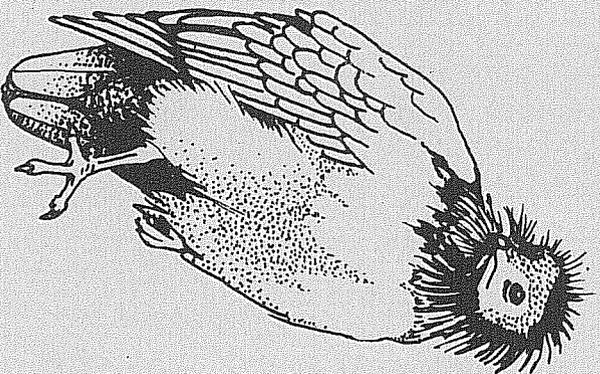


COMUNE DI BERGAMO

ASSESSORATO ALLA PUBBLICA ISTRUZIONE ED ATTIVITA' CULTURALI

RIVISTA
DEL
MUSEO CIVICO DI SCIENZE NATURALI « E. CAFFI »



VOL. 5° (1983)

MUSEO CIVICO DI SCIENZE NATURALI DI BERGAMO
Personale scientifico

Direttore: Dr. Mario Guerra (zoologia-vertebrati)
Conservatore: Dr. Anna Paganoni (geologia e paleontologia)
Preparatori : Dr. Alberto Bonacina (zoologia-invertebrati-
incarico regionale)
Giangaleazzo Giuliano (zoologia-vertebrati)
Giovanni Maffioletti (distaccato alla Sez.
di Geologia)
Marco Valle (zoologia-invertebrati)
Mario Pandolfi (paleontologia)
Dr. Rossana Pisoni (zoologia-invertebrati-
incarico regionale)
Addetta alla Segreteria: Adriana Guadalupi
Addetta alla Biblioteca: Carla Capitano

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO

Dipartimento Scienze della Terra - Sezione di geologia -
- Sezione di Bergamo -

Direttrice: Prof.ssa Maria Bianca Cita Sironi
Responsabile della Sezione: Prof.ssa Maria Bianca Cita Sironi
(ordinaria di geologia)

Collaboratore scientifico : Prof. Giorgio Pasquarè (ordinario
di geologia regionale)

Ricercatore universitario : dr.ssa Luigina Vezzoli
Collaboratore tecnico professionale CNR: dr. Sergio Chiesa
dr. Franco Forcella

Assistente tecnico professionale CNR : Giuseppe Fenilli

Dipartimento di biologia - Sezione staccata di Bergamo di Botanica
e Zoologia

Direttore: Prof. Giulio Lanzavecchia

Personale afferente:

Prof. Carlo Andreis - Prof. associato di Botanica

Dott. Graziella Rotondi - Conservatore dell'Erbario

Prof. Giovanni Vailati - Prof. associato di istologia ed Embriologia

Dott. Paola Chierici Magnetti - Ricercatore confermato presso il
dipartimento di Biologia

Rita Valle D'Adamo - Tecnico coadiutore.

FRANCO FORCELLA °

UN ECCEZIONALE ESEMPIO DI TETTONICA GRAVITATIVA DI VERSANTE: IL SACKUNG SVILUPPATO TRA IL M. PADRIO E IL M. VARADEGA, ALPI CENTRALI, ITALIA.

Key words: Gravity sliding, Slope stability, Morphology, Moraines, Neotectonics, Photogeological survey, Quaternary, Insubric Line, Italy, Central Alps.

Abstract: A wide gravitational collapse (*Sackung*) affects the steep sided ridge from Mount Padrio to Mount Varadega, that divides the upper Valtellina and the Valle Camonica in the Italian Central Alps. Such phenomenon gave rise to peculiar morpho-tectonic features in the studied area: 1) discontinuous sequences of uphill-facing scarps with the development of saw-toothed morphology along the northwestern slope of the water parting, 2) multiple wing-shaped ridges at the top of the water parting that delimited elongated depressions and pseudo-dolines, 3) open tension cracks, furrows and trenches due to the splitting of the rock mass.

These morphological features are the result of shear surfaces along which the gravitational gliding took place. This collapse is the widest among the numerous similar phenomena observed with the photogeological investigation of a wide part of the Central Italian Alps (Forcella *et al.* 1982). Such collapse probably is not older than Late-glacial (~14,000-10,000 years B.P.) since one of these shear surfaces cuts a moraine which is referred to this time interval.

Riassunto: Sul versante orografico sinistro della Valtellina, nel tratto delimitato in fondovalle dai paesi di Tirano e Grosio, e lungo il crinale montuoso dai monti Padrio e Varadega, si è sviluppato un esteso cedimento gravitativo del substrato roccioso che ha provocato la formazione di caratteristici lineamenti morfo-tettonici. Essi sono costituiti da serie discontinue di contropendenze lungo il versante valtellinese che conferiscono allo stesso un aspetto a dente di sega, da creste sommitali multiple disposte a quinta di teatro che delimitano depressioni allungate e pseudo-doline, da fessure di trazione beamti che testimoniano l'estensione subita dal corpo roccioso.

Queste caratteristiche morfologiche costituiscono l'espressione superficiale di superfici di scorrimento lungo le quali si è avuto il cedimento in esame. Esso è il più esteso fra i numerosi casi simili osservati nel corso dell'analisi fotogeologica di una vasta porzione delle Alpi centrali (Forcella *et al.*, 1982). Lo sviluppo di tale cedimento non è con tutta probabilità più antico del Tardo-glaciale (~14.000-10.000 anni fa) in quanto una superficie di movimento taglia depositi morenici riferibili a tale intervallo di tempo.

° Centro di Studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali del C.N.R., c/o Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università, via Mangiagalli n. 34, 20133 - Milano.

Introduzione

Nel corso di una recente indagine condotta da Forcella *et al.* (1982) vol₁ ta ad analizzare l'evoluzione neotettonica di un vasto tratto delle Alpi centrali è stata evidenziata una forte ricorrenza di collassi ed avvallamenti gravitativi lungo creste e pendii montuosi. L'area esaminata nello studio citato è di circa 5521 km² e copre il territorio italiano dei fogli topografici I.G.M.: Passo dello Spluga, Pizzo Bernina, Bormio, Chiavenna, Sondrio, Tirano, nonché limitate aree del territorio svizzero adiacente (fig. 1).

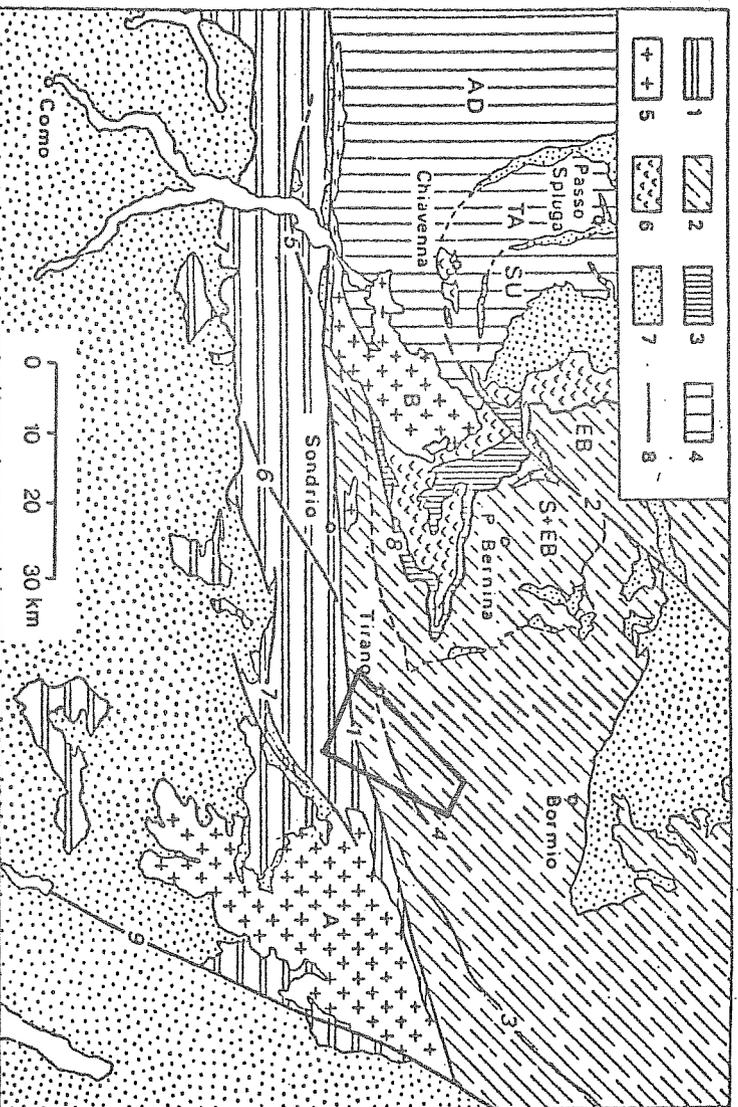


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale delle Alpi centrali. 1) Basamento cristallino delle Alpi Meridionali; 2) Nuclei cristallini delle unità Austroalpino (S: Sella e EB: Err-Bernina costituiscono l'Austroalpino inf., il resto è Austroalpino medio-sup. Auct.); 3) Falda Margna (Austroalpino inf. o Pennidico sup.?). 4) Nuclei cristallini delle unità Pennidiche (AD: Adula, TA: Tambò, SU: Suretta); 5) Massicci intrusivi alpini (A: Adamello, B: Mâsino-Bregaglia); 6) Complessi ofiolitici; 7) Coperture sedimentarie; 8) Faglie e sovrascorrimenti principali (1: Linea Insubrica; 2: Linea dell'Engadina; 3: Linea di Peio; 4: Linea del Mortirolo; 5: Linea di Musso; 6: Linea del Porcile; 7: Linea Orbica; 8: Sovrascorrimento Austridi-Pennidi; 9: Linea delle Giudicarie). Il riquadro nei pressi di Tirano delimita l'area esaminata in questa nota.

La fenomenologia in questione ricorre in 70 casi coinvolgendo un'area totale di circa 124 km², che rappresenta il 2,25% del territorio esaminato. Nella maggior parte dei casi ogni singolo avvallamento coinvolge una area di uno o pochi km, un caso emerge però tra tutti per la vastità dell'area interessata dal cedimento: si tratta del fianco orografico sinistro della Valtellina nel tratto compreso tra il M. Varadega, Cima Verda e il

M. Pagrio. L'area interessata da questo cedimento si può stimare tra 23 e 31 km e rappresenta quindi da sola il 25% circa dell'area totale interessata da tale fenomeno nell'ambito del territorio considerato.

Tralasciando la citazione di studi petrografici condotti a scala più regionale, quest'area è stata indagata con finalità geologico-tecniche da Bonsignore e Ragni (1967) e Della Torre e Scesi (1979), anche in vista di un possibile traforo stradale, denominato traforo del Mortirolo, per il collegamento diretto tra la Valtellina e la Val Camonica, evitando il passo dell'Aprica. Nessuno degli studi anzidetti ha però minimamente messo in luce il cedimento di versante in atto che rappresenta, ad avviso dello scrivente, la caratteristica morfo-structurale saliente dell'area, con possibilità di ripercussioni negative sulle progettate opere stradali.

Cenni sui cedimenti ed avvallamenti gravitativi

Si tratta di estese deformazioni che interessano crinali e versanti montuosi a causa della forza di gravità, in zone caratterizzate da alta energia del rilievo, in zone cioè ove una rapida variazione del livello di base dell'erosione, accompagnata da energica erosione, ha provocato l'incisione di profonde valli. Queste caratteristiche morfologiche ricorrono in modo specifico nelle catene montuose di recente sollevamento ed è da queste zone che provengono principalmente gli esempi segnalati in letteratura in questi ultimi anni.

Il fenomeno si esplica con la formazione di un reticolato di faglie o con la deformazione del corpo roccioso in modo continuo; la forma dei piani di faglia è per lo più a badile e lo spostamento relativo è di tipo normale, esse si accompagnano sovente a fratture di trazione che determinano solchi beanti e trincee naturali. Nel caso più tipico si individualizza un piano di scivolamento, o un gruppo di piani tra loro vicarianti, posti in prossimità della cresta montuosa, o immediatamente alle spalle di essa, lungo il quale (i quali) si ha il cedimento di maggior entità. Tale piano (piani) ha una giacitura conforme a quella del pendio interessato dal movimento, rispetto al quale risulta quindi a franapoggio. In molti casi lo scivolamento può localmente determinare una caratteristica forma bifida della cresta, nel caso vi siano più piani fra di loro vicarianti la cresta può mostrare altrettante ripetizioni (fig. 2). Il movimento lungo il piano (i piani) di scivolamento è dell'ordine di qualche decina di metri fino al centinaio di metri; secondo Nemcok (1972) la deformazione può propagarsi alla profondità di 250-300 m dal piano di campagna.

Un secondo gruppo di piani di movimento si sviluppa a valle del gruppo precedente, sul pendio interessato dal movimento; essi hanno una giacitura contraria rispetto al pendio stesso e a quello del piano o piani principali. Il movimento di cedimento determina sul pendio una serie di contropendenze che conferiscono al versante un aspetto a dente di sega. Lungo ognuno di questi piani il movimento è dell'ordine di pochi metri, fino alla decina di metri. Questo secondo gruppo di piani si comporta come faglie antitetiche delle precedenti, unitamente alle quali delineano un graben asimmetrico.

Il fenomeno è stato denominato *Sackung* (Insaccamento) da Zischinsky (1966, 1969) e *Gravitational spreading* (dilatazione gravitativa [di versante]) da Radbruch-Hall *et al.* (1976). I movimenti connessi a tale fenomeno

sono per lo più lenti (pochi mm o cm per anno), ma possono, in determinate situazioni di giacitura dell'ammasso roccioso, passare repentinamente ad un movimento rapido dell'intero versante. Un caso di questo tipo si è verificato nel 1963 sul versante del M. Toc (Valle del Vaiont) con le ben note conseguenze e perdite in vite umane.

L'evolversi del fenomeno determina un progressivo abbassamento della linea di cresta ed un corrispondente rigonfiamento del versante montuoso per scorrimento lungo i suddetti piani di discontinuità. In letteratura sono descritti esempi di tale fenomenologia in varie situazioni geologiche e geografiche; una vasta casistica è illustrata da Radbruch-Hall (1978).

Inquadramento geologico dell'area esaminata

L'area presa in considerazione in questa nota è ubicata sul versante orografico sinistro del F. Adda, nel tratto compreso tra Tirano e Grosio, verso est e sud-est essa è delimitata dal crinale spartiacque tra la Valltellina e le valli tributarie del F. Oglio, nel tratto compreso tra il M. Padrio e il M. Varadega (riquadro della fig. 1). Tale area è situata immediatamente a nord della Linea Insubrica che, con decorso MSW-ENE, separa il basamento cristallino delle Alpi Meridionali, localmente rappresentato dagli Scisti di Edolo, da varie unità metamorfiche di pertinenza austroalpina, raggruppate nel Cristallino del Tonale e nella Formazione di Valle Grosina (Gorla e Potenza, 1975); a quest'ultima formazione gli autori citati attribuiscono molti dei litotipi cartografati come Formazione della Punta di Pietra Rossa nel foglio geologico 19-Tirano (I° ed., 1969). Nell'area sono pure presenti graniti e dioriti riferiti dal suddetto foglio geologico al ciclo magmatico alpino.

Gli andamenti strutturali alpini sono diretti in senso grosso modo MSW-ENE, essi sono sottolineati sia dal decorso della Linea Insubrica, della Linea del Mortirolo e della Linea di Peio, sia dall'andamento regionale dei piani di scistosità e dei contatti tra le diverse formazioni o membri delle stesse. Nell'indagine condotta da Forella *et al.* (1982) è stato inoltre evidenziato un gruppo di discontinuità aventi orientazione WNW-ESE che tagliano le strutture precedenti; esse sono sottolinate dalle aste torrentizie tributarie del T. Oglio che risultano fortemente angolate rispetto alla massima pendenza del versante e del tutto svincolate dall'andamento della scistosità. Esse si possono seguire anche sul versante Valtellinese, sebbene qui appaiano in modo meno evidente. Data la loro orientazione esse possono inquadrarsi nel sistema di discontinuità neotettoniche causate dal campo di stress attualmente attivo nelle Alpi, agente, secondo Ahornér (1975), nella direzione di $142^\circ + 20^\circ$.

Un sistema di faglie ricollegabili a quelle citate, ma tracciate con direzione diversa (tra NW-SE e NNW-SSE), sono citate da Scesi e Della Torre (1979) che attribuiscono loro un'età tardo-post-alpina "in gran parte responsabile dell'evoluzione geomorfologica recente dell'area indicata".

Da un punto di vista morfologico l'area in esame è caratterizzata da un ripido versante che collega il fondo valle (q. 400 - 600 m) e le quote di 1800 - 1900 m; a quote superiori il pendio diventa meno ripido, ed in corrispondenza dello spartiacque valtellinese-camuno si hanno rilievi blandamente ondulati, talvolta organizzati in creste allungate trasversalmente al decorso dello spartiacque principale (es.: Motto della Scala, Dosso S. Giacomo), separate da ampie selle e vasti pianalti che si estendono per

alcuni km² ciascuno. Il decorso di tali creste potrebbe essere determinato dal sistema di faglie recenti sopra ricordato.

L'area è inoltre caratterizzata da peculiarità morfo-tettoniche quali creste multiple, separate da depressioni allungate o equidimensionali (pseudodoline), particolarmente evidenti in corrispondenza dei passi di Varadega (fig. 2) e di Guspessa, da serie di contropendenze che solcano il versante valtellinese (fig. 6) e da fessure di trazione che determinano trincee naturali (fig. 5). Le forme pseudo-carsiche sono state riferite principalmente alla presenza di estese lenti carbonatiche da Scesi e Della Torre (1979); è invece opinione dello scrivente che queste, come le altre morfo-strutture citate, costituiscano l'espressione superficiale più tipica della fenomenologia legata al cedimento gravitativo.

Le morfo-strutture legate al cedimento del versante

Le morfo-strutture sopra citate sono state evidenziate dapprima con la analisi fotogeologica di dettaglio di fotogrammi alla scala 1/18.000 circa, in un secondo tempo sono state parzialmente esaminate sul terreno. La tipologia incontrata, e la distribuzione rispetto all'orografia (fig. 7), riflette gli schemi più consueti secondo i quali tali cedimenti si sviluppano. Un gruppo di piani di scioglimento è attestato in prossimità del crinale montuoso, e ne segue l'ampia curvatura planimetrica. Un secondo gruppo di piani di movimento è scaglionato in modo discontinuo a varie quote lungo il versante valtellinese, ove determina contropendenze. Per questo secondo gruppo l'esame di terreno non ha potuto aggiungere nulla a quanto evidenziato dalle foto aeree a causa della forte copertura vegetale esistente a quote inferiori a 1800 m.

Per quanto riguarda i piani di scioglimento siti in prossimità delle creste le prime chiare fenomenologie iniziano in corrispondenza del passo di Varadega. Provenendo dalla strada militare che risale la valle di Varadega, in prossimità del passo omonimo, si nota dapprima una serie di modesti gradini che ribassano il piano di campagna verso ovest, ciascuno di 2-3 m; ad essi sono spesso associate fratture beanti che determinano trincee naturali con aperture di alcuni decimetri. Più ad ovest il crinale spartiacque è articolato in una serie di creste che delimitano depressioni allungate intermedie (fig. 2), il massimo dislivello relativo tra sommità delle creste e depressioni è di circa 30 m; infine una nuova sequenza di gradini, simili ai precedenti, prelude all'inizio della ripida discesa del versante verso la Valtellina.

In direzione nord la serie di creste e gradini citati perde rapidamente la propria importanza e sembra esaurirsi nell'ambito delle alte pendici occidentali del M. Varadega; in direzione sud invece il sistema di piani di scioglimento prosegue ai piedi del crestino roccioso che collega il passo al M. Resverde. Esso determina, ai piedi del crestino, un ripiano strutturale dell'ampiezza di oltre 100 m profondamente inciso dall'erosione e tormentato da discontinuità minori, oltre il quale il versante torna a precipitare rapidamente verso la Valtellina. Il sistema di faglie risale in seguito verso la sommità del M. Resverde, che risulta sdoppiata (punti quotati 2346 e 2347 m rispettivamente). Da questo punto i piani di scioglimento deviano piuttosto bruscamente in direzione SW, conformemente all'andamento del crinale montuoso.

Poco a nord del passo del Mortirolo essi tagliano un deposito morenico riferito al Tardo-glaciale (\sim 14.000-10.000 anni fa). Tale deposito è formato da blocchi di natura gneissica di dimensioni da decimetriche a metri che, senza matrice fine interstiziale; il piano di movimento vi incide un profondo solco a V, chiaramente incompatibile con normali processi erosivi in depositi incoerenti aventi tali caratteristiche tessiturali. Nello antistante dosso quotato 2003 m sono state osservate parecchie fessure di trazione variamente orientate con apertura fino a 1-2 m.

Tra i passi del Mortirolo e della Foppa i piani di scioglimento determinano rotture di pendio particolarmente evidenti, anche se ormai completamente inerbite. Tutto l'ammasso roccioso posto a valle è scomposto da fessure di trazione beanti (*) la cui direzione prevalente è attorno a 340°; l'apertura varia tra il decimetro e circa 2 m, le più ampie tendono ad essere più rapidamente obliterate a causa del riempimento detritico alimentato dalle pareti. A sud del passo della Foppa i piani di discontinuità risalgono il versante occidentale di Cima Verda e Cima Cadi ed è in questa zona che l'entità dello scioglimento raggiunge il valore più elevato, stabile in parecchie decine di metri. In prossimità della sella tra Cima Verda e Cima Cadi pinnacoli isolati delimitano verso monte depressioni pseudo-carsiche.

Procedendo verso sud il piano di scioglimento scende verso la località "Il Boschetto" ove, la relativa vicinanza di un gruppo di faglie antitetiche, determina una accentuata e vasta depressione; il dislivello relativo tra il fondo della depressione ed il ciglio del versante valtellinese è di circa 40 m. In seguito il piano di scioglimento risale verso la sommità del Motto Alto ove determina una scarpata con dislivello di circa 20 m (Fig. 3), essa delimita al suo piede un vasto ripiano erboso dell'ampiezza di 300-400 m, debolmente inclinato verso monte, al limite tra questo ripiano e la parete della scarpata si sviluppano depressioni allungate e pseudo-doline che in Fig. 3 risultano sottolineate dalla presenza di chiazze nevose.

Nell'ampio vallone che separa le creste del Motto della Scala e Dosso S. Giacomo, e lungo quest'ultimo, si osserva il maggior addensamento di gradini morfo-strutturali e di fessure di trazione di tutta l'area investigata (figg. 4, 5, 6). Le scarpate che essi determinano sono in questa zona invariabilmente rivolte verso sud-est e delimitano ripiani inclinati verso nord-ovest. Il gradino connesso ai singoli piani di discontinuità varia tra un massimo di 5-6 m (a in figg. 4 e 5) ed il metro (c e c' in fig. 4). I piani di discontinuità maggiori scendono anche lungo il versante valtellinese determinandovi marcate contropendenze (b e b' in figg. 4, 5, 6). Le discontinuità citate mostrano due direzioni prevalenti: 1) tra E-W e MNW-ESE, 2) tra NE-SW e NNE-SSW, in questa seconda direzione si allineano prevalentemente le fessure beanti, la cui apertura raggiunge l'ampiezza di 1-2 m, la profondità osservabile è assai modesta in quanto il fondo è lastriato dai detriti alimentati dalle pareti. Le scarpate dei singoli gra

(*) Trincee militari esistenti in zona chiariscono immediatamente, anche al profano, le diversità morfologiche che vi sono tra le trincee artificialmente scavate e trincee naturali dovute a fessure di trazione di un corpo roccioso rigido. Nel secondo tipo non si ha produzione di materiali di scavo ed i margini sono spesso talmente simmetrici che ne evidenziano il precedente incastro.

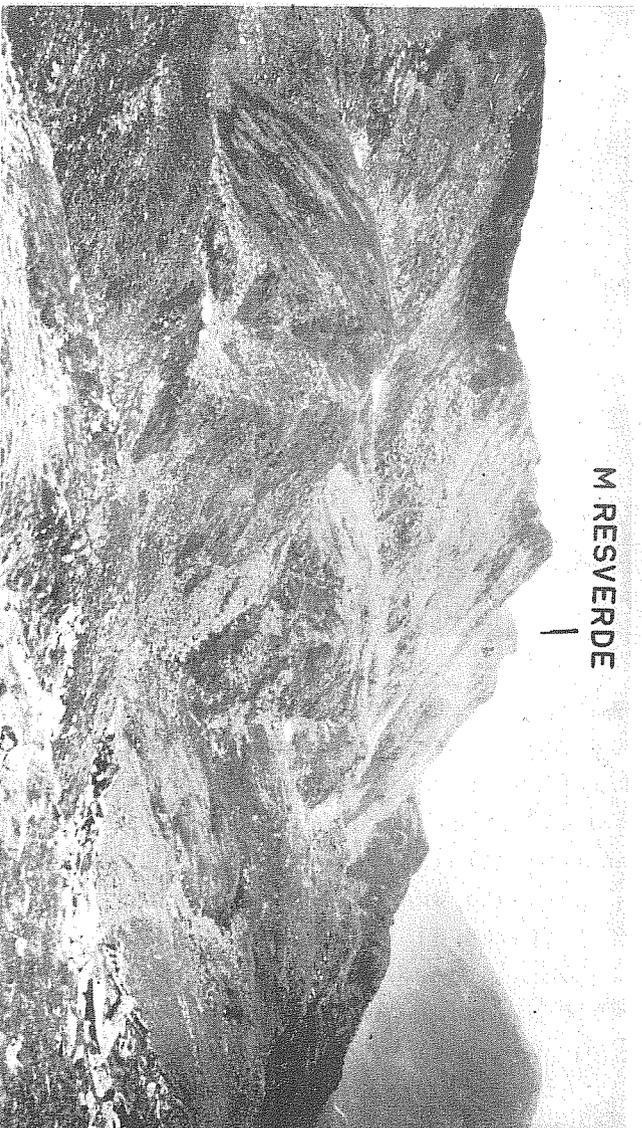
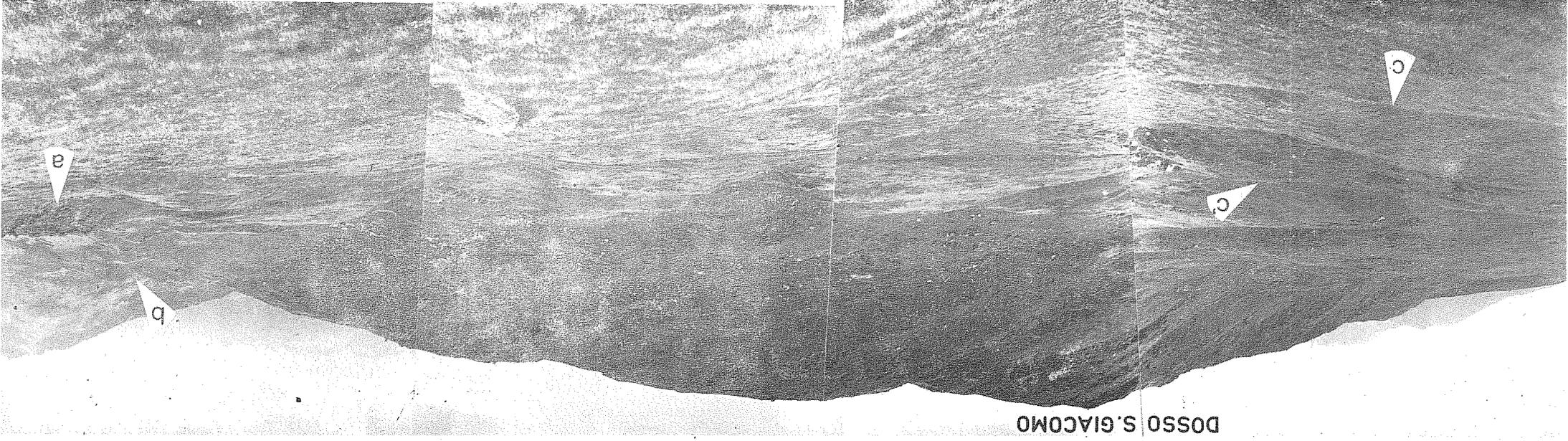


Fig. 2 - Zona tra il passo di Varadega e il M. Resverde. La paretina osservabile immediatamente sotto il crinale costituisce l'espressione morfologica del piano di scioglimento principale che delimita ai suoi piedi un ripiano strutturale debolmente inclinato verso monte; nei dettagli esso risulta tormentato da creste e depressioni allungate dovute alla presenza di piani vicarianti del precedente. Nella zona del passo di Varadega (in primo piano) lo spartiacque risulta così caratterizzato da una serie di creste multiple.



Fig. 3 - La scarpata morfologica determinata dal movimento lungo il principale piano di discontinuità nei pressi di Dosso Alto (~6 km a sud del M. Resverde). Anche in questa zona alla base della scarpata vi è un ripiano debolmente inclinato verso monte dovuto alla rotazione del blocco roccioso instabile, esso è solcato da depressioni allungate sottolineate da chiazze nevose.



DOSSO S. GIACOMO

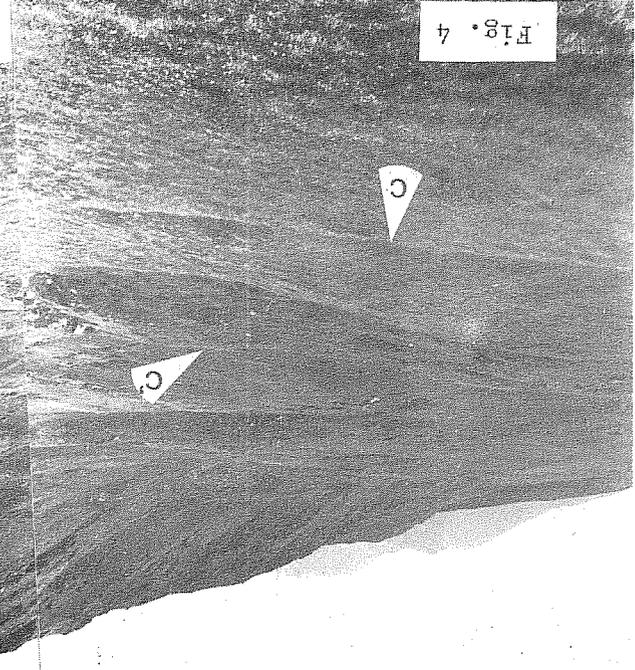


Fig. 4

Fig. 4,5,6 - La fig.4 costituisce una panoramica del Dosso S.Giacomo (foto R.Potenza), le fig. 5 e 6 illustrano parti colari della precedente. Sono visibili alcune delle discontinuità morfo-tettoniche che in questa zona raggiungono la più alta densità osservata in tutta l'area esaminata. Con a è indicata una discontinuità che determina una scarpata dell'altezza di 5-6 m rivolta verso i quadranti meridionali. Con a' sono indicate vicarianti di questa, esse sono spesso associate a trincee naturali con apertura fino a 1-2 m. Lungo il crinale settentrionale di Dosso S.Giacomo tali discontinuità determinano contropendenze (b e b') che si seguono per un certo tratto del versante valtellinese. Con c e c' sono indicate altre discontinuità minori che solcano la sella che separa Dosso S.Giacomo da Motto della Scala. Con d è indicata in fig. 6 un'altra contropendenza che interessa il versante valtellinese.



Fig. 5

DOSSO S. GIACOMO



Fig. 6

dini sono rivolte verso i quadranti meridionali, questo suggerisce di ascrivere i relativi piani di discontinuità al gruppo di faglie antitetiche, che altrove si sviluppano a quote inferiori sul versante valtellinese.

Non è stata riconosciuta in questa zona la traccia dei piani di discontinuità immersi verso la Valtellina, molto ben evidenti immediatamente a nord e a sud-ovest. Da malga Troena verso SW i piani di scivolamento immersi verso la Valtellina tornano ad essere ben evidenti, ed in prossimità del passo di Guspessa e del rifugio determinano nuovamente creste e rilievi isolati disposti a quinta di teatro, che delimitano valloncelli intermedi e pseudo-doline.

L'analisi delle foto aeree suggerisce chiaramente la prosecuzione della fenomenologia fin qui osservata anche ad ovest della Valchiusa, fin nei pressi della località "i Canali". Un elemento di incertezza è rappresentato dalla coincidenza, in questa zona, delle discontinuità morfologiche con la direzione dei contatti tra litotipi a diversa erodibilità e di discontinuità tettoniche di probabile età alpina. La forte copertura di sottobosco, che caratterizza queste zone meno elevate, non permette efficaci e risolutive osservazioni di terreno.

Tuttavia in due punti è stato possibile raccogliere prove di cedimento di versante. Al margine superiore della zona in rapida erosione in atto nello impluvio della Valchiusa si osservano alcuni fronti arcuati di cedimento, al piede dei quali si nota una morfologia ascrivibile alla presenza di substrato roccioso disarticolato. Tre km ad WSW del punto precedente, a q. 1550 m, è visibile, su un fronte di 30-40 m, una trincea naturale dell'ampiezza di circa 8 m, l'ammasso roccioso è aperto parallelamente alla giacitura della fogliazione. Lateralmente tale trincea evolve a semplice rottura di pendio delimitata da una scarpata rivolta verso la Valtellina lungo la quale la roccia è visibilmente disarticolata, essa delimita verso valle un piccolo ripiano debolmente contropendente.

E' opinione dello scrivente che tali evidenze siano inquadrabili nel contesto del *Sackung*₂ sviluppato a scala regionale. Esso coinvolgerebbe quindi un'area di 31 km sviluppandosi su un fronte di 15 km.

Considerazioni conclusive

Il presente studio non ha la pretesa di essere esaustivo della problematica connessa al vasto cedimento gravitativo illustrato, questioni ancora aperte evidenziano l'opportunità dell'approfondimento degli studi nell'area esaminata.

Come per altri casi analoghi è materia di dibattito se l'inesco o l'evoluzione del fenomeno possa essere stato favorito da forte attività sismica, magari in connessione a movimenti neotettonici lungo la vicina Linea Insubrica. La effettiva attività neotettonica di questa faglia è ancora controversa, sostenuta da Gupta (1977), è stata negata da Pavoni (1979) e da Forcella *et al.* (1982) per il tratto da loro esaminato. Risulta inoltre che tale faglia sia stata oggetto di indagini di dettaglio per conto dell'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica ai fini dell'accertamento della sua eventuale attività neotettonica (E.N.E.L., 1981); non sono però stati per il momento resi pubblici i risultati di questa indagine.

La sismicità storica in tale settore delle Alpi centrali non appare particolarmente intensa, nel settore settentrionale della Regione Lombardia non sono segnalati terremoti di intensità superiore al VII° della scala MCS (Beloni, 1973), nel settore svizzero immediatamente adiacente non sono segnalati terremoti di intensità superiore al VII° della scala MSK (Pavoni e Mayer-Rosa, 1978). Se tali dati sono estrapolabili anche ai millenni precedenti il collegamento di tale fenomenologia alla sismicità non riceve particolare supporto.

Tenendo conto che le superfici di scioglimento sono in gran parte slegate sia dai contatti litologici di rocce a diversa competenza, sia da discontinuità tettoniche d'età alpina, tardo-alpina o recente e che esse si dispongono invece subparallelamente al decorso del crinale montuoso, si può tentativamente avanzare l'ipotesi che esse siano connesse al rilascio del versante sia per l'approfondirsi dell'erosione, sia per il venir meno della spinta laterale delle lingue glaciali precedentemente presenti nelle valli.

Anche Jäckli (1965) attribuisce le contropendenze, frequentemente osservabili sui fianchi delle valli alpine, a riaggiustamento isostatico conseguente alla deglaciazione; il movimento assoluto suggerito da questo autore sarebbe però contrario a quello qui ammesso: non sarebbero le creste e i fianchi montuosi a crollare, bensì sarebbero gli assi vallivi a subire un "glacio-isostatic uplift, caused by the unloading of the valley bottoms after the melting of the thick valley glaciers".

Il *Sackung* ha un'estensione considerevole, che supera di gran lunga i numerosi fenomeni simili osservati in una vasta area adiacente. Questi ultimi sono di dimensioni paragonabili ai casi illustrati dalla letteratura nota allo scrivente, cioè coinvolgono un'area tra <1 e pochi km². Interrogativi ancora aperti riguardano la dinamica del cedimento: 1) se esso sia avvenuto simultaneamente su tutto il fronte o se sia il risultato di cedimenti distinti e successivi, ora fusi su un unico fronte; 2) se il movimento lungo le superfici di scioglimento sia avvenuto in modo continui (*fault creep*) o per strain

incrementali finiti (*stick slip*), meccanismo quest'ultimo potenziale generatore di sismi a bassa energia; 3) l'eventualità che il movimento sia ancora attivo in qualche settore.

Per quanto riguarda il punto 1) è opinione dello scrivente che il *Sackung* nel suo complesso rappresenti la fusione di epidodi distinti, anche se ravvicinati nel tempo; questa conclusione sembra avvalorata dal fatto che sciami di superfici di discontinuità si intersecano con angoli vicini a 90° nei pressi del lago di Mortirolo, e che nella zona di Dosso S. Giacomo le superfici immerse verso la Valtellina si interrompono e vengono sostituite da uno sciamone di più modeste superfici immerse verso la valle del T. Ogliolo. Per quanto riguarda il punto 3) una risposta oggettiva può essere data solo con ripetute misurazioni topografiche di precisione e con la messa in opera di sensori, protraendo le osservazioni per un tempo considerevole.

Anche se dissesti franosi di limitata estensione sono avvenuti lungo il versante valtellinese interessato dal *Sackung* (Bonsignore e Ragni, 1967), si può tuttavia escludere che esistano le premesse strutturali che un setto, o una parte dell'ammasso roccioso instabile, possa accelerare il proprio movimento, passando a scivolamento repentino in massa sul tipo dello evento accaduto nella valle del T. Vaiont.

Fig. 7 - Ubicazione delle discontinuità che caratterizzano il *Sackung*.

1) Piani di discontinuità lungo i quali il cedimento ha avuto luogo, i tratti indicano il lato ribassato, lo spessore della linea è proporzionale all'altezza della scarpata morfologica che essi determinano. 2) Lineamenti con prevalente orientazione NW-SE, tracciati con l'analisi fotografica e probabilmente riferibili ad attività neotettonica. 3) Coperture di vario tipo: morene, detriti di falda, coni di detrito, depositi palustri e torbosi (i limiti tra le coperture e le zone con roccia affiorante sono stati desunti da Scesi e Della Torre, 1979). 4) Roccia affiorante. 5) Alluvioni di fondovalle recenti e attuali. 6) Principali coni di deiezione. 7) Principali depressioni pseudo-carsiche. 8) Traccia delle sezioni altimetriche disegnate nel riquadro sovrastante.

Bibliografia

- AHORNER L. (1975) - Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault in Central Europe. *Tectonophysics*, 29, 233-249.
- BELLONI S. (1973) - Terremoti. *Annuario Ecol. Lombardo*. Gruppo Terra. Rapporto di avanz. n. 4 (Alluvioni e Terremoti). Milano.
- BONSIGNORE G., RAGNI U. (1967) - Studio di alcuni movimenti franosi nella media Valtellina (Alpi Retiche). Vol. di 49 pag., "La Tipografica". Varese.
- E.N.E.L. (1981) - Elementi di Neotettonica del Territorio Italiano. Relazione ed allegati cartografici alla scala 1:500.000. *Litografia Artistica Cartografica*. Firenze.
- FORCELLIA F., GALLIAZZI D., MONTRASIO A., NOTARPIETRO A. (1982) - Note illustrative relative all'evoluzione neotettonica dei fogli 6-Passo dello Spluga, 7-Pizzo Bernina, 8-Bormio, 17-Chiavenna, 18-Sondrio, 19-Tirano. In: *Contributi conclusivi per la realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*. Publ. n. 513 del Prog. Finalizzato Geodinamica, 239-288.
- GORLA L., POTENZA R. (1975) - La "Formazione della Punta di Pietra Rossa" Auct.: revisione del suo significato nel contesto geologico delle Alpi centrali. *Boll. Soc. Geol. It.*, 94, 177-183.
- GUPTA R.P. (1977) - Delineation of active faulting and some tectonic interpretation in the Munich-Milan section of the eastern Alps. *Use of Landsat-1 and -2 Imagery. Tectonophysics*, 38, 297-315.
- JACKLI H.C.A. (1965) - Pleistocene Glaciation of the Swiss Alps and Signs of Postglacial Differential Uplift. *The Geol. Soc. of America, Special Paper*, 84, 153-157.
- NEMČOK A. (1972) - Gravitational Slope Deformation in High Mountains. *Proc. 24th Int. Geol. Congr. Montreal*, sect. 13, 132-141.
- PAVONI N. (1979) - Investigation of Recent Crustal Movements in Switzerland. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 59, 117-126.
- PAVONI N., MAYER-ROSA D. (1978) - Seismotektonische Karte der Schweiz 1:750.000. *Eclogae Geol. Helv.*, 71, 293-295.
- RADBRUCH-HALL D.H. (1978) - Gravitational creep of rock masses on slopes. In: *Rocksloides and Avalanches, 1 Natural Phenomena*, 607-657. Elsevier Sc. Publ. Co., Amsterdam.
- RADBRUCH-HALL D.H., VARNES D.J., SAVAGE W.Z. (1976) - Gravitational Spreading of Steep-sided Ridges ("Sackung") in Western United States. *Int. Ass. Eng. Geol. Bull.*, 14, 23-35.
- SCESEI L., DELLA TORRE P. (1979) - Osservazioni geologiche sulla zona di spartiacque Valtellina-Val Camonica tra Trivigno e il Monte Varadega (Lombardia-Italia). *Le Strade*, 81, "La Fiaccola" ed., Milano.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) - Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 19-Tirano e relative Note Illustrative. Roma.
- ZISCHINSKY Ü (1966) - On the deformation of high slopes. *Proc. 1st Conf. Int. Soc. Rock Mech.*, Lisbon, 2, 179-185.
- ZISCHINSKY Ü (1969) - Über Sackungen. *Rock Mech.*, 1, 30-52.

