

ROBERTO SEPPI (*), ALBERTO CARTON (**), & CARLO BARONI (***)

PROPOSTA DI NUOVA SCHEDA PER IL CENSIMENTO DEI ROCK GLACIERS DA FOTOGRAFIE AEREE: APPLICAZIONE SULL'ALTA VAL D'ULTIMO (GRUPPO ORTLES-CEVEDALE)

ABSTRACT: SEPPI R., CARTON A. & BARONI C., *Proposal for a new database for the census of rock glaciers by means of aerial photographs: application to the Upper Val d'Ultimo (Ortles-Cevedale Group)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

This research proposes a new database for the census and characterization of rock glaciers based on the analysis of aerial photographs. The methodology proposed combines the stereoscopic observation of aerial photographs with the use of a GIS for the mapping and identification of the main morphometric parameters of the deposits. Use of the GIS, in fact, allows the measurement of specific parameters (length, width, gradient, etc.). The GIS is also used for the management, organization and visualization of the data, by means of the creation of a database linked with the geographic elements on the map. On the basis of recent research carried out in many alpine areas, the information in the database integrate and update that already available in the literature and used for the Rock Glacier Inventory of the Italian Alps. In particular, the most recent definitions have been used regarding the state of activity of the rock glaciers (classified as active/inactive or relict according to specific characteristics), their geometry (lobe-shaped, tongue-shaped or equi-dimensional deposits) and general aspect (simple or composite deposits). Other fields of the database define the origin of the debris feeding the deposits, their location, their relation with glacial and nival forms, their relations with local vegetation boundaries and characteristics of their surface morphology. The new database was tested in the Upper Val d'Ultimo (Ortles-Cevedale Group), an alpine area of about 30 km² with a significant variety of landforms. The application of the database and methodology proposed enabled us to describe adequately an alpine area distinguished by a relevant diversity of landforms, giving us a precise and complete starting point for their monitoring.

KEY WORDS: Rock glaciers, Aerial photographs, Census, GIS, Val d'Ultimo.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, via Ferrata 1 - 27100 Pavia & Museo Tridentino di Scienze Naturali, via Calepina 14 - 38100 Trento.

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, via Ferrata 1 - 27100 Pavia.

(***) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa & CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse, via S. Maria 53 - 56126 Pisa.

Si ringrazia il dott. F. Penna per la collaborazione nel lavoro di terreno.

RIASSUNTO: SEPPI R., CARTON A. & BARONI C., *Proposta di nuova scheda per il censimento dei rock glaciers da fotografie aeree: applicazioni sull'Alta Val d'Ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

Il lavoro propone una nuova scheda per il censimento e la caratterizzazione dei rock glaciers sulla base dell'analisi di fotografie aeree. La metodologia proposta integra l'osservazione di fotografie aeree allo stereoscopio con l'utilizzo del GIS per la rappresentazione cartografica e la determinazione dei principali parametri morfometrici dei depositi. L'utilizzo del GIS consente infatti di effettuare misure secondo parametri definiti (lunghezza, larghezza, pendenza, ecc.). Il GIS viene inoltre utilizzato per la gestione, l'organizzazione e la visualizzazione dei dati raccolti nella scheda, mediante la realizzazione di un database collegato agli elementi geografici riportati sulla cartografia. Sulla base di recenti esperienze sviluppate in molte aree alpine, le informazioni contenute nella scheda integrano e aggiornano quelle già proposte in letteratura e utilizzate per la stesura del Catasto dei Rock Glacier delle Alpi Italiane. In particolare, sono state utilizzate le più recenti definizioni per quanto riguarda lo stato di attività dei rock glaciers (classificati in attivi/inattivi o relict a seconda di alcune caratteristiche), la loro geometria (depositi di tipo lobato, a forma di lingua o equidimensionali) e forma generale (depositi semplici o complessi). Altri campi della scheda definiscono l'origine del detrito che alimenta i depositi, la loro ubicazione, la relazione con forme glaciali e nivali situate a monte, la relazione con i limiti locali della vegetazione e le caratteristiche morfologiche superficiali. La nuova scheda è stata utilizzata per un collaudo in Alta Val d'Ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale), un'area alpina di circa 30 km² caratterizzata da una significativa varietà di forme. L'applicazione della scheda e della metodologia proposta ha consentito di descrivere adeguatamente un settore alpino caratterizzato da una rilevante varietà di forme, fornendo un preciso ed esaustivo punto di partenza per il loro monitoraggio.

TERMINI CHIAVE: Rock glaciers, Fotografie aeree, Censimento, GIS, Val d'Ultimo.

INTRODUZIONE

I rock glaciers alpini si sviluppano in condizioni climatiche definite da una temperatura media annua di -1/-2 °C e da precipitazioni medie annue inferiori a 2.500 mm (Barsch, 1996; Haeberli, 1985). Sono considerati fra le principali evidenze della presenza di permafrost alpino, sia

attuale che antico, e sono studiati nelle aree alpine e in altre catene montuose per dedurne il loro significato geomorfologico, climatico e paleoambientale (Belloni & *alii*, 1988; Frauenfelder & Kääh, 2000; Frauenfelder & *alii*, 2001; Haerberli, 1990, 2000; Humlum, 1998, 2000; Kerschner, 1978, 1980, 1985; Ribolini, 2001; Sailer & Kerschner, 1999). A seguito dei mutamenti climatici che stanno modificando gli ambienti glaciali e periglaciali di alta quota (Haerberli & Beniston, 1998), è di fondamentale importanza conoscere la distribuzione del permafrost alpino, il suo ruolo nella dinamica dei versanti e le sue influenze dirette e indirette sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea. È quanto mai indispensabile, quindi, effettuare una rappresentazione cartografica estensiva e di dettaglio dei rock glaciers e realizzare una raccolta dati il più possibile completa ed esaustiva. Il trattamento di queste informazioni con gli attuali sistemi di gestione dei dati territoriali permette una notevole rapidità di aggiornamento e una gestione integrata con le altre componenti ambientali. In alcuni settori delle Alpi sono stati recentemente compilati catasti dei rock glaciers, con censimenti realizzati mediante l'analisi di fotografie aeree e controlli di terreno (Baroni & *alii*, 2004; Delaloye & Morand, 1998; Frauenfelder & Kääh, 2000; Lambiel & Reynard, 2001; Krainer & Mostler, 2000; Monnier, 2004).

Il censimento effettuato nel corso degli anni da numerosi ricercatori italiani, basato prevalentemente sull'analisi di foto aeree, è confluito nel Catasto dei Rock Glacier delle Alpi Italiane (Guglielmin & Smiraglia, 1997). Da allora, le conoscenze su questi depositi periglaciali sono considerevolmente aumentate, quindi gli schemi di classificazione e, più in generale, gli standard di schedatura allora utilizzati vanno aggiornati, anche alla luce delle numerose codifiche introdotte dalla letteratura di settore.

In questo lavoro viene presentata una nuova scheda per il censimento e la caratterizzazione dei rock glaciers sulla base dell'analisi di fotografie aeree, realizzabile e gestibile anche con l'ausilio del GIS. La catalogazione proposta, che rappresenta una sintesi delle proposte più recenti per quanto riguarda la nomenclatura e la classificazione dei rock glaciers, è stata applicata in via sperimentale all'Alta Val d'Ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale), un'area alpina di quasi 30 km² caratterizzata da una gamma di forme di varia tipologia (Juen, 2000), non incluse nel Catasto dei Rock Glacier delle Alpi Italiane (Guglielmin & Smiraglia, 1997). Le caratteristiche dedotte dalle fotografie aeree e dall'utilizzo del GIS sono state affinate con rilevamenti di terreno.

DESCRIZIONE DELLA SCHEDA DI CENSIMENTO

Sulla base delle esperienze già acquisite in vari censimenti effettuati in altre zone delle Alpi italiane (Belloni & *alii*, 1988; Baroni & *alii*, 2004; Carton & *alii*, 1988; Guglielmin & Tellini, 1992; Ribolini, 1997a; 1997b), nell'elaborazione del Catasto dei Rock Glacier delle Alpi Italiane (Guglielmin & Smiraglia, 1997) e nella stesura del Catasto dei Rock Glacier del Parco Adamello Brenta (Seppi & *alii*, 2002), sono stati attribuiti ai rock glaciers parametri e carat-

teristiche dedotti dall'osservazione delle fotografie aeree o ricavati dalla rappresentazione cartografica in ambiente GIS. Si tratta di una serie di informazioni di tipo morfometrico e qualitativo inizialmente suggerite da quanto contenuto nel Catasto dei Rock Glacier delle Alpi Italiane e successivamente integrate, aggiornate e perfezionate con altre, secondo le indicazioni fornite da Barsch (1996). La nuova scheda è suddivisa in sezioni e si compone di 26 campi (fig. 1). I dati raccolti nella scheda possono essere organizzati in un database (collegabile al GIS) nel quale ogni rock glacier è descritto da un insieme di dati. In ambiente GIS, tramite una semplice interrogazione, è possibile visualizzare le principali informazioni relative a ciascun rock glacier (fig. 2).

La prima sezione della scheda si compone di alcuni campi che forniscono i dati di identificazione e localizzazione geografica dei rock glaciers esaminati.

La seconda sezione fornisce i dati morfometrici ricavati dalla delimitazione delle forme effettuata in ambiente GIS. La quota massima (campo n. 9) è quella del limite superiore della forma. In molti casi questo parametro è difficile da definire, in quanto il limite superiore confluisce gradualmente in una falda di detrito o in depositi glaciali. La quota minima del rock glacier (campo n. 10) è quella che corrisponde al piede della scarpata frontale. Il campo n. 11 riporta la quota massima della parete rocciosa situata alle spalle del rock glacier.

Il parametro relativo alla lunghezza (campo n. 12) viene calcolato in automatico lungo una linea tracciata sul rock glacier secondo una direzione parallela a quella di flusso, definita sulla base dell'osservazione delle caratteristiche morfologiche. In forme di tipo lobato (*lobate*) è stata scelta una linea (tracciata parallelamente alla linea di flusso) nel punto dove il corpo detritico è più sviluppato in lunghezza. Allo stesso modo, la larghezza (campo n. 13) è calcolata lungo una linea tracciata in direzione perpendicolare rispetto alla lunghezza. In forme del tipo a lingua (*tongue shape*), è possibile calcolare questo parametro come la media di più segmenti (due o tre) tracciati a diverse distanze sul corpo detritico (Barsch, 1996). L'area (campo n. 14) è quella della forma poligonale che rappresenta il corpo detritico in esame e viene anch'essa calcolata in automatico. L'esposizione dei rock glaciers esaminati (campo n. 15) è indicata in base alla suddivisione del quadrante in 8 sezioni. La pendenza media (campo n. 16) è calcolata trigonometricamente in riferimento al valore in gradi del rapporto fra la differenza di quota (altezza massima meno altezza minima) e lunghezza massima del rock glacier.

La sezione successiva (campi da 17 a 26) fornisce informazioni su alcune essenziali caratteristiche dei rock glaciers dedotte prevalentemente dall'osservazione delle foto aeree. La classificazione morfodinamica (campo n. 17) ripartisce le forme osservate in attive/inattive e relitte (Barsch, 1996). Le forme attive contengono permafrost e sono dotate di movimento (0,1-1 m/anno), quelle inattive non sono più in movimento ma contengono ancora permafrost confinato nelle zone più profonde; le forme relitte, pur conservando la morfologia, non contengono permafrost e non sono dotate di movimento. Una classificazione basata principalmente sulla fotointerpretazione consente di defi-

Rock glacier inventory data sheet

ID	<input type="text"/>	Name	<input type="text"/>
N Gauss Boaga	<input type="text"/>	MAP	
E Gauss Boaga	<input type="text"/>	Name	<input type="text"/>
		Code	<input type="text"/>
Latitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Longitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Rock glacier morphometry

Max alt (m)	Front alt (m)	Max wall alt(m)	Length (m)	Width (m)	Area (m ²)	Exp	Mean slope (°)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Rock glacier feature

Activity	AT/IN	REL	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
Geometry	TS	LO	EQ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Form	SI	CO	
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Fed by	MOD	TAD	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Location	CI	SL	FS	VB
	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Relation with glacial and snow form	GL	GLR	SNB	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Relation with vegetation boundaries	AB	BCM	BTL
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Superficial morphology	LRF	TRF	SWB	HLB	CP	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Note	<input type="text"/>
------	----------------------

Aerial photographs	DATE	<input type="text"/>	FLIGHT	<input type="text"/>	AERIAL LINE	<input type="text"/>
	PHOTO N	<input type="text"/>	SCALE	<input type="text"/>		

FIG. 1 - Riproduzione della scheda di censimento. I numeri fanno riferimento ai campi descritti nel testo. Per il significato delle abbreviazioni si veda la spiegazione della tabella 1.

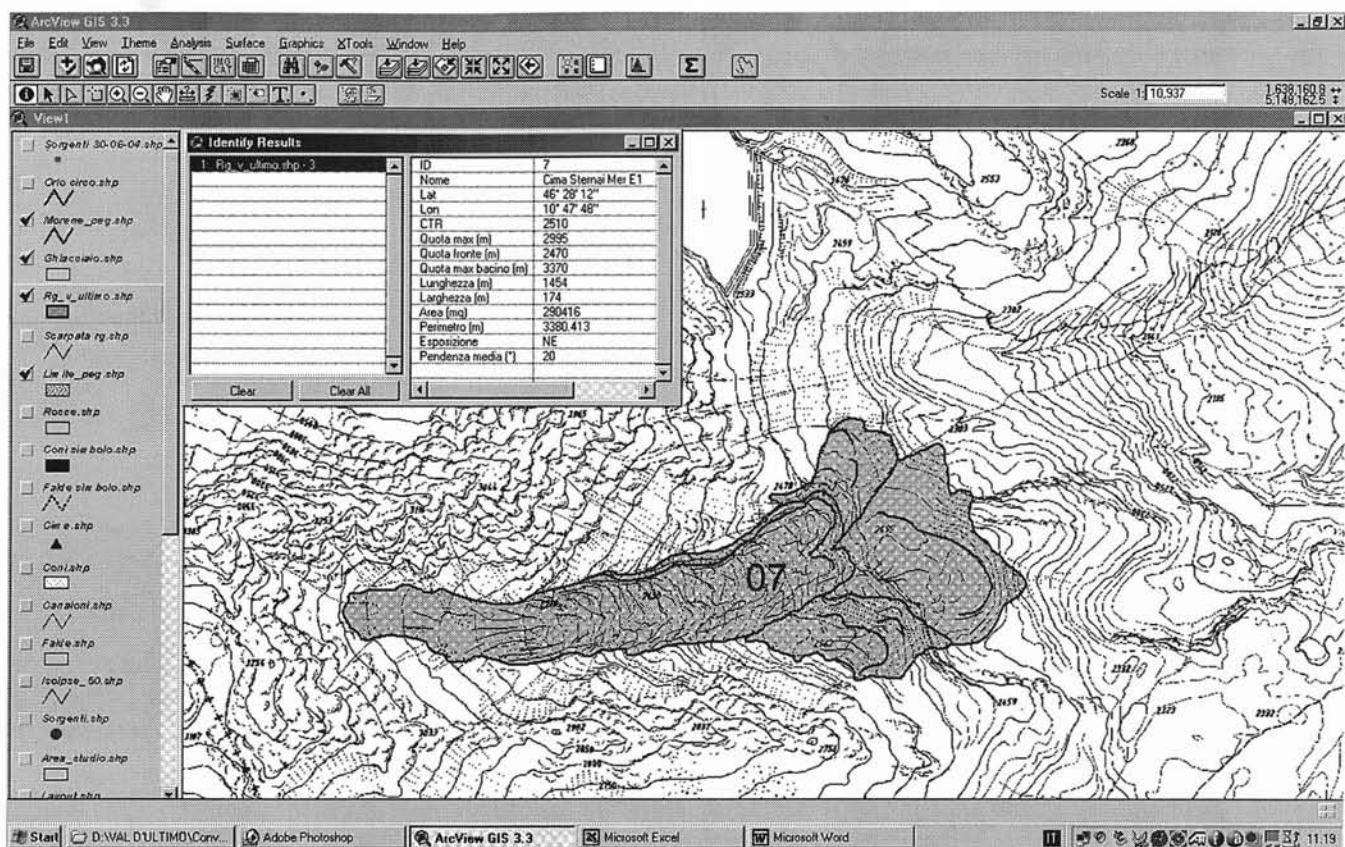


FIG. 2 - Rappresentazione in ambiente GIS del rock glacier censito con il n. 07 nell'Alta Val d'Ultimo e visualizzazione delle informazioni correlate.

nire due classi (attive/inattive e relitte), ma non di suddividere le prime in forme certamente attive e certamente inattive. Le caratteristiche morfologiche che definiscono il primo gruppo di rock glaciers, già positivamente collaudate in precedenti censimenti (Baroni & alii, 2004), sono la scarpata frontale ripida e con colore più chiaro rispetto alla zona dorsale, il corpo rigonfio, la scarsa o nulla copertura vegetale, la presenza di solchi e creste (trasversali e longitudinali) ben definiti. Le forme relitte hanno una fronte poco ripida e un corpo appiattito e sono caratterizzate da un'estesa copertura vegetale che, nel caso di forme collocate sotto il limite superiore della vegetazione arborea, è costituita da alberi sparsi.

La geometria dei corpi detritici (campo n. 18) è costituita da tre categorie. Le prime due corrispondono alla tradizionale classificazione in forme di tipo lobato (*lobate*) e a lingua (*tongue shape*), a seconda se prevalga la larghezza o la lunghezza. È stata introdotta la categoria di forme equidimensionali, nel caso in cui la differenza fra le due dimensioni non superi 50 m. I rock glaciers sono stati suddivisi in semplici e complessi (campo n. 19). I primi in foto aerea sono costituiti da un corpo unico, privo di evidenti lobi sovrapposti, convergenti o divergenti, i secondi da diversi lobi in vario modo aggregati (sovrapposti, divergenti, convergenti) che possono comunque essere considerati

parte di un unico individuo. Si distinguono in foto aerea per differenze di colore, tessitura, morfologia e collocazione. L'individuazione di forme semplici e complesse con un criterio geomorfologico come quello proposto può fornire indicazioni sulla storia evolutiva del rock glacier in esame, attestando, nel caso di forme complesse, successive fasi di riattivazione (Frauenfelder & Käab, 2000) ed età relative diverse. Forme semplici o complesse possono essere sia del tipo *lobate* che di quello *tongue shape*.

Un campo specifico (n. 20) definisce in dettaglio la morfologia dei rock glaciers di tipo complesso, classificandoli come *multipart*, *multilobe*, *multiunit* e *multiroot* (Barsch, 1996). I primi sono composti da più corpi in vario modo aggregati ma comunque distinguibili; i secondi verso valle si suddividono in vari lobi, spesso orientati in direzioni diverse; i terzi sono costituiti da una sequenza di unità spesso sovrapposte, facilmente distinguibili e di diversa età e attività; l'ultimo gruppo comprende forme aggregate ma alimentate da detrito proveniente da sorgenti diverse (ad esempio da differenti falde di detrito).

Il campo successivo (n. 21) definisce qual è la principale fonte di detrito che alimenta i rock glaciers in esame. Possono essere alimentati da depositi glaciali o detriti di falda, ma non è escluso che in alcuni casi possano trasportare e rielaborare detriti di origine mista. L'attribuzione di questa ca-

ratteristica si basa soprattutto sull'analisi del contesto topografico e geomorfologico nel quale si collocano i depositi, i quali possono quindi essere del tipo *talus-derived* (Humlum, 1998, 2000) o *morainic-derived*. La localizzazione topografica dei rock glaciers (campo n. 22) definisce depositi collocati in un circo glaciale (rientrano in questa categoria anche quelli molto sviluppati in lunghezza i quali, verso valle, escono dai limiti del circo), su versante, al piede di una scarpata (è il caso di molti rock glaciers di tipo *lobate* che si trovano alla base di una falda di detrito dalla quale sono alimentati) o sul fondo di un solco vallivo (si tratta spesso di forme di tipo *tongue shape* molto estese in lunghezza).

La relazione dei rock glaciers in esame con le forme glaciali o nivali collocate a monte è un parametro particolarmente importante per definire le caratteristiche morfodinamiche e l'origine dei depositi (campo n. 23). A monte può essere situato un ghiacciaio o un glacionevato e nella maggior parte dei casi il rock glacier ne rielabora i depositi. In altri casi a monte del deposito si possono trovare nevai semi-permanenti dovuti soprattutto ad accumuli valanghivi. Spesso si tratta di forme situate alla base di coni e falde di detrito. Nel campo n. 24 è presa in considerazione la relazione fra la quota della fronte e i limiti superiori della vegetazione arborea e delle praterie alpine continue.

Le caratteristiche morfologiche sono definite dal campo n. 25, nel quale sono prese in considerazione quelle più facilmente individuabili con l'analisi delle foto aeree. Fra queste ci sono solchi e rughe che si possono sviluppare in direzione longitudinale o trasversale rispetto alla direzione di flusso. Altre caratteristiche facilmente distinguibili sono il rigonfiamento del corpo detritico o, al contrario, la sua morfologia concava o caratterizzata dalla presenza di depressioni e cavità. Le caratteristiche morfologiche possono aiutare a definire le caratteristiche morfodinamiche dei depositi (attivi/inattivi o relitti).

La scheda è completata da un campo note ove possono essere riportate ulteriori informazioni sul deposito censito e da una sezione che elenca le informazioni sulle fotografie aeree utilizzate.

APPLICAZIONE DELLA SCHEDA DI CENSIMENTO

Materiali e metodi

L'area sulla quale è stata collaudata la scheda di censimento è situata nel settore orientale del Gruppo Ortles-Cevedale (fig. 3). È stato preso in esame il territorio che

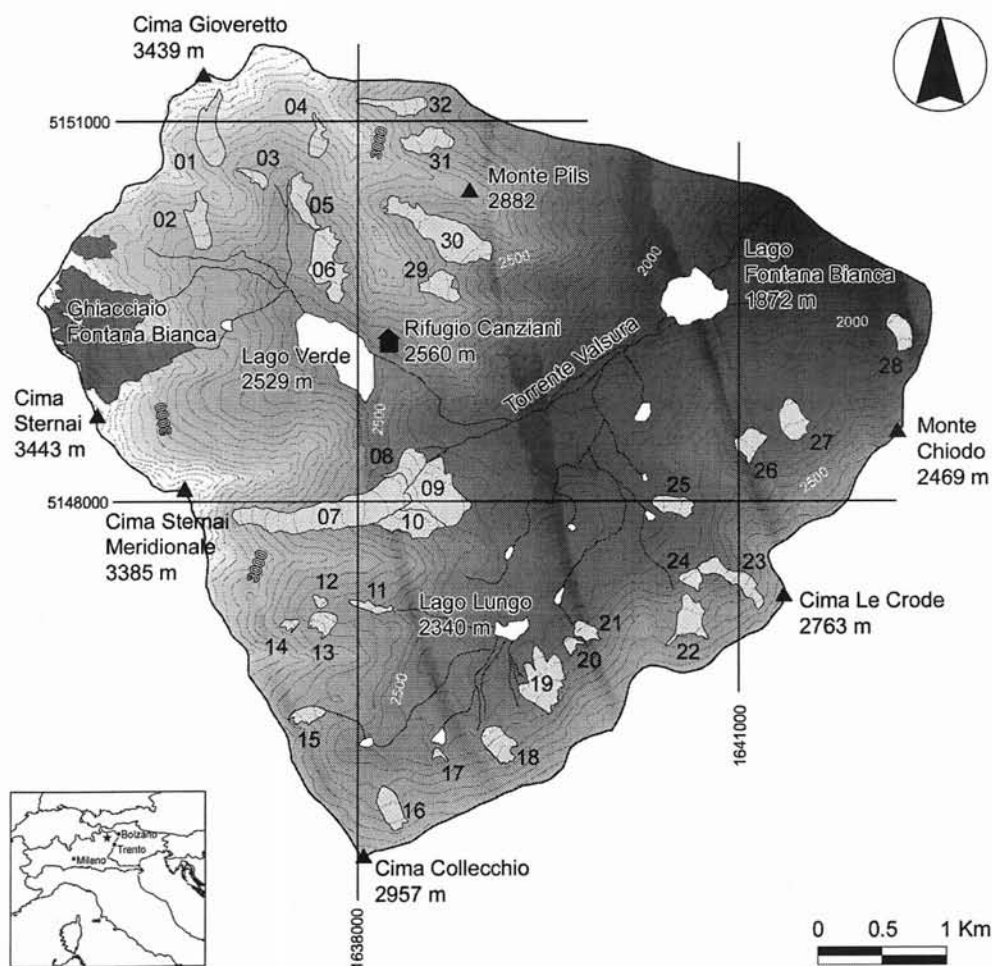


FIG. 3 - Inquadramento geografico dell'Alta Val d'Ultimo con l'ubicazione dei rock glaciers studiati. I numeri dei rock glaciers fanno riferimento alla tabella 1.

approssimativamente corrisponde al bacino del lago artificiale di Fontana Bianca (1.872 m), in precedenza oggetto dei rilievi per una tesi di laurea presso il Dipartimento di Geografia dell'Università di Innsbrück (Juen, 2000).

Nella prima fase del lavoro sono stati individuati tramite fotointerpretazione i rock glaciers dell'area studiata. Sono state utilizzate fotografie aeree delle province autonome di Bolzano e Trento. Successivamente, i dati sono stati informatizzati in ambiente GIS (Arcview 3.3), digitalizzando le forme osservate sulle ortofoto digitali georeferenziate nel sistema Gauss Boaga e quindi, in sovrapposizione, sulla Carta Tecnica in scala 1:10.000 della Provincia Autonoma di Bolzano.

Le caratteristiche di ogni rock glacier, dedotte dall'analisi delle fotografie aeree e dalle misure effettuate in ambiente GIS, sono state inserite nella nuova scheda. I dati organizzati in ambiente GIS possono essere visualizzati secondo diversi tipi di interrogazione (fig. 2). Le caratteristiche dei depositi censiti sono state verificate nel corso di controlli di terreno effettuati durante le estati del 2002 e del 2003.

Caratteristiche dei rock glaciers censiti in Alta Val d'Ultimo

Nell'area interessata da questo studio, la cui superficie è pari a 26,9 km², sono stati censiti e caratterizzati 32 rock glaciers (fig. 3), le cui caratteristiche sono riassunte nella tab. 1. La densità di forme è pari a 1,2 rg/km², per una superficie complessiva di 1,9 km² (7% circa dell'intera superficie dell'area studiata). La densità di forme è più elevata rispetto a quella media delle Alpi italiane (che non segnala forme di questo tipo nell'area studiata), indicata in 0,059 rg/km² (Guglielmin & Smiraglia, 1997). Notevolmente più elevata è la densità di forme nel Gruppo Adamello-Presanella, pari a 5,35 rg/km² (Baroni & alii, 2004). Questi dati indicano comunque come la presenza di rock glaciers sia significativa e rappresenti uno dei principali elementi geomorfologici che caratterizzano i versanti dell'area studiata. Le forme attive/inattive (*sensu* Barsch, 1996) prevalgono nettamente e costituiscono il 75% del totale (n = 24). In media, i depositi si trovano fra una quota massima di 2.673 m e una minima (quota della fronte) di 2.515 m. Le forme attive/inattive collocano la loro fronte ad una quota media di 2.605 m (valore minimo 2.355 m), quelle relitte a 2.245 m (valore minimo 1.985 m) (fig. 4a). Questi dati sono paragonabili a quanto riscontrato in vari settori delle Alpi svizzere (Frauenfelder & Käab, 2000), dove le forme attive/inattive collocano la fronte fra 2.550 e 2.650 m e quelle relitte fra 2.250 e 2.350 m. Più a S dell'area studiata, nel Gruppo Adamello-Presanella, la quota della fronte delle forme attive/inattive si colloca poco sotto i 2.500 m.

Nell'area studiata, la differenza di quota della fronte delle forme attive/inattive e di quelle relitte è pari a 360 m, un valore paragonabile a quello riscontrato in settori limitrofi delle Alpi italiane (430 m, Baroni & alii, 2004). Il Catasto dei Rock Glacier delle Alpi italiane riporta una differenza di circa 370 m fra la quota della fronte delle forme attive e di quelle inattive, le quali, per i diversi parametri di

valutazione presi in considerazione, possono essere in prima approssimazione assimilate alla categoria delle forme relitte esaminate in questo studio.

La lunghezza media dei rock glaciers studiati è di circa 360 m (il deposito più lungo misura più di 1,4 km), mentre la loro larghezza media è di circa 150 m (il deposito più largo misura 360 m). Le forme attive/inattive sono mediamente più lunghe e più larghe di quelle relitte (fig. 4b). La superficie media delle forme studiate corrisponde a 0,06 km² e il deposito più esteso (situato a E di Cima Sternai Meridionale) è superiore a 0,3 km². La pendenza dei depositi è compresa fra 12° e 47°, con una media pari a 25°.

I rock glaciers studiati sono esposti prevalentemente verso i quadranti settentrionali, con lo stesso numero di forme (n = 7) che risultano esposte a N e NW e un numero minore (n = 3) esposto verso NE (fig. 4c). Se viene messa in relazione la quota media della fronte delle forme attive/inattive con l'esposizione (fig. 4d) si nota un progressivo innalzamento da N verso S, con valori che passano da 2.588 a 2.873 m. Le fronti raggiungono la quota più bassa (2.400 m) a NW.

Fra tutti i depositi censiti prevalgono forme semplici (n = 24), caratterizzate da un corpo unico, privo di evidenti lobi sovrapposti, convergenti o divergenti. La geometria dei corpi detritici vede la prevalenza di forme del tipo *tongue shape* (n = 26), sia fra quelli attivi/inattivi (n = 18) che fra quelli relitti (n = 8). Meno rappresentate sono invece le forme di tipo *lobate* e quelle equidimensionali. Fra le forme complesse, prevalgono quelle costituite da unità multiple (tipo *multiunit*), composte da una sequenza di corpi spesso sovrapposti, facilmente distinguibili e di diversa età e grado di attività (n = 7) (Barsch, 1996).

Tutti i rock glaciers censiti appaiono in relazione con coni e falde di detrito dai quali sono alimentati e sono quindi classificabili come appartenenti al tipo *talus-derived* (Humlum, 1998, 2000). In nessun caso è attualmente presente un ghiacciaio o un glacionevato a monte del rock glacier e solo in pochi casi (n = 6) sono presenti nevai semi-permanenti.

Per quanto riguarda la collocazione, prevalgono i depositi situati su versante (n = 20), mentre sono meno rappresentati quelli collocati in un circo (n = 9), alla base di una falda di detrito (2 forme) e sul fondo di un solco vallivo (un solo rock glacier). I rock glaciers censiti collocano la loro fronte in prevalenza sotto il limite superiore della vegetazione erbacea continua (n = 28) e sono quindi situati nella fascia dei pascoli alpini. Quelli situati alle quote più elevate collocano la fronte al di sopra del limite della vegetazione, mentre soltanto 2 depositi relitti superano verso valle il limite superiore della vegetazione arborea. La caratteristica morfologica superficiale prevalente è costituita da rughe e solchi trasversali (n = 20), mentre sono meno frequenti caratteristiche come rughe e solchi longitudinali e cavità imbutiformi. Molti depositi sono caratterizzati da un corpo rigonfio (n = 12) e quasi altrettanti (n = 10) sono invece caratterizzati dall'aver un corpo complessivamente poco turgido.

Un esempio di deposito a geomorfologia complessa costituito da unità sovrapposte è il rock glacier situato a E di

TABELLA 1 - a) Elenco dei rock glaciers dell'Alta Val d'Ultimo. L'ubicazione dei depositi è mostrata in fig. 3; b) caratteristiche dei rock glaciers censiti.

ID	NAME	LAT	LON	Max alt (m)	Front alt (m)	Max wall alt (m)	Length (m)	Width (m)	Area (m ²)	Exp	Mean slope (°)
01	Cima Gioveretto S	46° 29' 50"	10° 46' 59"	3290	2950	3439	635	137	81995	S	28
02	Punta 3065 W	46° 29' 26"	10° 46' 53"	3050	2795	3180	236	117	55829	S	47
03	Cima Gioveretto S	46° 29' 37"	10° 47' 16"	2890	2790	3170	467	63	18495	SE	12
04	Punta 3164 W	46° 29' 45"	10° 47' 38"	3035	2895	3200	252	95	30143	SW	29
05	Punta 2974 W 1	46° 29' 31"	10° 47' 31"	2810	2710	3150	238	262	51726	SW	23
06	Punta 2974 W 2	46° 29' 14"	10° 47' 41"	2725	2600	2970	257	307	106314	SW	26
07	Cima Sternai Merid E 1	46° 28' 12"	10° 47' 48"	2995	2470	3370	1454	174	290416	NE	20
08	Cima Sternai Merid E 2	46° 28' 23"	10° 48' 10"	2510	2340	3370	223	105	46307	N	37
09	Cima Sternai Merid E 3	46° 28' 16"	10° 48' 19"	2510	2310	3370	461	234	158223	E	23
10	Cima Sternai Merid E 4	46° 28' 07"	10° 48' 09"	2570	2425	2820	502	128	77110	E	16
11	Punta 3234 E 1	46° 27' 47"	10° 47' 54"	2620	2550	2820	145	307	18278	SE	26
12	Punta 3234 E 2	46° 27' 48"	10° 47' 36"	2685	2635	2890	119	46	7905	SE	23
13	Punta 3234 E 3	46° 27' 42"	10° 47' 36"	2715	2620	2990	183	193	29395	N	27
14	Punta 3234 E 4	46° 27' 42"	10° 47' 24"	2785	2710	3060	122	81	9057	N	32
15	Punta 3066 NE	46° 27' 20"	10° 47' 30"	2785	2660	2870	275	107	26318	NE	24
16	Collecchio N	46° 26' 56"	10° 48' 01"	2785	2650	2890	359	120	48219	N	21
17	Lago di Collecchio S	46° 27' 09"	10° 48' 18"	2550	2490	2830	68	53	6044	N	41
18	Giogo di Montechiesa NW	46° 27' 11"	10° 48' 41"	2635	2470	2830	337	144	52347	NW	26
19	Lago Lungo S 1	46° 27' 27"	10° 48' 57"	2550	2355	2800	400	306	114871	NW	26
20	Lago Lungo E 1	46° 27' 36"	10° 49' 08"	2445	2390	2800	135	84	12817	NW	22
21	Lago Lungo E 2	46° 27' 39"	10° 49' 14"	2465	2370	2800	239	87	22039	NW	22
22	Punta 2808 N	46° 27' 43"	10° 49' 51"	2655	2470	2800	325	184	41760	N	30
23	Le Crode W 1	46° 27' 52"	10° 50' 10"	2670	2395	2780	607	96	62144	NW	24
24	Le Crode W 2	46° 27' 52"	10° 49' 53"	2460	2380	2760	172	117	43577	NW	25
25	Lago Quota 2222	46° 28' 10"	10° 49' 47"	2325	2235	2680	334	104	39474	W	15
26	Fiechtsee S 1	46° 28' 25"	10° 50' 16"	2300	2200	2480	224	156	39251	NE	24
27	Fiechtsee S 2	46° 28' 32"	10° 50' 31"	2250	2130	2610	315	184	53047	N	21
28	Monte Chiodo N	46° 28' 53"	10° 51' 11"	2095	1985	2270	315	104	45504	NW	19
29	Monte Pils S 1	46° 29' 08"	10° 48' 23"	2750	2600	2900	254	152	49027	E	31
30	Monte Pils S 2	46° 29' 22"	10° 48' 22"	2800	2520	3150	864	193	181064	SE	18
31	Monte Pils NW 1	46° 29' 45"	10° 48' 19"	2865	2680	3150	424	127	57921	E	24
32	Monte Pils NW 2	46° 29' 54"	10° 48' 10"	2965	2690	3200	563	72	45251	E	26

a

ID	Activity		Geometry				Form		Complexity				Fed by				Location				Relation with glacial and snow forms			Relation with vegetation boundaries			Superficial morphology						
	A/I	REL	TS	LO	EQ	SI	CO	MP	ML	MU	MR	MOD	TAD	CI	SL	FS	VB	GL	GLR	SNB	AB	BCM	BTL	LRF	TRF	SWB	HLB	CP					
01																																	
02																																	
03																																	
04																																	
05																																	
06																																	
07																																	
08																																	
09																																	
10																																	
11																																	
12																																	
13																																	
14																																	
15																																	
16																																	
17																																	
18																																	
19																																	
20																																	
21																																	
22																																	
23																																	
24																																	
25																																	
26																																	
27																																	
28																																	
29																																	
30																																	
31																																	
32																																	

b

Activity A/I: active/inactive REL: relict	Form SI: simple CO: complex	Fed by MOD: morainic derived TAD: talus derived	Relation with glacial and snow forms GL: glacier GLR: glaciet SNB: snow bank	Superficial morphology LRF: longitudinal ridges and furrows TRF: transverse ridges and furrows SWB: swollen body HLB: hollow body CP: conical pits
Geometry TS: tongue shape LO: lobate EQ: equidimensional	Complexity MP: multipart ML: multilobe MU: multiunit MR: multirroot	Location CI: cirque SL: slope FS: foot of slope VB: valley bottom	Relation with vegetation boundaries AB: above BCM: below continuous meadows BTL: below treeline	

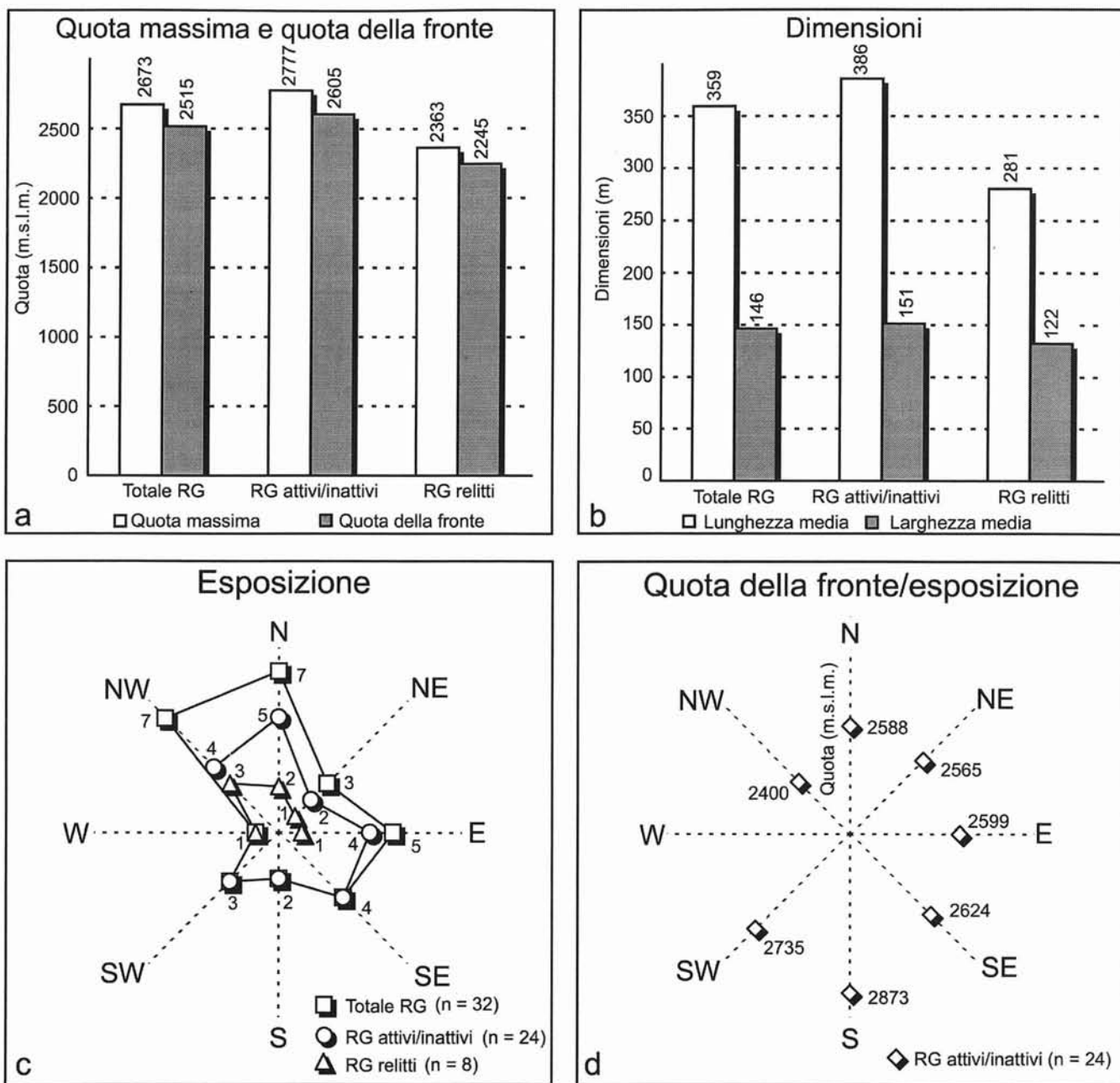


FIG. 4 - Principali caratteristiche dei rock glaciers dell'Alta Val d'Ultimo.

Cima Sternai Meridionale. Si tratta di una forma di tipo *tongue shape*, allungata sul fondo di un circo disposto in direzione W-E, lunga più di 1,4 km e larga in alcuni punti più di 250 m (figg. 5 e 6). Si sviluppa fra una quota massima di quasi 3.000 m e una minima di 2.310 m. Il deposito è in stretta relazione con coni e falde di detrito, i quali forniscono la maggior parte del materiale che lo costituisce.

Il rock glacier è stato suddiviso in tre distinte unità (n. 07, 08 e 09 in fig. 5 e tab. 1) che per il grado di alterazione dei massi e il livello di sviluppo della vegetazione e della copertura di licheni appaiono diverse per età e grado di atti-

vità. L'unità principale (n. 07) si suddivide a valle in due lobi distinti ed è caratterizzata da rughe e solchi superficiali disposti in direzione longitudinale nel settore a monte e trasversale in quello a valle. La scarpata frontale è piuttosto acclive e alta da 20 a 40 m. Il deposito è delimitato lungo i lati a monte da falde e coni detritici, mentre nei settori più elevati sono presenti alcuni nevai semi-permanenti. Questo deposito si sovrappone a quelli sottostanti (n. 08 e 09) e tutte le evidenze morfologiche (scarsa copertura vegetale, fronte ripida e instabile, massi poco alterati e con scarsa copertura di licheni) indicano che può essere considerato attivo.

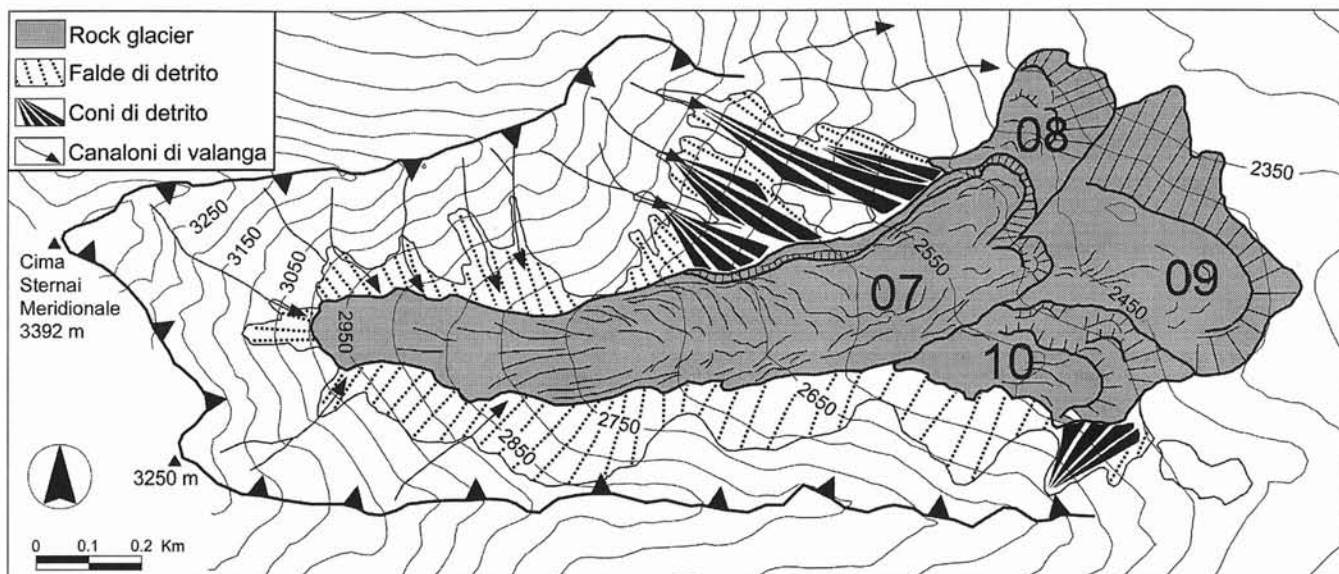


FIG. 5 - Stralcio geomorfologico del rock glacier complesso situato a E di Cima Sternai Meridionale costituito da tre distinti apparati identificati con i numeri 07, 08 e 09. L'apparato n. 10, pur essendo a contatto con i precedenti, costituisce un deposito a sé stante.

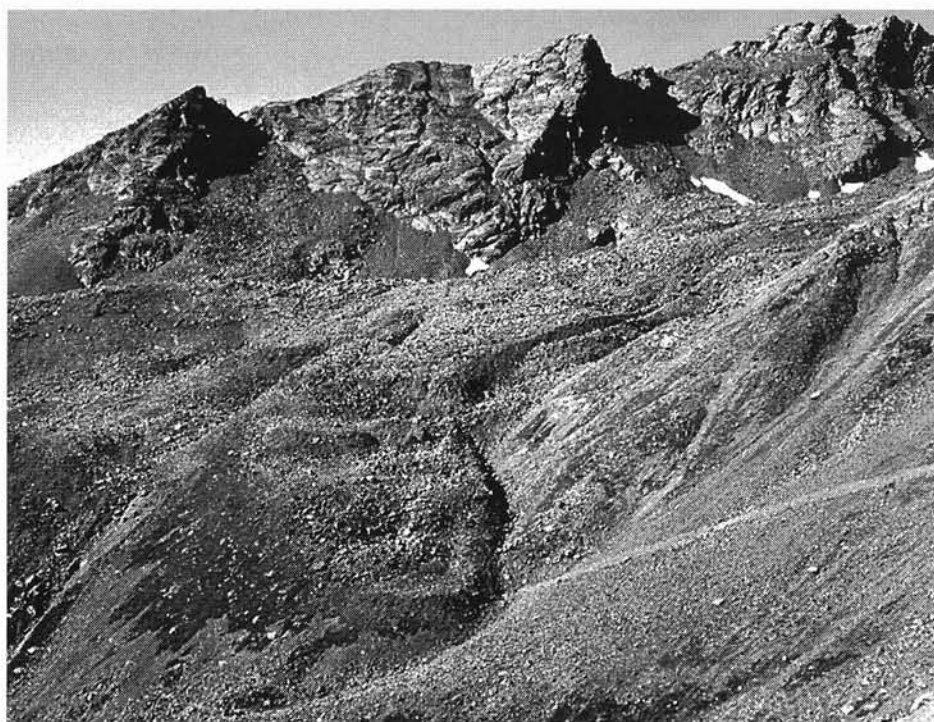


FIG. 6 - La fronte del rock glacier complesso situato a E di Cima Sternai Meridionale. In primo piano il deposito identificato con il n. 08.

CONCLUSIONI

L'applicazione in Alta Val d'Ultimo di una nuova scheda per il censimento dei rock glaciers da fotografia aerea ha confermato come essa sia uno strumento utile e versatile per descrivere e caratterizzare le forme presenti nelle aree alpine. La scheda proposta ha lo scopo di fornire al ri-

levatore una serie di quesiti di tipo morfometrico e geomorfologico estremamente puntuali, che permettono di inquadrare le forme censite nelle moderne classificazioni proposte dagli Autori stranieri.

La nuova scheda integra dati e caratteristiche deducibili dalla fotointerpretazione e dal GIS, uno strumento particolarmente adatto per definire le principali caratteristiche

morfometriche delle forme censite, e che permette di effettuare misure secondo parametri ben precisi (lunghezza, larghezza, pendenza, ecc.). La possibilità di interagire su ortofoto digitali georeferenziate, sovrapponibili a Carte Tecniche Regionali, permette un diretto, corretto e dettagliato riporto delle informazioni dedotte dall'analisi stereoscopica effettuata sulle fotografie aeree stampate. È possibile quindi ottenere in questo modo carte tematiche di alto dettaglio.

Un sistema di catalogazione GIS-assistito premette di richiamare di volta in volta «famiglie» morfologicamente omogenee di forme, interrogando in vario modo il database ottenuto dai dati della scheda, mentre dal punto di vista applicativo il sistema permette di inserire i dati cartografici e non in un qualsiasi meccanismo informatizzato di gestione ambientale.

È stato verificato come le nuove caratteristiche descrittive inserite nella scheda di censimento siano facilmente utilizzabili nel contesto di un'area caratterizzata da rock glaciers di varie dimensioni e tipologia come l'Alta Val d'Ultimo. La sperimentazione ha contribuito alla conoscenza dettagliata di questi aspetti in un settore alpino non ancora indagato in tal senso, fornendo un preciso ed esaustivo punto di partenza per il monitoraggio di queste forme.

Un'ulteriore applicazione della scheda, che non è stato possibile sperimentare nell'area di studio per la mancanza di forme adatte, potrà essere effettuata su rock glaciers che sono in stretta relazione con ghiacciai a monte e che rielaborano depositi glaciali della PEG (*morainic-derived* rock glaciers). In questi casi potranno emergere eventuali carenze nelle voci descrittive della scheda che potranno essere integrate.

Utilizzando la quota della fronte dei rock glaciers attivi/inattivi come indicatore dell'attuale limite inferiore del permafrost discontinuo (Barsch, 1996) se ne deduce che esso si colloca mediamente ad una quota di circa 2.600 m. La presenza di forme relitte, inoltre, documenta antiche fasi climatiche durante le quali il limite inferiore del permafrost si poteva spingere molto più in basso, fino a raggiungere quote di circa 2.000 m.

BIBLIOGRAFIA

- BARONI C., CARTON A. & SEPPI R. (2004) - *Distribution and behaviour of rock glaciers in the Adamello-Presanella Massif (Italian Alps)*. Permafrost and Periglac. Process., 15, 243-259.
- BARSCHE D. (1996) - *Rockglaciers: Indicators for the Present and Former geocology in High Mountain Environments*. Springer, Berlin, 331 pp.
- BELLONI S., PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1988) - *Morphological features of the active rock glaciers in the Italian Alps and climatic correlations*. In: *Proceedings, Fifth International Conference on Permafrost*. Tapir, Trondheim, 1, 678-682.
- CARTON A., DRAMIS F. & SMIRAGLIA C. (1988) - *A first approach to the systematic study of the rock glaciers in the Italian Alps*. In: *Proceedings, Fifth International Conference on Permafrost*. Tapir, Trondheim, 1, 712-717.
- DELALOYE R. & MORAND S. (1998) - *Les glaciers rocheux de la région d'Entremont (Alpes Valaisannes): inventaire et analyse spatiale à l'aide d'un SIG*. Mitteilungen der VAW, 158, 75-86.
- FRAUENFELDER R. & KÄÄB A. (2000) - *Towards a palaeoclimatic model of rock-glacier formation in the Swiss Alps*. Ann. Glaciol., 31, 281-286.
- FRAUENFELDER R., HAEBERLI W., HOELZLE M. & MAISCH M. (2001) - *Using relict rockglaciers in GIS-based modelling to reconstruct Younger Dryas permafrost distribution patterns in the Err-Julier area, Swiss Alps*. Norsk Geog. Tidsskr., 55, 195-202.
- GUGLIELMIN M. & TELLINI C. (1992) - *Contributo alla conoscenza dei rock glaciers delle Alpi Italiane. I rock glaciers del Livignasco (Alta Valtellina)*. Riv. Geogr. It., 99, 395-414.
- GUGLIELMIN M. & SMIRAGLIA C. (eds.) (1997) - *Catasto dei rock glacier delle Alpi italiane*. Arch. Comit. Glaciol. It., 3, Torino, 103 pp.
- HAEBERLI W. (1985) - *Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers*. Mitteilungen der VAW, 77, Zürich, 142 pp.
- HAEBERLI W. (1990) - *Scientific, environmental and climatic significance of rock glaciers*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 823-831.
- HAEBERLI W. (2000) - *Modern Research Perspective Relating to Permafrost Creep and Rock Glaciers: A Discussion*. Permafrost and Periglac. Process., 11, 290-293.
- HAEBERLI W. & BENISTON M. (1998) - *Climate Change and Its Impacts on Glaciers and Permafrost in the Alps*. Ambio, 27, 258-265.
- HUMLUM O. (1998) - *The Climatic Significance of Rock Glaciers*. Permafrost and Periglac. Process., 9, 375-395.
- HUMLUM O. (2000) - *The geomorphic significance of rock glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in West Greenland*. Geomorphology, 35, 41-67.
- JUEN I. (2000) - *Blockgletscher im Hintersten Ultental, nörliche Ortlergruppe (Südtirol)*. Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol., 36, 171-185.
- KERSCHNER H. (1978) - *Paleoclimatic inferences from late Würm rock glaciers, Eastern Central Alps, Western Tyrol, Austria*. Arct. Alp. Res., 10, 635-644.
- KERSCHNER H. (1980) - *Outline of the climate during the Egesen advance (Younger Dryas, 11000-10000 BP) in the Central Alps of the Western Tyrol, Austria*. Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol., 16, 229-240.
- KERSCHNER H. (1985) - *Quantitative palaeoclimatic inferences from lateglacial snowline, timberline and rock glaciers data, Tyrolean Alps, Austria*. Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol., 21, 363-369.
- KRAINER K. & MOSTLER W. (2000) - *Reichenkar rock glacier: a glacier derived debris-ice system in the Western Stubai Alps, Austria*. Permafrost and Periglac. Process., 11, 267-275.
- LAMBIEL C. & REYNARD E. (2001) - *Regional modelling of present, past and future potential distribution of discontinuous permafrost based on a rock glacier inventory in the Bagnes-Hérémence area (Western Swiss Alps)*. Norsk Geog. Tidsskr., 55, 219-223.
- MONNIER S. (2004) - *Identification, caractérisation et distribution spatiale des glaciers-rocheux dans le haute vallée del l'Arc (Alpes françaises du Nord)*. Géomorphologie, 2 (2004), 139-156.
- RIBOLINI A. (1997a) - *The rock glaciers of Argentera Crystalline Massif, Italian side, Maritime Alps*. In: Fourth Int. Conf. of Geomorph., Abstracts, Geogr. Fis. Dinam. Quat., Suppl., 3, 327-328.
- RIBOLINI A. (1997b) - *Features and problems of the rock glaciers in the Mt. Carbonè-Rocce dell'Agnel ridge (Argentera Group, Maritime Alps)*. Acc. Sc. Torino - Atti Sc. Fis., 131, 133-147.
- RIBOLINI A. (2001) - *Active and inactive rock glaciers in the Argentera Massif (Maritime Alps): surface ground temperatures and paleoclimatic significance*. Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol., 37, 125-140.
- SAILER R. & KERSCHNER H. (1999) - *Equilibrium-line altitudes and rock glaciers during the Younger Dryas cooling event, Ferwall group, western Tyrol, Austria*. Ann. Glaciol., 28, 141-145.
- SEPPI R., BARONI C. & CARTON A. (2002) - *Catasto dei Rock Glaciers del Parco Adamello Brenta*. Parco Adamello Brenta, Società degli Alpini-tridentini, pubblicazione interna, 125 pp.