

CESARE RESNATI (*) & CLAUDIO SMIRAGLIA (**)

DETERMINAZIONE DELLA STRUTTURA INTERNA DEL ROCK GLACIER DI VAL PISELLA (ALTA VALTELLINA) ATTRAVERSO SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI. RISULTATI E PROBLEMI

Abstract: RESNATI C. & SMIRAGLIA C., *Structure determination of the Val Pisella Rock Glacier (Upper Valtellina, Italy) by means of geoelectrical soundings. Results and problems* (IT ISSN 0391-9838, 1990).

Some electrical resistivity surveys were performed on the Val Pisella Rock Glacier (Upper Valtellina, Italy) in the summer of 1989; the main objectives were to detect ice and to determine its nature. All the survey shown high values of resistivity (more than 100 000 Ω m with a maximum around 1 000 000 Ω m). According to these results the rock glacier contains permafrost in the form of an ice-cemented core of varying ice content; the maximum permafrost thickness is around 5 m. Therefore the rock glacier can be considered an ice-cemented one.

KEY-WORDS: Rock glacier, Geoelectrical sounding, Periglacial morphology, Valtellina (Alps, Italy).

Riassunto: RESNATI C. & SMIRAGLIA C., *Determinazione della struttura interna del rock glacier di Val Pisella (Alta Valtellina) attraverso sondaggi elettrici verticali. Risultati e problemi* (IT ISSN 0391-9838, 1990).

Durante l'estate 1989 è stata effettuata una serie di sondaggi elettrici di resistività sul *rock glacier* di Val Pisella (Alta Valtellina) per determinarne la struttura interna, in particolare accertare la presenza e il tipo di ghiaccio. In tutti i sondaggi si sono incontrati valori superiori a 100 000 Ω m con un massimo che sfiora i 1 000 000 Ω m. Tenendo conto che in letteratura valori di resistività superiori a 25 000 Ω m vengono considerati indicatori di strati gelati, nel *rock glacier* sono sicuramente presenti strati di *permafrost* da molto ricco a moderatamente ricco di ghiaccio. Lo spessore del *permafrost* varia da circa un metro a circa 5 m, mentre il detrito superficiale non gelato presenta spessori da pochi decimetri a quasi 7 m.

TERMINI CHIAVE: Rock glacier, Sondaggio geoelettrico, Morfologia periglaciale, Valtellina (Alpi).

INTRODUZIONE

I *rock glacier* sono forme di accumulo costituite da colate di detrito contenenti ghiaccio interstiziale e ghiaccio in lenti, frequenti alle alte quote sui versanti montuosi delle regioni temperate e a quote minori alle latitudini più elevate. Descritti sin dall'inizio del nostro secolo, sono divenuti uno degli argomenti di studio più interessanti e dibattuti della morfologia periglaciale (DRAMIS & SMIRAGLIA, 1986).

In Italia, a parte alcuni lavori pionieristici di HERMANN (1925), NANGERONI (1928; 1929) e CAPELLO (1947; 1959), l'interesse per i *rock glacier* si è manifestato in tempi recenti soprattutto nell'ambito delle ricerche programmate dal Gruppo Nazionale CNR «Geografia Fisica e Geomorfologia». Si sono osservate e descritte numerose forme (SMIRAGLIA, 1985; GRUPPO NAZ. GEOGR. FIS. GEOM. 1987), si è iniziata la raccolta dei dati per un catasto dei *rock glacier* delle Alpi Italiane (CARTON & alii, 1988) e per un'analisi delle relazioni fra *rock glacier* attivi e parametri climatici (BELLONI & alii, 1988).

AREA DI STUDIO

La Val Pisella costituisce un vallone secondario sospeso sulla Valfurva (Alta Valtellina), nella quale si innesta con direzione Nord-Sud (fig. 1). Il settore superiore è inciso da due circhi glaciali, delimitati da una linea di cresta che oscilla fra 2 920 m (Sasso della Manzina), 3 240-3 247 m (Cime dei Forni) e 3 054 m (Monte dei Forni). Nei circhi sono localizzati tre *rock glacier* già segnalati e descritti da SMIRAGLIA (1985). Il più vasto come dimensioni e il più complesso dal punto di vista morfologico è quello contenuto nel circo orientale (fig. 2). Presenta una tipica forma «a lingua» che si allunga in direzione Nord-Sud per circa 500 m, arrestandosi a 2 840 m con una ripida fronte (37° di inclinazione). Nel settore inferiore del corpo detritico, costituito in superficie da blocchi spigolosi anche di più metri cubi, si individuano strutture regolari trasversali (rughe arcuate e concentriche con la conves-

(*) GEOPLAN, Via C. Rota 39, Monza (Mi).

(**) Cattedra di Geografia dell'Università di Pescara.

Ricerca effettuata nell'ambito dei programmi della Sezione «Glaciologia» del Gruppo Nazionale CNR «Geografia Fisica e Geomorfologia» con i fondi del Progetto «Morfogenesi glaciale e periglaciale in rapporto all'ambiente climatico e alle sue variazioni», (Resp. G. ZANON). Si ringraziano l'AEM di Milano, che ha fornito l'elicottero, il Parco Nazionale dello Stelvio, per il supporto logistico, il prof. G. OROMBELLI per la lettura critica del testo. Lavoro pubblicato con contributo CNR AI91.00947.05 come allegato alla guida all'escursione dell'International Workshop of the International Permafrost Association «Permafrost and Periglacial Environments in Mountain Area», Interlaken 1991.

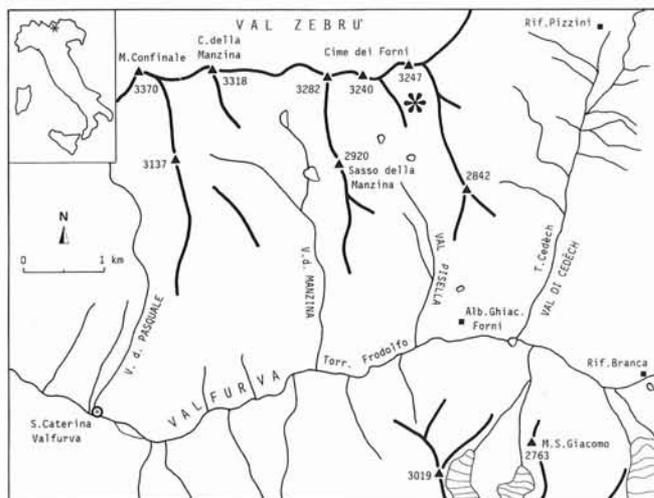


FIG. 1 - Localizzazione del *rock glacier* orientale di Val Pisella (asterisco) in Alta Valtellina.

sità rivolta verso valle); nel settore superiore si osservano strutture longitudinali (creste e solchi). Su questo *rock glacier*, nell'ambito di uno *stage* organizzato dalla Sezione «Glaciologia» del Gruppo Nazionale CNR «Geografia Fisica e Geomorfologia», sono stati compiuti rilievi ed osservazioni sui lineamenti morfologici, sui caratteri sedimentologici, sulla copertura lichenica, sui parametri fisico-chimici delle acque emergenti dal *rock glacier* (GRUPPO NAZ. GEOGR. FIS. GEOM., 1987). Ripetuti rilievi topografici hanno confermato l'attività del *rock glacier*, ipotizzata in base a considerazioni morfologiche, altimetriche e vegetazionali; si è infatti misurata una velocità superficiale massima di 40 cm nel settore centrale della colata, decrescente verso i bordi e verso la fronte (SMIRAGLIA, 1989).



FIG. 2 - Il *rock glacier* orientale di Val Pisella. Si osservi la ripida fronte con il materiale più fine affiorante nel suo settore intermedio e i grossi blocchi che costituiscono lo strato superficiale della colata (foto C. SMIRAGLIA).

FINALITÀ E METODOLOGIE DELLA RICERCA

Lo scopo di questa ricerca è stato la determinazione della struttura interna del *rock glacier* di Val Pisella, per ottenere indicazioni sulla presenza del ghiaccio all'interno del corpo detritico, sullo spessore del detrito grossolano superficiale e dell'intera colata, sul tipo di ghiaccio contenuto (*permafrost* o ghiaccio di ghiacciaio) e sui suoi parametri geometrici. Dati gli elevati costi e la notevole complessità di perforazioni sui *rock glacier*, derivanti soprattutto dalla copertura superficiale di grandi blocchi rocciosi (HAEBERLI, 1990 a), sono stati utilizzati metodi geofisici, in particolare geoelettrici. Si tratta di sondaggi elettrici verticali (S.E.V.) mai sperimentati in Italia su *rock glacier*, ma che in esperienze compiute negli altri Paesi si sono rivelati soddisfacenti e hanno fornito valide indicazioni sulla struttura dei *rock glacier* (FISCH & alii, 1977; KING & alii, 1987; EVIN & FABRE, 1990; FABRE & EVIN, 1990).

Il principio fisico è quello di esaminare le variazioni di conducibilità elettrica (o meglio del suo reciproco, cioè la resistività) di settori del sottosuolo, tenendo conto del fatto che ogni formazione rocciosa in senso lato (e quindi anche detrito, *permafrost* e ghiaccio) possiede una conducibilità specifica. Nella maggior parte dei casi è stato adottato il metodo del quadripolo simmetrico di Schlumberger. Con questo dispositivo si immette corrente nel terreno mediante un circuito di immissione facente capo a due elettrodi (A e B) e si misurano le differenze di potenziale elettrico indotte mediante due elettrodi di misura M e N posti sullo stesso allineamento di A e B. Aumentando progressivamente la distanza fra gli elettrodi A e B, la corrente viene immessa a profondità sempre maggiore e interessa fasce sempre più profonde di terreno; la misura fra M e N dà un parametro, chiamato «resistività apparente» che varia in relazione alla natura e agli spessori degli strati incontrati.

L'interpretazione delle curve della resistività apparente in relazione alla distanza fra gli elettrodi ($AB/2$), permette di tracciare una sezione geoelettrica del suolo al di sotto del punto di misura. Il notevolissimo contrasto fra la resistività elettrica del ghiaccio massiccio e del *permafrost* da una parte e quella del detrito non gelato e della roccia in posto dall'altra, permette di individuare la presenza di ghiaccio e di ottenere indicazioni, almeno qualitative, sulla sua natura e sul suo spessore. Infatti il substrato non gelato ha dei valori di resistività che si mantengono di solito al di sotto di $10\ 000\ \Omega\text{m}$ con variazioni in rapporto al tipo litologico; il ghiaccio puro di ghiacciaio presenta valori che si contano in mega-ohm-metro (da 2 a oltre $100\ \text{M}\Omega\text{m}$, secondo i vari Autori) (KING & *alii*, 1987). Il detrito saturato di ghiaccio ha una resistività che oscilla da $25\ 000$ a oltre $500\ 000\ \Omega\text{m}$ in rapporto alla percentuale del ghiaccio stesso e alla sua temperatura (HAEBERLI, 1985; KING & *alii*, 1987; EVIN, 1989; EVIN & FABRE, 1990).

IL RILIEVO SUL ROCK GLACIER DI VAL PISELLA

Il rilievo è stato compiuto nella seconda metà del Settembre 1989; sono stati effettuati 15 sondaggi elettrici verticali utilizzando il classico dispositivo quadripolo simmetrico di Schlumberger con stendimenti di lunghezza variabile fra 80 e 140 m. Dei sondaggi, 11 sono stati ubicati sulla superficie del *rock glacier* (fig. 3); gli altri, di taratura, su roccia in posto (rocce cristalline, in particolare filladi quarzifere e granatifere con intercalazioni di quarziti e gneiss), sul *rock glacier* descritto precedentemente come inattivo (SMIRAGLIA, 1985; GRUPPO NAZ. GEOGR. FIS. GEOM., 1987), che occupa in parte il pianoro erboso alluvionale di quota 2 667, e sul pianoro stesso. La squadra operatrice di campagna si è avvalsa di una strumentazione molto sensibile (GEORES G 831 A), dotata di particolari circuiti in grado di sopprimere i potenziali spontanei fino alla tensione di 3 V; l'energizzazione è stata ottenuta mediante un gruppo elettrogeno con raddrizzatore che consente di utilizzare differenze di potenziale fino a 500 V in c.c. e poi con batterie a secco che forniscono una differenza di potenziale di 180 V in c.c.

La precisione di lettura è stata del decimo di millivolt e del decimo di milliampère per quanto riguarda l'intensità di corrente. L'area in cui si è operato è risultata quasi sempre priva di disturbi a livello di letture elettriche, il che ha permesso il positivo risultato della maggior parte degli stendimenti.

Le difficoltà maggiori nell'esecuzione (oltre naturalmente agli spostamenti sul terreno molto accidentato da un punto di sondaggio all'altro e nello stendimento dei cavi nell'ambito di ogni singolo sondaggio), sono derivate dalla difficile trasmissione dell'energia elettrica attraverso lo strato superficiale del *rock glacier*, costituito da blocchi spigolosi di rocce metamorfiche, di forma prismatica e del volume anche di qualche metro cubo. Ciò comporta la presenza di notevoli vuoti fra un blocco e l'altro; la resisten-

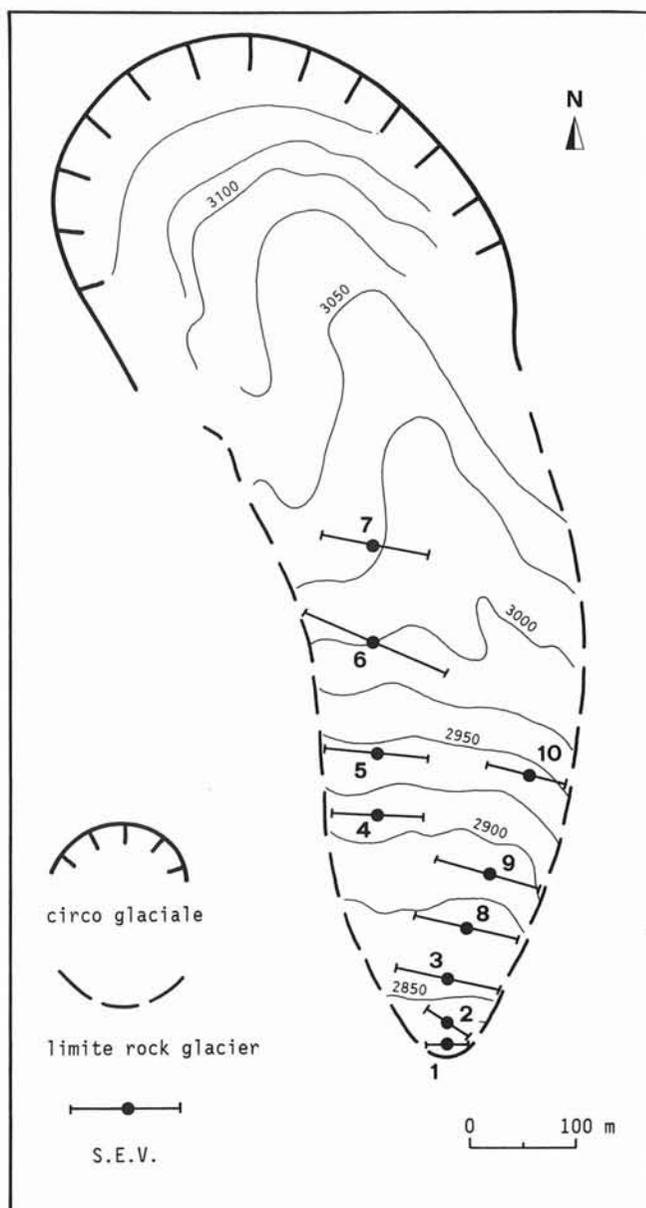


FIG. 3 - Schizzo del *rock glacier* orientale di Val Pisella con la localizzazione dei sondaggi elettrici da 1 a 10.

za molto elevata dell'insieme impediva dunque di rilevare qualsiasi segnale agli elettrodi di misura, nonostante la notevole sensibilità e l'utilizzo di differenze di potenziale fino a 500 V c.c. Si è quindi cercato di operare con stendimenti tali da poter inserire i picchetti d'acciaio degli elettrodi in sedimenti più fini, che garantivano una migliore trasmissione di corrente elettrica. In questo caso si è operato con successo anche con differenze di potenziale di 180 V c.c.

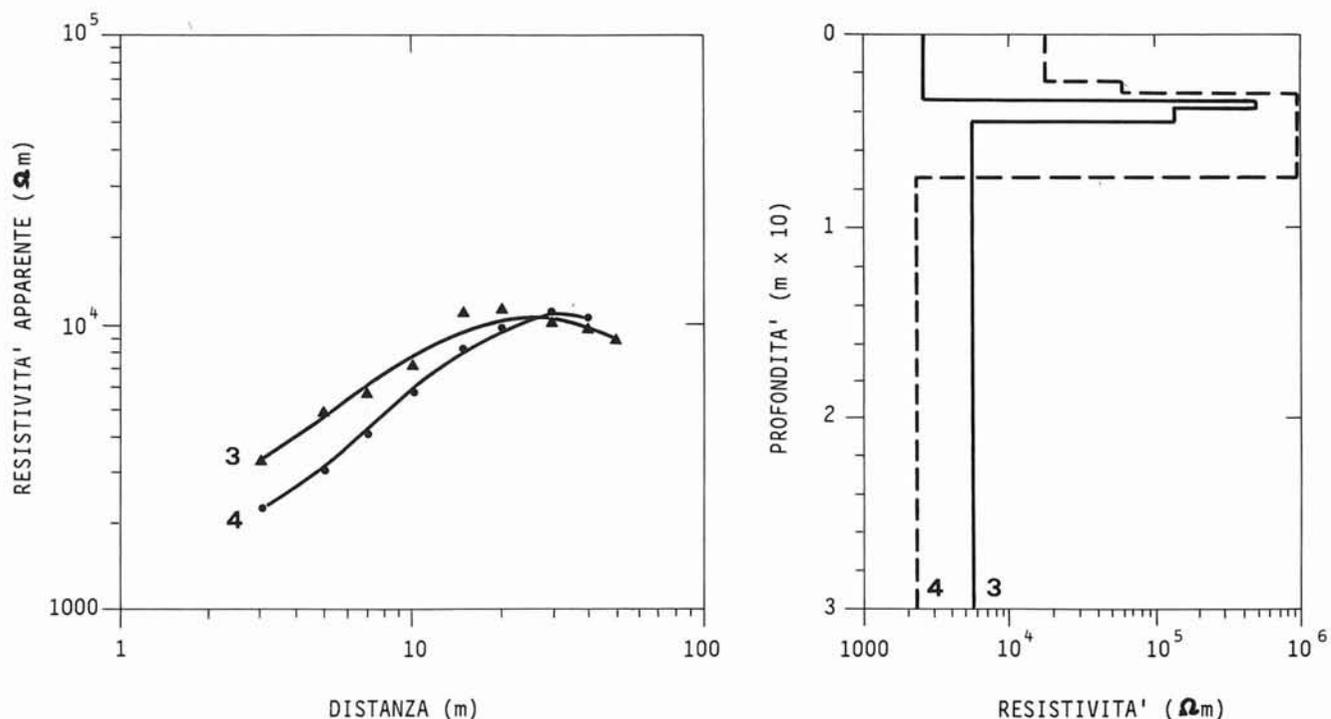


FIG. 4 - Curve della resistività apparente (a sinistra) e modello interpretativo (a destra) per i sondaggi n. 3 e 4 (per la curva n. 4 i tre valori di riferimento della resistività apparente in ordinata vanno letti come segue: 10⁴; 10⁵; 10⁶). I valori elevati della resistività apparente (specialmente per la curva n. 4) e l'inclinazione in aumento, indicano la presenza di uno strato interno a forte resistività.

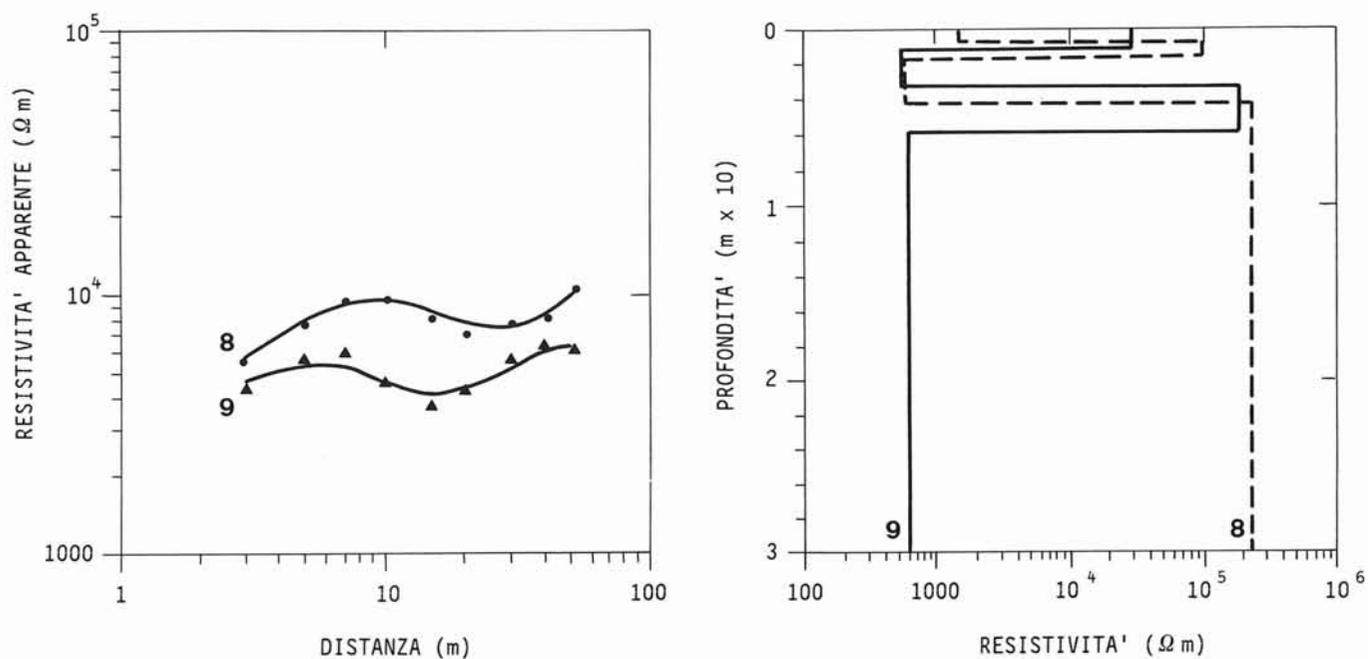


FIG. 5 - Curve della resistività apparente (a sinistra) e modello interpretativo (a destra) per i sondaggi n. 8 e 9. L'andamento delle curve mostra una struttura complessa con strati a bassa resistività che si alternano con strati a bassa resistività.

I RISULTATI

I dati raccolti nel lavoro sul terreno sono già stati elaborati durante l'esecuzione di ogni sondaggio, al fine di valutare qualitativamente l'andamento della «curva di campagna», ossia un diagramma bilogarithmico dove in ordinata sono espressi i valori di resistività apparente e in ascissa la semidistanza fra gli elettrodi energizzanti. Successivamente mediante appositi abachi si è passati all'interpretazione elettrostratigrafica delle curve di campagna, la cui soluzione veniva controllata attraverso particolari programmi matematici computerizzati (KOEFOED, 1976; DAVIS & alii, 1980). I risultati delle misure e la loro interpretazione sono presentati nella tab. 1 e nei grafici delle figg. 4-5.

Nella tab. 1 sono indicati i risultati delle elaborazioni dei sondaggi eseguiti sul *rock glacier* superiore (da 1 a 10) e di quello effettuato sul *rock glacier* inattivo di quota 2 700 (11). Per ogni sondaggio viene indicata la suddivisione in strati (solitamente quattro), basata su un modello semplificato a strati paralleli e omogenei, che permette solo un'interpretazione approssimata della geometria dei corpi ghiacciati presenti nel *rock glacier*; vengono poi presentati i valori di resistività, di spessore e di altezza sul livello del mare dei singoli strati, a parte quello inferiore che viene supposto di spessore infinito.

Come appare dalla tabella, in tutti i sondaggi, se si esclude il n. 11 sul *rock glacier* inferiore, si osservano variazioni sensibili di resistività (anche di uno o più ordini di grandezza) all'interno del corpo detritico. Si veda ad esempio il sondaggio n. 3, dove da uno strato superficiale con resistività di poco superiore a 2 500 Ωm , si passa a una zona interna con valori che sfiorano i 500 000 Ωm per scendere poi a poco più di 130 000 Ωm ; al di sotto di questa la resistività scende di nuovo a poco più di 5 500 Ωm .

Di fatto in tutti i dieci sondaggi sul *rock glacier* attivo appare uno strato con resistività superiore a 100 000 Ωm , con valore massimo (sondaggio n. 4), che sfiora il milione di Ωm . Tenendo conto dei valori presentati dalla letteratura (soprattutto dagli Autori già citati), nel *rock glacier* oggetto di studio vi è sicuramente presente del *permafrost* da moderatamente ricco a ricco di ghiaccio (valori da 100 000 a 500 000 Ωm), con un livello molto ricco (oltre 500 000 Ωm nel sondaggio n. 4).

In letteratura anche i valori compresi fra 25 000 e 50 000 Ωm vengono considerati indicatori di *permafrost* a basso contenuto di ghiaccio. Anche nel *rock glacier* inattivo (sondaggio n. 11) si riscontrerebbe quindi un nucleo di *permafrost* con una limitata quantità di ghiaccio.

Al di là dell'identificazione del nucleo di *permafrost*, la determinazione dei caratteri geometrici del deposito e dell'esatta struttura interna attraverso le risultanze dei sondaggi elettrici appare piuttosto problematica. Se si osservano, ad esempio, i dati ottenuti dal detrito sulla superficie del *rock glacier* e in aree contermini, si constata che i valori sono estremamente diversificati, come già indicato da EVIN & FABRE (1990); la resistività di questo materiale dipende infatti dalla dimensione dei blocchi, dal loro grado di umidità, dal tipo di contatto che presentano, dal-

TABELLA 1 - Interpretazione dei risultati dei sondaggi elettrici

numero sondaggio	numero strato	resistività Ωm	spessore m	altezza m s.l.m.
1				2 840.0
	1	22 213	2.9	2 837.1
	2	51 188	2.4	2 834.7
	3	15 169	0.7	2 834.0
	4	275 300	1.6	2 832.4
	5	4 588		
2				2 845.0
	1	81 962	1.0	2 844.0
	2	2 905	2.0	2 842.0
	3	118 874	0.7	2 841.3
	4	4 587		
3				2 855.0
	1	2 547	3.5	2 851.5
	2	495 031	0.3	2 851.2
	3	134 448	0.7	2 850.3
	4	5 520		
4				2 910.0
	1	17 735	2.5	2 907.5
	2	59 105	0.5	2 907.0
	3	981 472	4.4	2 902.6
	4	2 355		
5				2 948.0
	1	21 499	1.8	2 946.2
	2	1 430	2.7	2 943.5
	3	132 784	4.0	2 939.5
	4	1 318		
6				3 000.0
	1	4 164	2.8	2 997.2
	2	181 601	2.5	2 994.7
	3	844	1.5	2 993.2
	4	162 850	4.3	2 988.9
	5	41 412		
7				3 025.0
	1	607	1.4	3 023.6
	2	5 117	5.5	3 018.1
	3	129 415	1.7	3 016.4
	4	621		
8				2 870.0
	1	1 506	0.7	2 869.3
	2	102 100	0.8	2 868.5
	3	577	2.7	2 865.8
	4	235 328		
9				2 890.0
	1	474	0.2	2 889.8
	2	29 857	1.0	2 888.8
	3	546	2.2	2 886.6
	4	186 284	2.5	2 884.1
	5	607		
10				2 942.0
	1	2 160	1.4	2 940.6
	2	156 805	0.9	2 939.7
	3	2 542	1.5	2 938.2
	4	25 941	1.9	2 936.3
	5	2 738		
11				2 700.0
	1	13 370	1.7	2 698.3
	2	71 807	1.1	2 697.2
	3	27 635	3.2	2 694.0
	4	12.432	1.0	2 693.0

l'abbondanza o meno di materiali fini. Lo strato superficiale a grandi blocchi con limitati affioramenti di materiale fine, ha fatto registrare resistività fra 470 e 80 000 Ω m. I sondaggi di taratura effettuati su rocce cristalline in posto hanno dato valori oscillanti fra 1 800 e 2 700 Ω m e fra 500 e 700 Ω m per il detrito fine. Si può comunque affermare che, al di sotto di uno strato superficiale a grossi blocchi con rari affioramenti di materiali più fini (ghiaie e sabbie), di spessore variabile da meno di 1 m a più di 5 m, si localizza un nucleo di *permafrost* da molto ricco a povero di ghiaccio, probabilmente non interrotto, la cui estensione si può seguire in tutti i sondaggi dalla fronte al settore superiore del *rock glacier*; il suo spessore varia da pochi decimetri a oltre 6 m nella parte intermedia della colata detritica. Questo nucleo si appoggia su detrito grossolano non gelato o anche su detrito fine che appare relativamente abbondante; incerto è invece il contatto con la roccia in posto.

L'interpretazione delle singole curve presenta in effetti qualche difficoltà: in alcuni casi (sondaggi n. 3-4), le curve della resistività apparente mostrano un andamento convesso verso l'alto, più o meno completo, che evidenzia nettamente, al di sotto di uno strato a bassa resistività, uno strato ad alta resistività appoggiato su un altro strato a bassa resistività (fig. 4). Il modello interpretativo (grafici di destra) suggerisce nel sondaggio n. 4 la seguente successione: 1) uno strato di detrito grossolano superficiale con uno spessore di 2,5 m; 2) uno strato di *permafrost* moderatamente ricco di ghiaccio e di esile spessore (0,5 m); 3) uno strato di *permafrost* molto ricco di ghiaccio con uno spessore superiore a 4 m; 4) uno strato sicuramente non gelato, sul cui spessore e sulla cui natura non si possono esprimere certezze (detrito oppure roccia in posto).

In altri casi le curve presentano un andamento più complesso (sondaggi n. 8 e 9) (fig. 5), con un'ulteriore risalita dopo la flessione, che indica la presenza di un livello a bassa resistività fra due livelli ad alta resistività. Anche in questo caso l'interpretazione risulta problematica, soprattutto per quanto riguarda la natura dello strato a bassa resistività all'interno del *permafrost*.

Un caso particolare è rappresentato dal sondaggio n. 2, il cui strato superficiale con uno spessore di un metro ha una resistività molto elevata (oltre 80 000 Ω m); si potrebbe pensare, come suggerito da KING & alii (1987), a lenti residue di ghiaccio di rigelo insinuate fra i materiali grossolani, che in effetti sono state individuate in due punti durante i rilievi.

CONCLUSIONI

Il rilievo geoelettrico sul *rock glacier* orientale di Val Pisella ha evidenziato che al suo interno è presente del ghiaccio interstiziale che cementa quantità più o meno cospicue di detrito. Questo nucleo potrebbe quindi derivare da fenomeni di tipo periglaciale e non rappresentare la fase finale dell'evoluzione di un ghiacciaio ricoperto da detrito. È probabile che questi fenomeni (ad esempio la com-

pattazione di neve da valanga, la sua fusione e il suo ricongelamento insieme al crioclastismo), alimentino tuttora il *rock glacier* e che quindi parte del ghiaccio sia recente o attuale. È pure molto probabile che anche gli altri corpi detritici situati nel circo centrale e in quello occidentale dell'alta Val Pisella presentino le stesse caratteristiche interne, tenendo conto delle similarità morfologiche, di esposizione e di localizzazione.

Il sondaggio geoelettrico, insieme alle misure di velocità superficiale, ha confermato che il *rock glacier* orientale di Val Pisella è attivo e che esistono lembi di *permafrost* discontinuo in questo settore del Gruppo del Cevedale.

Circa 140 m più in basso rispetto alla fronte del *rock glacier* citato, si stende una forma a lobo completamente inerbata e dalla morfologia smussata, che è stata interpretata come un *rock glacier* inattivo. Il sondaggio geoelettrico effettuato su questo corpo detritico (tab. 1, n. 11) offre risultati nettamente diversi rispetto a quelli del *rock glacier* più elevato. In nessuno strato la resistività è infatti superiore a 80 000 Ω m; se si tiene conto tuttavia delle osservazioni precedentemente espresse, non si può escludere la presenza di una lente di *permafrost* con scarso contenuto di ghiaccio.

In conclusione questa prima esperienza italiana di sondaggio elettrico su un *rock glacier* delle Alpi Italiane può ritenersi positiva ed è sicuramente da continuare e da perfezionare; è forse il caso di ricordare che durante le estati 1989 e 1990 colleghi francesi, dopo numerosi rilievi geofisici volti ad evidenziare la presenza di *permafrost* sulle Alpi Francesi Meridionali, hanno compiuto rilievi sui *rock glacier* del Gruppo del Monviso.

Dal sondaggio sul *rock glacier* di Val Pisella sono comunque emersi numerosi problemi, soprattutto nell'interpretazione dei valori più elevati di resistività, come già indicato da FABRE & EVIN (1990). Il limite fra *permafrost* ricco di ghiaccio e ghiaccio di ghiacciaio è infatti difficile da individuare a causa dell'influenza della temperatura e anche perché un modello interpretativo a strati paralleli male si adatta alla geometria lenticolare del *permafrost* nei *rock glacier*.

È quindi necessario che vengano effettuati sondaggi elettrici in modo sistematico su corpi detritici ritenuti attivi e su quelli inattivi; è indispensabile nel contempo intensificare il numero di sondaggi di taratura su vari tipi di detrito e di roccia in posto per affinare le possibilità di interpretazione dei dati geoelettrici, soprattutto per quanto riguarda natura e spessore dei diversi materiali che costituiscono i *rock glacier*. È altresì necessario compiere perforazioni per verificare i risultati della geofisica. A questo proposito è il caso di ricordare che finora è stato eseguito un unico carotaggio su un *rock glacier* attivo delle Alpi Svizzere, che ha evidenziato, al di sotto di 2-3 m di detrito, uno spessore di ghiaccio di 15 m; fino a 50 m di profondità è stato rinvenuto *permafrost* più o meno ricco di ghiaccio (HAEBERLI, 1990 a). Solo in tal modo si potrà veramente arrivare ad un ampliamento delle conoscenze sul dominio periglaciale anche nelle Alpi Italiane e sul suo significato nel complesso quadro dinamico degli equilibri am-

bientali e paleoambientali. Si potrà inoltre portare un contributo alla soluzione del problema attualmente più dibattuto per quanto riguarda i *rock glacier*, cioè la loro genesi (glaciale o periglaciale) e la loro evoluzione.

In effetti le più recenti teorizzazioni, talora contrastanti (si vedano ad esempio HAEBERLI, 1989 e LLIBOUTRY, 1990) mostrano che attualmente non esiste una generale convergenza sul fatto che i *rock glacier* siano, come scrive HAEBERLI (1990 b), *striking morphological expressions of permafrost creep and as such belong to the most spectacular and most widespread periglacial phenomena on earth*.

BIBLIOGRAFIA

- BELLONI S., PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1988) - *Morphological features of the active rock glaciers in the Italian Alps and climatic correlations*. Proc. V Intern. Conf. on Permafrost, Trondheim, Norway, August 1988, vol. 1, 678-682.
- CAPELLO C.F. (1947) - *Le pietraie semoventi (Rock glaciers) delle Alpi Occidentali*. Natura, 38, 17-23.
- CAPELLO C.F. (1954) - *Prime ricerche sulle pietraie semoventi del settore montuoso del Gran Paradiso*. Riv. Mens. Club. Alp. Ital., 78, 294-300; 371-376.
- CARTON A., DRAMIS F. & SMIRAGLIA C. (1988) - *A first approach to the systematic study of the rock glaciers in the Italian Alps*. Proc. V Intern. Conf. on Permafrost, Trondheim, Norway, August 1988, vol. 1, 712-717.
- DAVIS P.A., GREENHALGH S.A. & MERRICK N.P. (1980) - *Resistivity sounding with any array using a single digital filter*. Bull. Aust. soc. Explor. Geophys., 11, 54-62.
- DRAMIS F. & SMIRAGLIA C. (1986) - *I rock glaciers. Problemi e metodi di studio*. Rassegna bibliografica. Riv. Geogr. Ital., 93, 209-228.
- EVIN M. (1989) - *The Marinet rock glaciers*. 2th Intern. Conf. on Geomorphology, Frankfurt am Main, Sept. 1989, poster.
- EVIN M. & FABRE D. (1990) - *The distribution of permafrost in rock glaciers of the Southern Alps (France)*. Geomorphology, 3, 57-71.
- FABRE D. & EVIN M. (1990) - *Prospection électrique des milieux à très forte résistivité: le cas du pergélisol alpin*. Proc. VI Intern. Congress Intern. Ass. of Eng. Geology, 6-10 August 1990, Amsterdam, Balkema, Rotterdam, 927-934.
- FISCH W., FISCH W. jr & HAEBERLI W. (1977) - *Electrical D.C. resistivity soundings with long profiles on rock glaciers and moraines in the Alps of Switzerland*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 13 (1-2), 239-260.
- GRUPPO NAZIONALE GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA (1987) - *Nuovi dati per lo studio dei rock glaciers del Gruppo Ortles - Cevedale (Alpi)*. Riv. Geogr. Ital., 94, 425-450.
- HAEBERLI W. (1985) - *Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers*. Mitt. Versuchsanst. Wasserbau, Hydrol. Glaziol., E.T.H., Zürich, 77, 141 pp.
- HAEBERLI W. (1989) - *Glacier ice-cored rock glaciers in the Yukon Territory, Canada?*, Journ. Glaciol., 35 (120), 294-295.
- HAEBERLI W. (Ed.) (1990a) - *Pilot analyses of permafrost cores from the active rock glacier Murtel I, Piz Corvatsch, Eastern Swiss Alps*. Wasserbau, Hydrol. Glaziol., E.T.H., Zürich, 38 pp.
- HAEBERLI W. (1990b) - *Scientific, environmental and climatic significance of rock glaciers*. 75° Congr. Società Geologica Italiana, Milano, Sett. 1990.
- HERMANN F. (1929) - *I rock glaciers della Valsavaranche*, Natura, 16.
- KING L., FISCH W., HAEBERLI W. & WAETHER H.P. (1987) - *Comparison of resistivity and radio-echo soundings on rock glacier permafrost*. Zeit. Gletscherkd. Glazialgeol., 13 (1), 77-97.
- KOEFOED O. (1976) - *Progress in the direct interpretation of resistivity soundings: an algorithm*. Geophys. Prospect., 24, 233-240.
- LLIBOUTRY L. (1990) - *About the origin of rock glaciers*. Journ. Glaciol., 36 (122), 125.
- NANGERONI G. (1928) - *La testata di Val Torreggio*, Natura, 1928.
- NANGERONI G. (1929) - *Grotte e laghi subglaciali, colate e mari di pietre*. Natura, 20, 152-161.
- SMIRAGLIA C. (1985) - *Contributo alla conoscenza dei rock glaciers delle Alpi Italiane. I rock glaciers del Monte Confinale (Alta Valtellina)*. Riv. Geogr. Ital., 92, 117-140.
- SMIRAGLIA C. (1989) - *Misure di velocità superficiale al Rock Glacier Orientale di Val Pisella (Gruppo del Cevedale, Alta Valtellina)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 12, 41-44.