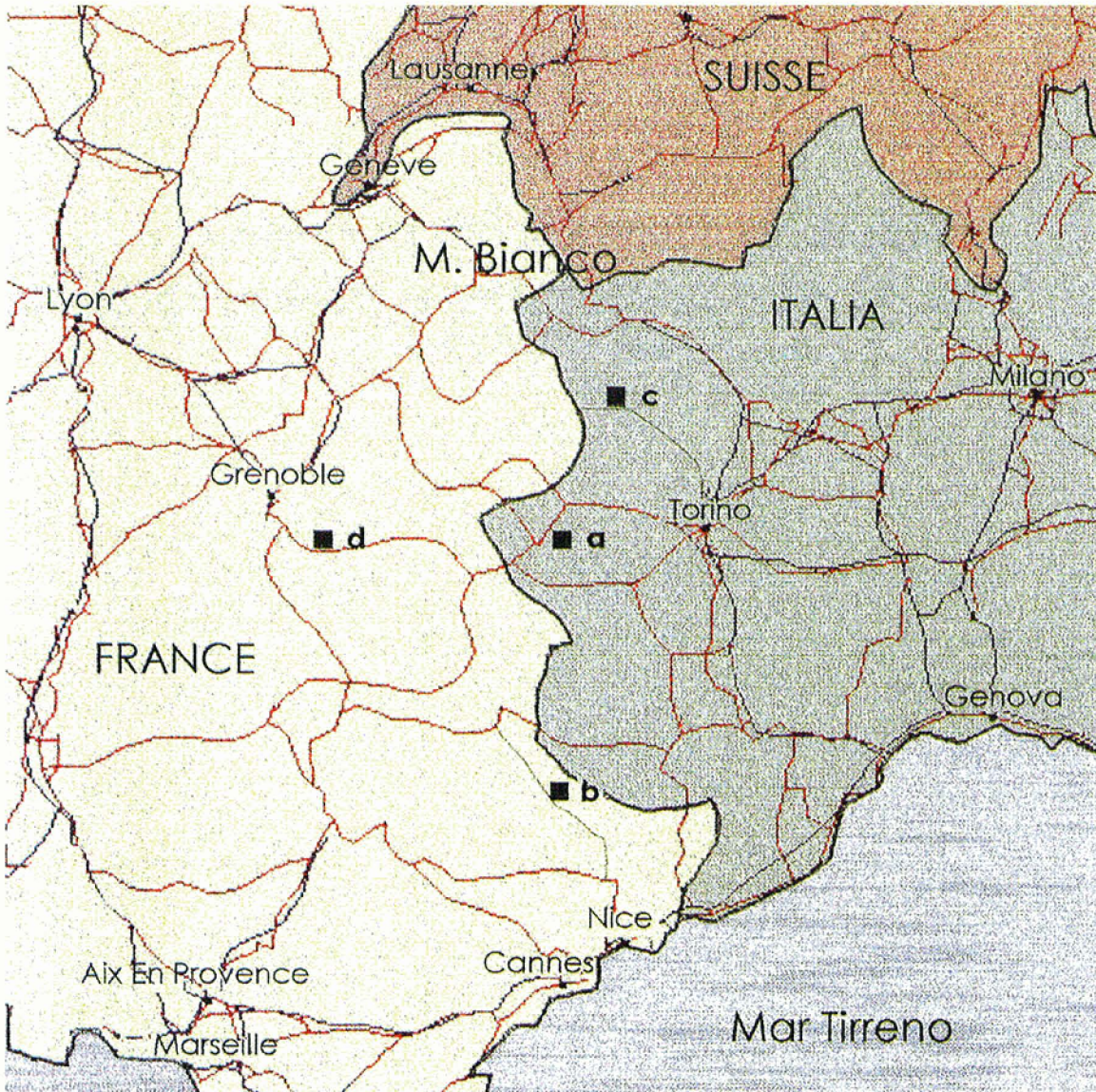


ANALISI DI 4 MOVIMENTI DI VERSANTE
ANALYSE DE 4 CAS DE GRANDS MOUVEMENTS
DE VERSANT

**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'orogenèse 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 "Eclouse-Fenils", adjacent à l'instabilité du Cassas. Cette datation a per-

La datazione, ottenuta con il metodo del C¹⁴, 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 «Eclouse-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°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°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'ètablir 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 désordre qui se développe le long de la dorsale secondaire de la "Testa di Mottas", de direction environ N80°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°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 détritico 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 glaciale, 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 mobilizzati 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 mobilitato 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 decimetri.

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 décimètres 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 Iglère, 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 una pendenza di 25°. L'alluvionamento, 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'Iglère 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'Iglère 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 Iglère 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 sottoterraneo 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 *terminale 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.

Evoluzione 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 idioblasti 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 idioblastes 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 N155°.

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 intéressants 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

Climatologie et hydrogéologie

Pluviométrie

La pluviosité moyenne annuelle a été calculée sur une période de 42 ans, entre 1938 et 1980. La valeur obtenue, environ 1200 mm, vaut pour le centre du hameau de Rosone situé à la base du versant instable, à une altitude d'environ 700 m, où se trouve une station de mesure. Depuis 1990, une station pluviométrique et thermique fonctionne à Bertodasco (altitude de 1120 m).

Concernant la distribution saisonnière de la pluviosité, on peut affirmer que :

Le mois de *mai* présente la plus grande pluviosité mensuelle (160 mm) ainsi que le plus grand nombre moyen de jours de pluie (12). Les plus fortes valeurs cumulées de précipitations sont atteintes en trois ou quatre jours de pluie (jusqu'à 195 mm). *Juillet* est la période la plus sèche de l'année. *Septembre* est caractérisé par la formation de fortes averses de durée relativement limitée. En *octobre*, la moyenne mensuelle des précipitations est semblable à celle du mois de *mai* (155-160 mm); cependant, le nombre moyen de jours de pluie reste relativement limité.

Nivométrie

Le secteur instable s'étend sur une altitude allant de 1000 m à 1700 m. L'exposition sud du versant ainsi que l'altitude maximale atteinte par l'instabilité ne devraient pas permettre des conditions d'enneigement très supérieures à celles du fond de vallée. La valeur maximale d'enneigement enregistrée à Rosone est d'environ 1 m (février 1974). La valeur minimale est de 10 cm (hiver 1966), alors qu'en moyenne on atteint environ 35 cm. L'épaisseur 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 probabilité 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-Age. 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) dai 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'adouissant 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 micascistes 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.