



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE

## Università degli studi di Udine

Evoluzione recente e dinamica del ghiacciaio Occidentale del Montasio

*Original*

*Availability:*

This version is available <http://hdl.handle.net/11390/1069961> since 2015-12-09T14:19:13Z

*Publisher:*

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

The institutional repository of the University of Udine (<http://air.uniud.it>) is provided by ARIC services. The aim is to enable open access to all the world.

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



ISSN 1827-3858

[www.umfvfg.org](http://www.umfvfg.org)



# METEOROLOGICA

Semestrale dell'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia

Semiannual Journal of the "Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia"

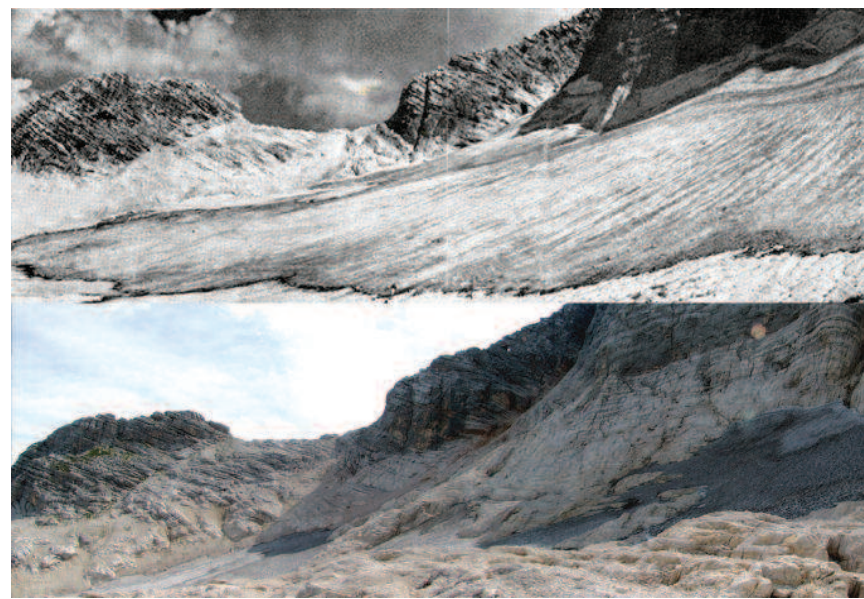
Numero speciale - *Special Issue*

Anno / Year XII - Numero / Number 2

Atti della XIII Conferenza Annuale UMFVG - *Proceeding of the 13<sup>th</sup> UMFVG Annual Conference*

# SOTTO ZERO

Storie di dimi e ghiacciai degli ultimi 30mila anni



Contenuti a cura di:

**Carlo Baroni** (UniPi)  
**Claudio Smiraglia** (UniMi)  
**Giovanni Monegato** (CNR To)  
**Corrado Venturini** (UniBo)  
**Renato R. Colucci** (CNR Ts)  
**Mauro Messerotti** (INFN)  
**Mihaela Triglav** (GI Slo)  
**Gerhard Hohenwarter** (ZAMG Aut)  
**Claudio Pohar** (CGI)  
**Luca Carturan** (UniPd)  
**Emanuele Forte** (UniTs)  
**Stefano Micheletti** (OSMER)  
**Daniele Moro** (Regione FVG)



UMFVG is a member of the  
European Meteorological Society

## METEOROLOGICA

Bollettino dell'Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia  
Bulletin of Friuli Venezia Giulia Meteorological Union  
Reg. Trib. di Udine n. 4 del 26/02/2002

[www.umfvg.org](http://www.umfvg.org)

### Publicato da / published by

Unione Meteorologica del Friuli Venezia Giulia – O.N.L.U.S.  
Via Silvio Pellico, 9 - Cividale del Friuli - ITALY

### Direttore Responsabile / Director

Marco Virgilio

### Direttore editoriale / Chief Editor

Renato R. Colucci

### Redazione / Editorial staff

Renato R. Colucci, Marco Virgilio, Laura Palmisano, Franz Stockinger (ZAMG-Austria), Christian Stefan (ZAMG-Austria), Tanja Cegnar (ARSO-Slovenia)

Per ricevere il bollettino o richiedere informazioni scrivere a:  
To receive the bulletin or ask for informations write to:

e-mail: [segreteria@umfvg.org](mailto:segreteria@umfvg.org)

Questo numero speciale rappresenta gli "Atti della XIII Conferenza annuale UMFVG", è stato realizzato grazie al supporto di tutti i soci. La raccolta ed organizzazione di testi e fotografie, la realizzazione grafica e l'impaginazione sono state curate da Renato R. Colucci e da Marco Virgilio

*This special issue, representing the "Proceedings of the 13th UMFVG Annual Conference", has been realized thanks to the support of all UMFVG members.*

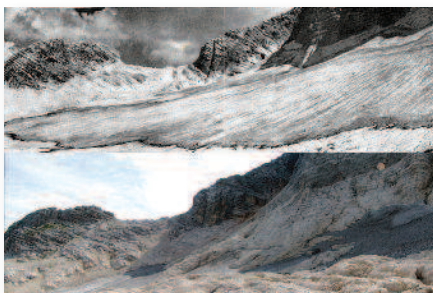
*The collection and the organization of texts and photographs, the graphic design and layout has been edited by Renato R. Colucci and Marco Virgilio*

### Copertina/Cover

Il ghiacciaio orientale del Canin, fotografato dal medesimo punto di osservazione, nel 1948 (D. Di Colbertaldo) e nel 2012 (R.R. Colucci) evidenzia l'importante perdita di massa  
Immagine di sfondo: Ortofoto da elicottero del ghiacciaio orientale del Canin, con le morene della piccola età glaciale, presa il 4 ottobre 2011 - ©UMFVG

*Images of Canin orientale glacier, from the same point of view, taken in 1948 (D. Di Colbertaldo) and in 2012 (R.R. Colucci) emphasizes the important mass loss*

*Background image: Ortophoto from the helicopter of Canin orientale glacier, with moraines of little ice age, taken October 4th, 2011 - ©UMFVG*



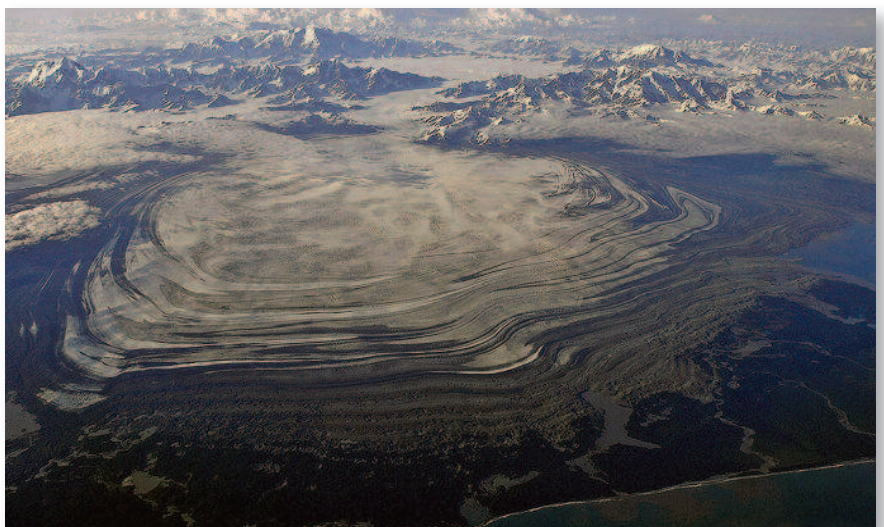
### Abstract

*The 13th UMFVG annual conference, this year, is organized also thanks to the support of Parco Naturale Regionale delle Prealpi Giulie. The aim of this conference is to drive the attention of the general public to a topical and fascinating argument; the cryosphere and its sensitive relation with climate variability. We will do this by telling the history of glacial and landscape evolution of Friuli Venezia Giulia, starting from the end of the Last Glacial Maximum (LGM) up to present days. Dramatic and sudden climate changes occurred several times in the history of the earth, always triggering advances and retreats of glaciers. The huge glacier, flowing out from Tagliamento and Fella valleys about 22 thousand years ago, released the great charge of sediments, trapped inside and above it, forming the gentle moraine hills of high friulian plane. Since then a general climate amelioration occurred even if with some interruption, the last of which is represented by the Younger Dryas event (12500-11700 years before present). The last 10 thousand years have shown a general climate optimum, able to permit the evolution of human culture, society, commerce and agriculture. The little Ice Age (1450-1850 AD) is probably the most important glacial event of last 8000 years. Today we still can see the frontal moraines released by glaciers during this cold and wet phase of climate evolution, standing in some cases only few hundred meters away from the present glacier terminus. We will not talk here about human impact on climate, this is another story; our aim is to make a summary of the recent glaciological researches actually in progress in Friuli Venezia Giulia. This, we hope, will be useful for understanding how is important it is to know the past evolution of climate, in order to better understand the possible future scenarios. Last, but not least, we warmly thank sponsorships and patronages of Italian Glaciological Committee (CGI), Italian Association of Physical Geography and Geomorphology (AIGEO), Friulian Alpine Society (SAF), Venzone Municipality and the Regional Administration of Friuli Venezia Giulia.*

### Introduzione

E' con estrema soddisfazione che introduco la conferenza annuale UMFVG, quest'anno giunta alla sua tredicesima edizione, organizzata con il supporto del Parco Naturale Regionale delle Prealpi Giulie. Un convegno che vuole portare all'attenzione del pubblico un argomento tanto di attualità quanto affascinante: l'evoluzione della criosfera, così sensibile ai mutamenti del clima, in un lasso di tempo che va dalla fine dell'ultima glaciazione wurmiana fino ai giorni nostri.

Recenti lavori, pubblicati su riviste internazionali *peer review* del settore, evidenziano come l'ultimo acme glaciale (Last Glacial Maximum o LGM) si sia verificato tra 27mila e 22mila anni fa, quando l'enorme lingua del ghiacciaio tilaventino uscì dalle valli del Tagliamento e del Fella per espandersi a ventaglio nell'alta pianura friulana, assieme al suo abbondante carico detritico. Una visione imponente, che potremmo oggi paragonare, forse, a quella assunta dal ghiacciaio Malaspina, in Alaska (figura 1). Un carico tale di sedimenti, di dimensioni le più svariate, rilasciato alla fronte di questo enorme nastro trasportatore che andò a formare quelle che oggi sono le colline moreniche della periferia nord di Udine, testimoni di quello che fu uno dei più intensi mutamenti climatici della storia del pianeta degli ultimi 30mila anni. Le evidenze, gli indizi e le prove per asserire che fu un enorme ghiacciaio a disegnare e plasmare la geometria



Laurent Dick

Fig. 1

Vista aerea del ghiacciaio Malaspina, Alaska; l'aspetto dell'alta pianura friulana di 22mila anni fa potrebbe non discostarsi molto da questa immagine  
*Aerial view of Malaspina glacier, Alaska; the appearance of the high friulian plane 22 thousand years ago may not differ much from this picture*

delle colline dell'alta pianura friulana sono tali da lasciare veramente pochi dubbi in merito.

Dall' LGM iniziò una fase caratterizzata da regimi fluviali imponenti dovuti alla fusione continua di queste enormi masse ghiacciate che via via si ritiravano sempre più in alto e sempre più all'interno delle nostre montagne. Una fase interrotta da alcune brevi recrudescenze climatiche, l'ultima delle quali avvenuta tra 12.500 e 11.700 anni fa, nota con il nome di Younger Dryas. Da lì in poi il clima continuò a scaldarsi raggiungendo tra gli 8000 ed i 6000 anni fa quello che è chiamato Optimum Climatico Olocenico. Questo miglioramento del clima permise lo sviluppo della società umana, della cultura, delle prime forme di commercio e dell'agricoltura. 6000 anni fa, probabilmente, l'estensione glaciale delle Alpi era molto ridotta rispetto a quella attuale con il bosco che si spingeva anche 200-300 m più in alto di quanto non faccia ai giorni nostri. Gli ultimi 5000 anni sono storia recente, recentissima. Un periodo contraddistinto da una lenta recrudescenza climatica che troverà il suo acme nella piccola età glaciale, tra il 1450 ed il 1850. I resti lasciati dall'avanzata dei ghiacciai alpini di questo periodo sono ancora visibili e praticamente intatti, a volte a poche centinaia di metri dalle attuali fronti glaciali che così rapidamente stanno nuovamente contraendosi e ritirandosi a

quote via via più elevate. Un'altalena continua che porta ghiacciai ad espandersi ed a ridursi, se non a scomparire, per poi ricostituirsi ed avanzare ancora verso valle. Un'altalena continua che funziona, naturalmente, da milioni di anni, e che per la prima volta potrebbe essersi inceppata per una motivazione diversa, in gran parte derivante dal nostro sviluppo tecnologico ed energetico... ma questa è un'altra storia, di cui oggi, qui, non parleremo. Parleremo invece dei segni lasciati sul territorio del FVG da questi eventi del passato lontano e recente dalla portata così imponente; parleremo dello stato attuale dei nostri ghiacciai, o di quel poco che di loro, in Friuli Venezia Giulia, resta; parleremo di coloro che si occupano di monitorare, osservare e prevedere l'evoluzione di neve e ghiaccio oggi; parleremo di cosa l'UMFVG stia facendo in questo senso negli ultimi anni grazie anche alle collaborazioni scientifiche instaurate in regione, ma anche all'estero, come il caso della vicina Slovenia. Questo numero speciale della rivista, che di fatto rappresenta gli "Atti della XIII conferenza annuale UMFVG", nasce con l'intento di raccogliere e riassumere le attività di ricerca in campo glaciologico in atto in Friuli Venezia Giulia e nelle vicine Slovenia e Carinzia, che con noi condividono punti di vista diversi delle nostre montagne.

Oltre a ringraziare tutti gli autori che con i loro contributi scientifici hanno permesso la realizzazione di questo numero speciale, devo dire grazie a tutti coloro che in un modo o nell'altro hanno dato il loro contributo, volontario, alla realizzazione di questa edizione della conferenza. Un ringraziamento particolare va anche agli importanti patrocinanti: Il Comitato Glaciologico Italiano (CGI), l'Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia (AIGEO), la Società Alpina Friulana (SAF), il Comune di Venzone e la Regione Friuli Venezia Giulia.

Un ringraziamento speciale ai moderatori del convegno:

#### Fabio Pagan

Biologo e giornalista scientifico, è stato redattore de "Il Piccolo" (sul quale scrive da 45 anni), addetto stampa del Centro internazionale di fisica teorica di Trieste e vicedirettore del Master in comunicazione della scienza della SISSA. Conduttore della trasmissione RAI-Radio3 Scienza, fa parte del direttivo dell'UGIS (Unione giornalisti italiani scientifici). Ha pubblicato "Dentro l'atomo" (Fabbri, 1983) in una collana diretta da Piero Angela e "Io penso che domani" con Margherita Hack (Scienza Express, 2013). Da molti anni collabora con l'UMFVG e coordina la conferenza annuale.

#### Barbara Pernar

Laureata in Scienze della Comunicazione all'Università di Trieste, dal 2002 lavora come conduttrice presso Radio Punto Zero, conduce il programma del mattino e le numerose rubriche, con la partecipazione di vari ospiti. Appassionata di scienza dai tempi del liceo scientifico, dedica spesso spazi e rubriche ad argomenti che riguardano la meteorologia ed il clima, di cui anche l'emittente Triveneta si occupa quotidianamente. Annualmente segue con interviste, articoli e approfondimenti i convegni dell'UMFVG.

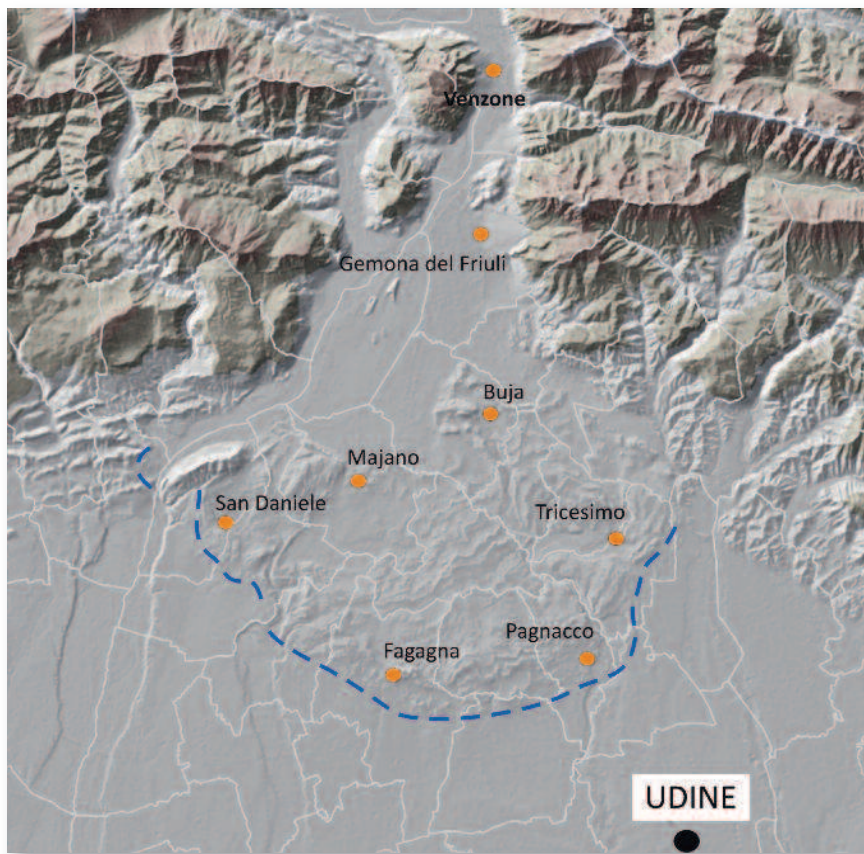


Fig. 2

Modello digitale del terreno (© Regione FVG) grazie al quale è possibile intuire la serie di archi morenici dell'anfiteatro del Tagliamento. La linea azzurra evidenzia la massima fase di avanzata LGM, denominata Santa Margherita (Monegato et al., 2007)

Digital terrain model (© Regione FVG) allow the visualization of the Tagliamento morainic amphitheater. The blue line outlines Santa Margherita maximum advance of LGM (Monegato et al., 2007)

## EVOLUZIONE RECENTE E DINAMICA DEL GHIACCIAIO OCCIDENTALE DEL MONTASIO

Luca Carturan

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università di Padova, Via dell'Università 16, 35020, Legnaro (Padova)

### Abstract

This work presents the current rapid changes occurring on the Montasio Occidentale glacier, which is representative of low-altitude, avalanche-fed and debris-covered glaciers in the European Alps. These glaciers are quite common in the Alps but their reaction to climate changes is still poorly known. The mass balance, surface velocity fields, debris cover dynamics were investigated by repeat high-resolution TLS scanning from September 2010 to October 2012. The results shed light on the peculiar response of this glacier to climatic changes, on its current dynamics and on the feedback played by the debris cover, which is critical for its preservation.

Il Montasio Occidentale (World Glacier Inventory: I4L0003005, WGMS, 1989) è un piccolo ghiacciaio collocato alla base della parete nord dello Jôf di Montasio (Alpi Giulie) e si sviluppa tra i 1860 e i 2050 m di quota, con una media di 1910 m s.l.m. (Fig. 1 e 2). Il ghiacciaio è costituito da una ripida zona di accumulo superiore ed una zona di ablazione inferiore a minore pendenza e coperta di detriti. La superficie del ghiacciaio è di 6.77 ha e la principale fonte di alimentazione è costituita dall'accumulo di valanghe dalle pareti rocciose soprastanti. La temperatura media annua dell'aria è stata estrapolata alla quota media del ghiacciaio dalla stazione meteorologica di Pontebba (561 m s.l.m. e 13 km a nord-ovest del ghiacciaio) utilizzando il gradiente calcolato con la stazione di Monte Lussari (1760 m s.l.m.,  $-6.1^{\circ}\text{C km}^{-1}$ ), risultando pari a  $1.9^{\circ}\text{C}$ .

Tra il 2010 e il 2012 sono state effettuate cinque scansioni TLS (Laser Scanner Terrestre) ad alta risoluzione per valutare il bilancio di massa del ghiacciaio, la velocità superficiale, le dinamiche della copertura detritica e gli effetti dei fenomeni meteorologici intensi. Per i rilievi è stato usato il TLS Riegler LMS-Z620, operando da due postazioni situate sopra la morena terminale della Piccola Età Glaciale, che hanno fornito buoni angoli di incidenza e una buona copertura complessiva del bacino. I rilievi sono stati effettuati in data 23 settembre 2010, 31 maggio 2011, 29 settembre 2011, 17 maggio 2012 e il 5 ottobre 2012. I dati topografici grezzi

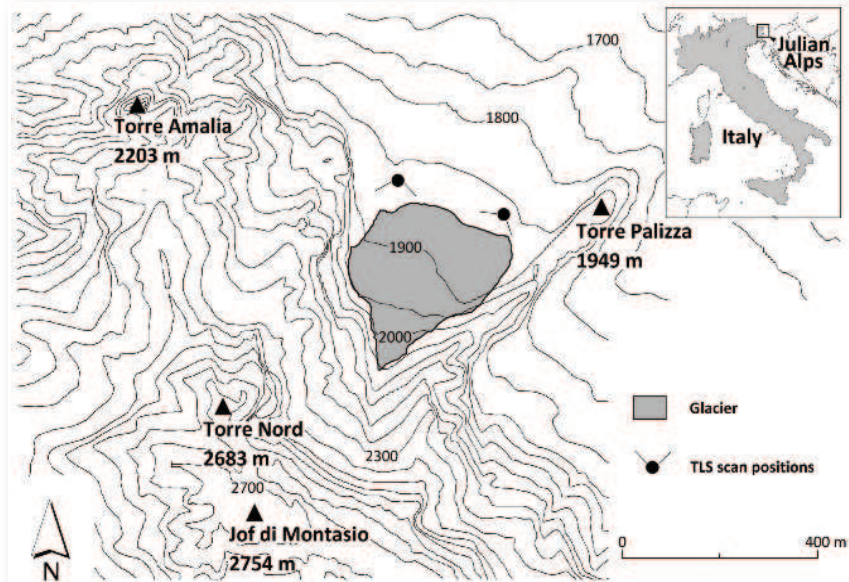


Fig. 1  
Inquadramento geografico del ghiacciaio e posizione dei punti di scansione  
Geographic setting of Montasio Occidentale glacier and positions of geodetic survey points

acquisiti dal TLS sono stati elaborati in modo da ottenere modelli numerici della superficie (DTM) con pixel di  $10 \times 10$  cm. Per la parte inferiore del ghiacciaio, più vicina ai punti di rilevamento, è stato generato anche un DTM con pixel di  $5 \times 5$  cm utile per la determinazione delle velocità superficiali.

Dalla differenza tra i DTM acquisiti nelle cinque diverse date sono stati calcolate le variazioni di quota della superficie, da cui è stato ricavato il bilancio di massa mediante il cosiddetto 'metodo geodetico'. La densità della neve, per i bilanci invernali, è stata misurata durante i sopralluoghi primaverili risultando compresa tra  $0.55$  e  $0.59 \text{ kg m}^{-3}$ . Per il bilancio netto di massa annuale del 2011, data la trascurabile variazione della copertura di neve e firn tra settembre 2010 e settembre 2011, è stata assunta una densità di  $900 \text{ kg m}^{-3}$ . Nell'anno successivo

si è verificata una significativa riduzione dell'area coperta da neve e firn e quindi la densità media è stata calcolata ipotizzando una densità di  $650 \text{ kg m}^{-3}$  per la frazione di firn rimosso, ottenendo un valore di  $825 \text{ kg m}^{-3}$  mediato sull'intero ghiacciaio. La parte bassa del ghiacciaio, che si è presentata sempre priva di copertura nevosa nei rilievi autunnali, ha consentito di quantificare le velocità superficiali analizzando lo spostamento di detriti in superficie. Infine alcune aree al di fuori del ghiacciaio, su roccia o terreno stabile, sono state utilizzate per valutare l'accuratezza delle misurazioni individuali che è descritta da valori di RMSE di  $0.04 \text{ m y}^{-1}$  per la velocità e  $0.12 \text{ m}$  per le differenze di quota sui singoli pixel.

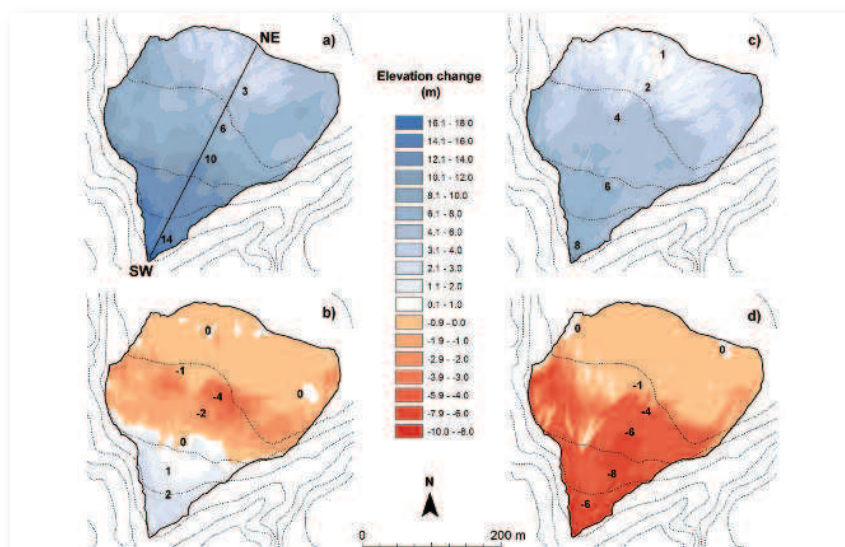
Durante il periodo di osservazione si sono verificati forti cambiamenti di quota stagionali e annuali (Fig. 3). Al termine delle due stagioni di accumulo

Tabella 1. Condizioni climatiche (Pontebba 561 m s.m., periodo 1981- 2010) e misure del bilancio di massa					
Anno	anomalia precipitazione novembre-aprile	anomalia temperatura maggio-ottobre	bilancio invernale	bilancio estivo	bilancio netto annuo
	(%)	( $^{\circ}\text{C}$ )	(m w.e.)	(m w.e.)	(m w.e.)
2010-2011	+ 4	+ 0.7	+4.2	-4.6	-0.4
2011-2012	- 49	+ 1.0	+2.4	-4.5	-2.1

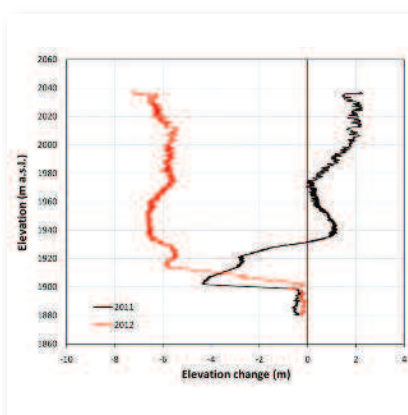
Tab. 1  
Condizioni climatiche (Pontebba 561 m s.l.m., periodo di riferimento 1981- 2010) e misure del bilancio di massa  
Climatic conditions (Pontebba weather station 561 m a.s.l., reference period 1981-2010) and mass balance observation



**Fig. 2**  
La parete Nord dello Jôf di Montasio (2754 m s.l.m.) con il ghiacciaio alla base  
The north side of Mt. Jôf di Montasio (2754 m a.s.l.) with the glacier at its base



**Fig. 3**  
Variazioni di quota misurate: a) 09/2010 – 05/2011, b) 09/2010 – 09/2011, c) 09/2011 – 05/2012 d) 09/2011 – 10/2012  
Measured elevation changes: a) 09/2010 – 05/2011, b) 09/2010 – 09/2011, c) 09/2011 – 05/2012 d) 09/2011 – 10/2012



**Fig. 4**  
Variazioni della superficie rispetto alla quota 09/2010 – 09/2011 (linea nera) e 09/2011 – 10/2012 (linea rossa) lungo il profilo SW-NE della Fig. 3a  
Elevation changes vs. elevation 09/2010 – 09/2011 (black line) and 09/2011 – 10/2012 (red line) following the SW-NE line in Fig. 3a

sono stati rilevate grandi quantità di neve soprattutto nella parte superiore del ghiacciaio dove si arrestano frequenti valanghe. Lo spessore del manto nevoso variava da 2 a 15 m nel 2011 (7.5 m in media) e da 0.5 a 10 m nel 2012 (4.1 m in media). L'equivalente in acqua (w.e.) della neve accumulata è stato pari a 4.2 m nel 2011 e 2.4 m nel 2012.

Le variazioni annuali di quota presentano una distribuzione spaziale costante nella parte bassa del ghiacciaio, che è coperta di detriti e si è abbassata da 0 a 1 m (Fig. 3 b e d). Al contrario le variazioni di quota sono risultate molto diverse nelle parti centrale e superiore del ghiacciaio. Nel primo anno l'abbassamento è stato prevalente nella fascia 1900-1940 m s.l.m., mentre ad altitudini più elevate si è

verificato un ispessimento (Fig. 4). Nel secondo anno sono state osservate perdite di quota di diversi metri (6 m in media) in tutta la parte superiore del ghiacciaio, con un forte gradiente di variazione altimetrica a circa 1910 m s.l.m.. La variazione media è stata di -0.5 m nel 2010-'11 e -2.6 m nel 2011-'12, che corrispondono ad un bilancio di massa geodetico netto annuo di -0.4 e -2.1 m w.e. e ad un bilancio estivo di -4.6 e -4.5 m w.e., rispettivamente (Tab. 1).

Le principali differenze tra i due anni, in termini di condizioni climatiche, hanno riguardato la precipitazione durante la stagione di accumulo, mentre le differenze di temperatura durante la stagione di ablazione sono state meno rilevanti (tab. 1). Di conseguenza, la risposta del ghiacciaio sembra essere guidata principalmente dalle anomalie di precipitazione, come suggerito da Carturan et al. (2013) e da Serandrei Barbero et al. (1989). È interessante notare che il bilancio estivo è stato proporzionale all'anomalia termica dell'aria nelle stagioni di ablazione, ovvero con temperature più elevate è stata misurata una minore ablazione.

Questo paradosso può essere spiegato con il feedback negativo esercitato dalla spessa copertura di detriti che copre il ghiaccio, riducendo i tassi di ablazione una volta che la neve e il firn siano esauriti. Come si nota in fig. 4, i cambiamenti di quota sono scarsi al di sotto di 1900 m in entrambi gli anni. Questa quota separa la parte superiore, prevalentemente libera di detriti, dalla zona inferiore, coperta da uno strato di detrito spesso mediamente 2.5 m che limita fortemente la fusione. Nel 2011 le maggiori perdite di quota sono state rilevate nella fascia di quota 1900-1930 m, dove il firn degli anni precedenti è stato esposto all'ablazione estiva, mentre più in alto la neve d'inverno è perdurata fino al termine della stagione di ablazione, con conseguente accumulo netto e ispessimento. Nel 2012 l'accumulo di neve non ha controbilanciato l'elevata ablazione causata dalle alte temperature estive e su tutto il ghiacciaio si è verificata ablazione netta.

La fig. 5 mostra in maggiore dettaglio i cambiamenti di quota da settembre 2011 a ottobre 2012. Come si vede, l'abbassamento della superficie del ghiacciaio è strettamente correlato al tipo di superficie che è stata esposta all'ablazione. Nella metà inferiore del ghiacciaio quando la neve e firn si sono esauriti i tassi di ablazione sono calati bruscamente per l'effetto isolante dello strato di detriti. Al contrario, nella metà superiore del ghiacciaio, dove il firn persiste per tutta l'estate, i tassi di ablazione rimangono elevati causando un massiccio assottigliamen-

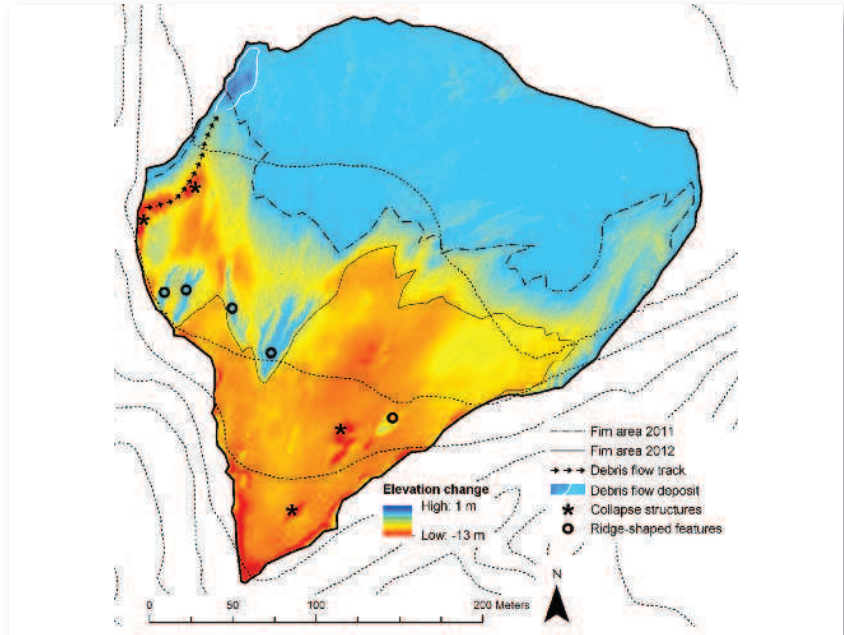
to del corpo di ghiaccio. Nel complesso queste evidenze confermano l'impatto minore della temperatura dell'aria e l'importanza maggiore di precipitazioni solide nel controllo del bilancio di massa del ghiacciaio del Montasio Occidentale, evidenziando la sua complessa risposta ai cambiamenti climatici dovuta al feedback associato alla spessa copertura detritica.

Piccole aree sono collassate nella parte superiore del ghiacciaio (Fig. 5) a causa della presenza di cavità subglaciali il cui tetto è crollato una volta raggiunto uno spessore critico a causa dell'ablazione. Nella parte occidentale del ghiacciaio si è verificato un crollo, probabilmente causato da un flusso concentrato di acqua piovana dalle soprastanti pareti di roccia, che ha provocato la rottura di uno sbarramento temporaneo e la conseguente formazione di un piccolo debris-flow. A causa della rapida fusione del firn, nel 2012 i depositi a forma di cresta presenti nella parte superiore del ghiacciaio erano di gran lunga più sporgenti rispetto alla situazione osservata nel 2011.

La velocità superficiale nella parte bassa del ghiacciaio è risultata confrontabile nei due anni e varia nei diversi punti da 0 a 35 cm y<sup>-1</sup> con una media di 20 cm y<sup>-1</sup> (Fig. 6). Da notare che la direzione del flusso è risultata più divergente nel 2012 rispetto al 2011, comportamento piuttosto sorprendente dato il piccolo intervallo di tempo tra le due osservazioni. Una possibile spiegazione può essere ricercata nelle differenze di spessore e distribuzione spaziale di firn e neve sulla zona di accumulo (Fig. 5). Nel 2011 gli spessi depositi da valanga superiori e laterali possono aver indotto una leggera deviazione del flusso di ghiaccio dalla direzione di massima pendenza, mentre nel 2012 lo spostamento della parte bassa del ghiacciaio pare essere dominato dal gradiente topografico, data la rapida contrazione e assottigliamento della zona di accumulo.

**Conclusioni**

I metodi e gli strumenti che sono stati utilizzati per il monitoraggio dei rapidi cambiamenti in atto sul ghiacciaio Occidentale del Montasio hanno fornito risultati soddisfacenti e chiavi di lettura interessanti per i processi investigati. L'intero ghiacciaio è stato rilevato in modo efficace da due postazioni di scansione utilizzando un laser scanner terrestre (TLS), evitando così l'accesso diretto alla superficie del ghiacciaio. I dati acquisiti hanno consentito la costruzione di modelli digitali ad altissima risoluzione, che sono stati utilizzati per studiare le attuali dinamiche del



**Fig. 5**  
Variazioni di quota e di estensione della copertura a Firn tra l'autunno 2011 e l'autunno 2012  
Elevation changes and shrinking of the Firn-covered area in the 2011-2012 hydrological year

ghiacciaio e i processi che regolano la sua risposta ai cambiamenti climatici.

Le diverse condizioni climatiche nei due anni osservati, in particolare per l'accumulo di neve invernale, confermano i risultati di Carturan et al. (2013) che suggeriscono una elevata sensibilità del ghiacciaio alle precipitazioni invernali, e una bassa sensibilità alle temperature estive. La spessa copertura detritica riduce fortemente i tassi di ablazione dopo che la neve invernale e il firn degli anni precedenti si sono fusi. Lo spostamento della superficie nei due anni di osservazione è risultato analogo in velocità ma piuttosto diverso in direzione.

Questi risultati sono interessanti e in qualche modo contrastanti rispetto a ghiacciai alpini definibili "normali" (vale a dire più grandi, privi di detriti, a quote più elevate e con trascurabile accumulo valanghivo), che mostrano una maggiore sensibilità alle temperature estive e prevalenti feedback positivi durante il processo di deglaciazione, come per esempio l'abbassamento dell'albedo, l'abbassamento della superficie, e l'aumento dell'emissione termi-

ca da parte delle aree in roccia che emergono dal ghiacciaio.



**Fig. 6**  
Spostamento medio annuo della superficie: (a) 09/2010-09/2011, (b) 09/2011-10/2012  
Annual surface velocities: (a) 09/2010-09/2011, (b) 09/2011-10/2012

**Riferimenti Bibliografici**

Carturan L, Baldassi GA, Bondesan A, Calligaro S, Carton A, Cazorzi F, Dalla Fontana G, Francese R, Guarnieri A, Milan N, Moro D, Tarolli P (2013) Current behaviour and dynamics of the lowermost Italian glacier (Montasio Occidentale, Julian Alps). *Geogr Ann A* 95:79-96

Serandrei Barbero R, Rabagliati R, Zecchetto S (1989) Analisi delle misure alle fronti dei ghiacciai delle Alpi Giulie e correlazioni con i dati climatici. *Geogr Fis Din Quat* 12:139-149

WGMS (World Glacier Monitoring Service) (1989) - World glacier inventory - Status 1988. Haeberli, W., Bösch, H., Scherler, K., Østrem, G. and Wallén, C. C. (eds.), IAHS (ICSU) / UNEP / UNESCO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland: 458 pp.