze metamorfiche al di sopra delle quali sono presenti formazioni prima silicee e poi carbonatiche costituenti la successione di copertura Werfeniano-Eocenica con notevoli lacune di sedimentazione.

La presenza di gessi e carniole attribuite al Keuper (Trias sup.) favorisce lo sviluppo di contatti tettonici importanti.

Il Complesso dei Calcescisti con pietre verdi risulta costituito da successioni di calcescisti (età: Giurassico superiore, Cretaceo inferiore) che si ritengono derivati da sedimenti depositi al di sopra del margine continentale europeo (Dominio Piemontese), con minori intercalazioni di pietre verdi. Sia il Massiccio d'Ambin che il Complesso dei Calcescisti sono caratterizzati da molteplici fasi deformative generate dall'orogenesi a cui si devono le forme plicative e le discontinuità strutturali dell'ammasso roccioso.

Quadro litologico e geostrutturale dell'area in frana

La superficie di sovrascorrimento che separa il Complesso dei Calcescisti dal sottostante Massiccio d'Ambin si immerge, in corrispondenza dell'asse vallivo, con giacitura a reggipoggio all'interno del versante orografico destro e conformemente ad essa si modella la schistosità principale dei litotipi affioranti a margine del corpo di frana; la giacitura dei calcescisti si caratterizza tuttavia per una notevole variabilità ed in particolare presso la zona di distacco superiore del fenomeno gravitativo risulta suborizzontale e con inclinazione variabile. La presenza di attività neotettonica locale parrebbe evidente dall'allineamento, secondo una direzione NE-SW, impresso da una fascia deformativa parallela alla Dora Riparia nel tratto compreso fra Susa ed Oulx.

to-réstitution pour les plus récentes, à des échelles allant de 1/2 000 à 1/100 000.

– des études et des cartes thématiques, à des échelles allant de 1/25 000 à 1/500 000.

Contesto geologico

Contesto geologico regional.

La vallée de Suze, dans sa partie supérieure, se situe au niveau du contact entre le massif d'Ambin (domaine briançonnais) en rive gauche et l'ensemble des calcschistes à pierres vertes (domaine piémontais) en rive droite, où se trouve précisément l'instabilité du Cassas. Le massif d'Ambin, qui affleure sous forme de fenêtres tectoniques au sein de l'ensemble des calcschistes, est constitué de séquences métamorphiques sur lesquelles reposent des formations, d'abord siliceuses puis carbonatées, qui constituent la succession de couverture du Werfenien-Eocène avec des lacunes sédimentaires notables.

La présence de gypses et de cargneules attribués au Keuper (Trias supérieur) favorise le développement de contacts tectoniques importants.

L'ensemble des calcschistes à pierres vertes est constitué de successions de calcschistes (Jurassique supérieur - Crétacé inférieur) qui proviennent de sédiments déposés sur la marge continentale européenne (domaine piémontais), avec de faibles intercalations de pierres vertes. Aussi bien le massif d'Ambin que l'ensemble des calcschistes sont caractérisés par de multiples phases de déformations provoquées par l'orogénèse à laquelle on doit les plis et les discontinuités structurales du massif rocheux.

Description de la masse en mouvement

La surface de recouvrement qui sépare l'ensemble des calcschistes du massif d'Ambin sous-jacent plonge au niveau de l'axe de la vallée, avec un pendage amont vers l'intérieur du versant droit. La schistosité principale des roches affleurant au bord du corps de l'instabilité est conforme à cette surface. La disposition des calcschistes se caractérise, par ailleurs, par une variabilité importante. En particulier, elle est subhorizontale avec une orientation variable près de la zone supérieure de désordres gravitaires. L'existence d'une activité néotectonique locale paraît évidente du fait de l'alignement selon la direction NE-SW, signe d'une bande de déformation parallèle à la Dora Riparia dans le tronçon compris entre Suze et Oulx.

Le mouvement de versant se trouve entièrement dans l'ensemble des calcschistes. Le faciès rencontré principalement est un calcschiste micacé de couleur gris-argenté, caractérisé par une importante variabilité d'aspect et de comportement selon sa teneur en carbonate. Les transitions peu mar-

Il movimento franoso è impostato totalmente nel Complesso dei Calcescisti: il litotipo prevalente riscontrato appare come un calcemicascisto di colore grigio-argenteo, caratterizzato da notevoli variabilità di aspetto e di comportamento in relazione al variare della componente carbonatica. La transizionalità del limite non permette di norma una differenziazione ai fini cartografici. I corpi ofiolitici sono rappresentati unicamente da serpentiniti, che costituiscono blocchi di volume variabile distribuiti all'interno del corpo di frana.

L'analisi geomorfologica effettuata per mezzo delle foto aeree permette di evidenziare insiemi di lineamenti, che potrebbero corrispondere a singole famiglie o ad insiemi di famiglie di discontinuità (zone di taglio, giunti, ecc.) dell'ammasso roccioso.

La scistosità principale in corrispondenza della frana del Cassas presenta nel complesso una immersione a reggipoggio; in corrispondenza della zona di distacco la scistosità presenta invece una direzione molto variabile, con un massimo di concentrazione intorno alla direzione NE-SW e con una inclinazione in genere bassa, intorno ai 10°-20°.

Il rilievo geologico e geomeccanico ha messo in luce la presenza di alcune famiglie di discontinuità. Una prima famiglia è costituita da giunti aventi inclinazione di circa 40°-50° e direzione circa N70°-N80; tali giunti presentano perciò una giacitura a franapoggio e risulta verosimile che essi, agendo come superfici di scorrimento, costituiscano la principale causa di predisposizione al dissesto.

Una seconda famiglia è costituita da giunti subverticali aventi direzione circa NS, vi sono poi giunti subverticali aventi direzione ampiamente variabile, da NE-SW a NW-SE.

Quadro geomorfologico dell'alta valle

Le valli alpine devono il proprio modellamento principalmente all'azione dei ghiacciai che le hanno occupate, con estensione variabile, durante il Pleistocene; i grandi movimenti di massa che interessano i versanti nel tratto vallivo considerato presentano generalmente un'età posteriore a quella dell'ultima pulsazione glaciale e sono spesso legati a situazioni di *creep* profondo. Questo tipo di movimento, generalmente molto lento e continuo nel tempo, segue una linea evolutiva che tende al superamento del limite di movimento per deformazione dell'ammasso roccioso, inducendovi totalmente o localmente processi di accelerazione del movimento con formazione di frane.

Lungo la valle della Dora Riparia si sono potute attivare, nell'intorno della zona in esame, una serie di grandi e antiche frane i cui accumuli hanno per lo più raggiunto il fondovalle. In un tratto di valle lungo poco più di 2 km sono riconoscibili alcuni contigui fenomeni franosi di età diverse tra i quali la frana del Cassas si pone come la più recente.

quées ne permettent pas une différenciation cartographique. Les ophiolites sont représentées uniquement par des serpentines qui constituent des blocs de volumes variables répartis dans le corps de l'instabilité.

L'analyse géomorphologique effectuée par photos aériennes permet d'identifier des ensembles d'alignements, qui peuvent correspondre à des familles ou à des ensembles de familles de discontinuités (zone de cisaillement, joints, etc.) du massif rocheux.

La schistosité principale, au niveau de l'instabilité du Cassas présente, dans l'ensemble, un plongement amont. Au niveau de la zone de désordres, la schistosité présente par contre une direction très variable avec une concentration importante autour de la direction NE-SW et une inclinaison en général faible autour de 10°-20°.

Le levé géologique et géomécanique a mis en lumière la présence de plusieurs familles de discontinuités. Une première famille est constituée de joints ayant une inclinaison d'environ 40°-50° et une direction N70°-N80°. Ces joints présentent un pendage aval et il est vraisemblable qu'ils agissent comme surface de glissement, constituant ainsi la principale cause de prédisposition à l'instabilité. Une seconde famille est constituée par des joints subverticaux, de direction environ NS. On trouve, ensuite, des joints subverticaux ayant une direction amplement variable entre NE-SW et NW-SE.

Contexte géomorphologique de la haute vallée

Les vallées alpines doivent leur modelé aux glaciers qui les ont occupées, avec une extension variable, au cours du Pléistocène. Dans le tronçon de vallée considéré, les grands mouvements de masse qui affectent les versants sont globalement postérieurs à la dernière pulsation glaciaire. Ils apparaissent souvent comme un mouvement de fluage profond, généralement très long et continu. Son évolution comprend l'extension des limites du mouvement par déformation du massif rocheux et des processus d'accélération globale ou locale accompagnés d'éboulements.

Le long de la vallée de la Dora Riparia, autour de la zone étudiée, on observe une série d'anciens éboulements de grande ampleur, dont les débris ont, pour la plupart, atteint le fond de vallée. Dans un tronçon de vallée long d'un peu plus de 2 km, on reconnaît ainsi plusieurs phénomènes contigus d'instabilité, d'âges divers, parmi lesquels l'instabilité du Cassas apparaît comme la plus récente.

On a pu dater au carbone 14 un échantillon de bois subfossile, repéré à une profondeur importante au moyen d'un sondage effectué en pied de l'éboulement dénommé "Serre de la Voute" (en français dans le texte) ou de "Eclause-Fenils", adjacent à l'instabilité du Cassas. Cette datation a per-

La datazione, ottenuta con il metodo del C^{14} , di un campione di legno subfossile reperito a notevole profondità grazie ad un sondaggio effettuato al piede della frana denominata di «Serre de la Voute» (o di «Eclause-Fenils»), adiacente alla frana del Cassas, ha permesso di stabilire che l'accumulo appoggia su di un complesso alluvionale-lacustre potente almeno una decina di metri, a sua volta prodotto da un precedente sbarramento val-livo, anteriore a 9500 anni fa.

Lineamenti geomorfologici della zona in frana

La frana del Cassas si ubica sul fianco settentrionale di una dorsale minore della dorsale spartiacque valle Susa - valle Chisone; quest'ultima, unica dal punto di vista geomorfologico rispetto alle contigue in questo settore alpino, mostra caratteristiche che denotano processi di deformazione gravitativa dell'ammasso dei calcescisti generalizzati su vasta area.

Il fenomeno franoso del Cassas è classificabile come fenomeno gravitativo complesso, in quanto mostra varie tipologie di movimento. La zona di distacco, che si sviluppa lungo lo spartiacque secondario della Testa di Mottas, avente direzione circa $N80^{\circ}W$, presenta una esposizione a Nord. Il resto del corpo di frana tende invece a seguire l'esposizione a NW del sottostante versante, descrivendo nell'insieme una progressiva rotazione, terminante sul conoide di fondo valle.

Il corpo di frana si presenta modellato da numerose scarpate la più marcata delle quali lo attraversa trasversalmente con andamento pressoché rettilineo dalla quota 1350 m alla quota 1550 m circa. Tale scarpata suddivide il corpo di frana in due settori principali, che si differenziano rispettivamente per il diverso tipo di cinematisimo: il settore superiore, impegnato in gran parte da un accumulo di blocchi eterometrici di calcescisti e subordinati serpentinoscisti, è interessato da movimenti prevalenti per crollo (nella zona di scarpata sommitale) e scorrimento rotazionale; il settore inferiore presenta invece movimenti prevalenti di colata e scivolamento di detrito.

Al contorno del movimento più recente si identificano settori caratterizzati da diverse tipologie gravitative.

Immediatamente a Sud la frana è delimitata da un'alta scarpata con direzione circa $N80^{\circ}W$, in massima parte coincidente con la cresta spartiacque. Nella fascia immediatamente esterna a tale scarpata, su una larghezza di circa 50 m, sono state riconosciute numerose trincee, con apertura sino ad 1 m e con direzioni varie, analoghe a quelle dei vari sistemi di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Il margine orientale esterno è costituito, nella porzione media superiore, da un campo detritico continuo riconducibile ad eventi di frana più anti-

mis d'establisher que les débris de l'éboulement reposent sur un ensemble alluvionnaire-lacustre puissant d'au moins une dizaine de mètres, produit par un barrage de la vallée antérieur à -9500 ans.

Linéations géomorphologiques de la zone instable

L'instabilité du Cassas se situe sur le flanc Nord d'une dorsale mineure de la dorsale orographique entre la vallée de Suze et la vallée de Chisone. Cette dernière se distingue de ses voisines, d'un point de vue géomorphologique, par des processus de déformation gravitaire généralisés de l'ensemble des calcschistes, sur une aire importante.

L'instabilité du Cassas peut être qualifiée de phénomène gravitaire complexe, dans la mesure où elle est caractérisée par des typologies mixtes comprenant des processus de basculements, d'effondrements et de façon plus étendue de glissements plans et de coulées détritiques. La zone de désordres qui se développe le long de la dorsale secondaire de la "Testa di Mottas", de direction environ $N80^{\circ}W$, présente une exposition Nord. Le reste du corps de l'instabilité suit par contre l'exposition NW du versant qui la domine, décrivant dans l'ensemble une rotation progressive qui se termine sur le cône de déjection du fond de vallée.

Le corps de l'instabilité est modelé par de nombreux escarpements. Le plus marqué le traverse transversalement de façon rectiligne entre les côtes 1350 et 1550 environ. Cet escarpement divise le corps de l'instabilité en deux secteurs principaux qui se différencient par des types de cinématiques différents. Le secteur supérieur, caractérisé en grande partie par une accumulation de blocs hétérogènes de calcschistes et de serpentines subordonnées, est affecté principalement par des mouvements d'écroulement (dans la zone de l'escarpement sommital) et de glissement rotationnel. Le secteur inférieur présente par contre principalement des mouvements de type coulées et chutes détritiques.

Au voisinage du mouvement plus récent, on identifie divers contextes liés à des mouvements gravitaires de versants.

Immédiatement au Sud, l'instabilité est délimitée par un fort escarpement de direction $N80^{\circ}W$, qui coïncide en grande partie avec la crête orographique. Dans la bande immédiatement externe à cet escarpement, sur une longueur d'environ 50 m, on reconnaît de nombreuses tranchées dont les directions correspondent à celles des différents systèmes de fracturation du massif rocheux et dont l'ouverture atteint 1 m.

La bordure occidentale est constituée, dans la partie moyenne supérieure, par une plage déritique attribuée à des instabilités plus anciennes et qui marquent encore le versant sur toute son éten-

chi e che impegna ancora il versante nella sua totale estensione. Nella parte bassa è ben delimitabile un accumulo, riconducibile ad un unico episodio di frana che ha portato il detrito ad appoggiarsi sul fondovalle. A carico del piede del versante, sono riscontrabili segnali indicanti attività di movimento recente.

Il margine laterale sinistro è costituito, per la parte superiore, da detrito legato a più antichi movimenti di frana, sul quale i movimenti posteriori al 1945 hanno indotto una serie di accelerazioni, ma non nella misura di quelle che hanno caratterizzato la frana del Cassas in senso stretto. La parte sottostante dello stesso margine è impostata nel substrato costituito dal Complesso dei Calcescisti con ofioliti; sono qui riscontrabili forme attribuibili al modellamento glaciale.

Sulla base inoltre di foto aeree effettuate in periodi successivi fra il 1954 ed il 1979, delineando alcuni stadi evolutivi del fenomeno gravitativo, è stato possibile condurre un'analisi di carattere morfodinamico.

Climatologia ed idrologia

Il bacino di alimentazione della Dora Riparia, chiuso dalla stretta naturale di Serre de la Voute-Cassas, presenta una superficie planimetrica di circa 350 km². Per la quasi totale mancanza di apparati glaciali il regime della Dora è quasi totalmente nivo-pluviale; lo spessore del manto nevoso è determinante nell'incremento dei deflussi primaverili e nella conseguente portata solida.

Sulla base delle elaborazioni eseguite, che tengono conto unicamente dei dati rilevati a Salbertrand, il valore medio annuale delle precipitazioni è di circa 752 mm.

La tendenza stagionale delle precipitazioni è caratterizzata da un periodo primaverile con frequenti giorni di pioggia, seguito da un periodo secco estivo e un periodo autunnale in cui si registrano le massime altezze di precipitazioni.

Gli eventi di massima portata annuale della Dora Riparia si riscontrano prevalentemente fra la fine del mese di maggio e l'inizio del mese di luglio in quanto vi è concomitanza tra apporti dovuti alle piogge e allo scioglimento delle nevi; solo nell'8% dei casi considerati (1943-1993) l'evento di massima piena annuale si è verificato durante la stagione autunnale.

La frana del Cassas risente sicuramente di questo periodo di forti infiltrazioni dove la distribuzione ed il perdurare al suolo della neve fino a maggio inoltrato sono da porre in relazione all'esposizione del versante verso NW ed al notevole sviluppo altimetrico del corpo di frana interessato dagli effetti della fusione della neve al suolo sino in primavera inoltrata, spesso sino al mese di maggio.

due. Dans la partie basse, on distingue bien une accumulation attribuée à un éboulement unique dont les débris ont atteint le fond de vallée. En pied de versant, on reconnaît des signes indiquant une activité récente.

La bordure latérale gauche est constituée, pour la partie supérieure, de débris liés à des mouvements de versant plus anciens, sur lesquels les mouvements postérieurs à 1945 ont provoqué une série d'accélération, mais dans des proportions moindres que celles qui caractérisent l'instabilité du Cassas au sens strict. La partie sous-jacente de cette bordure est implantée dans le substratum constitué par l'ensemble des calcschistes à ophiolites. On reconnaît ici les formes du modelé glaciaire.

A partir des photos aériennes réalisées sur différentes périodes entre 1954 et 1979, en délimitant chaque stade d'évolution du phénomène gravitaire, il a été possible de conduire une analyse de type morphodynamique.

Climatologie et hydrogéologie

Le bassin d'alimentation de la haute vallée de Suze, clos par le resserrement naturel de Serre la Voute-Cassas, présente une surface planimétrique d'environ 350 km². Du fait du manque quasi total de couverture glaciaire, le régime de la Dora Riparia est presque entièrement nivo-pluvial. L'épaisseur du manteau neigeux est déterminante dans l'augmentation de débit au printemps ainsi que dans la quantité de particules solides transportées.

A partir des calculs effectués, qui tiennent uniquement compte des données concernant Salbertrand, la moyenne des précipitations annuelles est d'environ 752 mm.

La tendance saisonnière des précipitations est la suivante : le printemps est caractérisé par un grand nombre de jours de pluie ; l'été est la période la plus sèche ; l'automne est la saison où on enregistre la hauteur de pluie la plus importante. La distribution et la durée de neige au sol, au niveau de l'instabilité du Cassas, sont très liées à l'exposition NW du versant et à l'important dénivelé sur lequel s'étend le corps de l'instabilité. Celle-ci est concernée par la fonte de la neige au sol jusqu'au printemps, souvent jusqu'à fin mai.

Les plus grandes crues annuelles de la Dora Riparia se rencontrent le plus souvent entre la fin du mois de mai et le début du mois de juillet, particulièrement lorsque la fonte des neiges du printemps s'ajoute à la contribution des eaux de pluies. Dans seulement 8 % des cas considérés (de 1943 à 1993), la plus grande crue annuelle s'est produite au cours de l'automne.

Auscultation du versant

Jusqu'à aujourd'hui plusieurs études préliminaires ont été réalisées.

Studi recenti e tecniche di controllo

Sono stati effettuati sino ad oggi alcuni studi preliminari.

Nel periodo compreso fra il luglio ed il novembre 1991 è stato effettuato uno "studio geologico-geomorfologico del versante a monte delle aree di servizio di Salbertrand" a cura dello STUDIO GEOLOGICO EPIFANI, mentre nel corso dell'estate 1994 è stata effettuata una campagna di rilevamento, durante la quale si è focalizzata l'attenzione sull'assetto litologico-strutturale e geomeccanico del versante in frana, al fine di chiarirne i cinematismi e le possibili linee evolutive. Sulla base dell'attuale esperienza si constata come, al fine di programmare un sistema di monitoraggio opportunamente dimensionato, tale da garantire la massima efficacia al minimo costo, sia necessario elaborare un modello geometrico del fenomeno effettuabile mediante i metodi classici della fotointerpretazione e del rilevamento.

Alla base del conoide generatosi per accumulo di materiali mobilitati durante le diverse riattivazioni del movimento franoso, corre il tracciato dell'autostrada A32 e proprio in quella zona è stata costruita l'area di servizio di Salbertrand. Una sistemazione parziale, completata prima di dare avvio ai lavori di costruzione dell'area di servizio, è consistita nella costruzione di barriere e reti paramassi e nella bonifica delle pareti sovrastanti l'area in oggetto. L'attuale sistema di monitoraggio, ad integrazione e completamento del precedente progetto, è stato ridefinito da una società di studi (GEODATA s.p.a.- febbraio 1993) su incarico della SITAF (Soc. Ital. Traforo del Frejus). Gli interventi sono stati localizzati sul settore in frana, anche se non sono stati completati gli studi per la comprensione geometrica, tipologica e cinematica del fenomeno; pertanto alcuni strumenti non sono esattamente commisurati agli elementi da prendere in considerazione.

L'attuale sistema di monitoraggio prende origine dal progetto originario apportandovi alcune modifiche. Esso verrà ad inglobare la strumentazione già in opera ed avrà lo scopo di rilevare i seguenti parametri: spostamenti planimetrici del corpo di frana, movimenti delle principali fratture poste presso la scarpata sommitale, movimenti delle porzioni lapidee lungo la balza rocciosa sovrastante l'area di servizio, variazioni della superficie piezometrica all'interno del corpo di frana, attività microsismica superficiale e profonda, condizioni meteo-climatiche. La strumentazione verrà ripartita secondo i diversi settori del versante in frana. Al piede del versante in frana (conoide) vengono mantenute le coppie di tubazioni inclinometriche e piezometriche già esistenti. Presso la parete rocciosa inferiore gli inclinometri superficiali esistenti vengono integrati con misuratori di apertura dei giunti e termometri elettrici di superficie. Presso il settore centro-sommitale sono previsti tubi inclinometrici vertica-

Dans la période comprise entre juillet et novembre 1991, l'étude géologique et géomorphologique du versant en amont de l'aire de service de Salbertrand a été réalisée par le STUDIO GEOLOGICO EPIFANI. Au cours de l'été 1994 une campagne de levés a été effectuée, au cours de laquelle l'attention fut portée sur les aspects lithologiques, structuraux et géomécaniques du versant instable, pour clarifier les cinématiques et les évolutions possibles. A partir de l'expérience actuelle on constate que, afin de concevoir un système de surveillance correctement adapté, en mesure de garantir la plus grande efficacité au coût minimum, il est nécessaire d'établir un modèle géométrique maximal. Ceci est déjà réalisable au moyen des méthodes de photo-interprétation et de levés classiques.

L'autoroute A32 et les aires de service et de restauration de Salbertrand (une pour chaque sens de circulation) sont construites à la base du cône d'accumulation engendré par le processus d'instabilité au cours des différentes réactivations du mouvement.

Avant de pouvoir débiter les travaux de construction des aires de services, le terrain en question a été sécurisé par la pose de filets par-blocs et le renforcement des parois rocheuses. La société d'étude GEODATA S.P.A. (Février 1993) a été chargée par la Société Italienne du Tunnel du Frejus (SITAF) de concevoir un système de surveillance, intégrant et complétant le précédent. Bien que la compréhension géométrique, typologique et cinématique du phénomène soit incomplète, les interventions ont été effectuées sur le seul secteur instable. De ce fait, les localisations adoptées, tant en surface qu'en profondeur, ne sont que partiellement adéquates.

Le réseau de surveillance actuel est issu du projet initial en lui apportant quelques modifications. Le système de surveillance en projet visera en outre à relever les paramètres suivants: déplacements planimétriques du corps de l'instabilité, mouvements des principales fractures situées près de l'escarpement sommital, mouvements des blocs le long de la barre rocheuse dominant l'aire de service, variations de la surface piézométrique à l'intérieur du corps de l'instabilité, activité microsismique superficielle et profonde, conditions météorologiques. L'instrumentation sera répartie différemment selon les secteurs du versant instable. Au pied du versant instable (cône de déjection) seront maintenus les couples de tubes piézométriques et inclinométriques déjà existant. Près de la paroi rocheuse inférieure, des mesures d'ouverture de joints et de températures en surface seront adjointes aux inclinomètres superficiels existants. Près du secteur sommital central sont prévus des tubes inclinométriques verticaux d'une longueur de 50 m, des tubes piézométriques, des géophones de surface et des géophones profonds. Près de l'escarpement sommital seront disposés des exten-

li aventi lunghezza di 50 m, tubazioni piezometriche, geofoni di superficie e geofoni profondi. Presso la scarpata sommitale verranno posizionati estensimetri a filo associati ad altrettanti distometri a nastro al fine di permettere una lettura sia automatica che manuale, termometri elettrici di superficie, geofoni superficiali e in foro.

A monte della scarpata principale, in un settore di versante prossimo allo spartiacque, è attualmente in funzione una stazione pluviometrica e nivologica denominata "Gran Bosco".

Una sezione sismica, per ora limitata al settore inferiore della frana, dimostra il carattere di ripetitività dei movimenti gravitativi, delineando la forma di più antichi corpi di accumulo sottostanti la superficie del versante attualmente interessata da processi di colamento. La profondità delle superfici identificate dal metodo sismico a rifrazione risulta confermata da alcuni sondaggi geognostici.

Evoluzione del rischio globale

Il quadro conoscitivo delineato ha permesso di individuare diverse fenomenologie di instabilità, associando loro crescenti gradi di coinvolgimento areale del versante e relativi scenari di evoluzione secondo lo schema seguente:

- a) caduta di blocchi isolati;
- b) attivazione del corpo detritico di frana nella sua parte medio-alta con interessamento del canale di colata e della zona di deposizione nella piana di fondovalle;
- c) coinvolgimento di nuova porzione dell'ossatura rocciosa retrostante la scarpata principale e già segnata da trincee e giunti di trazione.

Caduta di blocchi isolati:

Non ci sono testimonianze circa la progressione di massi isolati di grandi dimensioni dalle pareti di scarpata alla zona di deposizione finale, ma è tuttavia ipotizzabile una possibilità di questo genere.

La presenza, sul fondovalle, dell'autostrada e dell'area di servizio determina condizioni di rischio diverse dalle precedenti.

Attivazione del corpo detritico

Segni di un'accelerazione degli spostamenti della parte media del corpo di frana si sono evidenziati nel corso degli anni '60. La forma ristretta del canale di colata costituisce elemento rallentante di eventuali movimenti di massa.

Questa porzione è sede di ulteriore controllo.

Nuovi movimenti del versante nella zona di scarpata

Non sono da sottovalutare movimenti di questo tipo che potrebbero alimentare in modo drammatico sia la massa in frana che il rotolio di singoli massi fino alla piana alluvionale.

Questa porzione è tuttora sotto controllo.

somètres à fil associés à autant de distancemètres optiques afin de permettre une lecture aussi bien manuelle qu'automatique. On installera également des thermomètres électriques de surface, des géophones de surface et en forage.

Un profil sismique, pour l'instant limité au secteur inférieur de l'instabilité, montre le caractère répétitif des mouvements gravitaires. Il délimite plusieurs anciennes accumulations, sous-jacentes à la surface actuellement intéressée par les processus gravitaires. La profondeur des surfaces identifiées par la méthode sismique-réfraction est confirmée par plusieurs sondages d'observation.

Evolution du risque global

La connaissance acquise a permis d'identifier les phénomènes d'instabilité, en associant l'importance de leur impact sur le versant et l'estimation de leur probabilité d'occurrence selon les schémas suivants :

- a) Chute de blocs isolés.
- b) Activation du corps détritico de l'instabilité dans sa partie moyenne-haute avec affectation du chenal d'écoulement et de la zone de dépôt dans le fond de vallée.
- c) Activation de nouvelles portions de l'ossature rocheuse en arrière de l'escarpement principal qui est déjà marquée par des tranchées de traction.

Chute de blocs isolés

Il n'y a pas de témoignage concernant des chutes de blocs isolés de grandes dimensions issus des parois d'escarpement qui aient atteint la zone de dépôt final mais c'est une possibilité à envisager.

La présence de la nouvelle autoroute et d'une aire de service en fond de vallée oblige à envisager un nouveau scénario quant à l'évolution de ce phénomène.

Activation du corps détritico

Des signes d'une accélération des déplacements de la partie médiane du corps de l'instabilité sont apparus au cours des années 60.

La forme étroite du chenal d'écoulement crée un élément ralentissant pour d'éventuels mouvements de masse.

Ce secteur est toujours sous surveillance.

Nouveaux mouvements du versant dans la zone de l'escarpement

Des mouvements de ce type ne sont pas à sous-estimer car ils pourraient alimenter de façon dramatique la masse en mouvement et favoriser son basculement vers la plaine alluvionnaire.

Ce secteur est toujours sous surveillance.

LA FRANA DELLA "CLAPIÈRE" Valle della Tinée

RIASSUNTO

Introduzione

La frana della Clapière si sviluppa sul versante sinistro della valle della Tinée (Alpi Marittime, Francia), immediatamente a valle di S. Etienne de Tinée, un paese di 1800 abitanti. Il volume mobilizzato è di 50.000.000 m³, su una superficie di circa 1 km², per un dislivello di 650 m. In alcuni settori della frana, il movimento raggiunge velocità annuali che vanno da alcuni metri fino ad alcuni decametri.

Storia

L'analisi storica del fenomeno è consistita in ricerche di archivio, una raccolta iconografica ed interviste presso le popolazioni. Essa mostra che la caduta di blocchi in quel sito avviene da alcuni secoli e che la scarpata sommitale ha cominciato a formarsi prima dell'inizio del secolo.

Documenti disponibili

La frana è stata tenuta sotto osservazione, poi studiata ed infine controllata a partire dal 1970, principalmente dal Laboratoire des Ponts et Chaussées di Nizza (Ministère de l'Équipement). I documenti disponibili presso questo istituto sono:

- Carte topografiche alla scala 1/1.000, 1/2.000, 1/5.000, 1/25.000;
- Fotografie aeree: coperture generali a partire dal 1948, riprese speciali a grande scala a partire dal 1970 (> 1/10.000);
- Modelli numerici del terreno delle topografie successive (maglia di 2 m);
- Fotografie da terra a partire dal 1938;
- Rapporti tecnici operativi;
- Resoconto dei risultati e del monitoraggio;
- Rapporti di ricerca;
- Pubblicazioni.

Contesto geologico

Contesto regionale

La Tinée separa il massiccio cristallino esterno dell'Argentera-Mercantour, a N-E (versante sinistro), dalla copertura mesozoica, a sud-ovest (versante destro). Le rocce affioranti al sito della Clapière sono rappresentate da gneiss migmatitici più o meno micacei.

LE MOUVEMENT DE VERSANT DE LA "CLAPIÈRE" Vallée de la Tinée

RÉSUMÉ

Introduction

Le glissement de La Clapière affecte le versant gauche de la vallée de la Tinée (Alpes Maritimes, France), immédiatement en aval d'un village de 1800 habitants. Il mobilise un volume de 50 hm³, sur une surface d'environ 100 hm² et une dénivellée de 650 m. Les vitesses annuelles sont de plusieurs mètres ou décamètres par an.

Historique

L'analyse historique a consisté en des recherches en archives, une collecte iconographique et une enquête auprès de la population. Elle montre que des chutes de blocs se produisent sur ce site depuis plusieurs siècles et que l'escarpement sommital avait commencé à se constituer avant le début du siècle.

Documents disponibles

Le glissement ayant été observé, étudié, puis surveillé depuis 1970, principalement par le Laboratoire des Ponts et Chaussées de Nice (Ministère de l'Équipement), les documents disponibles sont nombreux.

- Plans et cartes topographiques (1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/25000).
- Photographies aériennes; couvertures générales à partir de 1948, prises de vue spéciales à grande échelle à partir de 1970 (>1/10000).
- Modèles numériques de terrain des topographies successives (maille de 2 m).
- Photographies terrestres depuis 1938.
- Rapports techniques opérationnels.
- Comptes-rendus de suivi et de surveillance
- Rapports de recherche
- Publications

Contexte géologique

Contexte régional

La Tinée sépare le massif cristallin externe de l'Argentera-Mercantour, au N-E (rive gauche), de sa couverture mésozoïque, au sud-ouest (rive droite). Le site de La Clapière est constitué de gneiss migmatitiques plus ou moins micacés.

Le glacier principal de la Tinée a modelé la partie inférieure des versants avec une pente de 40 à

La valle è di origine glaciale ed il ghiacciaio principale della Tinée ha modellato la parte inferiore dei versanti con una pendenza da 40° a 45°. La parte superiore del versante sinistro ha una pendenza di 25°. L'alluvionamento, molto grossolano, è abbondante nel fondo valle: più di 60 m di spessore a monte del piede della frana.

La foliazione, di direzione parallela alla valle e di forte inclinazione verso nord est, così come la pendenza del versante, hanno favorito il ribaltamento della testata delle bancate rocciose a tutte le scale, con formazione di una morfologia a terrazzi e scarpate in contropendenza.

Zona in movimento

È localizzata tra i 1100 m e i 1800 m di altezza alla base di un versante che culmina a 3000 m, alla confluenza tra la Tinée ed il T. Rabuons.

L'evoluzione morfodinamica della zona è significativa. Inizialmente la frana era limitata a monte da una scarpata sommitale continua lunga 650 m, con pendenza media di 50°. Una frattura interna (apertasi nel 1986 e che attualmente ha un rigetto di 60 m di altezza) ha dislocato una parte, mentre il settore nord-occidentale è fermo. Per contro, il settore sud-orientale, caratterizzato, a partire dal 1988, da una regressione dei movimenti verso monte, coinvolgendo del materiale prima stabile verso monte, si è configurato come una frana circoscritta superiormente. Il piede del versante è avanzato di parecchi metri, spostando il corso del fiume e distruggendo le due strade. Nuovi campi detritici si sono formati e ampliati. Frane e crolli minori si sono sviluppati come manifestazioni superficiali della frana principale. Una superficie di rottura sembra svilupparsi in modo coerente al piede della frana.

L'insieme dei movimenti riguarda essenzialmente rocce gneissiche appartenenti a due serie metamorfiche aventi caratteristiche meccaniche differenti:

- la serie di Iglière, che costituisce una barra rocciosa competente di 80 m di spessore di metadioriti, affiorante nella parte mediana della frana e che si interrompe in corrispondenza dei limiti laterali di quest'ultima. È una roccia debolmente anisotropa, nella quale la spaziatura tra le discontinuità è dell'ordine di parecchi metri, avente un'elevata resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa (70÷110 MPa).

- il resto della frana, che appartiene alla serie di Annelle, costituita essenzialmente da gneiss migmatitici, più anisotropi e meno resistenti (20÷60 MPa).

È stata determinata la resistenza al taglio della roccia cataclasata, in grado di riempire le superfici di rottura principali. La coesione e l'angolo di attrito ottenuti sono dell'ordine rispettivamente di 30 kPa e 30°.

45°. La parte superiore del versante gauche a une pente de 25°. L'alluvionnement, très grossier, est abondant dans la vallée: plus de 60 m d'épaisseur au droit du glissement.

La foliation, de direction parallèle à la vallée et de fort pendage vers le nord-est, ainsi que la pente du versant, ont favorisé des basculements des têtes de couches à toutes les échelles, avec formation d'une morphologie en terrasses et d'escarpements à regard amont.

Zone en mouvement

Elle est comprise entre les altitudes de 1100 m et 1800 m à la base d'un versant qui culmine à 3000 m, à l'interfluve entre la Tinée et le Torrent de Rabuons.

L'évolution morphodynamique y est importante. Le glissement initial était limité vers l'amont par un escarpement sommital continu sur 650 m, penté à 50° en moyenne. Une fissure interne (amorcée en 1986 et atteignant actuellement 60 m de hauteur) en a détaché une partie, bloquée au sommet côté nord-ouest. Côté sud-est, au contraire, à partir de 1988, une régression vers l'amont, entraînant des terrains amont antérieurement stables, a constitué un glissement supérieur. Le pied de versant a progressé, repoussant la rivière et détruisant deux routes. Les pierriers actifs se sont développés et multipliés. Des glissements et des éboulements élémentaires de plusieurs milliers de m³ affectent la surface du glissement principal. Un glissement emboîté plus conséquent semble s'amorcer à la base.

Les désordres impliquent essentiellement des gneiss, appartenant à deux séries de caractéristiques mécaniques différentes:

- la série d'Iglière constitue une barre principale de 80 m d'épaisseur de méta-diorites, située à mi-hauteur du glissement et interrompue en affleurement aux limites latérales de ce dernier. C'est une roche faiblement anisotrope, dans laquelle l'intervalle entre discontinuités est de l'ordre de plusieurs mètres, et de résistance matricielle en compression uniaxiale élevée (70-110 MPa).

- le reste du glissement appartient à la série d'Annelle, constituée essentiellement de gneiss migmatitiques, plus anisotropes et moins résistants (20-60 MPa).

La résistance au cisaillement de la roche broyée, susceptible de remplir les surfaces de rupture majeures, a été déterminée. La cohésion et l'angle de frottement obtenus sont de l'ordre de 30 kPa et 30°.

Les foliations, normalement très fortement pentées vers le nord-est, sont subhorizontales dans la zone en mouvement et tout autour. Ce basculement et les lacunes de la barre d'Iglière ont dû jouer un rôle majeur dans le déclenchement du glissement. Celui-ci est aussi favorisé par l'ex-

La foliazione, normalmente fortemente inclinata verso N-E, è sub-orizzontale nelle zone in movimento e in quelle limitrofe. Queste forme di ribaltamento e le lacune della barra di Iglière ai margini della frana hanno sicuramente giocato un ruolo importante nella predisposizione e nella dinamica dei movimenti. Questi sono stati anche favoriti dalla espressione locale della fratturazione regionale, in particolare da faglie verticali praticamente perpendicolari al versante e da faglie normali oblique che intersecano la massa in movimento.

Climatologia ed idrogeologia

Condizioni di alimentazione

La piovosità media nel fondo valle, dal 1982 al 1992, è stata di 936 mm/anno. Il regime è stagionale con un massimo primaverile e, in alcuni anni, autunnale. L'innervamento medio a 2500 m, su un arco di dieci anni, è stato di 810 mm/anno (espresso in acqua equivalente). Essendo la fusione scarsa in inverno, grandi quantità di neve si accumulano fino alla primavera, per poi fondere rapidamente. Non c'è un reticolo idrografico superficiale sulla frana, né si sono trovate sorgenti di portata superiore a 0.01 l/s.

Condizioni di infiltrazione

Nelle zone interessate dal movimento, sia le condizioni morfologiche del versante (mancanza di un reticolo idrografico) sia le condizioni di intensa fratturazione nonché un'estesa copertura vegetale arbustiva, favoriscono la totale infiltrazione delle acque meteoriche. L'evapotraspirazione è inferiore a 10 mm/mese in inverno e a 100 mm/mese in estate.

Sorgenti

Le poche sorgenti superficiali del versante nelle vicinanze della frana sono di scarsa portata, nettamente sproporzionate rispetto alle condizioni di alimentazione. Sembra dunque che la maggior parte delle acque siano drenate in sotterraneo attraverso le alluvioni più grossolane e permeabili della Tinée.

Tecniche di riconoscimento messe in opera

Si deve considerare che le dimensioni della frana e le sue condizioni di movimento, la pericolosità che determina e le difficoltà d'accesso al sito rendono proibitiva l'applicazione delle comuni tecniche di riconoscimento in uso per le frane. La conoscenza è stata limitata alla raccolta delle informazioni disponibili in superficie: cartografia geologica di terreno e fotointerpretazione, fotogrammetria (studio quantitativo della deformazione), controlli.

pressione locale de la fracturation régionale, avec notamment des failles verticales pratiquement perpendiculaires au versant et des failles normales obliques découpant la masse mobile.

Climatologie et hydrogéologie

Les conditions d'alimentation

La pluviosité moyenne en fond de vallée, de 1982 à 1992, a été de 936 mm/an. Le régime est saisonnier avec des maxima au printemps et, certaines années, en automne. L'enneigement moyen à 2500 m, sur dix ans, a été de 810 mm/an (lame d'eau équivalente). La fusion étant faible en hiver, le stock s'accroît jusqu'au printemps, puis il fond rapidement. Il n'y a pas de réseau de ruissellement sur le glissement proprement dit, ni de source de débit supérieur à 0,01 l/s.

Les conditions d'infiltration

Dans la zone des désordres, la morphologie (contre-pentes fréquentes), l'intense fracturation et le couvert végétal arbustif sont propices à l'infiltration. L'évapotranspiration est inférieure à 10 mm/mois en hiver et à 100 mm/mois en été.

Les exutoires

Les quelques exutoires superficiels du versant au voisinage du glissement ont des débits infimes, hors de proportion avec les débits infiltrés. Il semble donc que l'essentiel des eaux soit drainé souterrainement dans les alluvions grossières et perméables de la Tinée.

Techniques de reconnaissance mises en oeuvre

On a considéré que la dimension du site, sa mobilité, sa dangerosité et ses difficultés d'accès rendaient prohibitive l'application des techniques de reconnaissance en usage pour les glissements courants. De ce fait, la reconnaissance a été limitée à la collecte des informations disponibles en surface : cartographie géologique de terrain et photogéologie, photogrammétrie (étude quantitative de la déformation), auscultation.

Auscultation du versant

Les objectifs de la surveillance

- Prédiction des phénomènes dommageables pour alerter les autorités responsables en temps utile.
- Assistance à la gestion des crises.

Monitoraggio del versante

Obbiettivi della sorveglianza

- Previsione dei fenomeni pericolosi per allertare in tempo utile le autorità responsabili;
- assistenza alla gestione del rischio

Osservazioni e misure

- Osservazione morfodinamica qualitativa.
- Misure di distanza: consistono nel misurare la distanza tra mire ottiche, disseminate sulla frana e nei suoi pressi, e due stazioni fisse, poste sul versante opposto. Queste misure "manuali", da quotidiane a settimanali, sono iniziate nel 1982. Nel 1991, è stato installato un dispositivo automatico che comprende, oltre alle 43 mire ottiche, due teodoliti automatici e due distanziometri ad infrarosso, comandati da due micro-computer. Le misure (angoli e distanze) sono eseguite e trasmesse via radio 6 volte al giorno.

- Triangolazione: circa una volta all'anno, si misurano mediante triangolazione le coordinate delle mire ottiche.

- Misure estensimetriche: consistono nel misurare la variazione della distanza tra due punti, formando una base; 15 estensimetri a filo teso permettono di seguire i movimenti relativi di taluni settori della frana, tra di loro o in relazione a dei punti fissi posti nella zona stabili. Le misure sono eseguite e trasmesse 12 volte al giorno.

- Misure inclinometriche ininterrotte annuali di due fori nel fondo valle hanno permesso di localizzare la rottura in questa zona.

- Misure idrometeorologiche: la piovosità è misurata grazie ad un pluviografo teleconsultabile posto nella valle. La portata della Tinée è misurata da due stazioni; una, teleconsultabile, è installata a monte della zona minacciata e dovrà continuare a funzionare anche dopo eventuali frana-menti. L'evoluzione della copertura nevosa è conosciuta per mezzo di due telenivometri posti a 1850 m e 2500 m d'altezza.

Altri metodi sono messi in opera nel quadro di azione di ricerca (ascolto sismo-acustico, telerilevamento):

Trasmissione e gestione dei dati

Il sistema di raccolta e trasmissione dati si sviluppa in quattro livelli. I sensori e le loro sorgenti di trasmissione in situ emettono l'informazione. Il *terminal delle misure*, posto a qualche chilometro dalla frana, riceve, immagazzina i dati e li trasmette automaticamente ogni mattina al centro di trattamento. Esso può così emettere i segnali di allerta automatica. Nel *centro di trattamento*, situato a Nizza, i dati sono spogliati, interpretati ed archiviati. Un "giornale di bordo" viene quotidianamente aggiornato; esso permette di elaborare la

Les observations et mesures

- Observation morphodynamique qualitative.

- Mesures de distance : elles consistent à mesurer la distance entre des cibles, disséminées sur le glissement et ses environs, et deux stations fixes, situées sur le versant stable en rive droite. Des mesures «manuelles», quotidiennes à hebdomadaires, ont commencé en 1982. En 1991, un dispositif automatique a été mis en place. Il comprend, outre les 43 cibles (miroirs passifs), deux théodolites motorisés et deux distancemètres à infrarouge, pilotés par des micro-ordinateurs. Les mesures (distances et angles) sont réalisées et retransmises 6 fois par jour.

- Triangulations : une fois l'an environ, les coordonnées des cibles sont mesurées par triangulation.

- Mesures extensométriques : elles consistent à mesurer les variations de la distance entre deux points, formant une base. 15 extensomètres à fil tendu permettent de suivre les mouvements relatifs de certains compartiments du glissement, entre eux ou par rapport à des points fixes situés dans des zones stables. Les mesures sont réalisées et retransmises 12 fois par jour.

- Mesures inclinométriques : le suivi annuel de deux forages en fond de vallée a permis de localiser la rupture dans cette zone.

- Mesures hydrométéorologiques : la pluviosité est mesurée grâce à un pluviographe téléconsultable situé dans la vallée. Le débit de la Tinée est mesuré par deux stations de jaugeage. L'une, téléconsultable, est installée en amont de la zone menacée et devrait continuer à fonctionner après d'éventuels éboulements. L'évolution de la couverture neigeuse est connue par deux telenivomètres situés à 1850 et 2500 m d'altitude.

D'autres méthodes sont mises en oeuvre dans le cadre d'actions de recherche (écoute sismo-acoustique, télédétection).

La transmission et l'exploitation des données

Le système de transmission comporte quatre niveaux. Les capteurs et leurs sources de transmission, situés sur le *site*, émettent l'information. Les modes de transmission diffèrent suivant le type de données. Le *terminal de mesures*, situé à quelques kilomètres du glissement, réceptionne, stocke les données et les transmet automatiquement chaque matin au centre de traitement. Il peut aussi émettre des signaux d'alerte automatique. Au *centre de traitement*, installé à Nice, les données sont dépouillées, interprétées et archivées. Un «tableau de bord» est mis à jour quotidiennement ; il permet d'élaborer le diagnostic sur l'état du versant et son évolution à court terme. Celui-ci est ensuite transmis aux *autorités responsables*, qui constituent le quatrième niveau.

diagnosi sullo stato del versante e la sua evoluzione a breve termine. Questo rapporto è poi trasmesso alle *autorità responsabili*, che rappresentano il quarto ed ultimo livello di informazione.

Gli allarmi automatici sono unicamente destinati a personale specializzato. Qualunque messaggio di allarme non può essere trasmesso alle autorità senza che ci sia un livello di perizia critica che confermi un'informazione a priori allarmante.

Analisi dei dati del monitoraggio

Nel rapporto è riportata un'analisi dettagliata. Il comportamento della frana è nel suo insieme omogeneo: le accelerazioni e decelerazioni sono generalmente sincrone su tutte le mire. Ma la gerarchia delle velocità all'interno delle diverse zone si evolve. Le velocità più elevate, misurate nel 1986 e 1987, hanno superato localmente i 100 mm/giorno durante tutto un mese.

L'inclinazione dei vettori spostamento diminuisce con l'altezza: è superiore all'inclinazione del pendio topografico a monte e inferiore verso valle.

La correlazione tra idrometeorologia e cinematica dei movimenti appaiono chiaramente corrispondenti alla scala annuale e stagionale. Esse hanno permesso di elaborare dei modelli previsionali utili per la sorveglianza.

Stato attuale della modellizzazione

Vengono qui di seguito sintetizzati i modelli geologico e idrogeologico, già presentati nei capitoli precedenti. Viene inoltre proposto un modello idraulico a due reti di drenaggio.

I movimenti superficiali ed i dati strutturali hanno permesso di costruire un modello della superficie di rottura, non circolare, che delimita un volume di circa 50.000.000 m³. Viene presentato inoltre un modello dell'evoluzione passata del fenomeno, che comprende una fase di rottura interna con dilatanza del massiccio, più la comparsa di una superficie di rottura poliedrica che evolve verso una superficie più regolare. È stato anche fatto un modello previsionale sull'evoluzione del fenomeno, simulando più scenari di collasso del versante allo scopo di zonizzare aree esposte a diversi livelli di pericolosità. I calcoli di stabilità hanno infine permesso di analizzare la sensibilità del fenomeno gravitativo in relazione a diversi fattori influenzanti.

Evoluzione del rischio, vulnerabilità, prevenzione e protezione

Come accennato in precedenza, sono stati esaminati diversi scenari di evoluzione del fenomeno, tra cui il collasso totale della massa in movimento. Ciò potrebbe provocare lo sbarramento della

Les alertes automatiques sont uniquement destinées au personnel d'astreinte. Aucun message d'alerte ne peut être transmis aux autorités sans qu'un niveau d'expertise critique et valide une information a priori alarmante.

Quelques éléments concernant la maintenance, les moyens humains et les coûts sont donnés dans le rapport.

L'analyse des données d'auscultation

Une analyse détaillée est donnée dans le rapport. Globalement, le comportement du glissement est homogène : les accélérations et décélérations sont synchrones sur l'ensemble des cibles. Mais la hiérarchie des vitesses entre les différentes zones évolue. Les vitesses les plus élevées, mesurées en 1986 et 1987, ont dépassé localement 100 mm/jour pendant un mois.

L'inclinaison des vecteurs déplacements décroît avec l'altitude. Elle est supérieure à la pente topographique à l'amont, et lui est inférieure à l'aval.

Des corrélations entre l'hydrométéorologie et la cinématique du glissement apparaissent nettement aux échelles annuelle et saisonnière. Elles ont permis d'élaborer des modèles prédictifs utiles pour la surveillance.

Etat actuel de la modélisation

Les modèles géologique et hydrogéologique, déjà présentés dans les chapitres précédents, sont synthétisés. Un modèle hydraulique à deux réseaux de drainage est proposé.

Les mouvements de surface et les données structurales ont permis de construire un modèle de surface de glissement, non circulaire, délimitant un volume d'environ 50 hm³. Un modèle de l'évolution passée du phénomène est également proposé, comportant une phase de ruptures internes avec dilatanza, puis l'apparition d'une surface limite polyédrique évoluant finalement vers une surface plus régulière. L'évolution future du phénomène a également été modélisée : plusieurs scénarios d'éboulement en masse ont été simulés dans le but de circonscrire les zones exposées. Des calculs de stabilité ont permis d'analyser la sensibilité du phénomène à différents facteurs d'influence.

Evolution de l'acuité du risque, vulnérabilité, prévention et protection

Différents scénarios d'évolution ont été envisagés, dont l'éboulement brutal de la totalité de la masse en mouvement. Celle-ci pourrait entraîner la bouchure de la vallée par un barrage et une montée des eaux en amont, avec le risque d'une onde de crue en aval en cas de rupture rapide du

valle, la creazione di un invaso a monte ed il rischio di una grave onda di piena verso valle, nel caso di un'erosione rapida dello sbarramento. In ragione di tale rischio, è stata stabilita una strategia di protezione civile, che ha comportato:

- un sistema di monitoraggio sulla frana, che ha permesso di seguirne l'attività fin dal 1982;
- la costruzione di una derivazione sotterranea del fiume;
- la definizione di un piano di protezione civile, periodicamente aggiornato.

Struttura di decisione

L'applicazione dei dispositivi previsti dal piano di protezione civile coinvolge le autorità prefettizie (Dipartimento delle Alpi Marittime) e municipali (comune di Saint Etienne de Tinée). Tali autorità sono informate costantemente sui risultati del monitoraggio gestito dal "Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) Méditerranée" (servizio esterno del "Ministère de l'Equipement"). Questo fornisce una prestazione di servizio per conto della Prefettura delle Alpi Marittime, Direttore dei Lavori in nome dello Stato, sotto la direzione della "Direction Départementale de l'Equipement" (DDE). Il Direttore dei Lavori si può basare, specialmente in caso di crisi, sul parere di un collegio di esperti nazionale, la cui costituzione deve essere decisa dal "Ministère de l'Environnement" per un supporto decisionale.

barrage. En raison de ces risques, une stratégie de protection a été établie. Elle comporte :

- des mesures préventives, dont la plus importante est la construction d'une dérivation souterraine de la rivière,
- un plan de secours, périodiquement mis à jour,
- un système de surveillance, qui a permis de suivre l'activité du glissement depuis 1982.

Structure de décision

L'application des dispositions prévues par le plan de secours relève des autorités préfectorale (Département des Alpes Maritimes) et municipale (commune de Saint-Etienne de Tinée). Ces autorités sont informées en permanence des résultats de la surveillance gérée par le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) Méditerranée (service extérieur du Ministère de l'Equipement). Celui-ci agit comme prestataire de service pour le compte de la Préfecture des Alpes Maritimes, maître d'ouvrage au nom de l'Etat, sous la maîtrise d'oeuvre de la Direction Départementale de l'Equipement (DDE). Le maître d'ouvrage pourra s'appuyer, notamment en cas de crise, sur l'avis d'un collège d'experts nationaux qui doit être organisé par le Ministère de l'Environnement pour pouvoir le conseiller.

LA FRANA DI "ROSONE" Valle Orco

RIASSUNTO

Introduzione

L'intero versante meridionale della dorsale tra i torrenti Orco e Piantonetto, in provincia di Torino, è interessato da un lento processo di *deformazione gravitativa profonda*, che si sviluppa su una superficie di circa 5.5 km² per profondità superiori a 100 m. Il fenomeno coinvolge il versante su un dislivello di oltre 1300 m, da 700 m nel fondovalle fino a 2000 m sulla cresta spartiacque. Nell'ambito di questa deformazione si è sviluppato in corrispondenza degli abitati di Rosone e Bertodasco, un movimento franoso di grosse proporzioni storicamente riconosciuto, come frana di Rosone. Alla confluenza dei due corsi d'acqua sono ubicati il nuovo abitato di Rosone (dopo l'avvenuto trasferimento del 1956) e la centrale idroelettrica dell'Azienda Energetica Municipale di Torino (potenza installata di 99 MWh), alimentata dalle acque provenienti dallo sbarramento di Ceresole Reale e convogliate per 17 km in galleria attraversando per intero la deformazione gravitativa sino alle vasche di carico di Perebella, dove, con un salto di 813 m, precipitano in condotte forzate verso la centrale stessa.

Sintesi storica

La frana di Rosone ha avuto due importanti fasi parossistiche di movimento, dall'inizio del secolo XVIII e nell'autunno-inverno 1953, altri due movimenti minori nel corso di questo secolo di seguito sintetizzati:

Prima notizia di rilievo: inizio XVIII (1705-1706); da una relazione di sopralluogo ("Atti di visita") si può stabilire che il fenomeno si manifestò allora in modo analogo a quanto avvenne durante la fase parossistica dell'autunno del 1953, con gravi lesioni a molti edifici e distruzione dei terreni coltivati.

Notizie successive: inizio secolo XX 1916: Rosone inserito tra gli abitati da consolidare ai sensi della Legge n. 455 del 1908. 1933-1934: gli abitanti di Rosone vengono trasferiti per circa 7 mesi.

Inizio anni 40: uno scivolamento a quota 1300 coinvolgendo vaste porzioni di terreno produce il rotolamento a valle di grossi massi che minacciano Rosone, Grumel e la parte orientale di Bertodasco.

Dopo notizie di riattivazioni nel 1948 e nel 1951, nell'autunno-inverno del 1953 si verifica, in segui-

LE MOUVEMENT DE VERSANT DE "ROSONE" - Vallée de l'Orco

RÉSUMÉ

Introduction

L'ensemble du versant méridional de la dorsale située entre les torrents Orco et Piantonetto, dans la province de Turin, est concerné par un lent processus de *déformation gravitaire profonde*, qui se développe sur une superficie d'environ 5.5 km² et une profondeur supérieure à 100 m. Le phénomène affecte le versant sur un dénivelé d'environ 1300 m, de 700 m dans le fond de vallée à 2000 m sur les crêtes. Dans le cadre de cette déformation, un mouvement de versant de grande dimension s'est développé au niveau des hameaux de Rosone et de Bertodasco, historiquement connu sous le nom de "glissement de Rosone". A la confluence des deux cours d'eau, se trouve les habitations récentes de Rosone (après le déplacement de population de 1956) et la centrale hydroélectrique de "l'Azienda Energetica Municipale di Torino" (puissance installée de 99 Mwh). Celle-ci est alimentée par les eaux provenant du barrage de Ceresole Reale, acheminées par 17 km de galerie traversant l'ensemble de la déformation gravitaire jusqu'aux bassins de charge de Perebella. Une chute de 813 m en conduite forcée les achemine vers la centrale.

Historique

Le mouvement de l'instabilité de Rosone a connu deux phases principales de paroxysme du mouvement, au début du XVIII^e siècle et au cours de l'automne et de l'hiver 1953, ainsi que deux mouvements plus mineurs décrits ci-après:

Premier épisode relevé : début du XVIII^e (1705-1706). D'après un rapport de "sopralluogo" (Acte de visite), on peut établir que le phénomène s'est alors manifesté de façon analogue à l'épisode paroxysmique de l'automne 1953, causant d'importants dommages à de nombreux édifices et la destruction de terres agricoles.

Episodes suivants : début du XX^e siècle, 1916. Rosone est inscrit parmi les habitats à consolider au sens de la loi 445 de 1908. 1933-1934 : les habitants de Rosone sont déplacés pour une durée d'environ 7 mois.

Début des années 40 : un glissement à la cote 1300 entraînant une vaste portion de terrain produit le basculement de blocs importants qui menacent Rosone, Grumel et la partie ouest de Bertodasco.

to ad abbondanti precipitazioni, il collasso di una parte del versante interessato dalla frana. I movimenti nella zona di Bertodasco lesionano o addirittura distruggono alcune case; dalle pareti sovrastanti Rosone si generano processi di produzione di detrito e di rotolamento di massi: evacuazione dei 250 abitanti e del bestiame.

Dal 1953 al 1957: progressivo rallentamento dei movimenti (sulla base dei controlli effettuati dall'A.E.M. sui propri impianti).

1956: il D.P.R. n. 772 sancisce la definitiva evacuazione delle tre frazioni: Rosone, Grumel e Bertodasco.

Dal 1957 ai primi anni 60: accelerazioni nei movimenti, con fenomenologie simili a quelle del 1953 anche se in forma meno grave.

Successive riattivazioni: autunno 1963, primavera 1964 e 1969. Movimenti significativi permangono nella parte alta della frana, come indicato da misurazioni topografiche effettuate in corrispondenza dei blocchi di ancoraggio della condotta forzata.

Documenti tecnici disponibili

Sono disponibili fotografie aeree riprese in diversi periodi: 1954, 1963, 1975, 1979, 1982, 1988, 1991 a scale diverse, variabili da 1:7.000 circa sino a 1:50.000. Esistono altresì alcuni studi e pubblicazioni scientifiche prodotte nell'intero ventennio ed allo stesso modo alcuni rapporti interni inerenti le indagini eseguite e la valutazione di alcuni scenari di pericolosità geologica. Le basi topografiche impiegate fanno riferimento a scale 1:5.000 e 1:10.000.

Quadro litologico e geologico-strutturale

Il massiccio del Gran Paradiso è costituito da un basamento cristallino composito e da una copertura permo-liassica, localmente preservata alla periferia. La Valle dell'Orco si sviluppa nel settore centrale del massiccio e risulta incisa unicamente entro il Complesso degli Gneiss Occhiadini. Il quadro geologico-strutturale dell'area è relativamente semplice: affiorano generalmente gneiss granitoidi e gneiss occhiadini, a grossi idiolblasti feldspatici. Localmente si presentano facies a scistosità più marcata, messe in evidenza da un aumento di muscovite e biotite; talora affiorano livelli di micascisti, più raramente cloritoscisti. La scistosità principale risente della giacitura periclinale del massiccio che, in quest'area, ha un'immersione media di circa 155° , con inclinazione di 35° . L'insieme di queste bancate è successivamente tagliato da due sistemi principali di fratturazione, ortogonali fra loro e sub verticali, con direzione circa E-W e N-S.

Après les épisodes de réactivation de 1948 et 1951, une coulée se déclenche à la suite d'abondantes précipitations au cours de l'automne et de l'hiver 1953, entraînant une partie du versant affectée par l'instabilité.

Les mouvements dans la zone de Bertodasco endommagent et parfois détruisent certaines maisons. Des chutes de blocs se déclenchent depuis les falaises dominant Rosone, provoquant l'évacuation des 250 habitants et du bétail.

De 1953 à 1957 : ralentissement progressif des mouvements (d'après les contrôles effectués par l'Azienda Energetica Municipale (AEM) sur ses propres infrastructures).

1956 : le DRP n. 772 ordonne l'évacuation définitive des trois hameaux : Rosone, Grumel et Bertodasco.

De 1957 au début des années 60 : accélération des mouvements, avec des phénoménologies similaires à celles de 1953 bien que sous des formes moins graves.

Réactivations suivantes : automne 1963, printemps 1964 et 1969. Des mouvements significatifs apparaissent dans la partie haute de l'instabilité, comme l'indiquent les mesures topométriques effectuées sur les blocs d'ancrage de la conduite forcée.

Documents disponibles

Des photographies aériennes réalisées à différentes périodes sont disponibles : 1954, 1963, 1975, 1979, 1982, 1988, 1991 à des échelles allant de 1/7000 à 1/50000. Il existe, par ailleurs, plusieurs études et publications scientifiques réalisées au cours de ces décennies ainsi que plusieurs rapports internes concernant les investigations réalisées et l'évaluation de scénarios de risques géologiques. Les bases topographiques utilisées comme référence sont à l'échelle 1/5000 et 1/10000.

Contexte géologique

Contexte géologique régional

Le massif du Grand Paradis est constitué d'un socle cristallin composite et d'une couverture permo-liassique localement préservée à la périphérie. La vallée de l'Orco se situe dans le secteur central du massif et est creusée dans l'ensemble des Gneiss oeillés. Le cadre géologico-structural du secteur est relativement simple : en général des gneiss granitoides et des gneiss oeillés, à gros idiolastes feldspathiques y affleurent. Localement, on remarque des faciès à schistosité plus marquée, mise en évidence par une augmentation de muscovite et de biotite. Parfois, des niveaux de micascistes, plus rarement de chloritoschistes, affleurent. La schistosité principale est influencée par la disposition periclinale du massif qui, à cet endroit, a un pendage moyen de 35° orienté environ à N 155° .

Quadro geomorfologico e morfodinamico

Le evidenze morfostrutturali identificate per l'intero versante esaminato hanno consentito di individuare tre settori contigui tra loro, corrispondenti ad altrettanti stadi evolutivi, distinguibili in carta con i toponimi corrispondenti ai tre nuclei abitati di Ronchi, Perebella e Bertodasco. La specificità e singolarità del sito risiede nel trovare concentrata in un ambito ristretto una variabilità di risposte della dorsale alle sollecitazioni subite, tale da consentire un'analisi simultanea e comparata degli stadi evolutivi preliminari, intermedi e finali peculiari di una deformazione gravitativa profonda di versante. Analizzando il versante da occidente verso oriente si riconosce prima il settore Ronchi, caratterizzato da una fase di evoluzione del processo deformativo *molto avanzata* che ha determinato lo smantellamento dell'originaria compagine rocciosa. Il profilo del versante mostra una vistosa depressione nella parte superiore seguita da una accentuata prominenza, verso l'asse della valle, nel settore inferiore. Movimenti di entità non elevata, ma tali da provocare numerose lesioni nel rivestimento della galleria-serbatoio dell'Azienda Energetica Municipale, sono stati registrati già a partire dall'entrata in funzione degli impianti idroelettrici, nel 1929. In nessun luogo del settore Ronchi sono più riconoscibili morfologie riconducibili al modellamento glaciale; per tutto il versante è invece evidente e molto caratteristica la presenza di numerose e grandi ondulazioni, nonché di una potente coltre di detrito a grossi blocchi, con elementi di pezzatura estremamente variabile, molti dei quali raggiungono le dimensioni di centinaia, talora migliaia, di metri cubi. Testimonianze relitte dell'originaria compagine rocciosa sono ancora visibili, soprattutto nelle parti alte, ma solo in settori localizzati e senza alcuna continuità. Nella parte inferiore del versante prossima al fondo valle, si sono verificate in passato (1953) alcune frane che si possono considerare stabilizzate.

Il settore centrale, nel quale è ubicata la frazione di Perebella, è riconducibile ad una fase iniziale di sviluppo del fenomeno deformativo. Esso è ben distinto dal settore Ronchi da una discontinuità, avente direzione N-S, a sviluppo lineare di alcune centinaia di metri, lungo la quale si è imposta una scarpata di separazione tra le due aree, determinando dislivelli anche di 50÷90 m. Inoltre è contraddistinto dalla presenza di significativi sdoppiamenti multipli delle creste nella parte sommitale, presenti anche nel settore Ronchi, oltre che da numerose contro pendenze rettilinee e da un'intensa fratturazione che interessa tutto il bordo occidentale del settore. Gli estesi affioramenti del substrato roccioso si presentano fratturati nelle parti media e bassa.

L'ensemble de ces couches est découpé successivement par deux systèmes de fracturation, orthogonaux entre eux et subverticaux, de direction environ E-W et N-S.

Description de la masse en mouvement

Les traits morphostructuraux identifiés sur l'ensemble du versant examiné ont permis d'identifier trois secteurs contigus entre eux, reflétant autant de stades d'évolution et correspondant aux hameaux de Ronchi, Perebella et Bertodasco. La spécificité et la singularité du site résident dans le fait que l'on trouve concentrées, dans un environnement restreint, différentes réponses de la dorsale aux sollicitations subies, comme le montre une analyse simultanée et comparée des différents stades d'évolution (initial, intermédiaire et final) propres à une déformation gravitaire profonde de versant. En analysant le versant d'Ouest en Est, on trouve d'abord le secteur de Ronchi, caractérisé par une phase d'évolution du processus de déformation *très avancée* qui a déterminé le démantèlement de l'organisation rocheuse originelle. Le profil du versant montre une importante dépression dans la partie supérieure, suivie vers l'axe de la vallée, d'une proéminence dans le secteur inférieur. Des mouvements de masses peu importants, mais susceptibles de provoquer de nombreux dommages au revêtement de la galerie de "l'Azienda Energetica Municipale", ont été enregistrés dès la mise en services des installations hydroélectriques, en 1929.

A aucun endroit du secteur de Ronchi, on ne peut reconnaître les morphologies attribuées au modelé glaciaire. Pour l'ensemble du versant, on note la présence évidente et très caractéristique de nombreuses et importantes ondulations, ainsi que d'une importante couverture détritique à gros blocs, avec des éléments de taille extrêmement variable, dont beaucoup atteignent des volumes de plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de mètres cubes.

Des témoignages de l'organisation rocheuse originelle sont encore visibles, surtout dans les parties hautes, mais uniquement dans des secteurs localisés et sans aucune continuité. Dans la partie inférieure du versant, près du fond de vallée, se sont produits dans le passé (1953) des éboulements que l'on peut considérer comme stabilisés.

Le secteur central, dans lequel se situe le hameau de Perebella, est à associer à une phase initiale de développement du phénomène de déformation. Celui-ci est bien séparé du secteur de Ronchi par une discontinuité de direction N-S, d'une extension linéaire de quelques centaines de mètres, le long de laquelle s'est formé un fossé de séparation entre les deux zones provoquant un dénivelé de 50 à 90 mètres. Il convient de ne pas confondre cette séparation avec la présence d'importants et multiples dédoublements de crêtes dans la partie

Il settore orientale (Bertodasco) è quello maggiormente conosciuto dal punto di vista storico, ospitando l'abitato di Bertodasco e gli impianti dell'AEM. In esso si riconoscono elementi che permettono di collocare il fenomeno in una fase di sviluppo intermedia tra le due precedentemente descritte. L'area entro la quale si sarebbero già in parte sviluppate evidenti superfici di rottura è stata delimitata attraverso il riconoscimento di elementi morfo-strutturali distintivi. Facendo ricorso alla medesima metodologia, integrata da rilievi sul terreno, da dati strumentali e sulla base della ricostruzione storica degli eventi principali, è stato possibile suddividere l'area in tre zone, da monte a valle, rispettivamente A, B e C, corrispondenti a differenti tipologie e dinamiche di movimento.

Il profilo longitudinale del versante è caratterizzato da ondulatione a grande scala e mostra forme di rigonfiamento, senza però raggiungere l'espressione tipica del settore di Ronchi. Molti caratteri morfo-strutturali ben visibili nel settore di Perebella, qui cominciano ad essere nascosti dallo scompaginamento dell'ammasso roccioso, a causa del più avanzato stadio di evoluzione del fenomeno. Pur tuttavia gli stessi blocchi mantengono localmente una posizione allineata secondo i principali sistemi di discontinuità.

Nell'evoluzione dell'intero versante (Ronchi, Perebella, Bertodasco) sembra aver giocato un ruolo predominante la "bastionata" rocciosa presente alla base del pendio. È probabile che questa svolga una funzione di struttura di contenimento, infatti:

- il settore *Ronchi*, dove essa è mancante, probabilmente per avvenuto cedimento, risulta sede di un fenomeno franoso molto evoluto e di vaste dimensioni;

- il settore *Bertodasco*, dove la *bastionata* rocciosa è presente ma disarticolata in più punti e smantellata localmente, è soggetto tuttora a movimenti franosi interessanti l'intero pendio;

- il settore *Perebella*, che separa i precedenti, riconducibile ad una fase iniziale di sviluppo, evidenzia una generale integrità della compagine rocciosa posta alla base del pendio.

L'analisi condotta ha consentito di individuare il settore di Bertodasco come quello più suscettibile di evoluzione catastrofica, in base alla tipologia e cinematica del fenomeno franoso e alle ricorrenti notizie storiche inerenti i movimenti.

Climatologia ed idrogeologia

Pluviometria

La piovosità media annuale è stata calcolata su di un periodo di 42 anni, compreso fra il 1938 ed il 1980. Il valore ottenuto, circa 1200 mm, è riferibile al centro abitato di Rosone posto, a circa

sommitale, che l'on ritrova dans le secteur de Ronchi, ni avec les nombreuses contre-pentes rectilignes et l'intense fracturation de l'ensemble de l'extrémité occidentale du secteur. Les affleurements étendus du substratum rocheux apparaissent fracturés dans les parties moyennes et basses.

Le secteur oriental (Bertodasco) est le mieux connu d'un point de vue historique, du fait qu'il est habité et qu'il est le siège des installations de l'AEM. Dans ce secteur, on reconnaît les éléments qui permettent de situer le phénomène dans une phase de développement intermédiaire entre les deux précédemment décrits. La reconnaissance d'éléments morphostructuraux particuliers a permis de délimiter l'aire dans laquelle se serait déjà en partie développées des surfaces de rupture. En utilisant la même méthodologie et en y intégrant les relevés sur le terrain ainsi que les données instrumentales puis en se référant à la reconstitution historique des principaux événements, il a été possible de subdiviser l'aire en trois zones, d'amont en aval, A, B et C, correspondant aux différentes typologies et dynamiques du mouvement.

Le profil longitudinal du versant est caractérisé par des ondulations à grande échelle et montre des formes de gonflement, sans cependant atteindre l'expression typique du secteur de Ronchi. Beaucoup de caractères morpho-structuraux, bien visibles dans le secteur de Perebella, commencent ici à être masqués par la désorganisation du massif rocheux du fait du stade plus avancé d'évolution du phénomène. Cependant, ces blocs conservent une position alignée selon les principaux systèmes de discontinuités.

Dans l'évolution de l'ensemble du versant (Ronchi, Perebella, Bertodasco), le "rempart" rocheux, présent à la base du versant, semble avoir joué un rôle prédominant. Il est probable que celui-ci ait une fonction de structure de blocage. En effet:

- Le secteur de *Ronchi*, où ce rempart est absent - probablement du fait d'un affaissement - est le siège d'une instabilité très avancée et de grande ampleur.

- Le secteur de *Bertodasco*, où le rempart rocheux est présent, mais disloqué en plusieurs points et localement désorganisé, est cependant sujet à des mouvements de terrain intéressant l'ensemble du versant.

- Le secteur de *Perebella*, qui sépare les deux secteurs précédents, caractérisé par une phase initiale d'évolution, montre une intégrité générale de l'organisation rocheuse en pied de versant.

En se basant sur la typologie et la cinématique ainsi que sur les récits historiques récurrents relatifs aux mouvements, l'analyse menée a permis de désigner le secteur de Bertodasco comme le plus susceptible de connaître une évolution catastrophique.

700 m, alla base del versante in frana ove è presente una stazione di rilevamento. Dal 1990 è in funzione la stazione pluviometrica e termometrica di Bertodasco (quota 1120 m).

Relativamente alla distribuzione stagionale della piovosità, si può affermare che:

Maggio: presenta il maggiore valore mensile di piovosità (160 mm) ed il maggior numero medio di giorni piovosi (12). I massimi valori cumulati di precipitazione vengono raggiunti in tre o quattro giorni di precipitazione (sino a circa 195 mm); *Luglio*: è il periodo più secco dell'anno; *Settembre*: è caratterizzato dalla formazione di intensi rovesci di durata relativamente limitata; *Ottobre*: la media mensile delle precipitazioni è analoga a quella di maggio (155-160 mm), mentre il numero medio dei giorni piovosi rimane relativamente contenuto.

Nivometria

Il settore in frana si sviluppa altimetricamente entro una quota compresa fra i 1000 ed i 1700 m; l'esposizione a Sud del versante e la quota massima raggiunta dalla frana non dovrebbero permettere condizioni di innevamento molto superiori rispetto a quelle del fondovalle. Il valore massimo di innevamento registrato a Rosone è di circa 1 m (febbraio 1974), quello minimo di circa 10 cm (inverno 1966), mentre in media si raggiungono 35 cm circa. Lo spessore della neve al suolo si annulla durante il mese di maggio. In concomitanza con il verificarsi delle piogge tardo primaverili si verifica un intenso e veloce processo di fusione del manto nevoso; il corpo di frana raccoglie perciò in questo periodo un elevato quantitativo di acqua.

Permeabilità del sottosuolo

La permeabilità totale è di tipo essenzialmente secondario per infiltrazioni lungo le principali discontinuità che si presentano generalmente aperte e persistenti. La zona alta del versante funge da settore di alimentazione ed i maggiori apporti idrici derivano dalla concomitanza delle precipitazioni con la fusione del manto nevoso. Sorgenti a carattere perenne sono presenti presso Bertodasco e Perebella. Al piede del corpo di frana ed in corrispondenza del margine sinistro (settore Bertodasco) sono presenti alcune sorgenti temporanee. Alcune celle piezometriche installate a profondità di 20-40 m nel corpo di frana in prossimità dell'abitato di Bertodasco evidenziano una falda in pressione ed una freatica.

Studi eseguiti

Nel ventennio 1960-1980 l'attenzione era stata posta quasi esclusivamente ai settori limitrofi agli impianti dell'AEM (condotte forzate e vasche di carico), eseguendo sondaggi (a distruzione del

Climatologia e idrogeologia

Pluviometria

La piovosità media annuale è stata calcolata su una periodo di 42 anni, tra il 1938 e il 1980. La valore ottenuta, circa 1200 mm, vale per il centro del hameau di Rosone situato alla base del versante instabile, a una altitudine di circa 700 m, dove si trova una stazione di misura. Dal 1990, una stazione pluviometrica e termica funziona a Bertodasco (altitudine di 1120 m).

Concernante la distribuzione stagionale della piovosità, si può affermare che:

Il mese di *mai* presenta la più grande piovosità mensile (160 mm) così come il più grande numero medio di giorni di pioggia (12). Le più alte valori cumulate di precipitazioni sono raggiunte in tre o quattro giorni di pioggia (fino a 195 mm). *Giugno* è la periodo la più secca dell'anno. *Settembre* è caratterizzato dalla formazione di forti piogge di durata relativamente limitata. In *ottobre*, la media mensile delle precipitazioni è simile a quella del mese di *mai* (155-160 mm); tuttavia, il numero medio di giorni di pioggia è relativamente limitato.

Nivometria

Il settore instabile si estende su una altitudine che varia da 1000 m a 1700 m. L'esposizione sud del versante così come l'altitudine massima raggiunta dall'instabilità non dovrebbero permettere condizioni di innevamento molto superiori a quelle del fondovalle. La valore massima di innevamento registrata a Rosone è di circa 1 m (febbraio 1974). La valore minima è di 10 cm (inverno 1966), mentre in media si raggiungono 35 cm. L'epaisseur de neige au sol s'annule durant le mois de mai. Lors des pluies tardives du printemps, il se produit un processus rapide et intense de fonte du manteau neigeux. Durant cette période le corps de l'instabilité recueille de ce fait une quantité importante d'eau.

Perméabilité du sous-sol

La perméabilité totale est essentiellement de type secondaire : par infiltration le long des principales discontinuités qui sont souvent ouvertes et persistantes. La zone haute du versant fait fonction de secteur d'alimentation et les plus importants apports d'eau proviennent de la simultanéité des précipitations et de la fusion du manteau neigeux. Des sources pérennes sont présentes près de Bertodasco et de Perebella. Au pied du corps de l'instabilité, au niveau de l'extrémité gauche (secteur de Bertodasco), quelques sources temporaires sont présentes. Des cellules piézométriques installées à une profondeur de 20 à 40 mètres dans le corps de l'instabilité au voisinage du hameau de Bertodasco mettent en évidence une bande sous pression ainsi qu'une nappe phréatique.

nucleo) e rilevando i movimenti superficiali (topografica) e profondi (misure inclinometriche). Dal 1985 ad oggi l'attenzione è stata invece focalizzata all'intero versante, privilegiando il pendio su cui è sito Bertodasco, con la conduzione di una sistematica campagna conoscitiva dell'ammasso roccioso interessato dai movimenti.

Le metodologie impiegate sono state:

a) Indagini in superficie: hanno riguardato la caratterizzazione dell'ammasso roccioso (350 determinazioni) e dei principali sistemi di discontinuità (1.600 valutazioni e stime). Sono stati inoltre misurati sistematicamente gli spostamenti superficiali di alcuni punti mediante triangolazione;

b) Indagini profonde: sono consistite in perforazioni di sondaggio con caratterizzazione geomeccanica dei campioni estratti (più di 10000 determinazioni); vengono inoltre sistematicamente registrate le pressioni piezometriche, gli spostamenti superficiali di alcuni punti mediante triangolazione e gli spostamenti profondi mediante letture inclinometriche.

c) Prove di laboratorio: hanno riguardato valutazioni della resistenza al taglio su superfici di discontinuità di diversa natura e sul materiale recuperato dai sondaggi (più di 50 determinazioni).

Tratti generali del fenomeno di instabilità

Sulla base di considerazioni di tipo morfo-strutturale, suffragate dall'analisi delle perforazioni di sondaggio e dalle letture inclinometriche, il settore di Bertodasco è stato suddiviso in tre zone a diverso comportamento (A, B e C). Nota l'estensione planimetrica delle zone A (superiore), B (intermedia) e C (inferiore), la stima dei volumi di roccia in movimento è derivata dalle misure inclinometriche, le quali indicano, in corrispondenza del flesso nella curva degli spostamenti, per le tre zone una profondità media di:

Zona A : da 30 a 72 m

Zona B : 46 m

Zona C : 39 m

La posizione del flesso coincide con il passaggio da una zona dell'ammasso più alterata e disarticolata ad una a migliori caratteristiche, come indicato nei risultati relativi al recupero di carotaggio nelle perforazioni di sondaggio ed interessa una fascia (variabile da pochi centimetri a decine di centimetri) di materiale sciolto a scarsa componente coesiva, come evidenziato dalle ricostruzioni stratigrafiche. Il modello geometrico così costruito ha consentito di effettuare alcune valutazioni sui volumi interessati dal movimento franoso riconosciuto:

$$V_A = (9 - 12) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_B = (8 - 14) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_C = (4 - 9) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Tot.}} = (22 - 35) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Auscultation du versant

Dispositif d'auscultation

Au cours des décennies 1960-1980, l'attention était portée quasi exclusivement sur les secteurs limitrophes des implantations de l'AEM (conduite forcée et bassin de charge), en ayant recours à des sondages (à destruction de noyau) et des relevés des mouvements superficiels (topographie) et profonds (mesures inclinométriques). De 1985 à aujourd'hui, l'attention a été portée, au contraire, sur l'ensemble du versant, en privilégiant la partie de Bertodasco, ce qui a conduit à une campagne d'étude systématique du massif rocheux intéressé par les mouvements.

Les méthodologies employées ont été :

a) Investigations de surfaces : elles ont concerné la caractérisation du massif rocheux (350 déterminations) et des systèmes de discontinuités (1600 évaluations et estimations). En outre, les déplacements superficiels de chaque point ont été systématiquement mesurés par triangulation.

b) Investigations en profondeur: elles ont consisté en des sondages avec caractérisation géomécanique des échantillons extraits (plus de 1000 déterminations) ; par ailleurs, les pressions piezométriques sont systématiquement enregistrées ainsi que les déplacements superficiels de chaque point (par triangulation) et les déplacements profonds (par mesure inclinométrique).

c) Essais de laboratoire : ils ont concerné l'évaluation de la résistance au cisaillement sur des surfaces de discontinuités de diverses natures, ainsi que sur le matériau altéré récupéré des sondages (plus de 50 déterminations).

Analyse des données

A partir des considérations de type morpho-structural, appuyées par l'analyse des forages et par les mesures inclinométriques, le secteur de Bertodasco a été divisé en trois zones de comportement différent (A, B et C). On note que l'extension planimétrique des zones A (supérieure), B (intermédiaire) et C (inférieure), ainsi que l'estimation des volumes rocheux en mouvement, proviennent des mesures inclinométriques, qui indiquent, au niveau de la flèche maximale de la courbe de déplacement, une profondeur moyenne de :

Zona A : de 30 à 72 m

Zona B : 46 m

Zona C : 39 m

La position de la flèche coïncide avec le passage d'une zone du massif plus altérée et disloquée à une zone de meilleures caractéristiques, comme l'indiquent les résultats issus de la récupération des carottes de sondages, et concerne une couche (d'une épaisseur variable de quelques centimètres

Sulla base dei dati morfologici e delle misure di spostamento superficiali e profonde, appare ragionevole considerare un movimento generale di tipo prevalentemente traslatorio nella zona B e di tipo prevalentemente rotazionale nella zona C.

La suddivisione in zone omogenee di comportamento deriva, come ricordato, da valutazioni morfologiche aventi comunque un riscontro quantitativo. Infatti da monte verso valle (da A a C), si registra un progressivo aumento delle velocità di spostamento indicata dagli inclinometri (da circa 1 cm/anno a circa 2.4 cm/anno) e un incremento della disarticolazione dell'ammasso roccioso indicato dai sondaggi.

Dall'analisi delle misure è possibile dedurre quanto segue:

a) La parte inferiore evidenzia sempre movimenti di maggiore entità rispetto alle altre, con variazioni trascurabili della direzione di spostamento, molto prossima a quella di massima pendenza del pendio (coincidente con la giacitura della scistosità);

b) Non è possibile pensare al moto rigido di un solido comprendente le tre zone; non esistono infatti indizi tali da far pensare ad una superficie di rottura continua: ciò è anche confermato dalla diversa entità e non simultaneità di spostamento registrata per i differenti settori (la zona A evidenzia spostamenti minori delle zone B e C). Anche all'interno delle singole zone sembrano esistere settori che si muovono indipendentemente;

c) Non si nota comunque una tendenza generale all'aumento delle velocità o delle accelerazioni: le accelerazioni dovute a eventi meteorici eccezionali portano a locali aumenti di velocità di spostamento, che non hanno condotto al collasso del versante anche se si sono misurati in corrispondenza della parte bassa di Bertodasco, 9.2 cm di spostamento in circa 4 anni di attività di esercizio della strumentazione.

Stato attuale della modellizzazione

I modelli geometrico, geologico e cinematico hanno consentito di stimare geometria e volumi delle tre zone A, B e C contigue e in lento movimento del settore di Bertodasco. La finalità delle analisi di stabilità non è consistita nella definizione di un fattore di sicurezza in termini di equilibrio, ma nel fornire indicazioni sulla possibile evoluzione degli spostamenti in atto. In tale contesto si sono ricercate le :

a) *cause antiche dell'attuale morfologia e struttura del pendio.*

È stata effettuata una serie di analisi numeriche mediante il codice alle differenze finite FLAC, in assenza o in presenza del sistema di scistosità. I risultati sembrano indicare che l'attuale morfo-

à une dizaine de centimètres) de matériau broyé à faible cohésion, comme cela est mis en évidence par les reconstructions stratigraphiques. Le modèle géométrique ainsi constitué a permis d'effectuer certaines évaluations des volumes concernés par le mouvement de versant étudié:

$$V_A = (9 \text{ à } 12) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_B = (8 \text{ à } 14) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_C = (4 \text{ à } 9) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Tot.}} = (22 \text{ à } 35) \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Sur la base des données morphologiques et des mesures de déplacements superficiels et profonds, il semble raisonnable de considérer le mouvement général principalement de type translation dans la zone A et de type rotation dans la zone C.

La subdivision en zones de comportement homogène provient, comme nous l'avons vu, des évaluations morphologiques qui sont, par ailleurs, vérifiées de façon quantitative. Dans les faits, d'amont en aval (de A vers C), on note une augmentation progressive des vitesses de déplacements indiquées par les inclinomètres (d'environ 1 cm/an à environ 2.4 cm/an) et une augmentation de la dislocation du massif rocheux indiquée par les sondages.

A partir de l'analyse des mesures, il est possible de déduire ce qui suit :

a) La partie inférieure présente toujours, par rapport aux autres, des mouvements de plus grande ampleur, avec des variations dans la direction des déplacements bien que celle-ci reste très proche de la direction de plus grande pente du versant (coïncidence avec la disposition de la schistosité).

b) il n'est pas possible d'envisager un mouvement rigide d'un solide comprenant les trois parties : il n'existe pas, en effet, d'indice permettant d'envisager une surface de rupture continue. Ceci est également confirmé par les différences d'amplitude et la non simultanéité des déplacements mesurés pour les différents secteurs (la zone A présente des déplacements inférieurs à ceux des zones B et C). De même, à l'intérieur de chaque zone, il semble exister des compartiments qui se déplacent indépendamment.

c) On ne note pas, cependant, de tendance générale à l'augmentation des vitesses ou des accélérations. Les accélérations dues à des événements météorologiques exceptionnels provoquent des augmentations locales des vitesses de déplacement qui n'ont pas conduit à un effondrement du versant, bien que l'on ait mesuré, au niveau de la partie basse du secteur de Bertodasco, un déplacement de 9.2 cm en environ 4 ans de fonctionnement de l'instrumentation.

Etat actuel de la modélisation

Les modèles géométriques géologique et cinématique ont permis l'estimation de la géométrie et

logia del pendio e in particolare la forma convessa del piede e la fascia del materiale dislocato e fratturato della zona superficiale (40-50 m) possano essere stati causati dall'azione conseguente al ritiro del ghiacciaio. L'analisi evidenzia anche la caduta a valle di piccole porzioni di ammasso nella parte inferiore, tale comunque da non compromettere le condizioni di stabilità dell'intero pendio.

b) cause recenti dei lenti spostamenti misurati nel tempo.

Vengono studiati i movimenti dell'ultimo decennio relativi alla fascia di materiale fratturato (di cui al punto a) al fine di un confronto con i dati inclinometrici, ipotizzando come causa principale del fenomeno la variazione nel tempo delle pressioni idrauliche e delle caratteristiche del materiale. Viene utilizzato il codice FLAC e un codice agli elementi finiti adottando per la fascia di materiale un comportamento visco-elastico o visco-plastico. Le analisi condotte con tali metodi intendono verificare se l'andamento degli spostamenti registrati negli ultimi anni implichi il decadimento delle caratteristiche di resistenza dei materiali e quindi possa portare ad una evoluzione catastrofica del fenomeno.

Evoluzione del rischio globale

Il quadro conoscitivo delineato ha permesso di individuare i fenomeni di instabilità, associando loro crescenti gradi di coinvolgimento areale del versante e relativa stima della possibilità di accadimento secondo lo schema seguente:

- a) caduta di blocchi isolati;
- b) instabilizzazione della zona C, delle zone B e C simultaneamente o in tempi diversi e delle zone A, B e C, anch'esse simultaneamente o in tempi diversi;
- c) coinvolgimento del versante di Perebella a seguito di quanto al punto b).

Caduta di blocchi isolati: considerando la massima distanza alla quale in passato sono arrivati i massi, si può affermare che tutta la zona di fondovalle fino al torrente Orco può essere interessata da caduta massi, con potenziale coinvolgimento degli abitati di Rosone Vecchio, Fornolosa e della strada statale 460 per Ceresole.

Instabilizzazione della zona C, delle zone B e C e delle zone A, B e C: sussistono i presupposti tali da non escludere la possibilità di un collasso globale delle zone A, B e C. La valutazione delle aree potenzialmente coinvolgibili è stata effettuata facendo riferimento a criteri energetici che mettono in relazione i volumi instabili con le possibili elongazioni.

des volumes en mouvement lent des 3 zones contiguës A, B et C du secteur de Bertodasco. La finalit   de l'analyse de stabilit   ne consiste pas en la définition d'un facteur de sécurité en terme d'équilibre mais vise à fournir des indications sur l'évolution possible des déplacements à l'oeuvre. Dans ce contexte, nous avons recherché :

a) les causes anciennes de la morphologie et de la structure actuelles du versant

Une série d'analyses numériques a été réalisée en utilisant le code éléments finis FLAC, avec ou sans système de schistosit  . Les résultats semblent indiquer que la morphologie actuelle du versant et, en particulier, la forme convexe du pied de versant et la bande de matériau disloqué et fracturé de la zone superficielle (40-50 m) peuvent avoir été causées par le retrait des glaciers. L'analyse montre également la chute de petites portions du massif dans la partie inférieure, sans cependant compromettre les conditions de stabilit   de l'ensemble du versant.

b) les causes récentes des déplacements lents mesurés dans le temps

Nous avons étudié les mouvements survenus au cours de la dernière décennie concernant la bande de matériau fracturé (voir point a) afin de comparer les données inclinométriques en faisant l'hypothèse que la cause principale du phénomène est la variation dans le temps des pressions hydrauliques et des caractéristiques du matériau. Nous avons utilisé le code FLAC en adoptant, pour la bande de matériau, un comportement visco-élastique et viscoplastique. Les analyses menées avec ces méthodes visent à vérifier si l'évolution des déplacements enregistrés ces dernières années implique la diminution des caractéristiques de résistance des matériaux et peut ainsi conduire à une évolution catastrophique du phénomène.

Evolution du risque global

La connaissance acquise a permis d'identifier les phénomènes d'instabilit  , en associant l'importance de leur impact sur l'aire du versant et l'estimation de la probabilit   d'occurrence selon les schémas suivants :

- a) Chute de blocs isolés.
- b) Déstabilisation de la zone C, des zones B et C, simultanément ou à des moments différents, et des zones A, B et C, simultanément ou à des moments différents.
- c) Implication du versant de Perebella à la suite du point b).

Chute de blocs isolés : en considérant la distance maximale à laquelle des blocs sont parvenus dans le passé, on peut affirmer que toute la zone du fond de vallée jusqu'au torrent Orco peut être

Sviluppi

Le attività di studio sono volte al momento attuale a tre settori di indagine.

- Controllo delle zone instabili mediante la progettazione e la messa a punto di un sistema di monitoraggio integrato.

- Approfondimento e affinamento del fenomeno mediante taratura di modelli di calcolo, basati su procedure numeriche, ricorrendo ad analisi delle diverse configurazioni assunte dal pendio negli ultimi 40 anni e alla riproduzione, per lo meno qualitativa, dell'andamento degli spostamenti registrati.

- Campagna di prospezione geofisica.

concernée par des chutes de blocs, avec menaces pour les hameaux de Rosone Vecchio et de Fornolosa et pour la route nationale 460 vers Ceresole.

Déstabilisation de la zone C, des zone B et C et des zones A, B et C : des conditions subsistent qui ne permettent pas d'exclure la possibilité d'un effondrement global des zones A, B et C. L'évaluation des aires potentiellement touchées a été effectuée en faisant référence à des critères énergétiques qui mettent en relation les volumes instables et les extensions possibles.

Perspectives

Les études sont, pour le moment, axées vers trois domaines d'investigations.

- Surveillance des zones instables par l'étude et la mise au point d'un système de contrôle (monitoring) intégré.

- Approfondissement et affinement du phénomène par le calage de modèles de calcul, basés sur des procédures numériques, en recourant à l'analyse des différentes configurations connues par le versant au cours des quarante dernières années et à la reproduction, pour le moins qualitative, de l'évolution des déplacements enregistrés.

- Campagnes de prospection géophysiques.

IL VERSANTE INSTABILE DELLE "RUINES DE SECHILIENNE" Valle della Romanche

RIASSUNTO

La località «*Ruines de Séchilienne*» si trova sulla destra orografica della Romanche, nelle Alpi del Delfinato, 2,5 km a valle del villaggio di Séchilienne, 15 km a S-E di Grenoble.

Tale settore di versante è interessato da un fenomeno franoso che minaccia la strada nazionale n. 91, essenziale per l'economia della regione oltre che un centro di nuova urbanizzazione abitato da più di 400 persone (Ile Falcon).

I primi segni di instabilità di questo versante si sono verificati nel corso del 1985 con la caduta di numerosi blocchi di roccia, alcuni dei quali hanno raggiunto la strada statale di fondovalle.

Studi geologici e geotecnici hanno consentito di assumere rapidamente misure di sicurezza provvisorie e di disporre in questo modo di un lasso di tempo sufficiente per la ricerca di soluzioni definitive al problema (tuttora in corso di studio). Fra le soluzioni adottabili si è optato per l'installazione di un sistema di monitoraggio assai completo: una delle prerogative principali del sistema è il potenziale allertamento rapido delle popolazioni interessate in caso di aggravamento dell'instabilità. Questo dispositivo, reso più organico col progredire delle conoscenze, ha dimostrato che il volume totale delle masse instabili era molto più grande di quanto non lasciassero prevedere le stime iniziali.

Analisi storica

L'analisi storica è stata realizzata da uno storico specialista nella pianificazione del territorio e nel controllo del rischio. Essa ha perseguito più direzioni di ricerca:

- sugli antichi franamenti riguardanti il sito delle «Ruines de Séchilienne»;
- sulle condizioni di antropizzazione di questo sito e in particolare del suo sfruttamento minerario;
- sugli sbarramenti per frana della valle della Romanche e le conseguenze idrauliche indotte.

Il metodo è consistito nel realizzare un inventario completo delle informazioni disponibili, quindi di fare un'analisi critica dei documenti in funzione dell'interesse dei destinatari dello studio: tecnici, sociologi e urbanisti. I documenti degli archivi hanno consentito di risalire con gli studi fino al Medioevo. La messa a punto di questo metodo di analisi storica «operativa» è stato un elemento innovatore della ricerca.

LE MOUVEMENT DE VERSANT DES "RUINES DE SECHILIENNE" Vallée de la Romanche

RÉSUMÉ

Le site des «Ruines de Séchilienne» est en rive droite de La Romanche, dans les Alpes du Dauphiné, 2,5 km en aval du village de Séchilienne, et 15 km au S-E de Grenoble.

Il est affecté d'un phénomène d'instabilité qui menace une route nationale essentielle pour l'économie de la région (RN 91), ainsi qu'un lotissement habité par plus de quatre cents personnes au lieu-dit l'Ile Falcon.

De nombreuses chutes de blocs survenues en 1985, dont certaines atteignirent la route, ont été à l'origine de la découverte d'indices d'instabilité inquiétants dans le versant de la rive droite de La Romanche. L'étude géologique et géotechnique de ce site a permis de prendre rapidement des mesures de mise en sécurité provisoires et de disposer ainsi d'un temps suffisant pour une solution définitive de ce problème (encore à l'étude). Parmi celles-ci on notera l'installation d'un système très complet de surveillance dont l'un des objectifs est de donner rapidement l'alarme aux populations concernées en cas d'aggravation de l'instabilité du versant. Ce dispositif, progressivement étendu depuis dix ans, a démontré que le volume total des masses instables était beaucoup plus considérable que ne le laissaient prévoir les estimations initiales.

Historique

L'analyse historique présente la particularité d'avoir fait appel à un historien spécialiste de l'aménagement du territoire et de la prise en compte des risques. Elle a été orientée dans plusieurs directions :

- les éboulements anciens sur le site des Ruines de Séchilienne ;
- l'occupation de ce site et notamment son exploitation minière ;
- les obturations de la vallée de la Romanche et leurs conséquences hydrauliques.

La méthode a consisté à réaliser un inventaire complet des sources disponibles puis à filtrer les documents après définition détaillée des centres d'intérêt des destinataires de l'étude : techniciens, sociologues et urbanistes. Les archives permettent de faire remonter l'étude au Moyen-Âge. La mise au point de cette méthode historique «opérationnelle» est un élément de recherche novateur.

Documenti disponibili

Il versante instabile delle Ruines de Séchilienne è stato studiato e sorvegliato, a partire dal 1985, dai Laboratori Pont et Chaussées di Lione (Ministère de l'Équipement) e dai geologi dell'Istituto di Ricerche Interdisciplinari in Geologia e Meccanica (Université Joseph Fourier di Grenoble). I documenti tecnici disponibili sono numerosi:

- piani e carte topografiche (1:1.000, 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000);
- 4 voli aereofotografici IGN dal 1937 al 1987;
- 6 voli aereofotografici specifici dal 1984 al 1994 (scala da 1:1.000 a 1:15.000);
- 4 voli con fotografie aeree oblique (elicottero) dal 1987 al 1993;
- una raccolta di fotografie al suolo a partire dal 1985;
- 5 carte tematiche di cui 4 carte geologiche (due specifiche e due della copertura nazionale) e una carta del rischio geologico a livello comunale;
- 5 pubblicazioni scientifiche su riviste nazionali e internazionali;
- numerosi rapporti tecnici operativi.

Contesto geologico

Contesto geologico regionale

Il versante delle «Ruines de Séchilienne» appartiene allo zoccolo cristallino antico costituente l'ossatura della catena di Belledonne. Vi si incontrano dei micascisti e delle lentiniti che hanno subito più episodi deformativi e metamorfici, in particolare nell'erciniano (fine dell'era Primaria) e nell'alpino (Terziario).

Dal punto di vista morfologico la valle della Romanche presenta una netta configurazione da modellamento glaciale. La fusione definitiva dei ghiacciai viene fatta risalire a 10.000 anni fa circa.

Descrizione della massa in movimento

Il dislivello totale del versante raggiunge i 900 m con una pendenza media di 45° che diminuisce nella parte superiore. Importanti fenomeni di deformazione gravitativa del versante sono conosciuti da molto tempo nel settore del Mont Sec e sono rappresentati sulla carta geologica della regione (Foglio Vizille 1:50.000).

La fogliazione metamorfica è il carattere strutturale più evidente. Il suo ruolo nella genesi dell'instabilità rimane tuttavia secondario in quanto la sua direzione media è generalmente perpendicolare al versante. Numerosi sistemi di frattura interessano il massiccio e la maggior parte di essi sono antichi. Essi sono dunque stati attivati a più riprese nel corso della storia geologica regionale. Molti fra questi hanno una considerevole influenza nei meccanismi di deformazione del versante:

Documents disponibles

Le versant instable a été étudié puis surveillé depuis 1985 par le Laboratoire des Ponts et Chaussées de Lyon (Ministère de l'Équipement) et par les géologues du Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche impliquant la Géologie et la Mécanique (Université Joseph Fourier de Grenoble). Les documents disponibles sont nombreux :

- plans et cartes topographiques (1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000, 1/25000...);
- 4 missions photographiques aériennes IGN de 1937 à 1987 ;
- 6 missions photographiques aériennes spécifiques de 1984 à 1994 (échelle 1/1000 à 1/15000) ;
- 4 missions photographiques obliques (hélicoptère) de 1987 à 1993 ;
- une collection de prises de vues au sol depuis 1985 ;
- 5 cartes thématiques dont quatre cartes géologiques (deux spécifiques et deux de la couverture nationale) et une carte de risque communale ;
- 5 publications scientifiques dans des revues nationales ou internationales ;
- une série de rapports techniques opérationnels.

Contexte géologique

Contexte géologique régional

Le site des Ruines appartient au socle ancien qui constitue l'essentiel de la chaîne de Belledonne. On y rencontre des micascistes et des leptynites qui ont subi de multiples épisodes de déformation et de métamorphisme, notamment à l'hercynien (fin de l'ère primaire) et à l'alpin (Tertiaire).

La vallée de La Romanche a été modelée par l'érosion glaciaire, la disparition définitive des glaces remontant à 10 000 ans environ.

Description de la masse en mouvement

La dénivellation totale du versant avoisine 800 m avec une pente moyenne de 45°, s'adoucissant dans la partie supérieure. D'importants tassements anciens sont connus depuis longtemps dans le secteur de Mont-Sec et sont figurés sur la carte géologique de la région (Feuille Vizille à 1/50 000).

La foliation métamorphique est le trait structural le plus évident. Son rôle dans la genèse de l'instabilité reste toutefois secondaire car sa direction moyenne est sensiblement perpendiculaire au versant.

Plusieurs familles de fractures affectent le massif ; la plupart sont anciennes. Elles se sont donc trouvées mobilisées à diverses reprises au cours de l'histoire géologique régionale. Plusieurs d'entre elles interviennent dans le mécanisme de déformation du versant :

- un sistema di fratture E-W, subverticali, che tagliano il versante lungo fasce (*lanières*) generalmente parallele alla valle principale;
- dei sistemi di frattura NW-SE e NE-SW che definiscono le cicatrici dei principali fenomeni di insaccamento;
- un gran numero di fratture e discontinuità la cui direzione è obliqua rispetto al versante con immersione diretta verso la valle, il che conferisce loro un ruolo importante nello sviluppo dell'instabilità del versante.

Climatologia e idrologia

Pluviometria

La pluviometria annuale varia tra i 900 e 1.100 mm. Queste altezze sono relativamente moderate tenuto conto dell'altitudine media. Non si sono notate delle tendenze particolari nell'evoluzione recente della pluviometria, ma si è comunque riscontrato che per un periodo di tre anni precedenti il 1985 le precipitazioni sono state deficitarie.

Le misure attinenti le condizioni di innevamento sono state avviate soltanto a partire dal 1992, data di installazione sul sito di una specifica stazione meteorologica.

Bacino di alimentazione

Il bacino in senso topografico del versante instabile delle «Ruine de Séchilienne» ha una superficie di circa 2,2 km², mentre la superficie totale della zona instabile è di 0,72 km² e il suo bacino di alimentazione si estende per circa un km². Non si dispone al momento di alcuna informazione sul bacino di alimentazione idrogeologico efficace suscettibile di alimentare in profondità la zona instabile.

Condizioni di infiltrazione

I micascisti di Belledonne sono rocce praticamente impermeabili. Tenuto conto della ripidità dei pendii le infiltrazioni dovrebbero quindi essere considerate trascurabili. Tuttavia nella zona instabile e in prossimità della superficie la conduttività idraulica globale del massiccio è elevata grazie alla totale disorganizzazione strutturale dello stesso che si traduce in una generalizzata intersezione di sistemi di frattura piuttosto aperti.

Emergenze idriche

Non è stata trovata alcuna sorgente né su tutta l'area instabile né alla base del versante. Poiché il riempimento alluvionale della valle della Romanche supera, in questa zona, il centinaio di metri, è probabile che possano esistere delle emergenze idriche al di sotto della piana alluvionale.

Ipotesi sulla circolazione sotterranea

Le misure di spostamento rivelano una correlazione con gli andamenti climatici (pluviometria).

- des fractures sensiblement E-W, verticales, qui découpent le versant en lanières presque parallèles à la vallée ;

- des fractures conjuguées NW-SE et NE-SW qui délimitent les cicatrices des tassements principaux ;

- de très nombreuses fractures, discontinues, dont la direction est très oblique par rapport au versant. Elles sont dirigées vers la vallée ce qui leur confère un rôle important dans le développement de l'instabilité.

Climatologie et hydrogéologie

La pluviométrie

La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1100 mm. Ces chiffres sont relativement modérés compte-tenu de l'altitude moyenne. On ne note pas de tendance particulière dans l'évolution récente de la pluviométrie mais on remarque une période de trois années déficitaires s'achevant en 1985.

L'enneigement n'est mesuré sur le site que depuis 1992 date d'implantation d'une station météorologique spécifique.

Le bassin-versant

Le bassin-versant topographique du versant des Ruines est de l'ordre de 2,2 km² alors que la superficie de la zone instable est de 0,72 km² et son bassin-versant de l'ordre du km². On ne dispose d'aucune information sur le bassin versant hydro-géologique efficace susceptible d'alimenter la zone instable.

Les conditions d'infiltration

Globalement, les micaschistes de Belledonne sont des roches imperméables. Ainsi, compte-tenu de la raideur des pentes, les infiltrations devraient être négligeables. Toutefois dans la zone instable et à proximité de la surface, la conductivité hydraulique globale du massif est forte en raison de la désorganisation qui se traduit par l'ouverture des discontinuités.

Les exutoires

Aucun exutoire de surface n'a été découvert, que ce soit dans le secteur instable ou près de la base du versant. Comme l'épaisseur du remplissage alluvial de la Romanche atteint la centaine de mètres, il est probable que l'eau circulant dans le versant se déverse dans la mappe de la Romanche sous le niveau des éboulis de pied de versant.

Les hypothèses sur les circulations souterraines

Les mesures de déplacement (extensométrie) révèlent une corrélation avec les facteurs climatiques (pluviométrie). Ceci montre qu'en dépit de la conductivité élevée de la zone instable, la moind

Ciò dimostra che a dispetto di una conduttività elevata della zona instabile, la minor permeabilità delle fratture in profondità permette delle importanti fluttuazioni dei livelli piezometrici. Correlazioni più affinate mostrano che precipitazioni cumulate su due mesi sono all'origine della componente ciclica stagionale.

Metodo di studio

Gli studi condotti sul sito consistono essenzialmente in una cartografia geologica dettagliata alla scala 1:1.000 per l'area instabile più attiva e alla scala 1:5.000 per l'insieme del versante instabile. Un approfondimento delle conoscenze in merito alle condizioni dell'ammasso roccioso in profondità, date le sue caratteristiche strutturali, necessita di una galleria di esplorazione subparallela profonda 240 m a quota 710 s.l.m., piuttosto che l'esecuzione di sondaggi profondi.

Monitoraggio del versante

La messa in opera di un dispositivo di sofisticato monitoraggio del versante risponde a due esigenze principali:

- analisi dei movimenti, identificazione dei meccanismi e comprensione del fenomeno;
- messa in funzione di un'infrastruttura di sorveglianza in grado di gestire gli aspetti riguardanti la sicurezza. Questa infrastruttura si caratterizza per consentire la realizzazione di una procedura di preallarme e di allarme definite all'interno di un piano di soccorso.

Il dispositivo di monitoraggio

Il monitoraggio è assicurato da tre dispositivi indipendenti e complementari:

- una rete di monitoraggio geodetica comprendente 35 punti di misura appoggiata su una estesa triangolazione di base. Le misure si riferiscono a metodi di geodesia ottica e satellitare; un dispositivo di misure in automatico è stato realizzato nel 1995;
- una rete di telemisure estensometriche che assicura, con un centro di gestione dati a Lione, il controllo permanente di 26 sensori localizzati sulle principali fratture della zona instabile;
- una rete di una cinquantina di capisaldi topometrici rilevati manualmente e che permettono una taratura della rete automatica.

Analisi dei dati

- Le misure mettono in evidenza i seguenti fatti:
- l'ipotesi di una deformazione interessante l'insieme della parte superiore del versante è confermata dall'omogeneità delle misure;
 - gli spostamenti sono più importanti nella parte alta del versante.
 - l'evoluzione mostra una tendenza generale all'accentuazione dei movimenti in tutte le zone

dre perméabilité des fractures en profondeur permet d'importantes fluctuations des niveaux piézométriques. Des corrélations plus fines montrent que le cumul des pluies sur 45 jours est à l'origine de la composante cyclique saisonnière.

Techniques de reconnaissances utilisées

Les reconnaissances réalisées sur le site consistent en une cartographie géologique détaillée à l'échelle du 1/1000 pour la zone instable la plus active et à l'échelle du 1/5000 pour l'ensemble du versant instable. L'accès à la troisième dimension a nécessité une galerie de reconnaissance de 240 m de long à la cote 710, de préférence à des sondages (dont la pérennité était incertaine).

Auscultation du versant

La mise en place d'un dispositif d'auscultation sophistiqué répond à deux préoccupations:

- analyse des mouvements, identification des mécanismes et compréhension du phénomène;
- mise en place d'une infrastructure de surveillance permettant de gérer les aspects de sécurité. Cette infrastructure permet également la mise en oeuvre d'une procédure de préalerte et d'alerte définie dans un plan de secours.

Le dispositif d'auscultation

L'auscultation du site est réalisée par trois dispositifs indépendants et complémentaires:

- un réseau d'auscultation géodésique comprenant 35 points de mesure, calé sur un large canevas d'appui. Les mesures font appel aux méthodes de géodésie optique et satellitaire; un dispositif de mesure automatisé a été mis en place en 1995;
- un réseau de télémessure extensométrique qui assure, depuis un centre d'exploitation situé à Lyon, le suivi permanent de 26 capteurs placés sur les principales fractures du site;
- un réseau d'une cinquantaine de repères topométriques relevés manuellement et qui permettent le contrôle du réseau automatisé.

L'analyse des données d'auscultation

Les mesures mettent en évidence les faits suivants:

- l'hypothèse d'une déformation intéressante l'ensemble de la partie supérieure du versant est confirmée par l'homogénéité des mesures;
- les déplacements sont plus importants dans la partie haute du versant;
- l'évolution montre une tendance générale à l'accentuation des mouvements dans toutes les zones (moyenne de 3 à 6 cm/an avec un maximum de 20 cm/an pour la zone frontale inférieure Est);
- la présence d'un épaulement stable le long de la limite Est joue probablement un rôle impor-

(media da 3 a 6 cm/anno con un massimo di 20 cm/anno per la zona frontale inferiore Est);

- la presenza di una spalla stabile lungo il limite orientale gioca, molto probabilmente, un ruolo importante nel controllo della deformazione della zona superiore;

- i vettori spostamento sono orientati mediamente perpendicolarmente alle fratture principali che determinano la rottura del versante in sistemi longitudinali alla valle, il che conferma il controllo strutturale sulla deformazione;

- i vettori spostamento sono debolmente inclinati, il che indica una deformazione suborizzontale attestante un comportamento dilatante del massiccio;

- le misure estensometriche confermano l'esistenza di una deformazione di tutta la zona attiva, crescente nel tempo con apertura di fratture sul limite orientale. Ciò è in accordo con i movimenti misurati dalla geodesia.

Stato attuale della modellazione

Il modello geologico e geomeccanico permette di eliminare l'ipotesi di uno scivolamento d'insieme della parte superiore del versante in favore di un meccanismo di rottura interna del massiccio cui consegue un forte fenomeno di dilatazione dello stesso.

I differenti settori isolati dai principali sistemi di frattura possono evolvere relativamente in modo indipendente gli uni dagli altri e la possibilità di rotture differenziate deve essere tenuta in considerazione. La presenza di antiche coltivazioni minerarie localizzate in diversi punti del versante non sembra giocare un ruolo significativo nello sviluppo dell'instabilità in atto.

tant dans le contrôle de la déformation du versant supérieur ;

- les vecteurs déplacement sont orientés en moyenne perpendiculairement aux fractures majeures déterminant le découpage en lanières du versant, ce qui confirme le contrôle structural de la déformation ;

- les vecteurs déplacements sont faiblement inclinés ce qui indique une déformation sub-horizontale attestant d'un comportement dilatant du massif ;

- les mesures extensométriques confirment l'existence d'une déformation de toute la zone active, croissant avec le temps avec des ouvertures de fractures sur la limite Est. Ceci est en accord avec les mouvements observés par géodésie.

Etat actuel de la modélisation

Les modèles géologiques et géomécaniques permettent d'éliminer l'hypothèse d'un glissement d'ensemble de la partie supérieure du versant, au profit d'un mécanisme de rupture interne du massif entraînant une forte dilatance.

Les différents secteurs découpés par les grandes fractures transversales («lanières») peuvent évoluer relativement indépendamment les uns des autres et la possibilité de ruptures différées doit être prise en compte.

La présence d'anciennes exploitations minières, localisées en différents points du versant ne semble pas jouer de rôle significatif dans le développement de l'instabilité actuelle.

SCHEDE DETTAGLIATE
FICHES DETAILLEES

LA FRANA DEL “CASSAS”

Salbertrand, Val di Susa



La frana del Cassas in una ripresa effettuata dal versante opposto (1982).

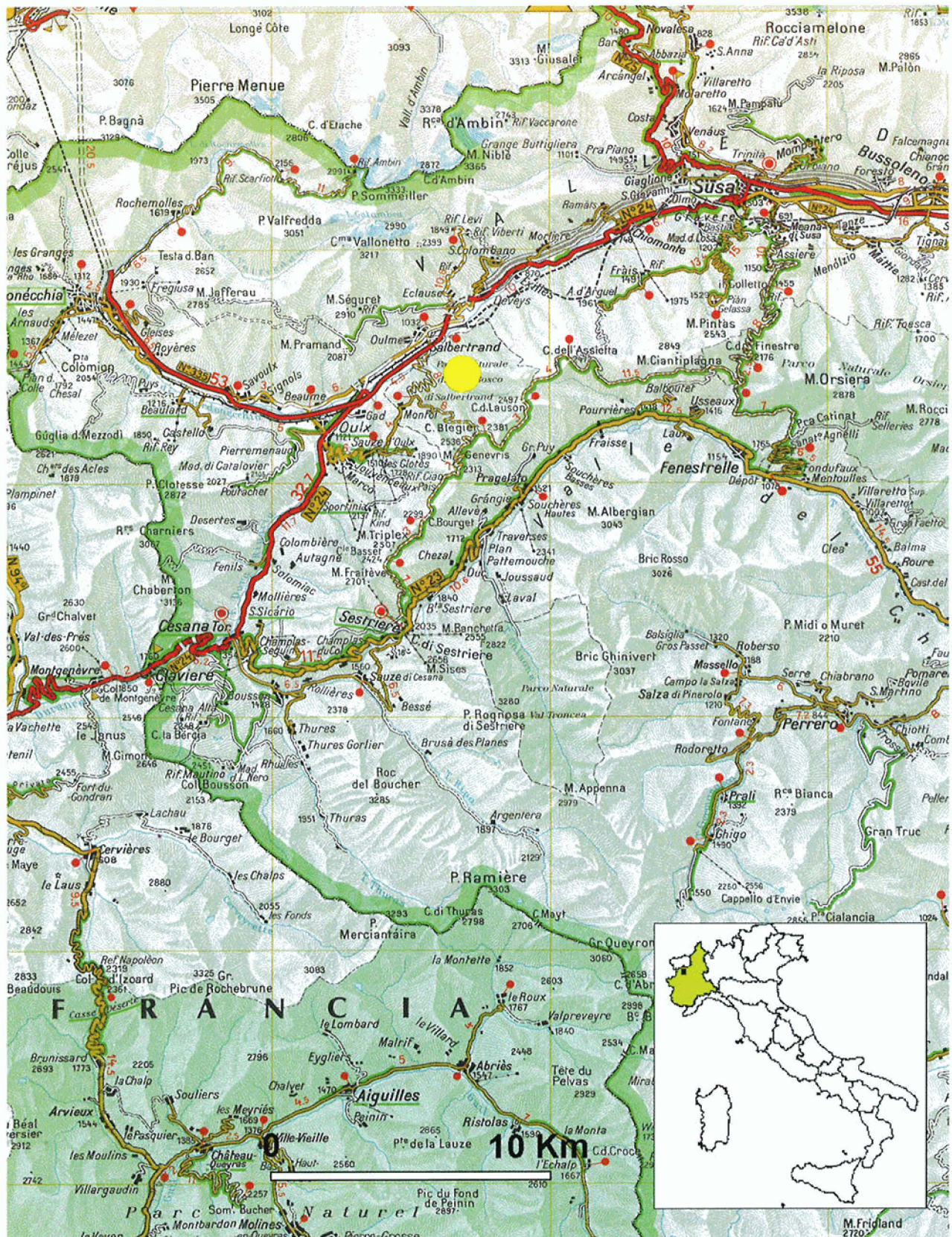


Fig. 1. Ubicazione del sito del Cassas entro il fianco destro della Valle di Susa, Alpi Occidentali.

INTRODUZIONE

Il fenomeno franoso qui esaminato, denominato *Frana del Cassas*, si colloca nell'ambito più generale dell'instabilità, in atto da tempi remoti, del versante destro della valle di Susa fra Chiomonte e Salbertrand, che presenta nel suo complesso caratteristiche lito-strutturali omogenee.

Tale versante, impostato in rocce della Formazione dei Calcescisti con Pietre Verdi, si mostra, così come lo spartiacque Mottas - Assietta - Gran Serin e, in misura minore, il retrostante versante Chisone, diffusamente e profondamente coinvolto da fenomeni gravitativi detti deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV), dei quali molte frane, come quella del Cassas, sono marginale e fisiologico risultato evolutivo.

Lo stesso termine *cassas* o *casas*, adoperato da tempo indefinito per indicare la zona, deriva con ogni probabilità dal francese «casser», cioè rompere; nella letteratura naturalistica italiana si può incontrare il termine «cassere», impiegato per definire «accumuli voluminosi di detrito».

La Frana del Cassas si sviluppa, con una superficie di circa 500.000 mq, sul versante destro orografico della Valle di Susa, con esposizione NW in corrispondenza del centro abitato di Salbertrand (fig. 1). Il fenomeno coinvolge il versante su di un dislivello di circa 900 m, giungendo dai 1000 m di quota del fondovalle sino a circa 1900 m di quota in corrispondenza della cresta spartiacque. Il fondovalle è percorso da importanti vie di comunicazione. La strada statale, la linea ferroviaria e, da qualche anno, l'autostrada del Frejus, dotata in questo punto di un'ampia stazione di servizio.

I. ANALISI STORICA

L'analisi storica è consistita in una raccolta e nella valutazione di documenti di archivio e nella acquisizione di testimonianze dirette.

Le principali fonti sono state:

- 1) Documenti forniti dal Consorzio Forestale - Oulx;
- 2) documenti forniti dal Corpo Forestale - Oulx;
- 3) testimonianza diretta del sig. Bacon, residente a Salbertrand, dove ha rivestito la carica di Sindaco.

In termini di affidabilità si può affermare che le fonti 1 e 2 forniscono descrizioni precise anche se di insufficiente livello tecnico mentre la fonte 3 risulta di scarsa precisione a causa di deficienze di tipo mnemonico e comporta quindi interpretazione della testimonianza verbale.

Per quanto riguarda i riferimenti di ordine storico, si constata che la frana del Cassas, non avendo danneggiato o minacciato cose e persone, risulta documentata in modo frammentario e le prime indicazioni risalgono a tempi relativamente recenti.

Per quanto riguarda invece più in generale l'assetto dell'intero versante destro orografico della Val di Susa fra Chiomonte e Salbertrand la prima testimonianza scritta si riferisce all'alluvione del **20 maggio 1728** in Val di Susa. In corrispondenza di tale alluvione è annotata in alcuni documenti (Bogge, 1975) la formazione di un bacino lacustre nella piana di Salbertrand a monte del Serre de la Voute, provocata dall'ostruzione dell'incisione a causa di una frana originatasi dal versante destro, all'altezza delle «Case Sapè di Salbertrand» (Frana della Testa di Mottas, n.d.c.).

Nel **secolo scorso** l'instabilità del versante destro fra Chiomonte e Salbertrand venne constatata nel corso della costruzione delle gallerie ferroviarie. M. Baretti (1881), incaricato di descrivere l'assetto strutturale di tale versante, ne attribuì l'instabilità a processi di «discioglimento» verificatisi a spese delle formazioni carbonatiche (le coperture dell'Ambin), affioranti alla base del versante, sulle quali si trovano sovrapposti i calcescisti. Secondo l'opinione dell'Autore tali processi di «discioglimento» dovevano essere favoriti dallo stato di intensa fratturazione dei calcescisti, in grado di convogliare le acque in profondità; la degradazione delle unità carbonatiche poste in profondità doveva essere quindi all'origine del collasso dei versanti.

Testimonianze di osservazioni che si possono far risalire agli anni **1920-1930** riferiscono di piante inclinate e danneggiate; solitamente i settori di bosco danneggiati venivano asportati: ciò sarebbe avvenuto negli anni **1935-1940** presso il versante attualmente interessato dalla frana, in corrispondenza del cosiddetto «Bosco Chapel».

Sino almeno al **1954** tutti i sentieri sarebbero risultati percorribili, né dal fondovalle sarebbero risultate visibili superfici di movimento recenti.

Durante il **1954** si sarebbe verificato, in fasi successive, un «imponente movimento franoso», secondo quanto si ritrova riportato in un documento reperito presso il Consorzio Forestale di Oulx.

Nell'ottobre del **1955** si verifica una riattivazione del movimento che coinvolge, secondo quanto riscontrato in un documento del Corpo Forestale dello Stato, una «superficie boscata ad alto fusto resinoso di almeno 10 ettari».

Nel periodo compreso fra il **12 ed il 14 giugno 1957** si verifica in Val di Susa una imponente alluvione, che provoca ingenti danni in tutta la valle. La «frana del Cassas» raggiunge proporzioni analoghe alle attuali.

Riattivazioni successive del fenomeno vengono segnalate da alcuni documenti (**febbraio 1958** - Consorzio Forestale dello Stato): segnalazione dello sradicamento di circa 150 piante nel canalone «Iretta» e dell'abbassamento di alcuni metri della sorgente dell'omonimo rio.

Il confronto fra riprese fotografiche risalenti ai giorni dell'alluvione e le foto aeree del 1963, dimo-



Fig. 2. Vista generale della frana del Cassas in una ripresa del 1965, al termine della fase critica dei movimenti (1950-1965).

stra il persistere di notevoli movimenti dopo il parossismo del giugno 1957, come indicato dall'ulteriore ampliamento della superficie interessata dal processo di colamento (fig. 2).

2. DOCUMENTI TECNICI DISPONIBILI

2.1. Carte topografiche

- I.G.M. - F. 54 Bardonecchia (scala 1:100000).
- I.G.M. - F. 132-152-153 Bardonecchia (scala 1:50000).
- I.G.M. - F. 54 II NE - Oulx (scala 1:25000).
- C.T.R. Salbertrand 153110 (scala 1:10000).
- C.T. PROV. TORINO - 153112 (scala 1:5000, fotorestituita, anno 1990).
- I.G.C. - 1: Valli di Susa, Chisone e Germanasca (scala 1: 50000, turistica).
- SITAF - Carta della Frana del Cassas (scala 1:2000, fotorestituita, anno 1990).

2.2. Carte tematiche

- SERVIZIO GEOLOGICO - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 - Foglio 54 Oulx (Rist. 1960).
- REGIO UFFICIO GEOLOGICO - Carta Geologica delle Alpi Occidentali alla scala 1:400000 (1908).
- ENEL (1981) - Carta degli Elementi di Neotettonica del Territorio Italiano, scala 1:500000.
- CNR (1984) - Neotectonic Map of Italy, scala 1:500000. Progetto Finalizzato Geodinamica.
- CNR (1984) - Structural Model of Italy, scala 1:500000. Progetto Finalizzato Geodinamica.
- CNR (1984) - Gravity Map of Italy, scala 1:500000. Progetto Finalizzato Geodinamica.
- REGIONE PIEMONTE (1990) - Banca Dati Geologica, Carta Tematica delle Frane alla scala 1:100000 - F.54 Bardonecchia.
- REGIONE PIEMONTE (1990) - Banca Dati Geologica, Carta delle frane del territorio piemontese alla scala 1:250000.
- REGIONE PIEMONTE (1990) - Banca Dati Geologica, Carta dei movimenti gravitativi delle alte valli di Susa e Chisone - scala 1:25000 (fig. 3).
- REGIONE PIEMONTE (1990) - Banca Dati Geologica, Carta litologica alla scala alla scala 1:100000 - F.54 Bardonecchia.
- REGIONE PIEMONTE (1990) - Banca Dati Geologica, Carta litologica del territorio piemontese alla scala 1:250000.

2.3. Documentazione fotografica

- Volo Gay (1954), IGM/AMS, scala 1:50000, b/n.
- Volo Frana Salbertrand (1963), scala 1:20000 circa, colore.
- Volo Frana Salbertrand (1978), scala 1:20000, colore.
- Volo Ferretti (1979), Compagnia Riprese Aeree Parma, scala 1:13500, colore e infrarosso.
- Volo Rossi, Vicenza (1986), scala 1:35000 circa, b/n.

Esiste abbondante documentazione fotografica da terra, in parte ancora da esaminare in quanto in possesso di abitanti del luogo, relativa all'evento alluvionale del giugno 1957.

Riprese recenti (1980-1994) sono conservate presso l'Archivio del Settore Geologico della Regione Piemonte.

2.4. Pubblicazioni

Di ogni documento è stata elaborata una scheda riassuntiva completa (Sistema Informativo Geologico - programma NEWGEO) di cui si fornisce un esempio riportato in figura 4. Ad ogni scheda è associato un giudizio di sintesi sui documenti in merito alla loro affidabilità.

- PERETTI L. (1967), *Collegamento autostradale del traforo del Frejus con Torino*. La Rivista della Strada, anno 36, n. 310.
- PERETTI L. (1969), *Premesse geoapplicative per la realizzazione coordinata dell'autostrada Torino-Oulx e della sistemazione Idrogeologica della Valle di Susa*. Cronache da Palazzo Cisterna, Periodico della Provincia di Torino, n. 1, 1969.
- PUMA F., RAMASCO M., STOPPA T. & SUSELLA G. (1989), *Movimenti di massa nelle alte valli di Susa e Chisone*. Boll. Soc. Geol. It., 108, 391-399.

2.5. Documenti tecnici

- AA.VV. (1990), *Banca Dati Geologica, a cura del settore prevenzione del rischio geologico, meteorologico e sismico*. Regione Piemonte - C.N.R. - I.R.P.I.
- STUDIO GEOLOGICO EPIFANI (1991), *Studio geologico e geomorfologico del versante a monte delle aree di servizio di Salbertrand*. SITAF, doc. inedita Arch. Servizio Geologico Regione Piemonte.
- GEODATA s.p.a. (1993), *Interventi di sistemazione del versante destro a protezione delle aree di servizio di Salbertrand. Stralci funzionali del progetto esecutivo*. SITAF, doc. inedita Arch. Servizio Geologico Regione Piemonte.
- RAMASCO M. & SUSELLA G.F. (1978), *Studi geologici per il collegamento stradale tra il traforo del Frejus e Torino (tratto Bardonecchia-Susa)*. Reg. Piem., Dip. Org. e Gest. del territorio.

3. CONTESTO GEOLOGICO

3.1. Contesto geologico regionale

Aspetto litologico

La Valle di Susa, analogamente a quanto si verifica nelle valli principali delle Alpi Occidentali, presenta una direzione all'incirca E-W.

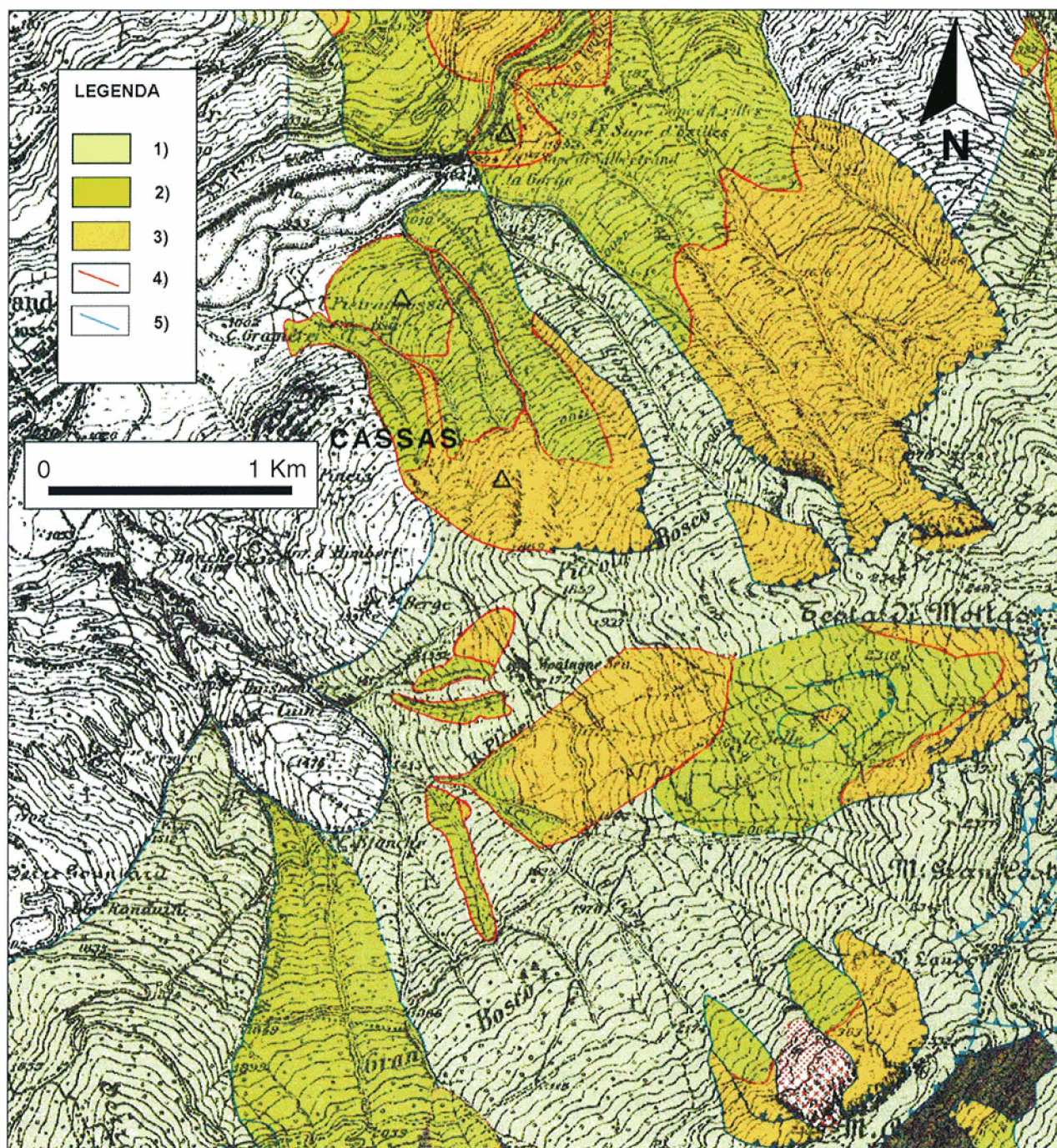


Fig. 3 - Estratto della Carta dei movimenti gravitativi delle alte valli di Susa e Chisone in scala 1:25.000 - (Puma et al., 1990), Sistema Informativo Geologico, Regione Piemonte.

Legenda: 1) settore di versante caratterizzato da elementi morfologici che indicano presenza di movimenti per deformazione gravitativa profonda; 2) movimento prevalente per colata di materiale sciolto derivante da altro fenomeno gravitativo; 3) movimento prevalente per scivolamento lungo superfici di taglio prevalentemente circolari; 4) limite di settore con indizi di movimento recente; 5) limite di settore quiescente o caratterizzato da movimenti estremamente lenti.

Regione Piemonte

SETTORE PREVENZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO, METEOROLOGICO E SISMICO

Sistema Informativo Geologico - Documentazione

Stampa del 03-10-1997 - Sede: Torino

Informazioni a carattere generale

Codice scheda: 00489
Tipo documentazione 07 Pubblicazione
Argomenti, 01 Geologia

Titolo: RELATIONS LITOSTRATIGRAPHIQUES ET TECTONIQUES ENTRE LES SERIES MESOZOIQUES DE LA BORDURE SUD-OUEST DU MASSIF D'AMBIN (ALPES OCCIDENTALES)

autore: Allenbach B., Caron J.M.
anno: 1986
da: Eclog. Geol. Helv., Vol. 79/1, pagg. 75-116. N. 21 ff.

Abstract. Vengono presentate sei successioni litostratigrafiche lungo il margine sud-occidentale del Massiccio d'Ambin, riferibili ai domini rispettivamente ultrabrianzone e piemontese. L'analisi strutturale permette inoltre la separazione delle tre fasi deformative.

Indice. Introduction, litostratigraphie des series mesozoiques, analyse tectonique, conclusion, bibliographie.

Allegati 03 Geologia-strutturale, stratigrafia, geolitologia
09 Topografico

Descrizione allegati

- 09 fig. 1 localizzazione delle sezioni studiate
03 n. 6 figure sezioni stratigrafiche nella copertura mesozoica del massiccio d'Ambin
fig. 8 ricostruzione del limite brianzone-piemontese nel Lias e nel Malm
fig. 9 schema strutturale del margine sud-occidentale del massiccio d'Ambin
fig. 10 panorama del versante SW del massiccio d'Ambin e localizzazione dei principali contatti tettonici
fig. 11 aspetto mesoscopico delle strutture dei calcescisti
fig. 12 aspetto mesoscopico nelle coperture del massiccio d'Ambin
fig. 13 carta delle lineazioni e degli assi di piega nel massiccio d'Ambin
n. 5 figure analisi strutturale nei calcescisti
fig. 20 carta geologica del settore Vallonetto-Sommeiller
fig. 21 profili lungo il margine S-W del massiccio d'Ambin

Localizzazione geografico amministrativa

Coordinata X minima: 317887
Coordinata Y minima: 498159
Coordinata X massima: 334387
Coordinata Y massima: 5002909

Area coperta (in ettari): 25987,500

Caratteristiche tecniche

Osservazioni: Interreg Cassas
Autore: Brovero M., Raffone S.
Data ultimo aggiornamento: 28-02-1994

C.S.I. - Piemonte

Fig. 4. Esempio di una scheda riassuntiva relativa a pubblicazione archiviata entro il Sistema Informativo Geologico della Regione Piemonte, archivio Documentazione.

Dalla testata allo sbocco l'incisione valliva attraversa rispettivamente il Massiccio dell'Ambin, il Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi ed il Massiccio Dora-Maira.

Il segmento vallivo compreso fra Chiomonte ed Ulzio, che si orienta secondo una direzione NE-SW, è posto in corrispondenza del contatto fra il Dominio Brianzonese e quello Piemontese, rappresentati rispettivamente dal Massiccio dell'Ambin e dal Complesso dei Calcescisti con pietre verdi.

Il Massiccio dell'Ambin.

Compreso fra la valle dell'Arc a Nord e la valle della Dora Riparia a Sud, il Massiccio dell'Ambin, classicamente riferito al Dominio Brianzonese, rappresenta l'affioramento di un basamento polimetamorfico sotto forma di finestra tettonica entro il Dominio Piemontese delle Alpi Occidentali (fig. 5). Il basamento cristallino del massiccio risulta costituito da due sequenze metamorfiche, la Serie di Clarea e la Serie di Ambin, considerate rispettivamente di età carbonifera (o pre-namuriana) e permiana (Callegari et al., 1980, con bibl.). La Serie di Ambin appare formata da metagrovacche e da micascisti feldspatici, con intercalazioni di prasiniti glaucofaniche.

La sottostante Serie di Clarea risulta costituita da litotipi di origine sedimentaria quali micascisti a granato, glaucofane, cloritoide e gneiss arenacei a giadeite, intercalati ad anfiboliti glaucofaniche a granato.

Al di sopra di tale basamento sono presenti formazioni silicee para-autoctone considerate di età stefano-permiana o werfeniana, sulle quali si trovano sovrapposte delle serie mesozoiche alloctone di varia provenienza (Allenbach & Caron, 1986).

La successione di copertura del Massiccio d'Ambin è riferita al Brianzonese interno (sulla base della vergenza interna delle strutture maggiori e per la presenza di una copertura carbonatica mesozoica poco potente) e si sviluppa dal Werfeniano all'Eocene con notevoli lacune di sedimentazione (nel Dogger e nel Cretaceo inf.); la presenza di gessi e carnioli attribuite al Keuper (Trias sup.) favorisce lo sviluppo di contatti tettonici importanti (Caron & Gay, 1977).

Presso Exilles tali coperture si presentano secondo la seguente successione, dal basso verso l'alto: micascisti fengitici, micascisti conglomeratici con ciottoli di quarzo, breccie ad elementi silicei, calcarei e dolomitici.

La presenza di abbondanti breccie sedimentarie dolomitico-silicee entro le serie di copertura lungo il margine sud-occidentale del massiccio è stata interpretata come dovuta alla presenza di un margine a forte pendenza, caratterizzato da scarpate di faglia legate alla subsidenza del dominio piemontese durante il Giurassico inferiore (Allenbach & Caron, 1986).

Il Complesso dei Calcescisti con Ofioliti.

Esso presenta una natura composita. Si sono infatti riscontrate nelle Alpi occidentali successioni di calcescisti (età: Giur. sup.-Cret. inf.) con minori intercalazioni di pietre verdi, i quali si ritengono derivati da sedimenti deposti al di sopra del margine continentale europeo (Dominio Piemontese), e calcescisti associati ad estese unità ofiolitiche rappresentanti l'originaria crosta oceanica della Tetide (Dominio Piemontese-Ligure).

Sulla base delle descrizioni fornite dai vari Autori in riferimento ai calcescisti affioranti lungo il margine meridionale dell'Ambin, risulta verosimile attribuire questi ultimi al Dominio Piemontese.

Secondo S. Lorenzoni (1965), i litotipi principali affioranti in corrispondenza del Complesso dei Calcescisti al contatto con il Massiccio dell'Ambin sono:

- calcescisti s.s., costituiti da una continua alternanza di letti calcitici e fengitici;
- calcescisti filladici o filladi calcarifere, che si differenziano dai precedenti litotipi per i diversi rapporti quantitativi dei minerali costituenti;
- calcari cristallini, di colore grigio-bruno sulla superficie esposta e grigio alla frattura;
- micascisti feldspatici a fengite e clorite talora granatiferi, dalla scistosità marcata e di colore grigio chiaro;
- prasiniti (n.d.c.: presso la Frana del Cassas sono state trovate invece esclusivamente serpentiniti).

Geodinamica interna

Il Massiccio dell'Ambin.

Il Massiccio dell'Ambin risulta strutturato, secondo studi recenti, da tre unità a deformazione omogenea separate da altrettanti contatti tettonici a vergenza interna; lungo un profilo tracciato attraverso il massiccio da est a ovest si incontrano rispettivamente (Allenbach & Caron, 1986):

- 1) una unità di calcescisti;
- 2) una unità comprendente la serie parautoctona, le serie a megabrecce e alcune lame di calcescisti intercalate;
- 3) il basamento del massiccio e la sua copertura autoctona e parautoctona, fra le quali si trovano talora interposti lembi di calcescisti.

Il massiccio si presenta complessivamente come un'ampia cupola: nella parte alta le superfici principali di correlazione (scistosità o superfici litologiche) mantengono una giacitura suborizzontale, mentre abbassandosi in quota lungo il versante italiano le giaciture presentano una immersione verso SSE con inclinazione via via più accentuata. Le strutture più importanti a grande scala sono (Lorenzoni, 1965 - fig. 5b):

– le pieghe della Rognosa d'Etiache, con assi immergenti verso SW con inclinazione di 30°;

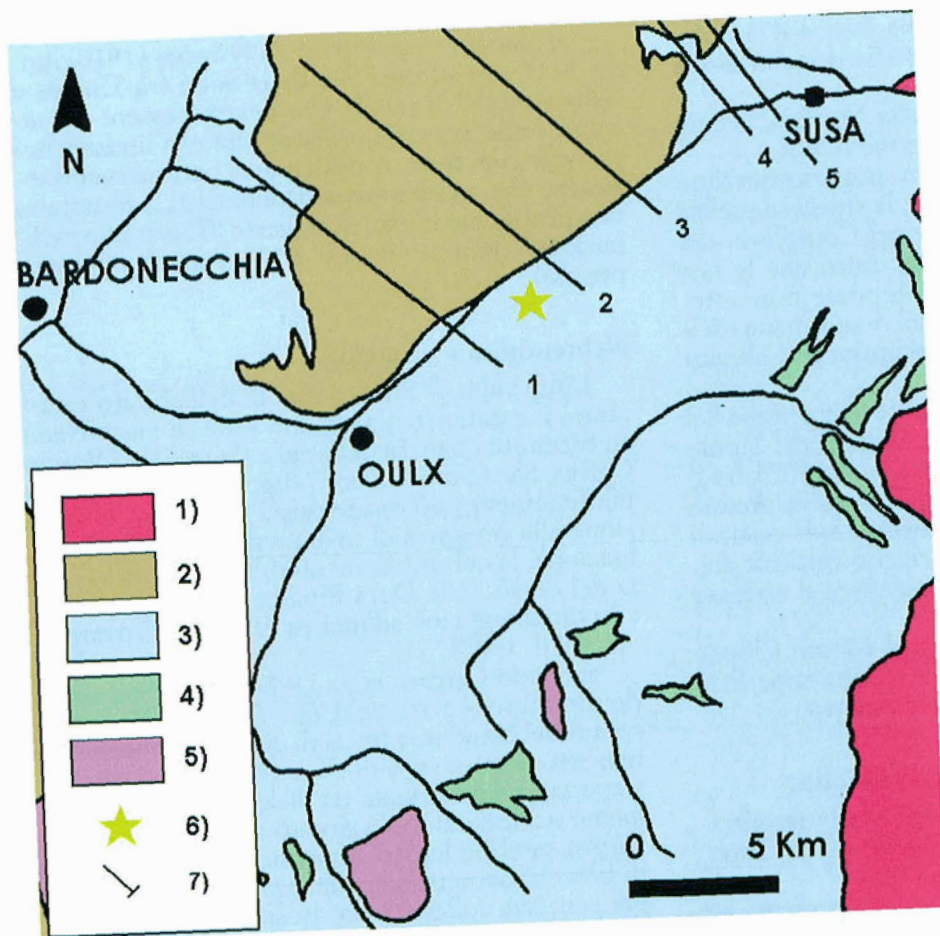
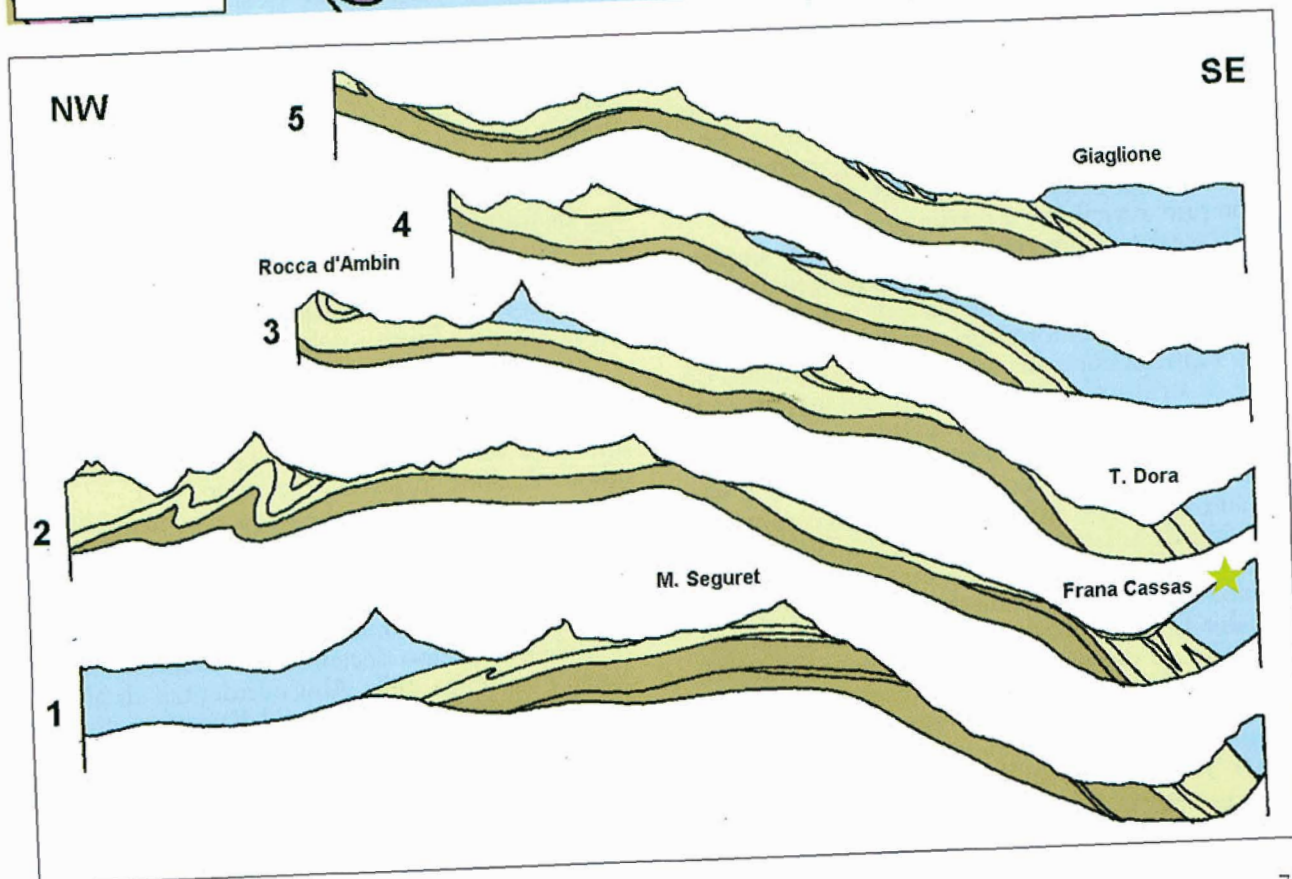


Fig. 5. Schema geo-tettonico del settore delle Alpi Occidentali nell'area delle alte Valli Susa e Chisone.

Legenda: 1) Massiccio del Dora-Maira; 2) Zona brianzonese (serie di Ambin e Clarea); 3) Zona piemontese dei calcescisti; 4) Zona piemontese: principali massicci ofiolitici; 5) Zona piemontese: unità di margine continentale; 6) frana del Cassas; 7) sezioni geologiche (da Martin S. e Polino R., 1984; ridisegnato e modificato) (cfr. fig. 5).

Fig. 5b - Profili geologici semplificati attraverso la media e alta Valle di Susa ed il massiccio di Ambin (cfr. fig. 4); (da Lorenzoni, 1965; ridisegnato e semplificato).



– la piega a ginocchio della Rocca d'Ambin, con asse immergente verso N55E ed inclinazione di 15°;

– la sinclinale del Colle della Vecchia, avente asse sub orizzontale con direzione N50E.

Nel Massiccio di Ambin sono state riconosciute tre fasi di deformazione alpina; la stessa sequenza di eventi la si può riconoscere nel Complesso dei Calcescisti, a testimonianza del fatto che le fasi alpine riconoscibili si sono sviluppate non anteriormente alla messa in posto del ricoprimento della Zona piemontese su quella brianzone (Callegari et al., 1980).

In corrispondenza del versante occidentale del Monte Pramand, di quello meridionale del Monte Seguret e nei pressi del punto quotato 3023 fra il M. Seguret e la Cima del Vallonetto lo stesso Autore riscontra una serie di faglie normali sub verticali con direzione media N80W; il rigetto verticale delle faglie è di qualche metro e conferisce al versante una morfologia a gradoni.

Lungo la cresta che collega il Monte Clopac con la cima del Vallone si segnala una superficie di faglia visibile per circa un chilometro.

Il Complesso dei Calcescisti con Ofioliti.

Alla scala mesoscopica vi sono state riscontrate tre generazioni di strutture (Allenbach & Caron, 1986).

Una foliazione S1 appare sempre presente ed è associata a lineazioni che rappresenterebbero le pieghe B1. La S1 risulta ripiegata da successive pieghe B2, associate ad una scistosità di crenulazione S2. Le pieghe di seconda fase presentano un angolo interfianchi di circa 30° e si presentano deformate da pieghe B3 più aperte, associate ad una scistosità di crenulazione S3, la cui orientazione può avvicinarsi a quella della S2.

Le pieghe decametriche o di più grande ampiezza rappresentano una quarta generazione di strutture: esse sono raramente visibili macroscopicamente, ovvero nel loro intero sviluppo, ma sarebbero rappresentate alla scala dell'affioramento da serie di strutture asimmetriche parassite; una scistosità S4, dallo stile paragonabile a quello della S3, risulta localmente presente.

Il contatto tettonico fra i calcescisti ed il sottostante massiccio brianzone è stato osservato e descritto da S. Lorenzoni (1965), il quale mette in evidenza la presenza di laminazioni di potenza variabile fra alcuni decimetri ed alcuni metri, sviluppate di preferenza nei livelli inferiori dei calcescisti, e di estesi ed intensi fenomeni di scagliatura in corrispondenza del contatto.

I calcescisti si pongono in contatto prevalentemente con litotipi di copertura e più raramente con il basamento cristallino; entro i calcescisti in corrispondenza del contatto è possibile riscontrare estese intercalazioni di carniole e gessi.

Le giaciture riscontrate da F. Sacco (1910) lungo la destra idrografica della valle fra Exilles e Salbertrand (su quelle che devono essere presumibilmente superfici di scistosità e/o litologiche) sia nelle coperture, considerate di pertinenza brianzone che, nei sovrastanti calcescisti, presentano una prevalente immersione verso SE con una inclinazione compresa fra 15° e 50° (superfici a reggi-poggio).

Neotettonica e sismologia.

L'alta valle di Susa, a monte dell'abitato omonimo, è caratterizzata da una serie di vaste frane su entrambi i fianchi della valle (Serre de la Voute, Cassas, Sauze d'Oulx ecc.) (fig. 6). La presenza di tali fenomeni può essere posta fra l'altro in relazione alla presenza di una intensa fascia di deformazione, la cui direzione sarebbe parallela a quella del corso della Dora Riparia fra Susa ed Oulx, con direzione cioè all'incirca NE/SW (Carraro et al., 1979; 1980).

Secondo Carraro et al. (1980) tale lineamento, denominato «Sistema Ulzio-Mezzenile» corrisponderebbe ad una fascia di deformazione di tipo neotettonico (ovvero di età tardo pliocenico-quaternaria), caratterizzata da dislocazione essenzialmente verticale. Il ruolo giocato da tale fascia deformativa sarebbe legato al movimento differenziale di blocchi neotettonici che si verifica nell'ambito del generale sollevamento isostatico della catena. Il verificarsi, in molti casi riscontrato, di una stasi del movimento durante l'ultima glaciazione e di una ripresa generalizzata in seguito alla deglaciazione sarebbe la prova che l'attività di tali discontinuità sia effettivamente indotta dal sollevamento isostatico.

Nella vicina Valle Cenischia, un analogo sistema di fratture orientato in senso N-S («Sistema Cenischia-Nizza»), cioè nella stessa direzione della valle, condiziona la stabilità del versante sinistro, impostato nei calcescisti; sul versante opposto affiorano i litotipi dell'Ambin (Forno, 1987).

Si verifica quindi in generale che l'intenso stato di fratturazione delle rocce prodotto dall'attività neotettonica può provocare l'isolamento di settori di versante più o meno estesi, passibili di una evoluzione in senso gravitativo.

È quindi verosimile che le fratture presenti sul versante ove è situata la frana del Cassas si siano generate a margine di sistemi di faglia, riscontrabili sul versante opposto della valle.

Gli studi sulla sismicità storica e su quella strumentale nell'ultimo decennio hanno messo in evidenza l'esistenza nelle Alpi occidentali di alcuni distretti sismici, caratterizzati dalla contiguità spaziale dei terremoti e da analogie nello stile sismico, e che possono essere correlati a grandi strutture geologiche sepolte.

Arco sismico brianzone: concerne un raggruppamento di eventi localizzati lungo il margi-

ne esterno della catena metamorfica, in corrispondenza del fronte pennidico.

Arco sismico piemontese: concerne un raggruppamento di eventi situato lungo la fascia pedemontana (distretti di Cuneo, Pinerolo, Ivrea, Biella), in corrispondenza del lineamento periadriatico e del suo prolungamento meridionale sepolto.

La distribuzione delle aree sismiche sembra connessa alle discontinuità crostali che limitano la parte assiale della catena (caratterizzata da una sismicità relativamente bassa) verso la Zona Elvetico-Delfinese ad Est e verso il Dominio Sudalpino ad Ovest (Polino in Dal Piaz et al., 1992).

Geodinamica esterna

Paleoclimatologia. Nessun elemento

Storia glaciale. L'attuale conformazione morfologica delle valli alpine è il risultato della sovrapposizione di processi di modellamento di carattere fluviale e glaciale. Le valli principali delle Alpi Occidentali si dovevano essere già individuate prima del Pliocene, come dimostrato dalla presenza di depositi sedimentari di età plio-villafranchiana (di ambiente rispettivamente marino e fluviale) in lembi isolati a diverse altezze lungo i versanti.

Come risposta ad una mobilità tettonica non uniforme, il modellamento erosionale risulta caratterizzato da alternanze di periodi di attività e di stasi: durante questi ultimi si verifica la formazione di temporanei fondovalle i quali attualmente si presentano come rotture di pendenza (terrazzi fluviali e glaciali) lungo il versante, tanto più antichi e rimodellati quanto maggiore è la loro altezza rispetto al fondovalle attuale.

Durante il Pleistocene medio e superiore si manifesta nella catena alpina il fenomeno glaciale, per il cui innesco furono determinanti l'aumento delle precipitazioni ed una loro uniforme distribuzione nel corso dell'anno; l'abbassamento della temperatura fu modesto e limitato ad una diminuzione del valore medio estivo. Analogamente al fiume, il ghiacciaio ha approfondito progressivamente il proprio letto come risposta al sollevamento dell'edificio alpino: si sono formati in tal modo i terrazzi glaciali.

I fenomeni di movimento di massa che interessano i versanti delle valli alpine presentano un'età

(ottenuta con metodi di datazione diretta come l'analisi del C14 in tronchi sub fossili o con metodi indiretti) posteriore a quella dell'ultima pulsazione glaciale nel tratto di valle considerato: le frane sono cioè tutte oloceniche, essendo il loro innesco verosimilmente favorito, oltre ad un insieme di altre concause, dall'assenza dello riempimento glaciale nell'incisione (Carraro in Dal Piaz et al., 1992).

Il tratto di valle compreso fra Exilles e Salbertrand è caratterizzato da una strettoia naturale, nota con il nome di «Serre de la Voute», formata dal fenomeno franoso noto con il nome di «Eclause-Fenils» (o «Serre de la Voute») in sinistra e dalla «frana della Testa di Mottas» in destra. Gli accumuli di frana che costituiscono tale morfologia furono erroneamente ritenuti in passato come costituiti da depositi di origine glaciale (Sacco, 1921, 1943); questa interpretazione la si ritrova ancor oggi immutata sul Foglio 54 «Oulx» della C.G.I. alla scala 1:100000 (Ristampa 1960). Il primo a evidenziarne la reale natura fu C.F. Capello (1941), il quale riconobbe inoltre le testimonianze della presenza di un antico lago a monte dello sbarramento.

Solo alla fine degli anni '70 sono stati identificati gli indizi morfologici e i limiti di queste e delle altre antiche frane dell'alta valle di Susa (Ramasco & Susella, 1978).

La datazione, ottenuta con il metodo del C14, di un campione di legno subfossile reperito a notevole profondità grazie ad un sondaggio recentemente effettuato (1991) al piede del corpo di frana, ha permesso di stabilire che l'accumulo appoggia su di un complesso alluvionale-lacustre potente almeno una decina di metri, a sua volta prodotto da un precedente sbarramento vallivo, anteriore a 9500 anni fa (Tropeano & Olive, 1993).

Alterazione. Per quanto riguarda l'arco alpino occidentale italiano, l'influenza del clima sembra emergere dalla constatazione che un'elevata percentuale di frane si ubica su versanti orientati secondo i quadranti da NW a S, con un massimo per i pendii rivolti verso occidente. I versanti più ricorrentemente coinvolti da deformazioni gravitative sono proprio quelli dove, per effetto della maggiore insolazione, si alternano più frequenti cicli di gelo-disgelo e di fusione della neve, processi che favoriscono la percolazione profonda dell'acqua e la progressiva destabilizzazione del substrato (Mortara & Sorzana, 1987).

Scala cronologica

OLOCENE	superiore	0.01 Ma: innesco fenomeni franosi 0.13 Ma: glaciazione
PLEISTOCENE	medio inferiore	0.73 Ma: glaciazione 1.65 Ma: erosione fluv. dei depositi sedim. plio-villafranchiani
PLIOCENE		valli alpine occupate dal mare.

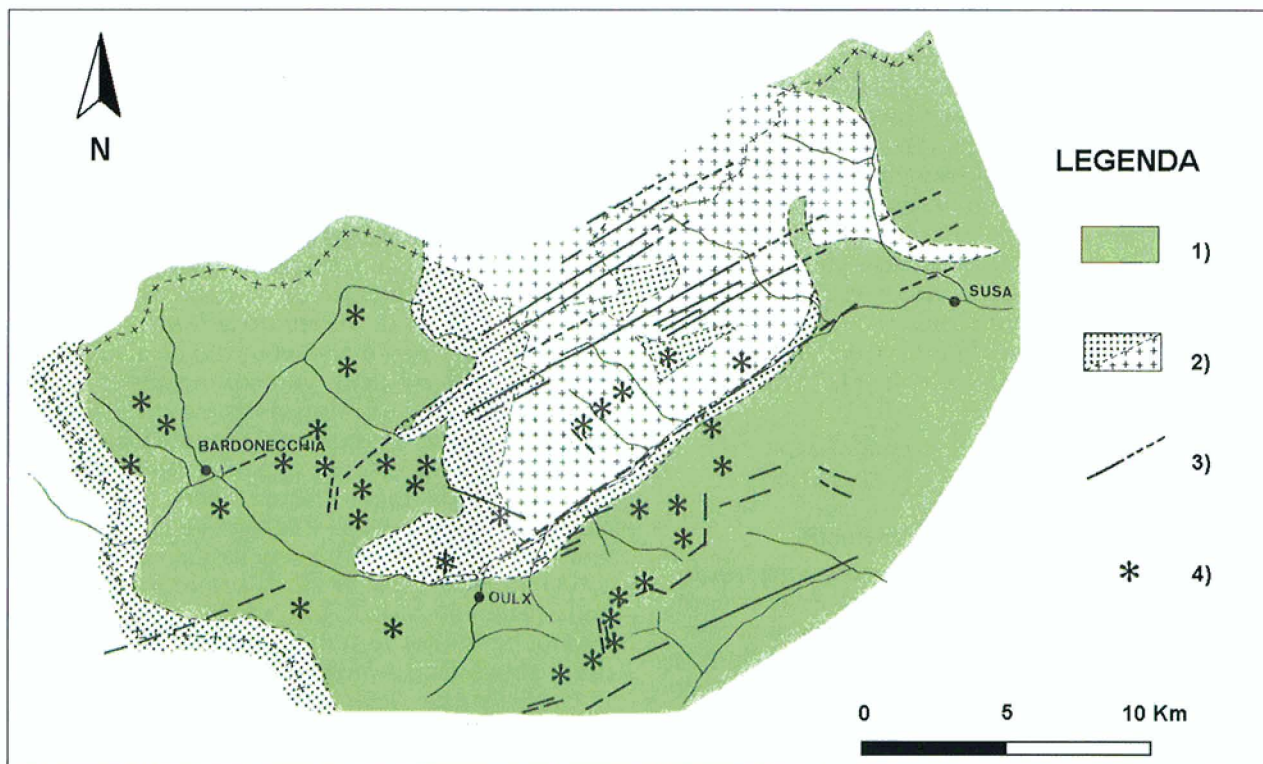


Fig. 6 - Schema geologico strutturale dell'alta Valle di Susa.

Legenda: 1) complesso dei calcescisti con pietre verdi; 2) massiccio cristallino dell'Ambin e sua copertura normale; 3) traccia delle lineazioni principali; 4) ubicazione dei principali movimenti gravitativi. (da Ramasco M. e Susella G., 1979).

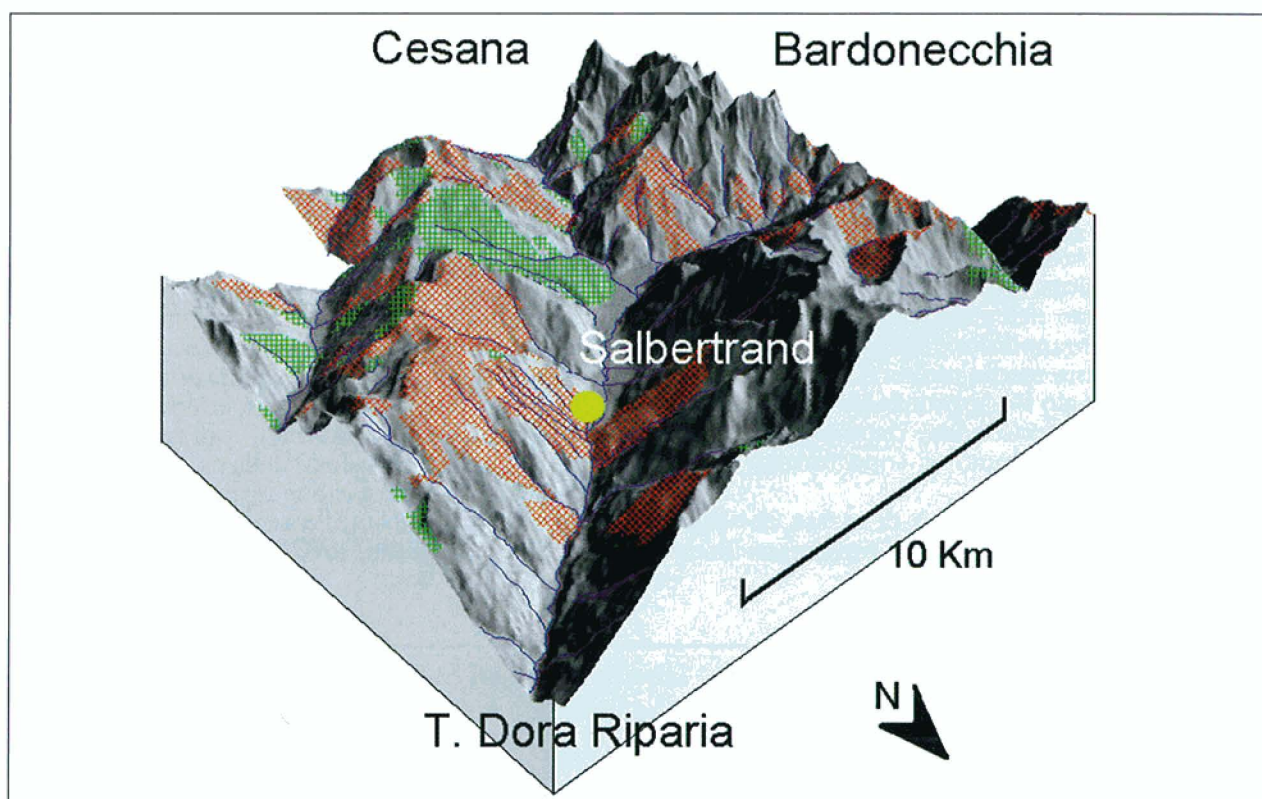
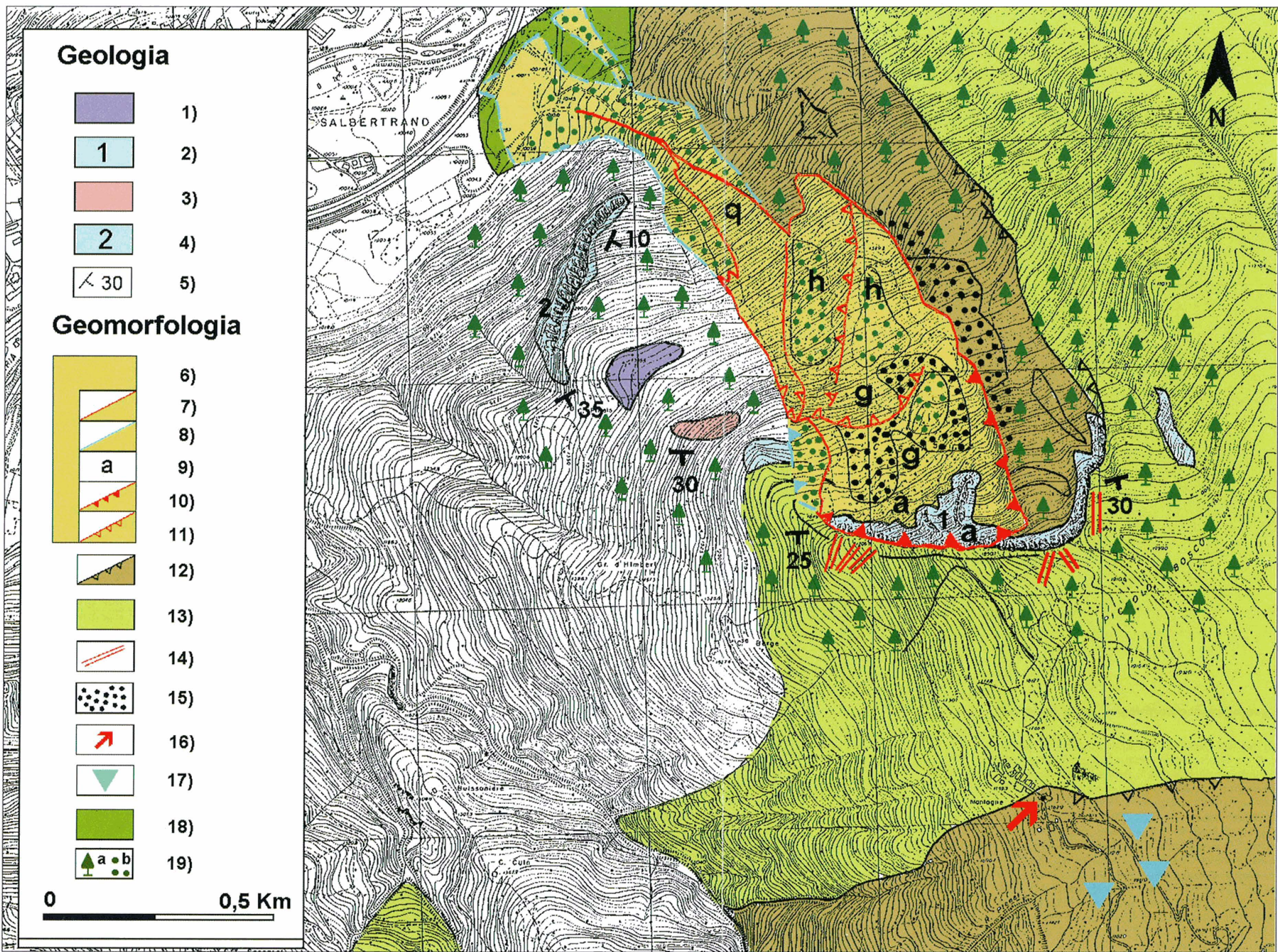


Fig. 7 - Modello tridimensionale della Valle di Susa nel tratto tra Exilles e Bardonecchia. In rosso sono evidenziati i settori di versante con indizi di attività di frana, in verde i settori di frana quiescente. È indicato il sito del Cassas.



Schema geologico-geomorfologico della frana del Cassas.

Legenda: 1) depositi glaciali; 2) calcescisti arenacei; 3) quarziti micacei; 4) calcescisto indifferenziato; 5) superficie della scistosità principale (da Dela Pierre F., Polino R., dati inediti per il Foglio Geologico 1:50.000 - Bardonecchia, in stampa, ridisegnati e semplificati); 6) ambito della «Frana del Cassas» s.s.; 7) campo detritico esposto al 1990; 8) limiti nella fase di massima espansione al 1963; 9) *a* = prevalenti crolli, *g* = prevalente scivolamento rotazionale in roccia, *h* = prevalente scivolamento rotazionale in detrito, *q* = colata detritica; 10) bordo della scarpata principale; 11) scarpate minori; 12) altre frane e loro limiti; 13) settore affetto da Deformazione gravitativa profonda di versante; 14) frattura beante; 15) detrito a grandi blocchi; 16) edifici lesionati; 17) sorgente; 18) conoide alluvionale del bacino oblitterato; 19) *a* = bosco di alto fusto, *b* = copertura arborea recente.

Evoluzione fluviale e torrentizia. Per la quasi totale mancanza di apparati glaciali il regime della Dora Riparia è quasi totalmente nivo-pluviale, con elevato coefficiente di deflusso nella tarda primavera sino a luglio, con valori prossimi a 2 ed anche superiori. Lo spessore del manto nevoso è determinante nell'incremento dei deflussi primaverili e nella conseguente portata solida (Tropeano et al., 1990, con bibl.).

A partire dal XVIII secolo vengono ricordate le seguenti piene storiche della Dora Riparia (Franceschetti et al., 1993):

- 1705, 1728, 1748;
- 1827, 1839, 1856, 1863, 1876, 1879, 1896;
- 1920, 1947, 1957, 1972, 1977, 1981, 23 settembre 1993.

Gli eventi si sono manifestati con una certa prevalenza nella stagione primaverile, appaiono meno frequenti nel periodo estivo e più rari nella stagione autunnale.

Le piene eccezionali della Dora Riparia danno sempre luogo ad inondazioni estensive; fra le conseguenze di tali eventi ricordiamo (Peretti, 1969):

- esondazioni dagli alvei di piena ordinaria;
- innesco di frane per scalzamento al piede delle stesse;
- alluvionamento degli alvei con conseguente possibile loro deviazione;
- alluvionamento delle pianure circostanti;
- distruzione di manufatti, di colture e della vegetazione in genere.

Il profilo longitudinale della Dora Riparia può essere suddiviso in vari tronconi a seconda della loro maggiore o minore pendenza; da Ulzio a Gravere la valle presenta debole pendenza, così come accade a valle di Susa; i due segmenti vengono interrotti dalla strettoia di Serre de la Voute e da un brusco salto roccioso posto fra Susa e Gravere.

Lungo i tratti meno ripidi si ripartiscono i processi di alluvionamento, accelerati durante le grandi piene del fiume, mentre negli altri settori si sviluppano più intensi i processi erosionali. La potente coltre alluvionale intravalliva è giustificata dalla presenza di rocce propense alla rapida degradazione quali i calcescisti, e dall'assenza di copertura vegetale sui versanti più acclivi (Tropeano et al., 1990).

L'analisi delle correlazioni altimetriche ha indotto alcuni studiosi a ritenere che il tratto di incisione a monte di Susa abbia subito un processo di cattura, con conseguente inversione del drenaggio, da parte del segmento inferiore (Peretti, 1967, con. bibl.). La genesi di tale processo è stata correlata allo spostamento verso l'esterno dello spartiacque principale della catena alpina, causato da un sollevamento non omogeneo, cioè maggiore all'esterno e minore all'interno, verificatosi in epoca tardo pliocenica-quadernaria (Carraro et al., 1980).

Azione antropica. La ricerca storica evidenzia come numerosi ed ampi tagli siano stati effettuati, soprattutto in passato, a spese del bosco che occupa i versanti della valle; risulta inoltre che venissero asportate di preferenza piante già danneggiate da processi di instabilità. Non sembra verosimile comunque che tale attività, peraltro oggi notevolmente ridimensionata, possa essere messa in relazione con la genesi di processi di instabilità di origine profonda.

Presso le Grange d'Himbert si riscontrano le testimonianze di una attività estrattiva, oggi abbandonata, per la produzione di ferro.

Nel fondovalle passano le due principali arterie di collegamento ferroviario ed autostradale che conducono al Traforo del Frejus. Data l'importanza dal punto di vista commerciale e turistico che queste vie di comunicazione hanno, è necessario tenere costantemente sotto osservazione i movimenti delle frane, sui due versanti opposti che interagiscono con il fondovalle. E perciò in quest'ottica che vanno visti gli interventi sull'alveo della Dora e sulle sedi stradale e ferroviaria e le azioni sulle frane di Cassas e Serre de la Voute.

Nell'alta valle le opere di difesa idraulica sono limitate quasi esclusivamente alla protezione del rilevato della linea ferroviaria, mentre nella media valle dopo il dissesto del 1957, in corrispondenza della stretta di Serre de la Voute è stato stabilizzato l'alveo della Dora con la costruzione di briglie trasversali e col rivestimento a gabbionate del piede del versante in frana. La riattivazione del 1957 richiese inoltre il ripristino di un notevole segmento della sede stradale completamente distrutto dal collasso del piede della frana per una lunghezza di circa 200 m.

Per quanto riguarda la frana del Cassas, non risulta che essa abbia mai prodotto danni a persone o manufatti importanti; per questo motivo raramente la si trova citata nei documenti ricercati presso vari archivi. Il riattivarsi periodico del dissesto negli anni 1954-1955 ha permesso la vendita delle piante sradicate, come risulta dai documenti forniti dal Consorzio Forestale e dal Corpo Forestale di Ulzio. Si segnala infine la recente costruzione dell'area di servizio dell'autostrada del Frejus al di sotto della frana, fatto che ha reso necessario l'allestimento di imponenti opere di protezione.

3.2. Descrizione della zona in frana (Cfr. Carta allegata nel testo)

Geomorfologia

Geomorfologia descrittiva.

La Frana del Cassas si ubica sul fianco Nord-orientale della dorsale spartiacque Dora - Chisone certamente unica, dal punto di vista geomorfologico, rispetto alle contigue in questo settore alpino.

L'osservazione in grande di questo tratto di dorsale mostra caratteristiche che denotano una deformazione gravitativa profonda dell'ammasso dei calcescisti generalizzata su vasta area piuttosto che in siti delimitati.

«...Un dato interessante riguarda la relazione deformazione-frana: il 90% delle grandi frane rilevate si colloca all'interno o alla base di aree in deformazione (ne è un esempio l'antica frana di Ulzio che, coprendo un'estensione di 6-7 chilometri quadrati per uno spessore massimo valutabile tra 200 e 300 m e una cubatura stimata grossolanamente di 600-700 milioni di metri cubi, rappresenta il più imponente tra i fenomeni gravitativi dell'arco alpino occidentale italiano).

Questo dato confermerebbe che il movimento di creep profondo, generalmente molto lento e continuo nel tempo, segue una linea evolutiva che tende al superamento del limite di movimento per deformazione dell'ammasso roccioso, inducendovi totalmente o localmente processi di accelerazione del movimento con formazione di uno o più piani di taglio ben definiti...» (Puma et al., 1989).

In questo ambiente, sul versante Dora Riparia, si sono potute attivare, nell'intorno della zona in esame, una serie di grandi e antiche frane i cui accumuli hanno per lo più raggiunto il fondovalle. In un tratto di valle lungo poco più di 2 km sono riconoscibili alcuni contigui fenomeni franosi di età diverse tra i quali la Frana del Cassas si pone come la più recente (fig. 7).

Il fenomeno franoso del Cassas è classificabile come fenomeno gravitativo complesso, in quanto mostra cinematismi legati sia al ribaltamento ed al crollo sia, più estesamente, allo scorrimento ed al colamento di detrito.

La zona di distacco, che si sviluppa lungo lo spartiacque secondario della Testa di Mottas avente direzione circa N80W, presenta una esposizione a Nord. Il resto del corpo di frana tende invece a seguire l'esposizione a NW del sottostante versante, descrivendo nell'insieme una progressiva rotazione, terminante sul conoide di fondovalle.

Il corpo di frana si presenta modellato da numerose scarpate la più marcata delle quali lo attraversa trasversalmente con andamento pressoché rettilineo dalla quota 1350 alla quota 1550 circa. Tale scarpata suddivide il corpo di frana in due settori principali, che si differenziano rispettivamente per il diverso tipo di cinematismo.

Il settore superiore, impegnato in gran parte da un accumulo di blocchi eterometrici di calcescisti e subordinati serpentinosisti, è interessato da movimenti prevalenti per crollo (nella zona di scarpata sommitale) e scorrimento rotazionale.

Il settore inferiore presenta invece movimenti prevalenti di colata e scivolamento di detrito.

Al contorno del movimento più recente si identificano ambienti diversi legati comunque a movimenti gravitativi di versante.

La frana del Cassas è delimitata da un'alta scarpata corrente con direzione circa N80W, in massima parte coincidente con la cresta spartiacque. Nella fascia immediatamente esterna a tale scarpata, su una larghezza di circa 50 m, sono state riconosciute numerose trincee, con apertura sino ad 1 m e con direzioni varie, rispettivamente analoghe a quelle dei vari sistemi di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Il margine orientale è costituito, nella porzione media superiore, da un campo detritico continuo riconducibile a eventi di frana più antichi, e che impegna ancora il versante nella sua totale estensione. Nella parte bassa è ben delimitabile un accumulo, riconducibile ad unico episodio di frana che ha portato il detrito ad appoggiarsi sul fondovalle. A carico del piede del versante sovrastante, sono riscontrabili segnali indicanti attività di movimento recente.

Il margine laterale sinistro è costituito, per la parte superiore, da detrito legato a più antichi movimenti di frana, sul quale i movimenti posteriori al 1945 hanno indotto una serie di accelerazioni, ma non nella misura di quelle che hanno caratterizzato la frana del Cassas in senso stretto. La parte sottostante dello stesso margine è impostato nel substrato costituito dal Complesso dei Calcescisti con ofioliti; sono qui riscontrabili forme attribuibili al modellamento glaciale.

Appare opportuno sottolineare che nel suo complesso l'areale interessato dalla frana recente ha forma di blando bacino, che comporta comunque, anche se in misura tutta da determinare, un convogliamento delle acque meteoriche entro un settore già di per sé attivo con movimento di colamento.

L'analisi geomorfologica effettuata per mezzo delle foto aeree permette di evidenziare una serie di lineamenti, i quali si ritiene possano corrispondere a singole famiglie di discontinuità (zone di taglio, giunti ecc.) dell'ammasso roccioso, o ad insiemi di famiglie di discontinuità di diversa orientazione dalla cui composizione può avere origine il lineamento principale.

In corrispondenza della frana del Cassas sono state riscontrate tre principali famiglie di lineamenti:

1): dir. N80°W;

delinea la coronatura superiore della frana; corrisponde alla direzione della Dora Riparia a monte di Ulzio ed alla direzione della cresta W della Testa di Mottas.

2): dir. circa N-S;

delinea alcune fra le principali scarpate osservabili all'interno del corpo di frana.

3): dir. N45°E;

corrisponde alla direzione della Dora Riparia fra Ulzio e Susa.

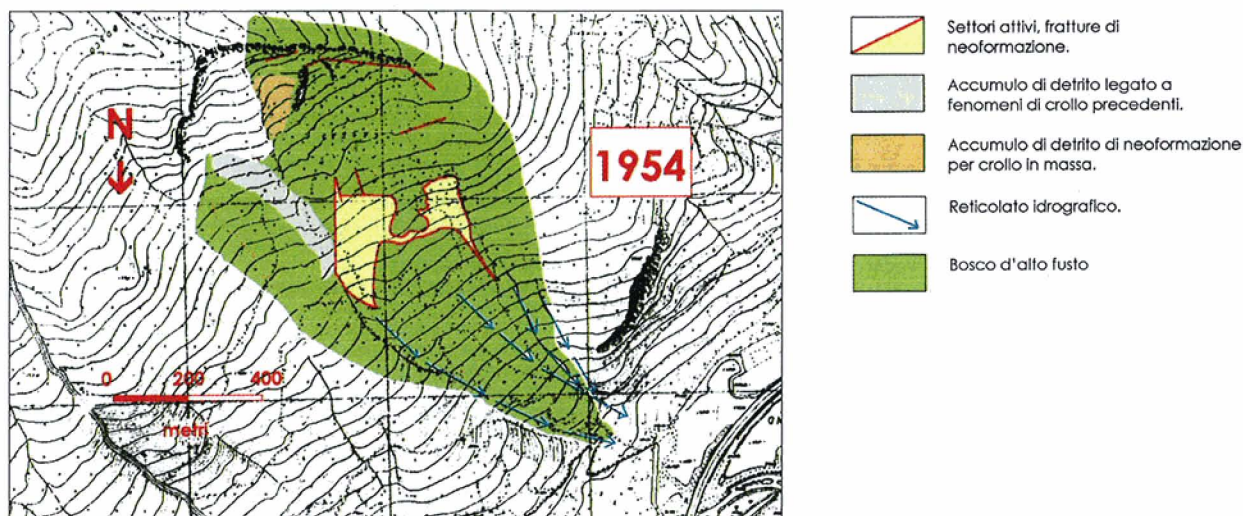


Fig. 8a - Principali lineamenti della frana del Cassas dedotti da fotointerpretazione su fotografie aeree del 1954.

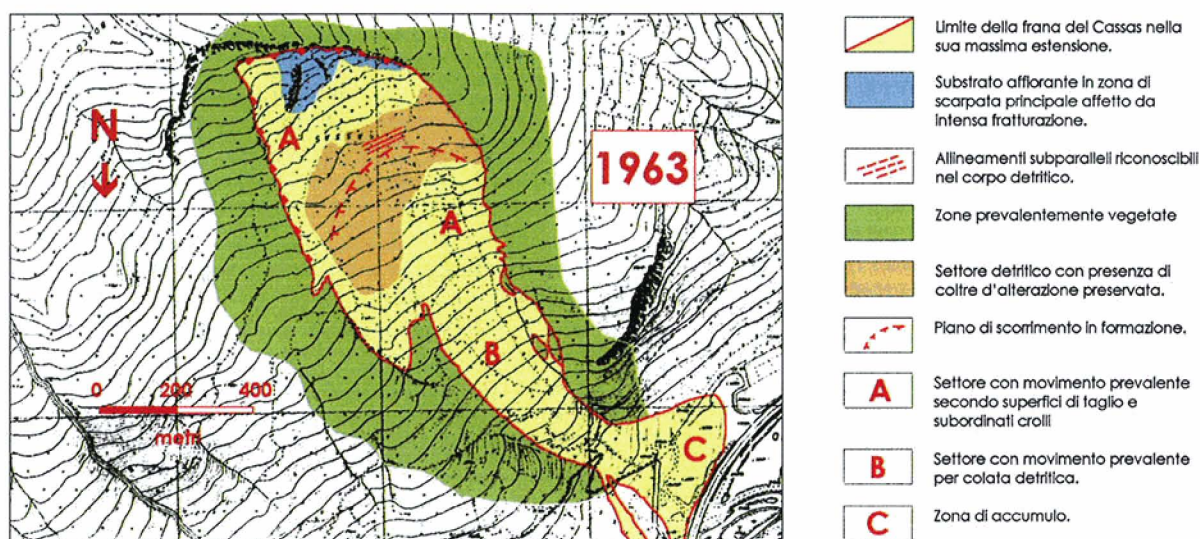


Fig. 8b - Principali lineamenti della frana del Cassas dedotti da fotointerpretazione su fotografie aeree del 1963.

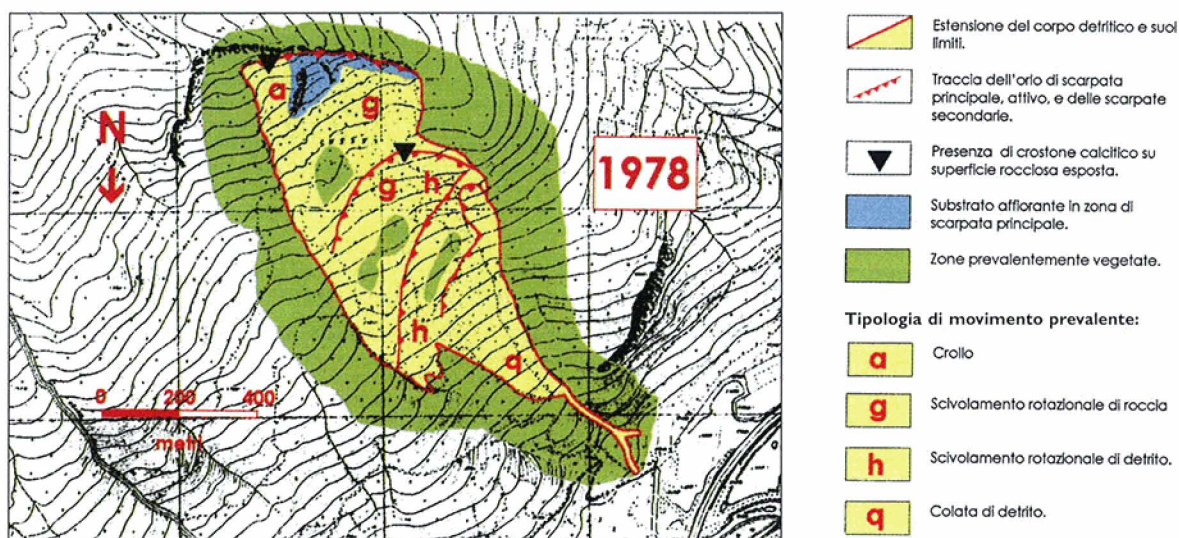


Fig. 8c - Principali lineamenti della frana del Cassas dedotti da fotointerpretazione su fotografie aeree del 1978.

Geomorfologia evolutiva.

Sono riportati nelle figg. 8a, 8b, 8c, su cartografia fotorestituita realizzata nel 1990 (e rappresentativa quindi dello stato dei luoghi relativo a tale periodo) tre diversi stadi evolutivi, limitatamente al settore in frana, ricavati rispettivamente da foto interpretazione su foto aeree degli anni: 1954-1963-1978-1979.

1954

Sono visibili i primi segni di movimento registrati da foto aerea.

Il fenomeno è in evidenza nella metà superiore del versante, sopra l'isoipsa 1400 ca. (la frana è attualmente compresa tra le isoipse 1900 e 1000).

Le evidenze di movimento sono diverse e a due livelli:

- di scarpata principale, dove si stanno aprendo le fratture maggiori

- a metà versante dove, per quanto è dato di capire, si hanno grandi rotture nel continuo boscato che paiono legate a incipiente scarpata diretta E-W.

È ancora preservato il bosco, presente quasi dappertutto.

È ancora preservato il reticolato idrografico, pur se primitivo.

Parossismo: 1963

- Massimo di area coperta da materiale in movimento, compreso il conoide occupato per i 2/3.

- Si è completato il collasso nella parte alta, sotto scarpata.

- Pare di distinguere nel campo a grandi blocchi un sistema di lineamenti sub-paralleli derivato da preesistenti fratture di direzione SE-NW, ora NE-SW.

- Non sono ancora completamente delineate le altre caratteristiche quali le scarpate mediane.

- È in pieno svolgimento la colata detritica nella metà inferiore del versante.

N.B. La scarpata principale espone superfici di antica fratturazione esposte con patina di concrezione calcitica derivante da precedente circolazione idrica di tipo carsico (fig. 9).

1978-79

Si afferma la configurazione che perdura tuttora, in particolare:

A) notevoli apporti nella zona alta dove si hanno cadute di blocchi o ammassi fino all'isoipsa 1625;

B) l'approfondimento delle due scarpate mediane con movimento di tipo scorrimento rotazionale di detrito e di quella bassa per colata di detrito.

Litologia

Dal punto di vista litologico il sito in cui si sviluppa la frana del Cassas risulta costituito essen-

zialmente da litotipi associati al Complesso dei Calcescisti con Ofioliti, di età giurassica superiore-cretacea inferiore. Tali litotipi sono posti inferiormente in contatto con le rocce carbonatiche di copertura del Massiccio dell'Ambin, le quali non risultano tuttavia coinvolte nel processo di frana. Tali rocce costituiscono infatti una base rocciosa che per ragioni giaciturali scompare in corrispondenza al settore in frana.

Il litotipo prevalente riscontrato appare come un calcemicascisto di colore grigio-argenteo, caratterizzato da notevoli variabilità di aspetto e di comportamento in relazione al variare della componente carbonatica. La transizionalità del limite non permette di norma una differenziazione ai fini cartografici.

Le facies a tendenza cristallina, maggiormente competenti, si riscontrano in corrispondenza delle scarpate più nette. I livelli filladici si presentano di colore nero-grafitico, sono molto scistososi e caratterizzati da proprietà meccaniche scadenti; costituiscono fasce di potenza e continuità variabile.

In corrispondenza della zona di distacco è presente una fascia di filladi della potenza massima di circa 50 m e con uno sviluppo di almeno 150 - 160 m, che è stato possibile cartografare con buona approssimazione nonostante il carattere transizionale del limite.

Lungo il fianco sinistro della frana fra le quote 1480 e 1510 affiora una fascia di quarzomicascisti, molto compatti, della potenza di circa 25-30 m.

I corpi ofiolitici sono rappresentati unicamente da serpentiniti, che costituiscono blocchi di volume variabile distribuiti all'interno del corpo di frana.

Si riscontrano infine rare brecce ad elementi di calcescisto in matrice calcarea, spesso associati a mineralizzazioni (probabili solfuri), a cui si deve la formazione di patine bruno-rossastre generate da processi di ossidazione.

Non sono state effettuate sezioni sottili.

4. CLIMATOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

4.1. Condizioni di alimentazione

Pluviometria

Bacino di alimentazione. La frana del Cassas è situata su di un versante con esposizione NW; essa si sviluppa dal fondovalle, che in quel tratto si trova ad una quota di circa 1000 m con una direzione NE-SW, sino alla cresta spartiacque, dove il punto più alto raggiunto dal coronamento superiore è di circa 1900 m. La superficie planimetrica occupata dalla frana risulta essere di circa 50 ettari.



Fig. 9 - Frana del Cassas: immagine particolare di una superficie di discontinuità esposta in zona di scarpata sommitale. Sono evidenti depositi concrezionali calcitici sulla superficie della roccia calcescistosa.

Punti di misura. Per i punti di misura dei valori di precipitazione ci si è riferiti principalmente ai dati rilevati presso Salbertrand, disponibili per il periodo compreso fra il 1914 ed il 1980 (escluso 1942-1950), e forniti dalla Banca dati Pluviometrica della Regione Piemonte. I dati disponibili non permettono di distinguere le precipitazioni nevose da quelle piovose.

Valori. La Valle della Dora Riparia, per il periodo compreso fra il 1913 ed il 1965, risulta essere un'area di basse precipitazioni, in media non superiori ai 900 mm/anno; il tasso minimo di precipitazioni (nevose e piovose) della valle corrisponde al tratto compreso fra Susa ed Oulx, dove in certe annate le precipitazioni scendono anche al di sotto dei 500 mm/anno (dagli Annali Idrologici, in Peretti, 1969).

Dall'analisi invece della carta delle isoiete relativa all'evento alluvionale del 12 - 14 giugno 1957 (Anselmo et al., 1971), si deve constatare come lungo il tratto vallivo compreso fra Susa e Oulx si registrino valori di precipitazioni piovose superiori rispetto a quanto riscontrato a monte ed valle.

L'alta Val di Susa (ovvero l'intero bacino a monte di Serre de la Voute) risulta caratterizzata da una precipitazione media di 675 mm/anno, in riferimento al periodo 1921-1970 (Tropeano et al., 1990, con bibl.).

Sulla base delle elaborazioni eseguite, che tengono conto unicamente dei dati rilevati a Salbertrand, il valore medio annuale delle precipitazioni è risultato essere di circa 752 mm (fig. 10).

Regime. Grazie al confronto fra valori resi disponibili in varia forma dalla Banca dati pluviometrica della Regione Piemonte, è stato possibile caratterizzare il regime pluviometrico medio mensile in corrispondenza del sito di interesse. Poiché i dati forniti non distinguono fra altezza di acqua relativa a precipitazione piovosa o nevosa, si manterrà cautelativamente il periodo compreso fra maggio ed ottobre come caratterizzato da precipitazioni esclusivamente piovose (fig. 11).

Maggio: presenta in media il maggiore valore di piovosità mensile (circa 90 mm) ed il maggior numero di giorni piovosi (circa 9). I massimi valori di piovosità si raggiungono normalmente per periodi di più giorni di pioggia, molto frequenti in maggio (massimo valore calcolato cumulativamente per cinque giorni consecutivi di pioggia: 110 mm).

Giugno: in confronto al mese precedente diminuiscono sensibilmente il numero medio di giorni di piovosità (8 giorni) e il valore medio mensile di precipitazione (circa 80 mm); i massimi quantitativi di pioggia vengono raggiunti in 2 o 3 giorni consecutivi (circa 150 mm prodotti in tre giorni consecutivi di pioggia nel giugno '57).

Luglio: si raggiungono i minimi valori del numero di giorni di pioggia e di piovosità.

Agosto: rimane bassa la media mensile del numero di giorni piovosi, ma aumenta considerevolmente il valore delle precipitazioni (circa 60 mm) che si manifestano perciò prevalentemente sotto forma di rovesci (sino a 70 mm. in un giorno) e meno frequentemente di periodi piovosi di più giorni (sino a 130 mm in 4 giorni consecutivi).

Settembre: il valore medio mensile della precipitazione è analogo a quello del mese di giugno (circa 60 mm), a fronte di un numero medio di giorni piovosi sensibilmente inferiore: pare cioè accentuarsi la tendenza al manifestarsi di rovesci in grado di produrre elevati quantitativi di acqua piovana in periodi limitati.

Ottobre: il numero di giorni piovosi cresce rispetto al periodo precedente ma rimane notevolmente inferiore rispetto a quanto avviene nei mesi primaverili: evidente quindi la tendenza al verificarsi di frequenti rovesci (sino a circa 100 mm di pioggia in due giorni), mentre elevati quantitativi di pioggia si possono produrre per periodi di più giorni consecutivi (sino a circa 120 mm in 5 giorni).

Dalle suddette considerazioni si può desumere una tendenza stagionale:

- primavera: è il periodo dell'anno con più giorni piovosi; ad inizio stagione si manifestano frequenti periodi di più giorni di pioggia, al passaggio con l'estate si verificano invece (ma con frequenza più bassa rispetto a quella autunnale) elevati valori di pioggia concentrata in pochi giorni.

- estate: dopo un periodo secco aumentano via via i giorni di pioggia ed i valori di acqua piovana prodotta; prevalenza di precipitazioni intense e di breve durata (temporali).

- autunno: è il periodo dell'anno in cui si registrano le massime altezze di acqua piovana, che si ripartiscono in un numero di giorni di pioggia relativamente contenuto (rovesci).

Nivometria

Bacino di alimentazione. Valgono le stesse considerazioni fatte nel paragrafo precedente. La distribuzione ed il perdurare al suolo della neve in corrispondenza della frana del Cassas sono da porre in relazione all'esposizione del versante verso NW ed al notevole sviluppo altimetrico del corpo di frana.

Punti di misura. Per le analisi di tipo nivometrico, ci si è riferiti ai dati reperibili presso Salbertrand e Sauze d'Oulx, dal cui confronto si può ottenere una visione sufficientemente rappresentativa dell'innevamento del versante. I dati disponibili sono stati reperiti dall'Archivio dei Dati Nivometrici della Regione Piemonte, relativi ad un periodo compreso fra il 1964 ed il 1980.

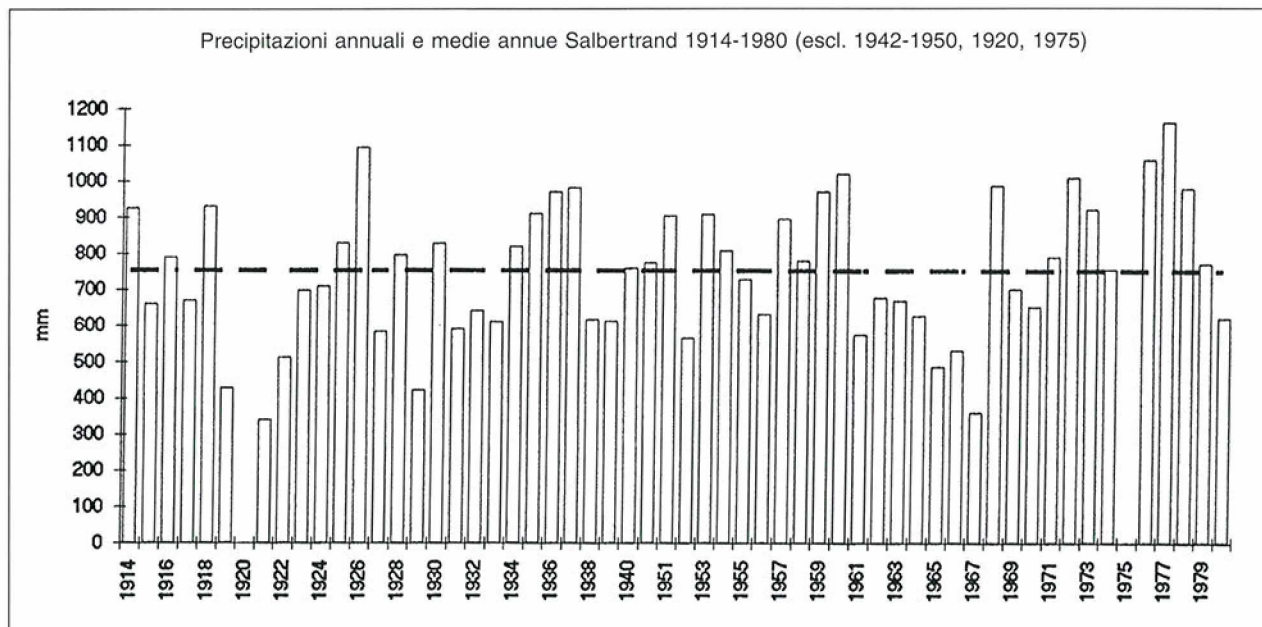


Fig. 10 - Istogramma delle precipitazioni annuali a Salbertrand.

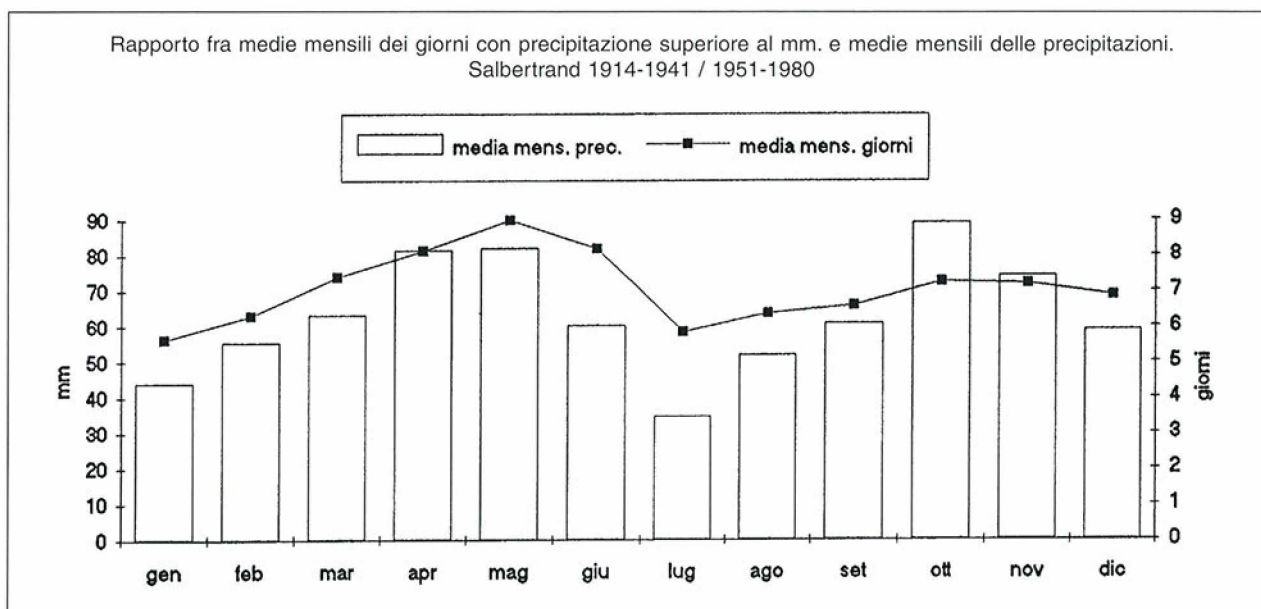


Fig. 11 - Istogramma indicante il rapporto fra medie mensili del numero dei giorni con precipitazioni superiori al millimetro e medie mensili delle precipitazioni.

Valori. Non è stato possibile informatizzare e rappresentare graficamente i dati raccolti.

Regime. Nel 20% circa dei casi considerati (1965-1979) presso la stazione meteorologica di Salbertrand, a quota 1032 m, lo spessore della neve al suolo si azzerava prima dell'inizio di marzo; nel 50% dei casi ciò avviene prima dell'inizio di aprile, mentre nel 10% dei casi (nel 1969 e nel 1976) la neve permane sino ad aprile inoltrato; la presenza di neve durante la primavera a questa quota risulta dovuta a nevicate tardive e non è funzione della massima altezza di neve al suolo raggiunta durante l'inverno.

La frana del Cassas si sviluppa in corrispondenza di un versante esposto a NW; la coronatura superiore raggiunge una quota di circa 1900 m, mentre lo spartiacque posto alle spalle del corpo di frana raggiunge una quota di circa 2500 m: risulta ovvio che la superficie della frana o almeno la parte superiore di essa siano interessate dagli effetti dello scioglimento di neve al suolo sino alla primavera inoltrata.

A titolo di confronto si possono considerare i valori disponibili presso la stazione nivometrica di Sauze d'Oulx (1977-1992, escluso 1980-81-82), posta a quota 1532 m ed avente una esposizione analoga a quella del Cassas, dove nel 25% dei casi considerati si registra innnevamento persistente (massimo 10 cm) all'inizio del mese di maggio.

Portate

Gli eventi di massima portata annuale della Dora Riparia, sulla base dei valori di portata media giornaliera misurati dall'A.E.M. presso Salbertrand (zona Serre de la Voute), si riscontrano prevalentemente fra la fine del mese di maggio e l'inizio del mese di luglio (fig. 12); solo nell'8% dei casi considerati (1943-1993), l'evento di massima piena annuale si verifica durante la stagione autunnale, sebbene proprio in autunno si riscontrino mediamente le maggiori altezze di acqua piovana. Nella figura 13, i valori di massima portata annuale sono distribuiti, per mezzo del criterio di Gumbel in funzione del tempo di ritorno.

Risulta pertanto dimostrato che l'evento di massima piena annuale si verifica per la concomitanza dello scioglimento primaverile della neve e il contributo delle piogge.

A causa della limitata sovrapposizione fra dati nivometrici, pluviometrici e di portata disponibili non risulta possibile ottenere un dato significativo in relazione al contributo di acqua da neve fusa e di acqua piovana nella formazione dell'evento di massima piena; un confronto a titolo esclusivamente orientativo si può effettuare su pochi casi.

	1957	1975	1978
portata [l/s]	(14/06)	(30/05)	(11/06)
neve [cm] (1)	?	30	187
pioggia [mm] (2)	284	175	87
pioggia [mm] (3)	159	6.5	0.6

(1) spessore della neve al suolo presso la stazione di Rochemolles (alta Val di Susa, quota 1975 m) 30 giorni prima della piena.

(2) altezza cumulata di pioggia nei 30 giorni precedenti l'evento di massima piena (rilevata a Salbertrand, quota 1032 m).

(3) altezza cumulata di pioggia nei 5 giorni precedenti l'evento di massima piena (rilevata a Salbertrand, quota 1032 m).

Appare verosimile che per configurare uno scenario di crisi della rete idrografica sia necessario ipotizzare condizioni di forte fusione della neve al suolo concomitanti o immediatamente precedenti il periodo piovoso primaverile.

Poiché i grandi movimenti di versante appaiono legati alla sovrappressione idraulica all'interno delle superfici di fratturazione, appare verosimile che l'innescio di tali movimenti sia da mettere in relazione ad una situazione di crisi dell'intero sistema di deflusso, sia superficiale che sotterraneo.

Temperature

Il grafico riportato in fig. 14, ottenuto con dati desunti dagli annali meteorologici, risulta rappresentativo, sia per quota che per esposizione, delle condizioni di temperatura dell'aria in corrispondenza del versante in frana e dei versanti costituenti l'alto bacino della Dora Riparia sotteso a Salbertrand.

Sino alla prima decade di maggio la temperatura media dell'aria non supera i 4°C e risulta in effetti compatibile con la presenza di neve al suolo.

4.2. Condizioni di infiltrazione

Altezza, pendenza, esposizione.

Altezza. Unghia conoide: 1000 m circa (fondovalle); coronamento superiore: 1900 m circa.

Pendenza. 60% (30°) dall'apice della conoide (1050 m) alla base della scarpata sommitale (1850 m).

La pendenza della zona di distacco (da 1850 a 1900 m) è di circa 45°.

Esposizione. N-W.

Copertura vegetale. Le superfici caratterizzate da più intensi movimenti risultano prive di vegetazione; su parte del corpo di frana si è invece sviluppata una debole copertura arborea continua.

Permeabilità (k). Sono disponibili alcuni valori di permeabilità ottenuti da bibliografia (Epifani, 1991): calcescisti fratturati $k=10\text{cm/s}$; detriti gros-

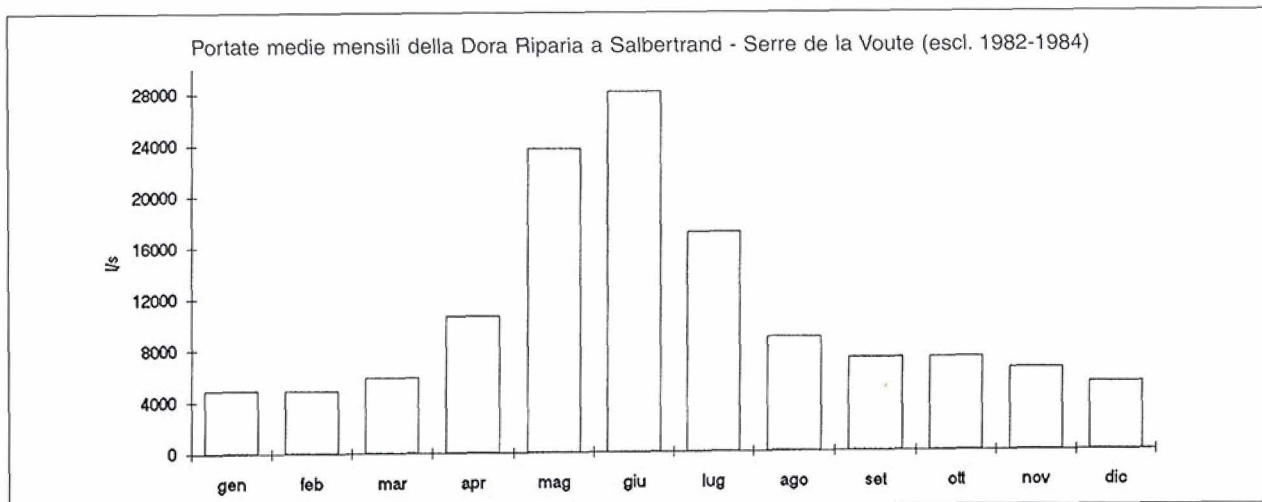


Fig. 12 - Istogramma delle portate medie mensili della Dora Riparia misurate presso gli impianti A.E.M. di Serre de la Voute.

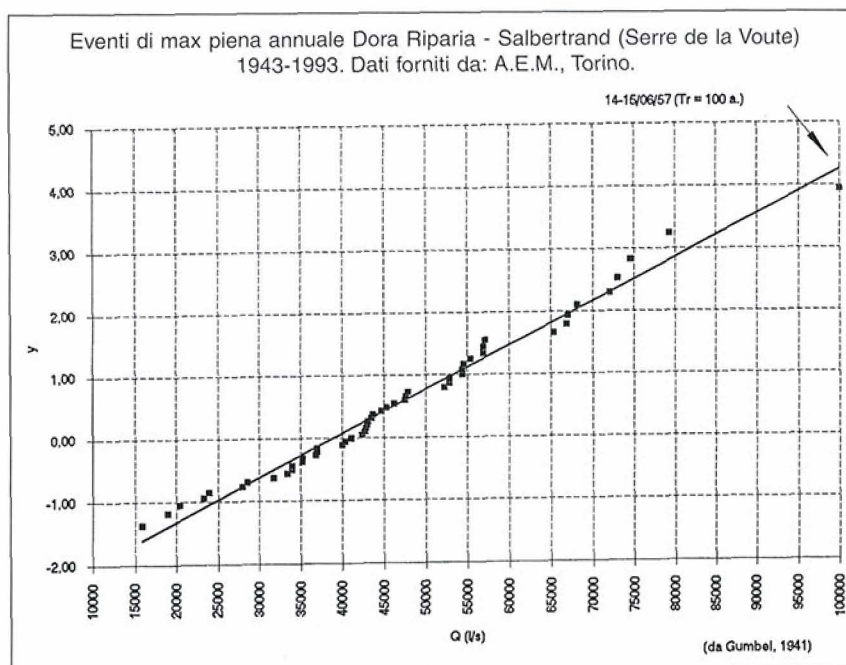


Fig. 13 - Eventi di massima piena annuale della Dora Riparia presso Serre de la Voute: calcolo del tempo di ritorno della piena del 14 giugno 1957.

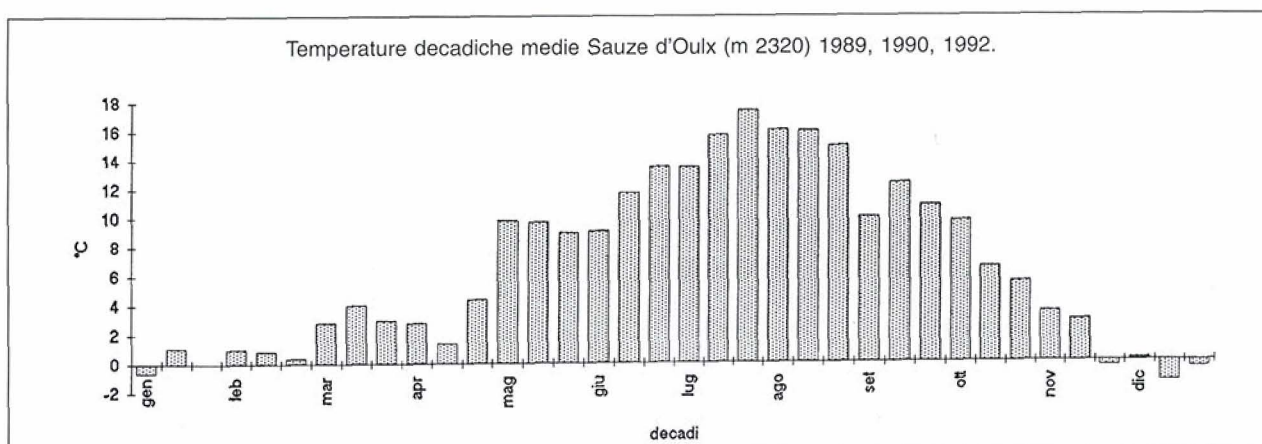


Fig. 14 - Temperature decadiche medie presso Sauze d'Oulx.

solani $k=1\text{ cm/s}$; detrito medio $k=10^{-3} \varphi 10^{-1} \text{ cm/s}$; detrito+fraz. fine $k=10^{-4} \varphi 10^{-2} \text{ cm/s}$; depositi alluvionali $k=10^{-3} \varphi 10^{-1} \text{ cm/s}$.

Reticolato idrografico. Lungo i margini del corpo di frana ripetutamente laterale sinistro e laterale destro si delineano due incisioni, a partire dalla quota 1250 m circa.

4.3. Sorgenti

Si denota una serie di sorgenti in corrispondenza della scarpata che attraversa trasversalmente il corpo di frana dalla quota 1350 alla quota 1550 circa.

5. INDAGINI EFFETTUATE

Per quanto riguarda il fenomeno gravitativo analizzato, sono state effettuate, sino alla conclusione dello studio alcune indagini preliminari ed, in particolare:

- rilevamento geologico strutturale e caratterizzazione geomeccanica dei principali sistemi di discontinuità;
- perforazioni di sondaggio;
- rilievi geofisici.

5.1. Rilevamento geologico strutturale e caratterizzazione geomeccanica dei principali sistemi di discontinuità

Nel corso dell'estate 1994 è stata effettuata una campagna di rilevamento, durante la quale si è focalizzata l'attenzione sull'assetto litologico-strutturale e geomeccanico del versante in frana al fine di chiarirne i cinematismi e le possibili linee evolutive.

5.1.1. Rilevamento geologico-strutturale

La scistosità principale in corrispondenza della frana del Cassas (Sp) presenta nel complesso una immersione a reggipoggio (con massimo di intensità in corrispondenza di $\alpha=150^\circ$ e $\psi=45^\circ$), conforme alla giacitura del contatto tettonico posto fra il Complesso dei Calcescisti e Pietre Verdi ed il complesso Brianzonese.

Alla base della scarpata principale che delimita la zona di distacco, la scistosità (Sd) presenta giacitura variabile, generalmente a debole franapoggio, avente valore di massima concentrazione di immersione pari a 301° ed inclinazione modesta compresa tra i 10° e 20° circa.

Il rilevamento strutturale condotto in zona (fig. 15), sia nel tratto inferiore, che superiore del versante sede del movimento franoso, ha posto in evidenza i seguenti sistemi di discontinuità:

- **sistema K 1** rappresentato da discontinuità subverticali aventi direzione E- W (W-E) e caratterizzate da poli di massima concentrazione aven-

ti immersione pari a circa 351° (177°) ed inclinazione pari a 80° (82°);

- **sistema K 2** costituito da giunti subverticali aventi direzione N-S, rappresentati da poli di massima concentrazione aventi immersione pari a 269° (87°) ed inclinazione pari a 88° (84°);
- **sistema K 3**, affiorante con minor continuità rispetto ai sistemi precedenti e caratterizzato da immersione pari a circa 220° - 240° ed inclinazione pari a circa 50° - 70° .
- **sistema K 4** costituito da giunti aventi inclinazione di circa 40° - 50° ed immersione di circa 350° ; tali giunti presentano perciò una giacitura a franapoggio avente immersione pressoché concordante con il pendio. Sulla superficie di tali giunti si osservano, in corrispondenza della zona di distacco, incrostazioni carbonatiche con striature aventi giacitura pari a circa 335° , 40° - 45° ;
- **sistema K** rappresentato da giunti subverticali aventi immersione media pari a circa 330° (140°);

L'analisi dei lineamenti morfo-strutturali dedotti dall'interpretazione di fotografie aeree (fig. 15b), pone in risalto un generale accordo con quanto ottenuto dal rilievo strutturale di affioramenti rocciosi in prossimità del corpo di frana. Le discrepanze riscontrabili, seppure limitate, sono imputabili alle difficoltà di rilevamento strutturale degli affioramenti appartenenti alle facies meno cristalline e più intensamente laminate (filladi) ed alla constatazione che i tratti morfologici significativi derivano spesso dal contributo di più sistemi di discontinuità.

5.1.2. Cinematismi ammissibili inerenti l'ammasso roccioso

L'analisi cinematica che scaturisce dalla rappresentazione stereografica di figura 16a, consente di formulare alcune osservazioni inerenti principalmente la zona superiore del coronamento:

a) la mutua posizione del:

- fronte superiore del versante, rappresentato mediamente dalla giacitura $\alpha=325^\circ$, $\psi=49^\circ$;
- sistema indicato con *K1* avente inclinazione di circa 80° ed elevata persistenza (sia lungo l'immersione sia lungo la direzione);
- sistema indicato con *Sd* avente debole inclinazione a franapoggio;
- sistema *K2* ad andamento perpendicolare al sistema *K1*,

favorisce un'instabilità per ribaltamento di porzioni prismatiche ad elevata snellezza;

b) il sistema indicato con *K4*, caratterizzato in parte da superfici di discontinuità aventi immersioni prossime al fronte superiore ed inclinazioni inferiori, determina la possibilità cinematica di scivolamenti di porzioni rocciose lungo le superfici generate da *K4* e delimitate late-

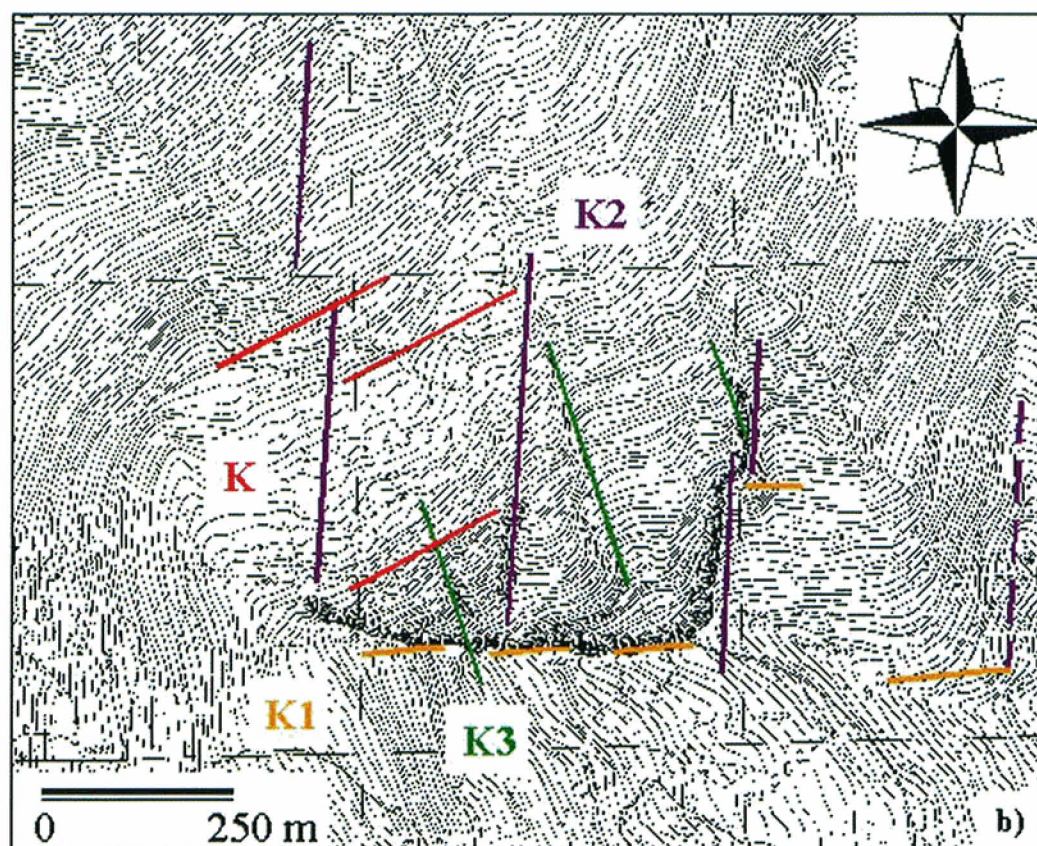
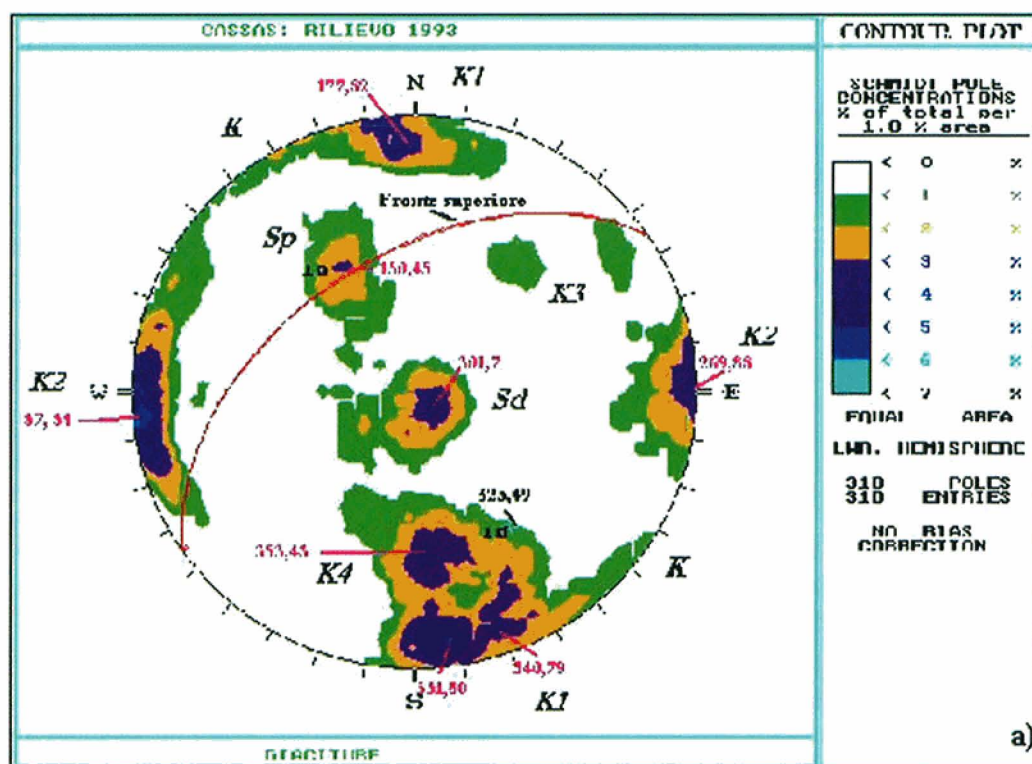


Fig. 15 - Rappresentazione stereografica dei sistemi di discontinuità (a) e lineamenti morfostrutturali in corrispondenza delle parti superiori della frana del Cassas (d).

ralmente dal sistema K2 ed, a tergo, dal sistema K1, avente funzione di giunto di trazione a monte;

- c) la diversa spaziatura e persistenza dei sistemi di discontinuità scompone localmente l'ammasso roccioso in blocchi prismatici elementari ad elevato grado di libertà cinematica, i quali, dopo un iniziale scivolamento lungo le superfici generate dal sistema K4, assumono come moto principale quello caratteristico del crollo di massi (rotolamento, rimbalzo e scivolamento).

5.1.3. Caratterizzazione dei principali sistemi di discontinuità

A seguito di indagini su affioramenti, si sono rilevate una serie di caratteristiche volte alla individuazione ed alla definizione del comportamento delle discontinuità che intersecano l'ammasso roccioso:

- coefficienti di scabrezza (JRC), ottenuti a partire da stime per confronto con profili campione;
- coefficienti di resistenza a compressione monoassiale delle pareti (JCS), mediante misure sclerometriche;
- angolo di attrito di base (ϕ_b)

I calcescisti sono stati suddivisi in due macro categorie al fine di poter differenziare il diverso comportamento dal punto di vista geomeccanico:

- A) Calcescisti massivi in senso stretto;
B) Calcescisti filladici

L'analisi geomeccanica, in riferimento alla distinzione A) e B), ha permesso di determinare, per le superfici di scistosità, le seguenti caratteristiche medie utili alla determinazione della resistenza al taglio mediante il criterio empirico di Barton. I valori riportati sono quelli medi ricavati dal rilievo superficiale.

	<i>Calcescisti massivi</i>	<i>Calcescisti filladici</i>
C0 [MPa]	58	36
JCS [MPa]	41	20
JRC	2÷10 (valore medio 9)	2÷12 (valore medio 11)
ϕ_b [°]	40	31
τ [MPa] (Criterio di Barton)	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(9 \cdot \log \frac{41}{\sigma_n}\right) + 40$	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(11 \cdot \log \frac{20}{\sigma_n}\right) + 40$

La tabella seguente riporta la sintesi dei parametri caratteristici delle famiglie di discontinuità uti-

lizzati per la determinazione della resistenza al taglio mediante il criterio empirico di Barton.

Set	JRC		JCS [MPa]		ϕ_b [°]	τ [MPa]
	<i>Variabilità</i>	<i>Valore medio</i>	<i>Variabilità</i>	<i>Valore medio</i>	<i>Valore medio</i>	<i>Criterio di Barton</i>
K	4÷16	9	19÷47	28	35	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(9 \cdot \log \frac{28}{\sigma_n}\right) + 35$
K1	4÷14	8	19÷82	41	40	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(8 \cdot \log \frac{41}{\sigma_n}\right) + 40$
K2	4÷18	10	17÷64	24	34	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(10 \cdot \log \frac{24}{\sigma_n}\right) + 34$
K3	8÷12	10	21÷42	21	31	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(10 \cdot \log \frac{21}{\sigma_n}\right) + 31$
K4	2÷16	8	21÷75	30	36	$\tau = \sigma_n \cdot \tan\left(8 \cdot \log \frac{30}{\sigma_n}\right) + 36$

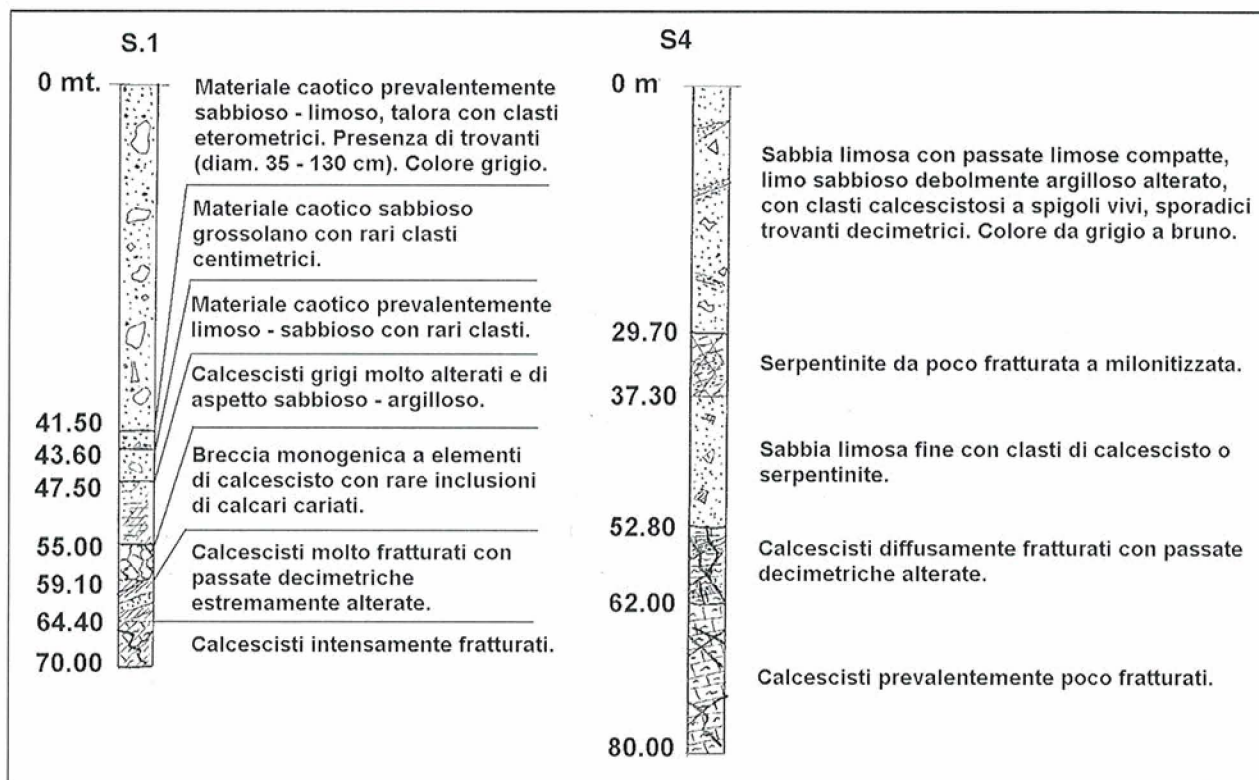


Fig. 16 - Descrizione semplificata dei sondaggi geognostici.

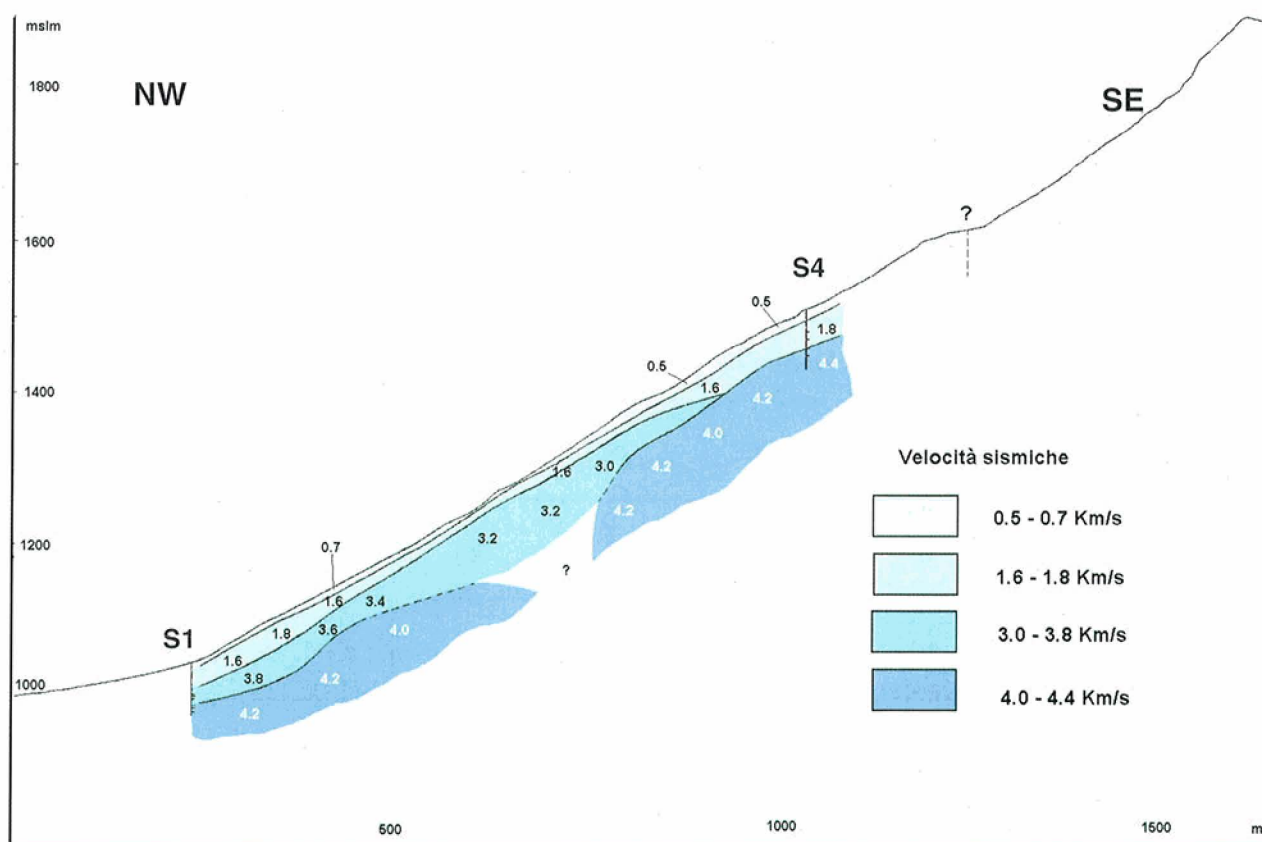


Fig. 17 - Profilo topografico e risultati della sismica a rifrazione.

5.2. Perforazione di sondaggio

È in corso di attuazione una campagna di perforazioni di sondaggio a carotaggio continuo ubicate nel corpo di frana.

La descrizione preliminare dei due fori S1 e S4 sintetizzati in fig. 16, nei quali è prevista l'installazione di tubi inclinometrici consente di definire lo spessore del movimento franoso e di caratterizzare i materiali coinvolti. Nel tratto di versante compreso tra le quote 1500 m e 1000 m s.l.m. circa, il movimento franoso ha potenza di circa 60 m ed interessa materiali caotici (clasti, massi) in prevalente matrice sabbiosa e subordinatamente limosa.

5.3. Rilievi geofisici

Nell'area in esame sono stati eseguiti alcuni rilievi geofisici al fine di integrare le informazioni acquisite tramite perforazioni di sondaggio, le osservazioni in situ e l'analisi fotointerpretativa.

Il rilievo sismico a rifrazione è stato effettuato lungo la massima pendenza per uno stendimento di circa 900 m. All'estremità del profilo di indagine sono ubicati due sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità di circa 70-80 m (fig. 17).

L'interpretazione delle dromocrone indica l'esistenza di 4 diversi orizzonti caratterizzati da velocità crescenti da 500 m/sec a 4.400 m/sec.

Dal confronto con le stratigrafie dei sondaggi è emerso quanto segue:

- I calcescisti costituenti il substrato roccioso, quantunque fratturati, si trovano mediamente a profondità pari a 62-64 m e sono caratterizzati da velocità delle onde sismiche pari a 4.000-4.400 m/sec;
- I materiali caotici prevalentemente a matrice sabbiosa, inglobanti clasti eterometrici e talora massi di diametro max di 2 m si rinvencono a profondità variabili tra i 41 e 53 m e sono caratterizzati da velocità delle onde sismiche pari a 500-1.800 m/sec;
- L'ammasso roccioso da molto ad estremamente disarticolato è caratterizzato da velocità delle onde sismiche pari a 3.000-3.800 m/sec;
- Esiste un sostanziale accordo tra le due diverse tecniche di indagine (sondaggi e geofisica) che evidenziano uno spessore del movimento franoso pari a 50-60 m.

6. EVOLUZIONE DEL RISCHIO E VULNERABILITÀ

Il versante di Cassas è sede di una frana storica caratterizzata da modalità evolutive dei movimenti diversificate da zona a zona. In attesa del completamento del quadro conoscitivo sul movimento franoso si possono formulare le seguenti considerazioni preliminari:

- a) **Zona superiore:** le caratteristiche fragili dell'ammasso roccioso e la libertà al piede nel tratto sommitale possono determinare:
 - un'attività di caduta di singole porzioni rocciose soprattutto nei periodi di maggiore apporto idrico o di fusione del manto nevoso (primavera-autunno),
 - un aumento dell'apertura delle fratture che delimitano a tergo la zona del coronamento, provocando un progressivo rilascio dell'ammasso roccioso.
- b) **Zona centrale ed inferiore:** le caratteristiche del materiale caotico (clasti, massi) in prevalente matrice sabbiosa e subordinatamente limosa, possono favorire una rimobilizzazione lenta e continua di tipo viscoso dell'accumulo, con locali accelerazioni in concomitanza di rilevanti apporti idrici.

L'area di servizio dell'autostrada A32 Torino-Bardonecchia ubicata in destra orografica al piede del versante sede del dissesto, immediatamente a valle dell'abitato di Salbertrand e le opere d'arte ad essa connesse può essere considerata come area di possibile influenza della rimobilizzazione del corpo di frana.

Ad integrazione del quadro delineato, si segnala che le propaggini inferiori del fianco vallivo destro, entro il quale si sviluppa il movimento franoso di Cassas, in corrispondenza del tratto orientale, pur non essendo coinvolte direttamente dal generale processo di instabilità, sono caratterizzate da pareti verticali che possono produrre locali manifestazioni di caduta massi.

7. MONITORAGGIO

Alla base del conoide generatosi per accumulo di materiali mobilizzati durante le diverse riattivazioni del movimento franoso, corre il tracciato dell'autostrada A32. In quella zona è stata costruita l'area di servizio di Salbertrand.

Una sistemazione parziale, completata prima di dare avvio ai lavori di costruzione dell'area di servizio, è consistita nella costruzione di barriere e reti paramassi e nella bonifica delle pareti sovrastanti l'area in oggetto.

Tali opere sono state integrate con la posa di strumentazione di controllo costituita da 12 inclinometri di superficie di tipo monoassiale su parete rocciosa, da 2 tubi inclinometrici e 2 tubi piezometrici sul conoide alla base del versante (progetti del marzo e maggio 1990, gennaio e luglio 1991 - Studio Geologico Epifani).

L'attuale sistema di monitoraggio, ad integrazione e completamento del precedente progetto, è stato ridefinito da una società di studi (Geodata s.p.a., febbraio 1993) su incarico della Sitaf (Soc. Ital. Traforo del Frejus) e prende origine dal pro-

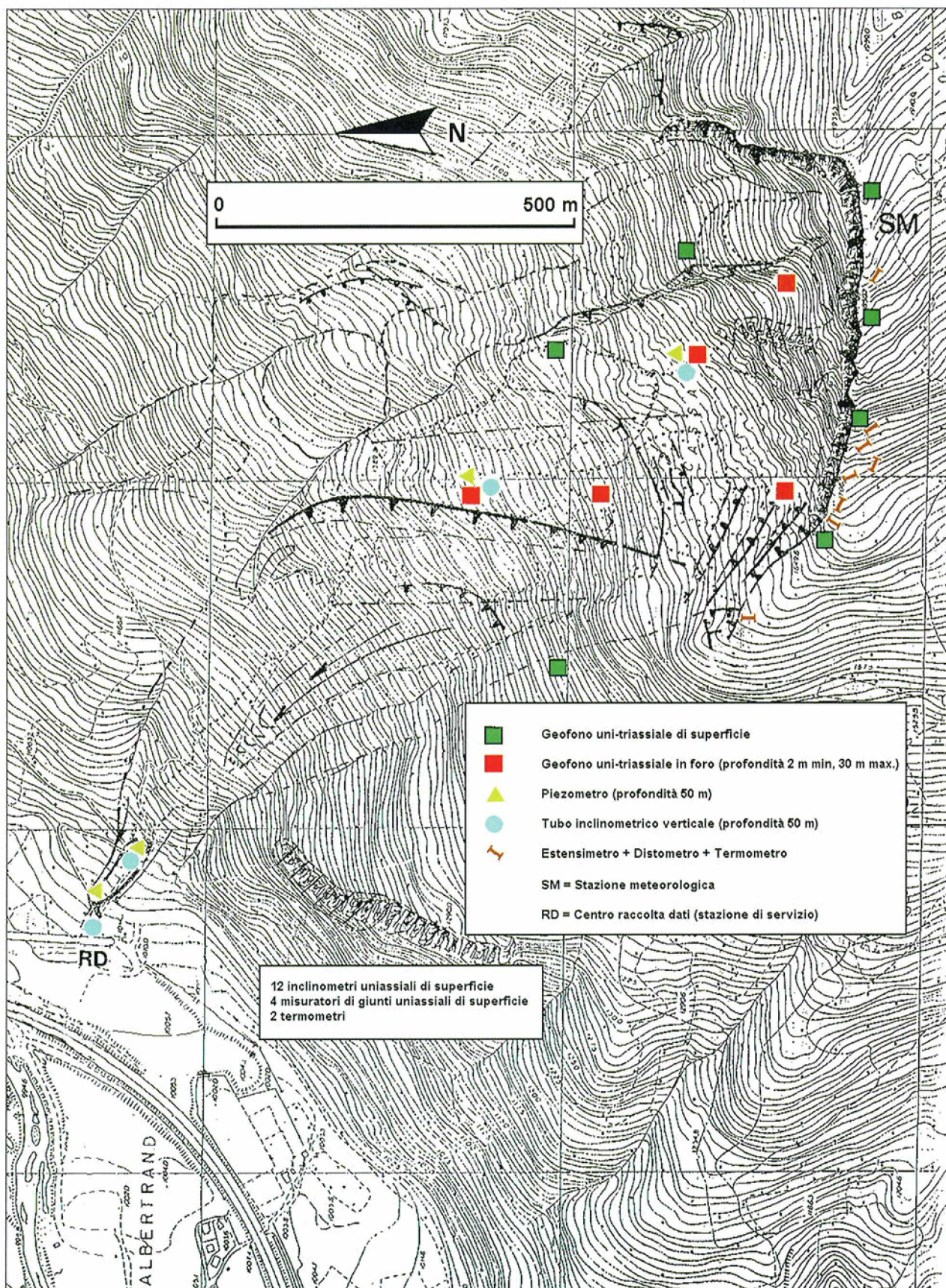


Fig. 18 - Schema di monitoraggio provvisorio della Frana del Cassas.



Fig. 19 - Il settore centrale ed il piede della frana in una ripresa dall'alto verso il basso. Al fondo la piana di Salbertrand con il collegamento autostradale Torino-Modane.

getto originario apportandovi alcune modifiche atte a contenere gli oneri economici previsti dal progetto originale.

Gli interventi sono stati localizzati sul settore in frana, anche se non sono stati completati gli studi per la comprensione geometrica, tipologica e cinematica del fenomeno; pertanto alcuni strumenti non sono esattamente commisurati agli elementi da prendere in considerazione.

La localizzazione degli strumenti già installati e di prossima installazione è indicata in fig. 18.

Il sistema di monitoraggio in progetto verrà ad inglobare la strumentazione già in opera ed avrà lo scopo di rilevare i seguenti parametri:

- spostamenti planimetrici del corpo di frana;
- movimenti delle principali fratture poste presso la scarpata sommitale;
- movimenti delle porzioni lapidee lungo la balza rocciosa sovrastante l'area di servizio;
- variazioni della superficie piezometrica all'interno del corpo di frana;
- attività microsismica superficiale e profonda;
- condizioni meteo-climatiche.

La strumentazione verrà ripartita secondo i diversi settori del versante in frana.

Al piede del versante in frana (conoide): vengono mantenute le coppie di tubazioni inclinometriche e piezometriche già esistenti ($L = 60$ m).

Presso la parete rocciosa inferiore: i 12 inclinometri superficiali monoassiali esistenti vengono integrati con 4 misuratori di giunti e 2 termometri elettrici di superficie per la taratura delle misurazioni di spostamento.

Settore centro-sommitale: sono previsti 2 tubi inclinometrici verticali aventi lunghezza di 50 m, 2 tubazioni piezometriche con cella di tipo Casagrande posta alla profondità di 50 m, 3 geofoni di superficie e 4 geofoni verticali posti alla profondità di 30 m, o ad una profondità anche minore purché immorsati per almeno 2 m entro il substrato roccioso in posto. In tale settore sono stati realizzati i fori di sondaggio durante l'estate 1994; di questi il più elevato in quota non ha raggiunto il substrato roccioso a 60 m di profondità, mentre il sondaggio inferiore ha incontrato il substrato a circa 60 m di profondità.

Scarpata sommitale: verranno posizionati 8 estensimetri a filo associati ad altrettanti distometri a nastro al fine di permettere una lettura sia automatica che manuale, 8 termometri elettrici di superficie, 6 geofoni superficiali e 6 geofoni in foro alla profondità di 30 m o anche minore purché entro almeno 2 m di roccia appartenente al substrato in posto.

Secondo il progetto originario, il sistema risultava completamente automatizzato con radio trasmissione dei dati ad un centro di gestione, ubicato presso l'area di servizio alla base del versante. Il progetto attualmente in fase di allestimento

prevede invece una acquisizione dei dati effettuabile sia in automatico che in manuale; trattandosi di sensori di tipo elettrico, l'alimentazione sarà garantita da unità di pannelli solari.

I dati rilevati per mezzo della strumentazione già installata non sono disponibili.

La strumentazione di un ultimo progetto (febbraio 1993), è attualmente in fase di installazione; i dati saranno trasmessi al Settore Geologico della Regione Piemonte non appena i lavori saranno ultimati.

Le perforazioni per la posa degli strumenti in foro saranno eseguite con metodo a rotazione con carotaggio continuo per quanto concerne le verticali inclinometriche ed i fori di alloggiamento dei geofoni profondi, mentre si procederà con metodo a roto percussione con distruzione di nucleo per le verticali piezometriche.

Il testo redatto per questa stampa fa riferimento agli anni di conduzione degli studi inerenti il Progetto Interreg (1993-1995). A completezza di quanto riportato sopra, si segnala che il sistema di monitoraggio è ormai pienamente operativo ed ha consentito di evidenziare sia locali, ma limitati, movimenti dell'ammasso roccioso nel tratto prossimo al coronamento, caratterizzato da trenches, fratture beanti, sia significativi spostamenti del corpo e dell'accumulo di frana. È il caso di un inclinometro, ubicato a circa 1600 m di quota, lungo la sezione di figura 17, che ha registrato in un periodo di funzionamento di due anni un'entità di spostamento di circa 10 cm, in corrispondenza di una profondità di 47 m circa, evidenziando la caratteristica conformazione "a ginocchio" della deformata, tipica di movimenti traslativi lungo piani definiti.

BIBLIOGRAFIA

ALLENBACH B. & CARON J.M. (1986), *Relations litostratigraphiques et tectoniques entre les séries mésozoïques de la bordure sud-ouest du Massif d'Ambin (Alpes Occidentales)*. Eclog. Geol. Helv., 79 (1), 75-116.

AA.VV. (1990), *Banca Dati Geologica, a cura del settore prevenzione del rischio geologico, meteorologico e sismico*. Regione Piemonte - C.N.R. - I.R.P.I.

ANSELMO V., GOVI M., LEPORATI P. & TROPEANO D. (1971), *L'evento alluvionale del 12-14 giugno 1957: i danni nei bacini del Piemonte e della Valle d'Aosta*. Carta presentata al XXI congresso geografico italiano per il tema «Le calamità naturali nelle Alpi».

BARETTI M. (1881), *Relazione sulle condizioni geologiche del versante destro della valle della Dora Riparia tra Chiomonte e Salbertrand*. Tip. e Lit. Camilla e Bertolero, Torino.

BOGGE A. (1975), *L'alluvione del 1728 in Val di Susa*. Centro Studi Piemontesi, 4 (2), 379-396.

CALLEGARI E., SACCHI R., BOVO S. & TORASSA G. (1980), *Osservazioni strutturali sul versante italiano del massiccio dell'Ambin (Alpi Graie)*. Boll. Soc. Geol. It., 90, 395-404.

CAPELLO C.F. (1941), *Il lago quaternario della conca di Salabertano (Valle di Susa)*. Boll. Com. Glac. It., 21, 155-160.

CARON J.M. & GAY M. (1977), *La couverture mésozoïque du Massif d'Ambin, transition entre le Domaine Briançonnais*

et le Domaine piémontais? *Eclog. Geol. Helv.*, 70 (3), 643-665.

CARRARO F., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1979), *Large scale landslides connected with neotectonic activity in the alpine and apennine ranges*. I.G.U.-U.N.E.S.C.O. Commission on Geomorphological Survey and Mapping - 15th Plenary Meeting 7-15 September 1979 Modena, Italy, 16 pp.

CARRARO F., FERRERO E., FORNO M.G. & RICCI B. (1980), *Dati preliminari sull'evoluzione neotettonica dell'arco delle Alpi occidentali*. Contr. prelim. Carta Neotettonica d'Italia, pubbl. n. 251 Prog. Final. Geodinamica, 235-249.

DAL PIAZ G.V. (coordinatore), *Guide Geologiche Regionali: Le Alpi dal Monte Bianco al Lago Maggiore* (1992). Soc. Geol. It., 3,(1).

DELA PIERRE F. & POLINO R. (1997), *Foglio Geologico 1:50.000 - Bardonecchia*. Progetto CARG, inedito.

FORNO M.G. & MASSAZZA G. (1987), *Movimenti gravitativi diffusi e ripetuti nel versante sinistro della Val Cenischia (Alpi Graie) e loro relazione con il sistema di fratture Cenischia-Nizza*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 10, 277-306.

FRANCESCHETTI B., STOPPATO M. & TURITTO O. (1990), *Le modificazioni del corso della Dora Riparia tra Susa ed Alpignano dal 1881 al 1977*. Riv. Geogr. It., 97 (4), 475-505.

GAY M. (1972), *Le Massif d'Ambin et son cadre de schistes lustrés (Alpes franco-italiennes). Evolution structurale*. Archives des Sciences, 25 (2) 165-214.

GEODATA s.p.a. (1993), *Interventi di sistemazione del versante destro a protezione delle aree di servizio di Salbertrand. Stralci funzionali del progetto esecutivo*. SITAF, doc. inedita Arch. Servizio Geologico Regione Piemonte.

ISNEV (1982), *Archivio dei dati nivometrici della Regione Piemonte*. Ass. Reg. Viab. Trasp. Reg. Piem.

LORENZONI S. (1965), *Studio geo-petrografico del versante italiano del Massiccio d'Ambin*, Soc. Coop. Tipog. Padova, 25, 88 pp.

MORTARA G. & SORZANA P.F. (1987), *Fenomeni di deformazione gravitativa profonda nell'arco alpino occidentale ita-*

liano. Considerazioni lito-strutturali e morfologiche. Boll. Soc. Geol. It., 106, 303-314.

PERETTI L. (1967), *Collegamento autostradale del traforo del Frejus con Torino*. La Rivista della Strada, anno 36, n.310.

PERETTI L. (1969), *Premesse geoapplicative per la realizzazione coordinata dell'autostrada Torino-Oulx e della sistemazione Idrogeologica della Valle di Susa*. Cronache da Palazzo Cisterna - Periodico della Provincia di Torino, n. 1, 1969.

PUMA F., RAMASCO M., STOPPA T. & SUSELLA G. (1989), *Movimenti di massa nelle alte valli di Susa e Chisone*. Boll. Soc. Geol. It., 108, 391-399.

RAMASCO M. & SUSELLA G. (1978), *Studi geologici per il collegamento stradale tra il traforo del Frejus e Torino (tratto Bardonecchia-Susa)*. Reg. Piem., Dip. Org. e Gest. del territorio.

SACCO F. (1910), *Il Gruppo del Cenisio-Ambin-Frejus. Studio Geologico Applicato al progetto di una nuova galleria ferroviaria tra la Valle della Dora Riparia e la Valle dell'Arc*. Comitato Pro Cenisio, Tip. Baravale e Falconieri, Torino, 56 pp.

SACCO F. (1921), *Il glacialismo della Valle di Susa*. Rivista «L'Universo», Torino, anno II, 32 pp.

SACCO F. (1943), *Il quaternario nelle alte valli di Susa (Dora Riparia)*. Mem. Acc. Sc. Torino, 71 (1), ser. 2, 61-80.

SACCO F. (1948), *La degradazione delle montagne (con esemplificazione nell'alta Val di Susa)*. «L'Universo», Rivista dell' I.G.M., anno XXVIII, n. 2, 15 pp.

STUDIO GEOLOGICO EPIFANI (1991), *Studio geologico e geomorfologico del versante a monte delle aree di servizio di Salbertrand*. SITAF, doc. inedita Arch. Servizio Geologico Regione Piemonte.

TROPEANO D., CORDOLA R. & MASSOBRIO R. (1990), *Indagini quantitative sul carico in sedimenti sospesi nel F. Dora Riparia in località Serre la Voute (alta Val di Susa - Piemonte Occidentale)*. Boll. Ass. Min. Subalp., anno XXVII, n.1-2.

TROPEANO D. & OLIVE P. (1993), *Eventi geomorfologici nelle Alpi Italiane e nella pianura occidentale del Po: inquadramento cronologico in base a radiodatazioni*. Il Quaternario 6 (2), 189-204.

