

ANNA DELLA VENTURA (\*), RICCARDO RABAGLIATI (\*\*), ANNA RAMPINI (\*)  
& ROSSANA SERANDREI BARBERO (\*\*\*)

## L'EVOLUZIONE RECENTE DEL GLACIALISMO IN VALLE AURINA (ALPI PUSTERESI) NELLE IMMAGINI LANDSAT MSS

ABSTRACT: DELLA VENTURA A., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R., *Recent glacial evolution in Valle Aurina (Pusteresi Alps) by Landsat MSS images* (IT ISSN 0084-8948, 1986).

Information on the areal extent of glaciers and their fluctuations is obtainable through Landsat images by the different radiances of glacial surfaces with respect to unglaciated areas. The difference of radiance between the background and the glacial areas is maximum in those areas exposed to the sun.

During the yearly glaciological surveys carried out since 1977 on some glacier fronts, considered as test areas, in Valle Aurina (Italian Pusteresi Alps), the ground radiance was measured at different points on the glaciers and boundary areas simultaneously with the passage of one of the Landsat satellites. The comparison between ground and remote sensed data allowed to extend the application of Landsat recorded data to those Valle Aurina glaciers which, because of unfavourable exposure conditions, appear undistinguishable from boundary areas upon a first examination.

A comparison among the 1980, 1981 and 1983 maps shows frontal areas free of snows which gradually become more extensive between 1980 and 1983. In these three years, values computed from maps of glacier extent indicate an expansion in their surface of 0.137 km<sup>2</sup> between 1980-1981 and 0.561 km<sup>2</sup> between 1981 and 1983. The total increase in glacier extent is 0.698 km<sup>2</sup>. Two opposite trends are distinguished within this positive fluctuation, i.e., larger glaciers are advancing and smaller ones are receding.

Using opportune devices, the repeatability and extension of Landsat images allow to increase the ground observation data and to quantify the actual trend in progress.

RIASSUNTO: DELLA VENTURA A., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R., *L'evoluzione recente del glacialismo in Valle Aurina (Alpi Pusteresi) nelle immagini Landsat MSS* (IT ISSN 0084-8948, 1986).

Dalle registrazioni Landsat è possibile ottenere informazioni sulle superfici dei ghiacciai e sulle loro fluttuazioni. La tecnica per ottenere queste informazioni si basa sulla diversa radianza delle aree glacializzate rispetto al terreno circostante: la differenza di radianza è massima in zone esposte al sole.

Nel corso delle campagne glaciologiche annualmente effettuate dal 1977 alla fronte di alcuni ghiacciai dell'Alta Valle Aurina (Alpi Pusteresi) è stata misurata la radianza al suolo in diversi punti della superficie glacializzata e dell'area circostante in concomitanza con il passaggio di un satellite della serie Landsat. Il confronto tra dati al suolo e dati

telerilevati ha permesso di estendere l'utilizzo delle registrazioni Landsat ai ghiacciai dell'Alta Valle Aurina che, per le sfavorevoli condizioni di esposizione, appaiono ad un primo esame non distinguibili dal terreno circostante.

Il confronto tra le carte dei ghiacciai ottenute dalle registrazioni del 02.09.1980, 06.09.1981 e 09.08.1983 evidenzia aree frontali prive di neve residua via via più estese tra il 1980 e il 1983. I valori di superficie ottenuti dalle carte nei tre anni considerati indicano un aumento dell'area glacializzata di 0,137 km<sup>2</sup> tra il 1980 e il 1981 e di 0,561 km<sup>2</sup> tra il 1981 e il 1983. All'interno di questa oscillazione positiva si distinguono andamenti opposti: accanto agli apparati maggiori in avanzata, i minori risultano in regresso.

La ripetitività e l'estensione delle registrazioni Landsat permettono, con opportuni accorgimenti, di incrementare le informazioni ottenibili dalle tradizionali misure alle fronti e di quantificare le tendenze in atto.

TERMINI-CHIAVE: Ghiacciai, teleosservazione, Erts-Landsat, Alto Adige.

### 1. PREMESSA

Lo studio delle problematiche legate alle diverse caratteristiche, dimensioni ed esposizioni delle superfici dei ghiacciai ha permesso (DELLA VENTURA & *alii*, 1983a; 1983b) di definire una tecnica per la loro individuazione e descrizione utilizzando le registrazioni Landsat (1). Questa metodologia è stata applicata ai ghiacciai del versante sinistro dell'Alta Valle Aurina (gruppo delle Alpi Pusteresi, Alti Tauri) orientato in direzione Nord-Sud e compreso tra il Picco dei Tre Signori (3 499 m) e il Pizzo Rosso di Predoi (3 495 m).

I ghiacciai considerati, tutti appartenenti al versante occidentale, presentano condizioni di esposizione sfavorevoli all'uso di immagini telerilevate (2). Infatti, mentre le superficie glacializzate esposte al sole si presentano come aree ad alta radianza ed alta omogeneità nelle bande del

(1) La registrazione Landsat MSS (Multi Spectral Scanner) viene effettuata dai satelliti della serie Landsat ogni 16 giorni in 4 bande di lunghezza d'onda da 0,5 a 1,1  $\mu$ m con risoluzione al suolo di 57 x 79 m.

(2) La registrazione, sincrona con il sole, avviene, alla nostra latitudine, attorno alle 9 h 30 min, tempo medio di Greenwich. In zone accidentate i versanti esposti a SE sono quindi quelli che meglio si prestano al telerilevamento da satellite.

(\*) CNR, Istituto di Fisica Cosmica, Milano.

(\*\*) IBM, Venezia.

(\*\*\*) CNR, Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia.

visibile (bande 4, 5, 6), le superficie glacializzate in ombra appaiono come aree a bassa radianza e bassa omogeneità (DELLA VENTURA & alii, 1981); esse sono quindi difficilmente distinguibili dalle zone non glacializzate, che presentano queste stesse caratteristiche. Questa difficoltà è stata affrontata mediante misure sul terreno.

Durante i sopralluoghi ai ghiacciai, annualmente effettuati per conto del Comitato Glaciologico Italiano, alle osservazioni sulla posizione delle fronti e della linea del nevato sono state affiancate misure di radianza al suolo in concomitanza con le registrazioni Landsat. Ciò ha permesso di trarre alcune conclusioni metodologiche e di superare i problemi legati al telerilevamento di superficie glacializzate in sfavorevoli condizioni di esposizione.

rati glaciali (tabella 1) vi hanno forme e dimensioni diverse, alcuni di tipo vallivo, altri, i minori, di circo o pendio.

Essi hanno in comune la prevalente esposizione ad Ovest; sono compresi tra 3499 m e 2240 m, rispettivamente quota più alta e quota della fronte del Ghiacciaio di Lana, che è il più esteso tra quelli considerati, e la loro estensione varia da 0,02 a 1,32 km<sup>2</sup>. Dimensioni analoghe sono risultate risolvibili nelle registrazioni Landsat (DELLA VENTURA & alii, 1983a; 1983b).

## 2.2. LE OSSERVAZIONI ALLE FRONTI

Sui ghiacciai di Lana (913), della Valle del Vento (919) e Rosso Destro (920) vengono annualmente effettuate os-

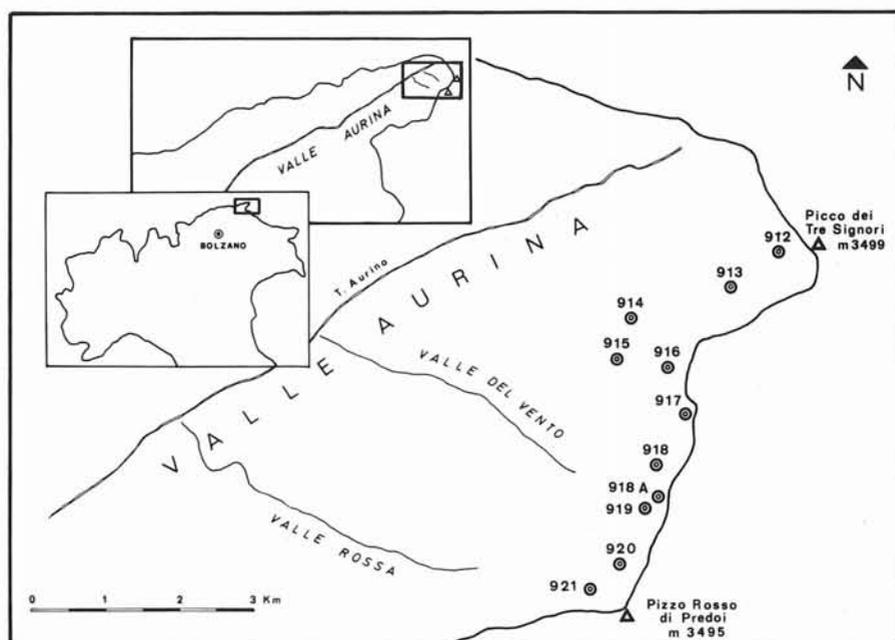


FIG. 1 - Ubicazione dei ghiacciai dell'alta Valle Aurina.

## 2. CARATTERISTICHE ED EVOLUZIONE RECENTE DEI GHIACCIAI IN ESAME DALLE FONTI TRADIZIONALI

### 2.1. I GHIACCIAI IN ESAME

La Valle Aurina appartiene alla Finestra Tettonica degli Alti Tauri ed è incisa nelle rocce metamorfiche e magmatiche che costituiscono il nucleo più antico della catena alpina orientale. Il tratto terminale del suo versante sinistro (fig. 1) è inciso nei parascisti che si immergono, lungo la Valle del Vento, sotto la formazione dei calcescisti con ofioliti (BIANCHI & DAL PIAZ, 1930).

La varietà litologica dell'area considerata e la presenza di superficie di contatto tettonico hanno favorito i processi erosivi che danno al paesaggio una grande varietà morfologica; le valli principali sono impostate lungo linee di contatto tettonico e di discontinuità geologica e gli appa-

servazioni sulla posizione della fronte e della linea del nevato dal 1977.

Tra il 1977 e il 1984 le fronti sono avanzate (tab. 1). Il progresso è stato particolarmente accentuato nel 1980 e nel 1981 (tab. 2). Il massimo spostamento positivo è stato misurato nel 1980 alla fronte del Ghiacciaio di Lana: + 32,5 m (media dei due segnali frontali). Negli altri anni del periodo di osservazione (SERANDREI BARBERO, 1977-1984) gli spostamenti misurati sono stati di minore entità e talora contraddittori per i diversi punti di misura. L'attenuarsi dell'attuale fase di avanzata è accompagnato dal progressivo innalzarsi della linea del nevato negli anni 1981, '82 e '83 (tab. 2).

Nel 1976 (SERANDREI BARBERO, 1977) i ghiacciai di Lana e Rosso Destro risultavano in sensibile regresso rispetto alla documentazione fotografica degli anni 1956-58 (CNR-CGI, 1962) e alla descrizione dei loro apparati frontali (DONÀ, 1953).

**TABELLA 1**  
CARATTERISTICHE DEI GHIACCIAI DELL'ALTA VALLE AURINA

(1)				1962 <sup>(1)</sup>		1983 <sup>(2)</sup>		1983 <sup>(3)</sup>	1930-'58 <sup>(1)</sup>	1977-'84 <sup>(3)</sup>	
numero di catasto	nome del ghiacciaio	esposizione	inclinazione	quota più alta (m)	quota fronte (m)	superficie (km <sup>2</sup> )	quota fronte (m)	superficie (km <sup>2</sup> )	quota fronte (m)	spostamento della fronte (m)	spostamento della fronte (m)
912	Predoi	NNW	20°	3 085	2 480	0,56	2 440	0,91		— 310	
913	Lana	NW	18°-20°	3 499	2 285	1,32	2 245	1,69	2 240	— 270	+ 66,5
914	Nord-Occ. del Pié di Cavallo	NW	32°	3 110	2 585	0,17	2 475	0,36		— 272 (1927-'57)	
915	Occ. del Pié di Cavallo	SW	43°	2 960	2 845	0,02	2 725	0,07			
916	Sud-Occ. del Pié di Cavallo	SW	30°	3 065	2 845	0,13	2 870	0,11			
917	Occ. di Cima del Vento	W	40°	2 920	2 850	0,02	2 625	0,10			
918	Bocchetta del Vento di Fuori	W	39°	2 840	2 720	0,06	2 590	0,17			
918a	A destra del Ghiacciaio di Valle del Vento	W	33°	2 950	2 860	0,02	2 750	0,06			
919	Valle del Vento	NW	26°	3 100	2 480	0,27	2 455	0,36	2 450		+ 12,5
920	Rosso Destro	NW	20°	3 220	2 520	0,72	2 500	0,88	2 450		+ 8,5
921	Rosso Sinistro	W	27°	3 460	2 680	0,32	2 650	0,45			

<sup>(1)</sup> Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR - CGI, 1962)

<sup>(2)</sup> Catasto dei Ghiacciai della Provincia di Bolzano (Provincia Autonoma di Bolzano - Ufficio Idrografico, 1983)

<sup>(3)</sup> Misure di campagna (cf. tab. 2)

**TABELLA 2**

SPOSTAMENTO DELLA FRONTE (MEDIA DEI SEGNALI FRONTALI) E POSIZIONE ALTIMETRICA DELLA LINEA DEL NEVATO DALLE OSSERVAZIONI DI CAMPAGNA DEGLI ANNI 1977 - 1984 (SERANDREI BARBERO, 1977 - 1984).

	spostamento della fronte (m) riferito all'anno precedente			quota media della linea del nevato (m)
	Ghiacciaio di Lana	Ghiacciaio della Valle del Vento	Ghiacciaio Rosso Destro	
11.09.1978	+ 12			innevamento recente
25/26.09.1979	- 7		+ 3,5	innevamento recente
03/05.09.1980	+ 32,5	+ 2	+ 12,5	2 500 - 2 600
03/06.09.1981	+ 20	+ 7,5	+ 4	2 600
03/05.09.1982	+ 8	+ 3,5	- 4	2 850
06/10.09.1983	+ 6	- 2	- 4	2 900
10/12.09.1984	- 5	+ 1,5	- 3,5	innevamento recente
spostamento complessivo 1977 - 1984 (m)	+ 66,5	+ 12,5	+ 8,5	

Negli anni cinquanta, come riporta il Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR-CGI, 1962), i ghiacciai dell'Alta Valle Aurina risultavano in regresso rispetto al 1930 (tab. 1). Per il Ghiacciaio di Lana tra il 1930 e il 1958 il regresso indicato è di 270 m; lo spostamento medio annuo negativo (-9,7 m) è paragonabile allo spostamento medio annuo positivo del periodo 1977-1984 (+ 9,5 m).

L'entità degli spostamenti frontali noti, tenuto conto della lunghezza delle fronti, permette (RABAGLIATI & SERANDREI BARBERO, 1979) di considerare i ghiacciai di Predoi, di Lana, Nord-Occidentale di Piè di Cavallo, della Valle del Vento, Rosso Destro e Rosso Sinistro entro quel 74% di ghiacciai dell'arco alpino italiano la cui variazione annua di superficie, determinata dallo spostamento della fron-

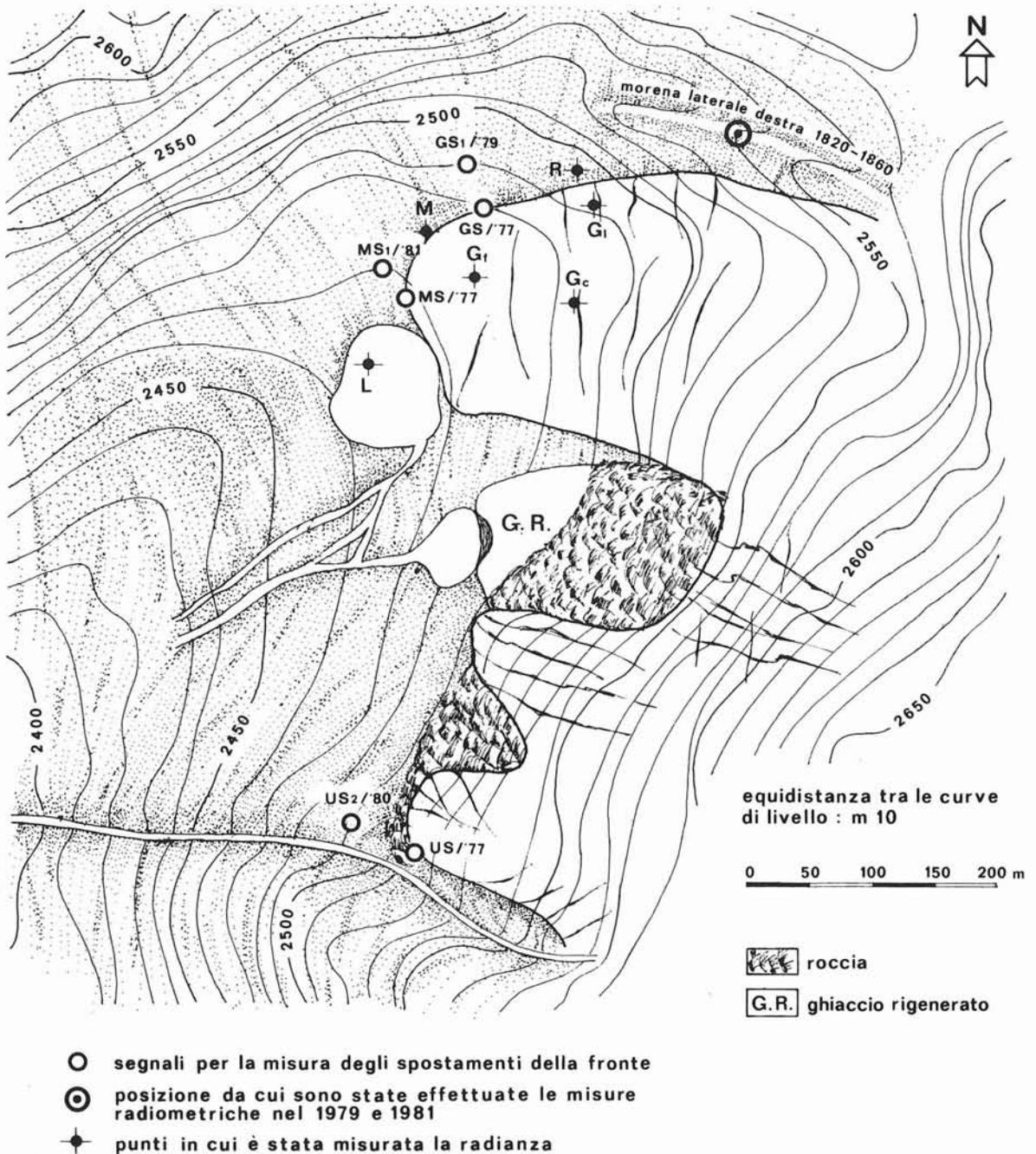


FIG. 2 - Settore frontale del Ghiacciaio Rosso Destro (dal rilievo 1958-63 in scala 1 : 10 000 della Provincia Autonoma di Bolzano, eseguito dall'Ente Italiano Restituzione Aerofotogrammetrica) con le indicazioni dei punti in cui è stata misurata la radianza al suolo: R, rocce laterali; M, morena frontale; L, laghetto frontale; Gc, settore centrale della lingua; Gf, settore laterale con crepacci; Gf, settore frontale.

te, è osservabile nelle registrazioni da satellite Landsat MSS. I ghiacciai 915-918, per cui non è nota nessuna misura di spostamento della fronte, sono, date le dimensioni, scarsamente significativi, e mal osservabili da satellite per la parziale copertura di detrito.

### 3. LE MISURE RADIOMETRICHE SUL TERRENO

#### 3.1. METODOLOGIA E RISULTATI DELLE MISURE.

Le osservazioni alle fronti dei ghiacciai e sulla posizione della linea del nevato sono significative se effettuate al termine della stagione di ablazione, quando l'innnevamento residuo è ridotto al minimo, e non possono essere dilazionate per l'imminenza delle prime neviccate autunnali. Entro il periodo utile cadono quindi al massimo 2 passaggi Landsat (che possono diventare 3 o 4 nei periodi in cui sono operanti 2 satelliti sfalsati tra loro di 8 giorni). Tra il 1979 e il 1984 la coincidenza tra passaggio di un satellite Landsat e mancanza di copertura nuvolosa sulla zona prescelta, all'interno del periodo utile per le osservazioni glaciologiche, si è verificata il 26 Settembre 1979, il 6 settembre 1981 e, parzialmente, il 10 Settembre 1983.

In queste date, sul settore frontale del Ghiacciaio Rosso Destro, sono stati misurati i valori di radianza al suolo <sup>(3)</sup> per verificarne la corrispondenza con i valori di radianza telerilevati.

Nel 1979 e nel 1981 le misure sono state effettuate dall'alto della morena laterale destra (fig. 2) per una durata di circa 70 minuti attorno all'istante del passaggio del satellite (THOMAS & alii, 1979, p. 55); in questo arco di tempo non si sono rilevate variazioni sensibili nella risposta radiometrica dei diversi punti misurati. Questo risultato ha suggerito di eseguire le misure di radianza nel 1983 insistendo localmente sui punti prescelti.

I risultati delle misure sono riportati in fig. 3 come rapporto tra radianza riflessa e radianza incidente. I valori di radianza del 1979 sono particolarmente alti per la diffusa presenza di neve fresca. In tutte e tre le campagne di misura, sulla superficie del ghiacciaio (punti Gc e Gf in figg. 2 e 3) hanno particolare rilievo i valori della banda 5. I valori della banda 7 si mantengono invece relativamente bassi.

#### 3.2. CONFRONTO CON I DATI LANDSAT E CONCLUSIONI METODOLOGICHE

In fig. 3, accanto ai dati radiometrici misurati sul terreno, sono rappresentati i corrispondenti valori registrati dal satellite. L'accordo satellite-suolo risulta particolarmente buono sia sul ghiacciaio che sulle zone circostanti nel 1981, in condizioni ottimali di misura. Nel 1979 e nel 1981 risultano gli alti valori di radianza della banda 5 e i bassi valori della banda 7, diversi sulle diverse parti della super-

ficie del ghiacciaio (DELLA VENTURA & alii, 1981), sia nei dati telerilevati che in quelli misurati sul terreno.

Nel 1983 la copertura nuvolosa, estremamente variabile nel corso delle misure, ha impedito l'acquisizione della registrazione Landsat sincrona; per un confronto qualitativo con i dati al suolo è stata utilizzata la registrazione del 9 Agosto. Gli andamenti satellite-suolo appaiono assai dissimili. La misura effettuata localmente, da distanza quindi assai ravvicinata, esalta infatti, attraverso risposte marcatamente diverse nelle 4 bande, l'estrema eterogeneità della superficie del ghiacciaio (presenza o meno di materiale morenico, maggiore o minore rugosità della superficie) e suggerisce di misurare la radianza al suolo da un'opportuna distanza. Nei valori telerilevati del 1983 risalta il comportamento della banda 6, analogo a quello in genere assunto dalla banda 5, con alto contrasto tra aree appartenenti al ghiacciaio (punti Gc e Gf) e morena frontale (punto M).

Le misure radiometriche effettuate sul terreno confermano la peculiarità della banda 5 nel riconoscere nelle registrazioni Landsat MSS superficie glacializzate o innevate e la capacità della banda 7 di operare, all'interno di queste superficie, ulteriori suddivisioni in base alle caratteristiche superficiali; e suggeriscono di utilizzare la banda 6, associata alla 5, quando l'uso della sola banda 5 si riveli insufficiente a distinguere talune superficie glacializzate dal terreno circostante.

### 4. I DATI LANDSAT

#### 4.1. ANALISI PRELIMINARE

Sono state analizzate le registrazioni del 26.09.79; 06.09.81; 09.08.83. Ad esse è stata aggiunta la registrazione del 02.09.80 per controllare l'osservabilità annuale degli spostamenti delle fronti.

Un primo esame delle immagini in falso colore riportate in fig. 4 ha permesso di selezionare le registrazioni migliori ai fini della misura delle superficie glacializzate. Infatti situazioni di innnevamento recente, come ad esempio quella registrata il 26.09.79, non permettono di distinguere i ghiacciai rispetto al terreno circostante con sufficiente precisione.

L'esame qualitativo dell'immagine del 06.09.81 nelle quattro bande spettrali (fig. 5) mette in rilievo le sfavorevoli condizioni di esposizione dei ghiacciai, appartenenti al versante occidentale, che, al momento della registrazione, si trova in varia misura entro il cono d'ombra proiettato dalla cresta spartiacque. Bene evidenziati appaiono invece i ghiacciai del versante orientale, appartenenti al territorio austriaco.

Gli studi precedenti (HAEFNER, 1979; PAGLIARI & ZANDONELLA, 1979; DELLA VENTURA & alii: 1983a; 1983b), indicavano le bande 5 e 7 come ottimali rispettivamente per l'identificazione dei contorni e l'osservazione delle strutture interne e della qualità della superficie. Le prove preliminari hanno mostrato che, date le condi-

<sup>(3)</sup> È stato utilizzato un Radiometro Exotech-Landsat modello 100-A misurando, nelle quattro bande Landsat, la radiazione incidente con un diffusore di luce ad ampiezza angolare di  $2\pi$  steradiani e la radiazione riflessa con obiettivi di ampiezza angolare  $15^\circ$  e  $1^\circ$ .

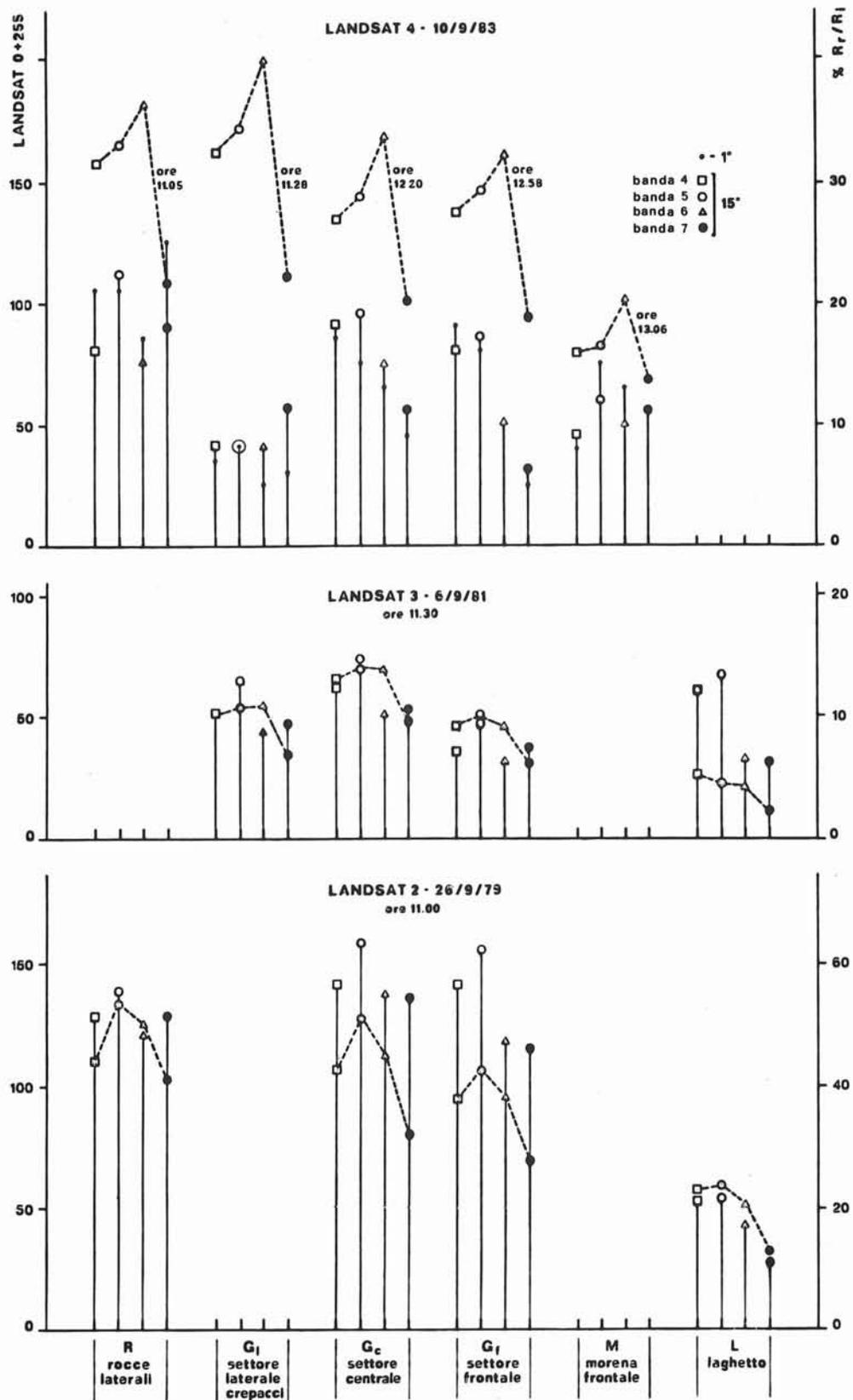


FIG. 3 - Valori di radianza misurati sul terreno (tratti verticali) riferiti all'ordinata destra come rapporto tra luce incidente e luce riflessa e valori di radianza telerilevati (punti collegati da linee tratteggiate) riferiti all'ordinata sinistra come valori da 0 a 255. Sono stati utilizzati obiettivi di ampiezza angolare 15° e 1°. Per l'ubicazione dei punti di misura cf. fig. 2.

FIG. 4 - Composizioni in falsi colori delle bande MSS 5 (blu), 6 (verde), 7 (rosso) ottenute dalle registrazioni del 1979, 1980, 1981, 1983.

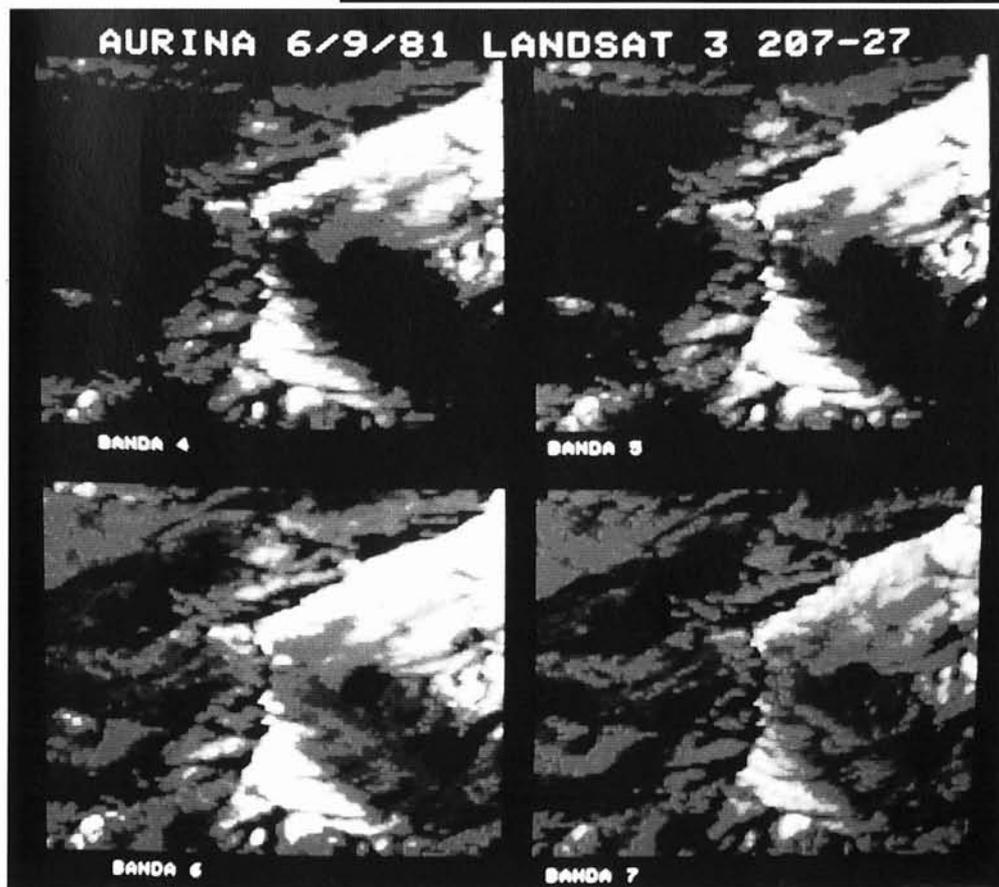
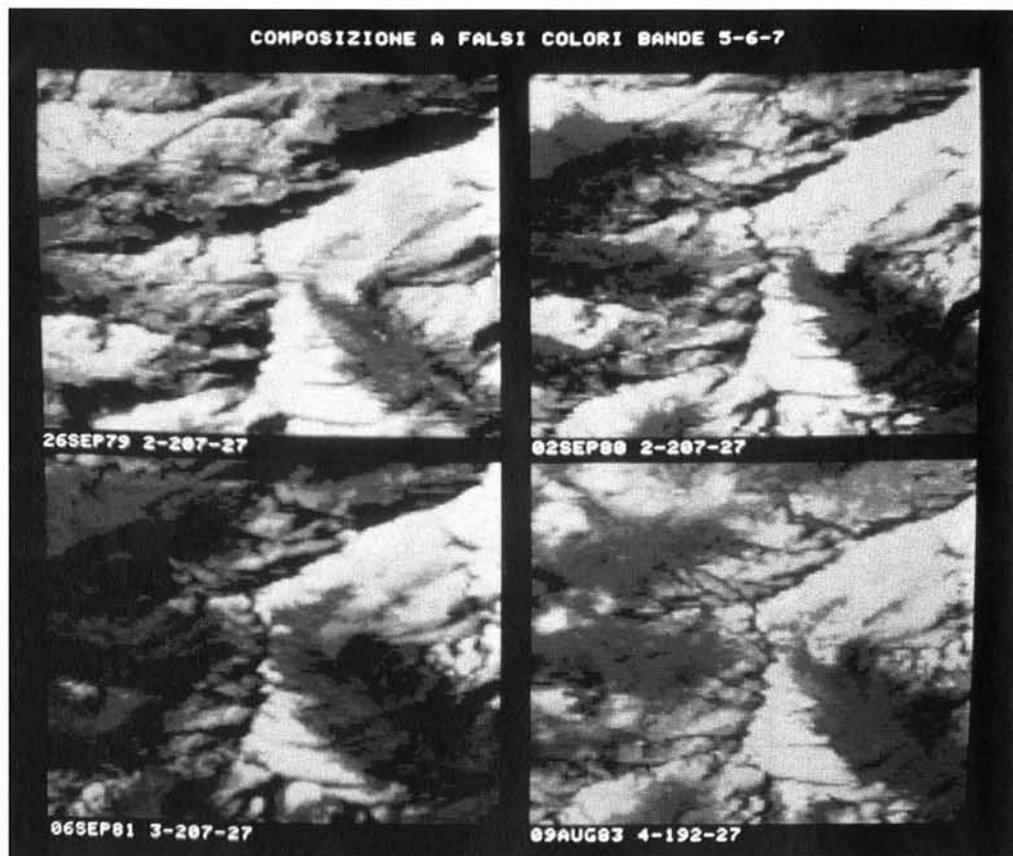


FIG. 5 - Rappresentazione in falso colore delle 4 bande MSS della registrazione Landsat del 06.09.81.



FIG. 6 - Mappa della superficie dei ghiacciai ottenuta dalla registrazione Landsat MSS del 06.09.81. Sono stati sovrainposti i numeri dei ghiacciai secondo il Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR-CGI, 1962) e la linea spartiacque. Il Welitz e l'Umbal Kees sono in territorio austriaco.

zioni di esposizione, era necessario, per l'individuazione dei confini esterni dei ghiacciai, aumentare il contrasto in banda 5. Le indicazioni fornite dalle campagne di misura hanno suggerito a questo scopo l'utilizzo della banda 6 mentre la banda 7 è stata mantenuta come strumento per la discriminazione dei diversi tipi di superficie.

#### 4.2. PROCEDURA DI CLASSIFICAZIONE

La classificazione delle immagini è stata ottenuta mediante una procedura semiautomatica che si basa sulle os-

servazioni precedenti riguardanti la risposta spettrale della copertura ghiaccio/neve e sulle informazioni ricavate dalle carte IGM 1:25 000 sulla posizione dei ghiacciai in esame, della linea spartiacque e delle isoipse.

Le immagini sono state suddivise in sottocampi, ciascuno dei quali comprende uno o più ghiacciai in situazioni simili di esposizione.

Le superficie glacializzate vengono estratte mediante operazioni di soglia determinate in base all'andamento dei profili di radianza lungo le direttrici bacino di accumulo - fronte, in immagini ottenute dal prodotto banda 5 x banda 6.

Individuati i contorni (fig. 6), si procede alla distinzione tra i due tipi di copertura analizzando l'andamento dei valori di radianza in banda 7. Le carte dei ghiacciai così ottenute (fig. 7) rappresentano il risultato finale della procedura. Su di esse è ben distinguibile l'area glacializzata coperta da neve residua che, in accordo con le osservazioni di campagna, risulta via via più ridotta tra il 1980 e il 1983.

## 5. RISULTATI

L'estensione dei ghiacciai dell'alta Valle Aurina è stata calcolata moltiplicando la superficie di ciascun elemento di immagine classificato come ghiaccio o neve per la sua pendenza, ottenuta per interpolazione lineare tra le isoipse vicine. In tab. 3 sono riportati i risultati di questo procedimento per i tre anni analizzati. Tra il 1980 e il 1981 la superficie glacializzata è aumentata complessivamente di 0,137 km<sup>2</sup>; tra il 1981 e il 1983 di 0,561 km<sup>2</sup>. L'aumento dell'area glacializzata tra il 1980 e il 1983 è di 0,698 km<sup>2</sup>, in accordo con l'attuale ripresa del glacialismo alpino (ZANON, 1983). L'aumento maggiore è stato calcolato per il Ghiacciaio di Lana (+ 0,3 km<sup>2</sup>) che è l'apparato più esteso tra quelli qui considerati. Seguono il Ghiacciaio di Predoi (+ 0,267 km<sup>2</sup>) e il Ghiacciaio Rosso Destro (+ 0,161 km<sup>2</sup>). Aumenti inferiori sono stati calcolati per i ghiacciai di Pié di Cavallo e Rosso Sinistro e spostamenti negativi per i ghiacciai meno estesi. Di questi ultimi è stata calcolata (tab. 3) la variazione di superficie complessiva, avendoli raggruppati secondo il versante di deflusso, per ridurre gli errori di valutazione legati all'esiguità

della loro superficie, ulteriormente accentuata dalla copertura di detrito.

I valori di superficie calcolati nei tre anni analizzati indicano come solo per i ghiacciai di maggiori dimensioni (Lana, Predoi e Rosso Destro) il progresso sia stato continuo. Le variazioni di superficie dei ghiacciai di dimensioni intermedie (Pié di Cavallo e Rosso Sinistro), pur mantenendosi complessivamente di segno positivo, appaiono di minore entità e talora contraddittorie nei tre anni analizzati. I ghiacciai minori presentano anch'essi spostamenti di segno contrastante, e complessivamente indicativi di un regresso.

Queste opposte tendenze sono così riassumibili: i ghiacciai di dimensioni maggiori e medie, in avanzata, sono aumentati di 0,842 km<sup>2</sup>; i ghiacciai minori, in regresso, sono diminuiti di 0,144 km<sup>2</sup>. Le immagini da satellite analizzate si collocano quindi all'interno di una generale fase di avanzata in cui i ghiacciai di minore estensione mostrano una tendenza evolutiva di segno opposto. Questo dato è in accordo con le osservazioni riguardanti il Gruppo di Tessa nelle Alpi Venoste (MATTANA, 1983) dove, accanto all'apparato maggiore in avanzata, i ghiacciai minori risultano in netto regresso.

Sull'evoluzione dei ghiacciai minori non si hanno in genere dati quantitativi sia perché la mancanza di una lingua valliva li rende spesso difficilmente accessibili, sia perché l'esiguità delle loro fluttuazioni mal si presta ed esemplificare le tendenze in atto. L'estensione e la ripetitività delle registrazioni Landsat permettono di ottenere informazioni anche su quei ghiacciai che, per diversi motivi, sfuggono alle osservazioni di campagna e di quantificare l'evoluzione in atto in un dato territorio.

TABELLA 3

VALORI DI SUPERFICIE DEI GHIACCIAI DELL'ALTA VALLE AURINA OTTENUTI DALLE IMMAGINI LANDSAT MSS DEL 2 SETTEMBRE 1980, 6 SETTEMBRE 1981, 9 AGOSTO 1983 E LORO VARIAZIONE TRA IL 1980 E IL 1983.

ghiacciai		superficie (km <sup>2</sup> )			Δ
		02.09.1980	06.09.1981	09.08.1983	1980 - 1983
912	Predoi	0,836	1,003	1,103	+ 0,267
913	Lana	1,521	1,621	1,821	+ 0,300
914	Nord-Occ. del Pié di Cavallo	0,238	0,201	0,341	+ 0,103
915	Occ. del Pié di Cavallo	0,485	0,366	0,375	- 0,110
916	Sud-Occ. del Pié Cavallo				
917	Occ. di Cima del Vento				
918	Bocchetta del Vento di Fuori	0,166	0,155	0,149	- 0,017
918a	A Destra del Ghiacciaio di Valle del Vento	0,420	0,385	0,403	- 0,017
919	Valle del Vento				
920	Rosso Destro	0,930	0,959	1,091	+ 0,161
921	Rosso Sinistro	0,368	0,411	0,379	+ 0,011
Totale		4,964	5,101	5,662	+ 0,698

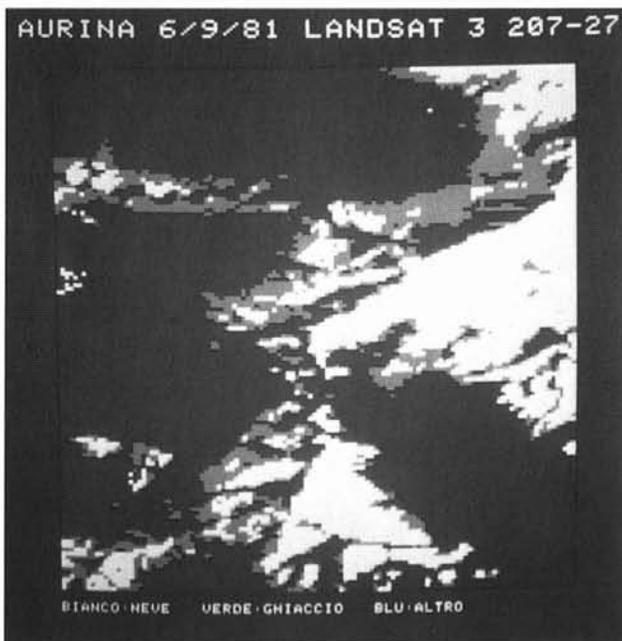


Fig. 7 - Mappe della superficie dei ghiacciai con distinzione dell'area coperta da neve residua ottenute dalle registrazioni MSS del 2.9.1980, 6.9.1981 e 9.8.1983.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BIANCHI A. & DAL PIAZ G.B. (1930) - *Carta geologica dell'alta Valle Aurina e regioni vicine*. Scala 1 : 25 000, Ufficio Idrografico Magistrato alle Acque, Venezia.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE - COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (1962) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Torino, 4.
- DELLA VENTURA A., MUSSIO R., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R. (1981) - *Determination of the spectral signatures of a glacier*. Proc. Intern. Coll. Spectral Signatures Objects Remote Sensing, Avignone, 8 pp., 6 ff.

- DELLA VENTURA A., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R. (1983a) - *Remote sensing observation of glaciers toward their monitoring*. Proc. 17th Symp. Remote Sensing Environment, Ann Arbor, Michigan, 723-733, 8 ff., 2 tabb.
- DELLA VENTURA A., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R. (1983b) - *Glacier monitoring by satellite*. Il Nuovo Cimento, ser. 1, 6 C, 211-222, 6 ff., 2 tabb.
- DONÀ F. (1953) - *Sulla natura ed evoluzione dei "coni" dei ghiacciai con particolare riguardo ad alcuni esemplari osservati nell'alta Valle Aurina, Alpi Pusteresi*, Boll. C.G.I., ser. 2, 4, 178-196.
- HAEFNER H. (1979) - *Digital mapping of mountain snowcover under European conditions*. Operational application satellite snowcover observation, Nasa Conference Publication, 2116, 73-91.
- MATTANA V. (1983) - *La recente evoluzione del glacialismo nel Gruppo di Tessa (Alpi Venoste)*. Materiali Istituto Geografia Univ. Padova, 6, 11 pp., 3 tabb.
- PAGLIARI M. & ZANDONELLA A. (1982) - *Bacino della Marmolada - Analisi multitemporale della copertura nevosa usando immagini Landsat* - Atti 4° Conv. S.I.Te. Gargnano.
- PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - UFFICIO IDROGRAFICO (1983) - *Catasto dei ghiacciai della Provincia di Bolzano*.
- RABAGLIATI R. & SERANDREI BARBERO R. (1979) - *Possibilità di impiego del remote sensing da satellite per il controllo annuale dei ghiacciai*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 2, 35-40, 9 ff.
- SERANDREI BARBERO R. (1977-1984) - In: "COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, *Relazioni delle Campagne Glaciologiche 1976-1983*". Boll. C.G.I., ser. 2, 25, 1977, 144-147; Geogr. Fis. Din. Quat., 1, 1978, 107; 2, 1979, 164; 3, 1980, 125; 4, 1981, 188-189; 5, 1982, 403-405; 6, 1983, 95-97; 7, 1984, 87-88.
- THOMAS I.L., PROWSE T. D. & OWENS I.F. (1979) - *Mapping New Zealand and Antarctic snowpack from Landsat*, NASA Conf. Publ. 2116, 53-72.
- ZANON G. (1985) - *L'attuale tendenza evolutiva dei ghiacciai italiani*, Atti 5° Conv. Glac. It., Geogr. Fis. Din. Quat., 8, 89-96, 5 ff.