



# Supraglacial automatic weather stations and their contribution to the study of energy and mass balance of glaciers: the case of the Forni Glacier (2009 and 2010 data)

G. Diolaiuti (1), A. Senese (1), G.P. Verza (2), C. Smiraglia (1)

(1) Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio", Università degli Studi di Milano, Via Mangiagalli 34, 20133 Milano, Italy

([guielmina.diolaiuti@unimi.it](mailto:guielmina.diolaiuti@unimi.it))

(2) Comitato EvK2CNR, via San Bernardino 145, Bergamo, Italy

([gianpietro.verza@evk2cnr.org](mailto:gianpietro.verza@evk2cnr.org))

## Introduzione

- I ghiacciai rappresentano sistemi complessi che scambiano energia e massa con l'atmosfera e rilasciano acqua che confluisce nell'idrosfera
- Le caratteristiche che determinano gli scambi di energia e massa mutano nel corso dell'anno
- Le relazioni e le interazioni sono a scala locale, regionale e globale



## Introduzione

-Per determinare gli scambi energetici e di massa di un ghiacciaio è molto importante descrivere e quantificare l'*atmospheric boundary layer* attraverso misure dirette alla superficie.

-I primi studi pionieri.... ( Ambach, 1963; Björnsson, 1972; Hogg & alii, 1982; Ishikawa & alii, 1999) hanno fornito le basi dell'attuale conoscenza sul bilancio energetico superficiale di un ghiacciaio.

-Negli ultimi anni, sono stati realizzati esperimenti glacio-meteorologici misurando gli elementi del flusso energetico superficiale contemporaneamente in molte stazioni supraglaciali (Oerlemans & Vugts, 1993; Greuell & alii, 1997; Oerlemans & alii, 1999). Questi ultimi studi hanno fornito dati meteorologici supraglaciali e misure di terreno dei flussi solari sebbene per periodi limitati (una o più estati).



## Introduzione

-Fino al 1987 quasi esclusivamente e

-Dal 1987 rilievi anche in area di ablazione della calotta groenlandese  
-Norvegia- e del Morteratschgletscher

-La serie di dati migliori è stata ottenuta al Morteratschgletscher grazie alle particolari condizioni atmosferiche favorevoli (i.e. alta trasparenza del vapore acqueo e neve fusa che altro

sensori, Oerlemans, 2001).



## Introduzione

-In Italia la micro-meteorologia basata su acquisizioni di dati atmosferici inizia nel 2005 (AWS) sopragliaciali

-temporanee e/o  
-quasi esclusivamente in biviacchi, isole perse

Il 26 Settembre 2005  
per una rete di monitoraggio



continuative dei parametri  
c Weather Station

ak, infrastrutture (rifugi,

Forni parte un progetto  
iale italiano

*La prima stazione meteorologica supragliaciale italiana ubicata a 2700 m di quota sulla lingua di ablazione del Ghiacciaio dei Forni (Parco Nazionale dello Stelvio, alta Valtellina, Lombardia), il più grande ghiacciaio vallivo italiano (c. 12 km<sup>2</sup> di area). La stazione è sorretta da un quadripode in acciaio inox, è alimentata da una batteria in tampone con un pannello solare da 40W, è dotata di un data logger a 20 canali. I sensori sono conformi alle indicazioni della WMO (World Meteorological Organization).*



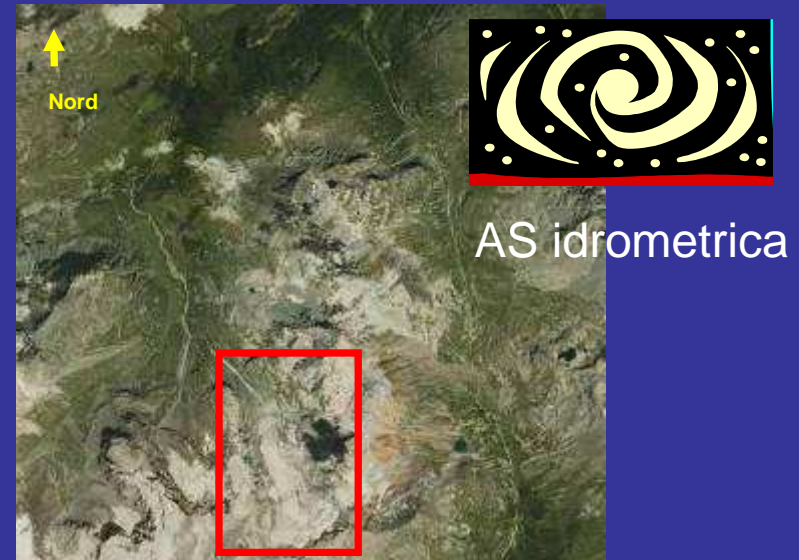
# Il network italiano

**SHARE**  
Stations at High Altitude for Research on the Environment

17 Dicembre 2007: Gh. del Gigante



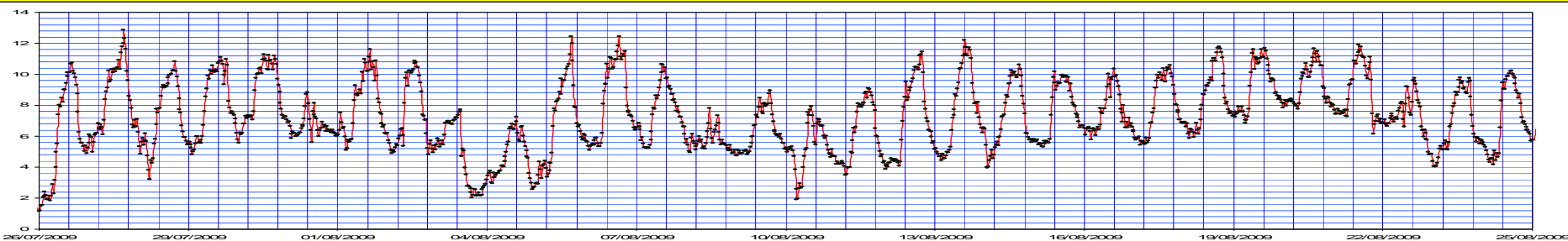
13 Agosto 2007: Gh. Dosdè Orientale



26 Settembre 2005: Gh. Dei Forni



## Il network italiano: AWS1 Forni



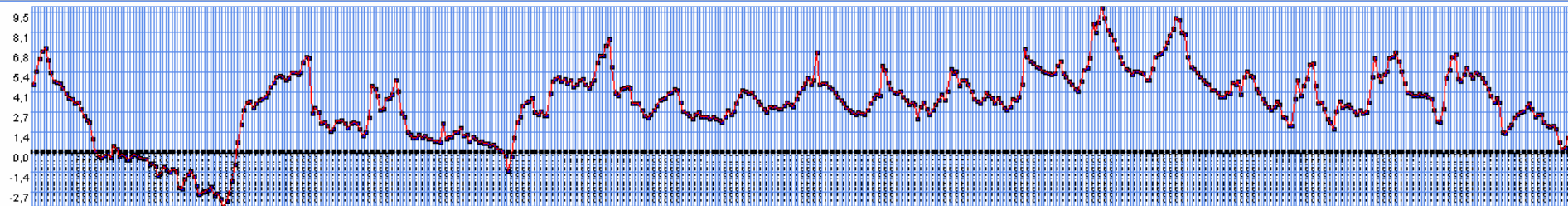
### Ghiacciaio dei Forni – Ortles Cevedale, 2700 m



sensori	u.m.	descrizione	Campo di misura	Accuratezza e/o limiti ambientali
Termometro a ventilazione naturale	°C	Sensore Lsi modello DMA572 Elemento sensibile Pt100 1 DIN	-30° C + +70°C	± 0,1° C (a 0° C)
Igrometro per misura umidità relativa	%	Sensore Lsi modello DMA572. Elemento sensibile 3 DIN	0% + 100%	± 1,5%
Barometro compensato	hPa	Sensore Lsi DQA240#S	800 - 1100 hPa (1 hPa = 1 mBar)	1 hPa; Deriva termica: 0,01 hPa/°C per temperature -10° C + +60° C
Nivometro ad ultrasuoni	m	Sensore Lsi Principio di funzionamento: pulsazioni ultrasoniche (50 kHz). Dotato del sistema di compensazione termica che riduce l'effetto della temperatura sulla misura	0 a 8 m	0,1%; Limiti ambientali: -30° C + +60° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda corta entrante SWin	W/m2	Radiometro netto pyranometro- CNRI Kipp and Zonen	< 2000 W/m2	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda corta riflessa SWout	W/m2	Radiometro netto pyranometro CNRI Kipp and Zonen	< 2000 W/m2	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda lunga entrante LWin	W/m2	Radiometro netto - pyrgeometro CNRI Kipp and Zonen	-250 < LW < 100	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda lunga emessa LWout	W/m2	Radiometro netto - pyrgeometro CNRI Kipp and Zonen	-250 < LW < 100	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Temperatura per dati onda lunga	°C	Radiometro netto - pt 100-CNRI Kipp and Zonen -	-30° C + +70°C	± 0,1° C (a 0° C)
Precipitazioni liquide	mm	Pluviometro 1000 cm2 LSI Lartem DQA035	> 2°C	2 mm
Velocità e direzione del vento	m/s e °	LSI Lartem DNA022	0-80 m/s 0-360°	



# Il network italiano: AWS Monte Bianco - Osram



Ghiacciaio del Gigante – M. Bianco (3430 m slm)



AS Roccia

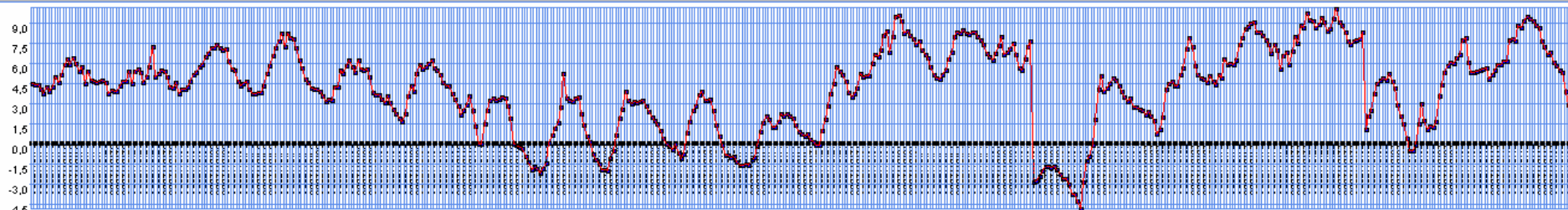
## Informazioni generali

Località:	Monte Bianco Ghiacciaio Gigante
Altezza s.l.m (metri):	3430
Posizione geografica:	45° 50' 50" N - 06° 55' 58" E
Elaborazioni (min):	60
Numero di elaborazioni:	38
Descrizione:	Stazione meteo
Acquisitore:	Elog

sensori	u.m.	descrizione	Campo di misura	Accuratezza e/o limiti ambientali
Termometro a ventilazione naturale	°C	Sensore Lsi modello DMA572 Elemento sensibile Pt100 1 DIN	-30° C + +70°C	±0,1° C (a 0° C)
Igrometro per misura umidità relativa	%	Sensore Lsi modello DMA572 Elemento sensibile 3 DIN	0% - 100%	± 1,5%
Barometro compensato	hPa	Sensore Lsi DQA240WS	800 - 1100 hPa (1 hPa = 1 mBar)	1 hPa, Deriva termica: 0,01 hPa/°C per temperature -10° C + +60° C
Nivometro ad ultrasuoni	m	Sensore Lsi Principio di funzionamento: pulsazioni ultrasoniche (50 kHz); Dotato del sistema di compensazione termica che riduce l'effetto della temperatura sulla misura	0 a 8 m	0,1%; Limiti ambientali: -30° C + +60° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda corta entrante SWin	W/m2	Radiometro netto pyrrometro- CNR1 Kipp and Zonen	< 2000 W/m2	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda corta riflessa SWout	W/m2	Radiometro netto pyrrometro CNR1 Kipp and Zonen	< 2000 W/m2	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda lunga entrante LWin	W/m2	Radiometro netto - pyrrometro CNR1 Kipp and Zonen	-250 < LW < 100	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda lunga emessa LWout	W/m2	Radiometro netto - pyrrometro CNR1 Kipp and Zonen	-250 < LW < 100	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Temperatura per dati onda lunga	°C	Radiometro netto - pt 100- CNR1 Kipp and Zonen -	-30° C + +70°C	± 0,1° C (a 0° C)



# Il network italiano: AWS Dosedè - Levissima



Ghiacciaio Dosedè – Piazzi-Campo (2850 m slm)



AS idrometrica

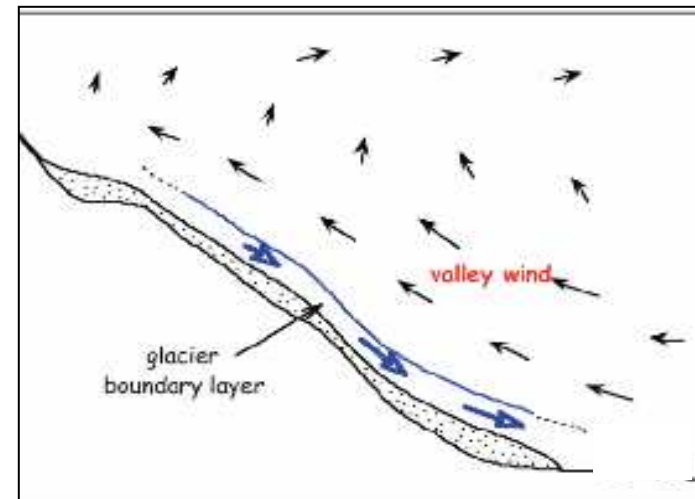
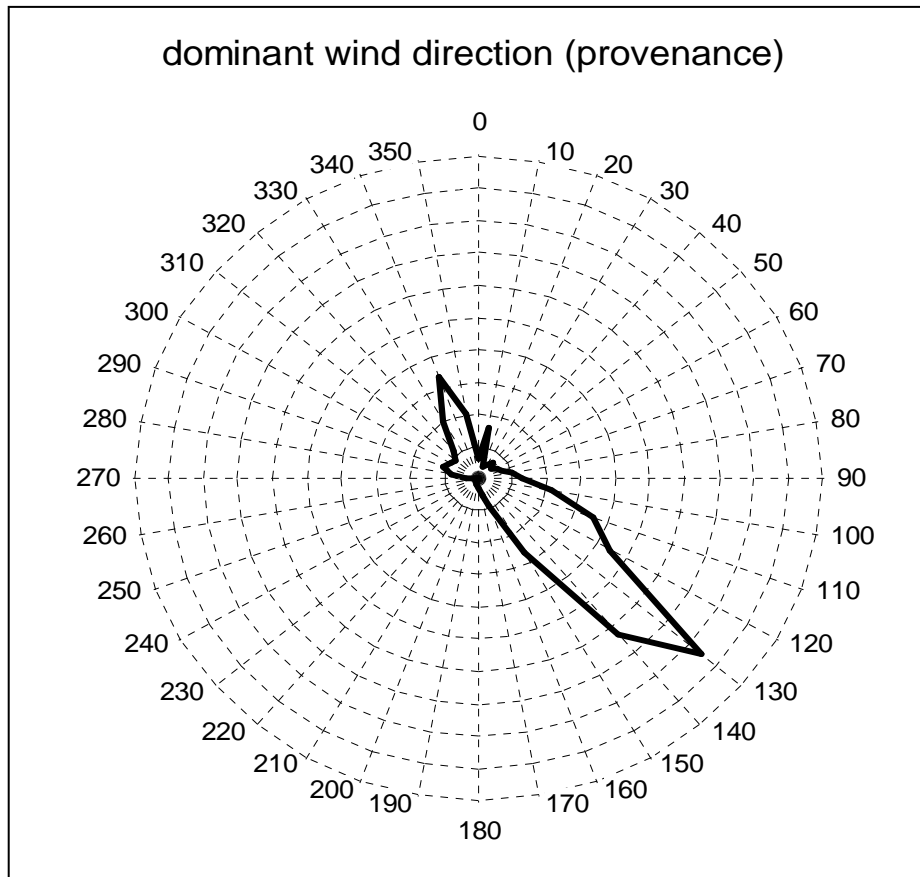


## Informazioni generali

Località:	Ghiacciaio Dosedè orientale Valdidentro (SO)
Altezza s.l.m (metri):	2850
Posizione geografica:	46° 23' 33.9"N - 10° 13' 3.6"E
Elaborazioni (min):	60
Numero di elaborazioni:	35
Descrizione:	Stazione meteorologica
Acquirente:	Elog matricola 08010258

sensori	u.m.	descrizione	Campo di misura	Accuratezza e/o limiti ambientali
Termometro a ventilazione naturale	°C	Sensore Lsi modello DMA572 Elemento sensibile Pt100 1 DIN	-30° C + +70°C	±0,1° C (a 0° C)
Igrometro per misura umidità relativa	%	Sensore Lsi modello DMA572. Elemento sensibile 3 DIN	0% + 100%	± 1,5%
Barometro compensato	hPa	Sensore Lsi DQA240WS	800 - 1100 hPa (1 hPa = 1 mBar)	1 hPa; Deriva termica: 0,01 hPa/°C per temperature -10° C + +60° C
Nivometro ad ultrasuoni	m	Sensore Lsi Principio di funzionamento: pulsazioni ultrasoniche (50 kHz); Dotato del sistema di compensazione termica che riduce l'effetto della temperatura sulla misura	0 a 8 m	0,1%; Limiti ambientali: -30° C + +60° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda corta entrante SWin	W/m2	Radiometro netto pyranometro- CNR1 Kipp and Zonen	< 2000 W/m2	Limiti ambientali: -40° C - +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda corta riflessa SWout	W/m2	Radiometro netto pyranometro- CNR1 Kipp and Zonen	< 2000 W/m2	Limiti ambientali: -40° C - +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda lunga entrante LWin	W/m2	Radiometro netto - pyrgeometro CNR1 Kipp and Zonen	-250 <LW<100	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Radiazione ad onda lunga emessa LWout	W/m2	Radiometro netto -pyrgeometro CNR1 Kipp and Zonen	-250 <LW<100	Limiti ambientali: -40° C + +80° C
Radiometro netto- Temperatura per dati onda lunga	°C	Radiometro netto - pt 100- CNR1 Kipp and Zonen -	-30° C + +70°C	±0,1° C (a 0° C)

## I risultati conseguiti: identificazione di venti catabatici



Frequency of dominant wind direction of provenance observed at the Forni AWS (dashed circular grid spaced by 5% probability of occurrence). On the right a sketch showing the glacier boundary layer represented by the katabatic flows (modified from Oerlemans, 2005).



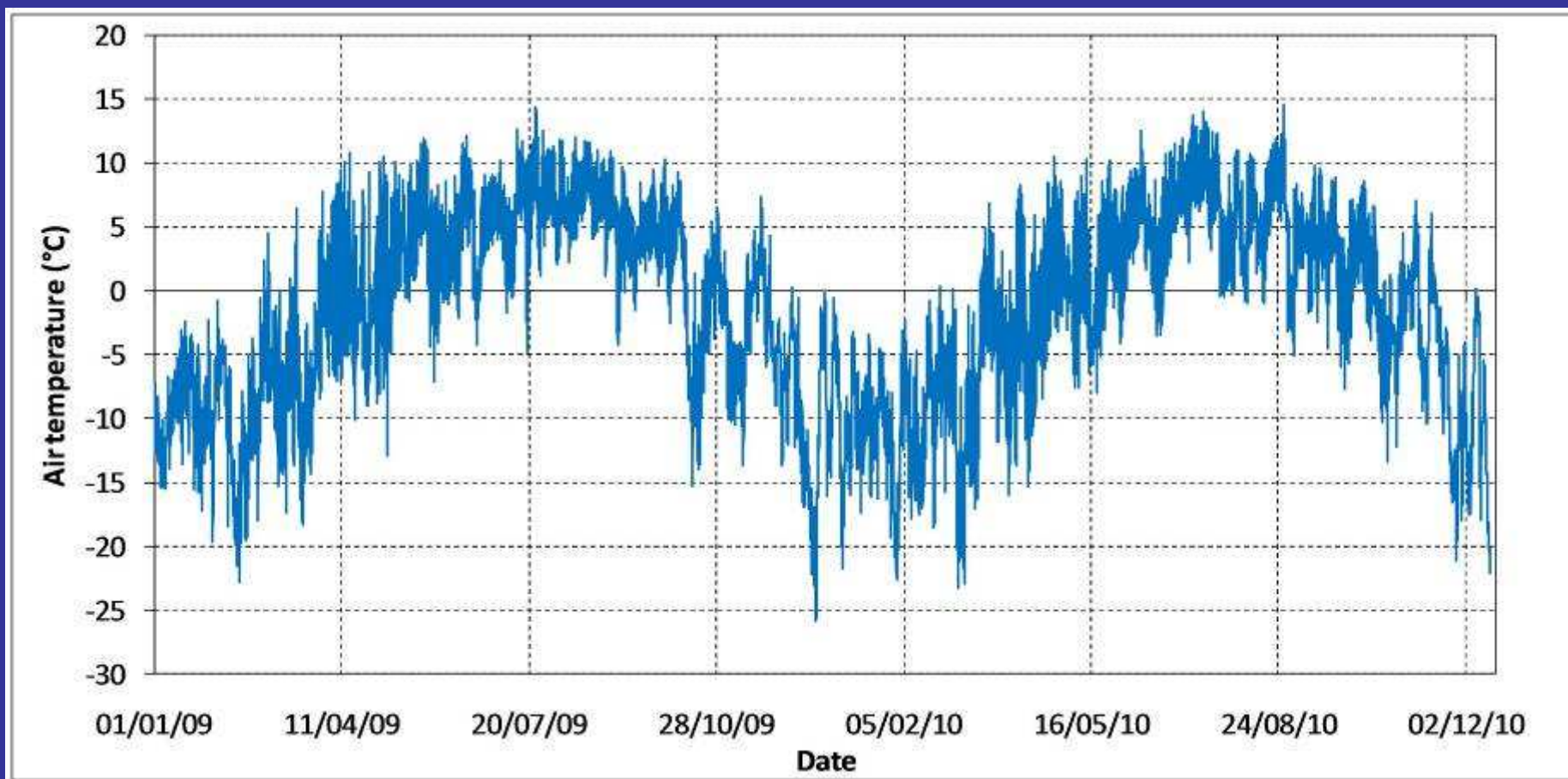
## I risultati conseguiti : dati 2009 -2010 orari di temperatura dell'aria

Average value =  $-1.82^{\circ}\text{C}$

Maximum value =  $+14.55^{\circ}\text{C}$  (recorded on 26<sup>th</sup> August 2010 17:00)

Minimum value =  $-25.90^{\circ}\text{C}$  (recorded on 20<sup>th</sup> December 2009 04:00)

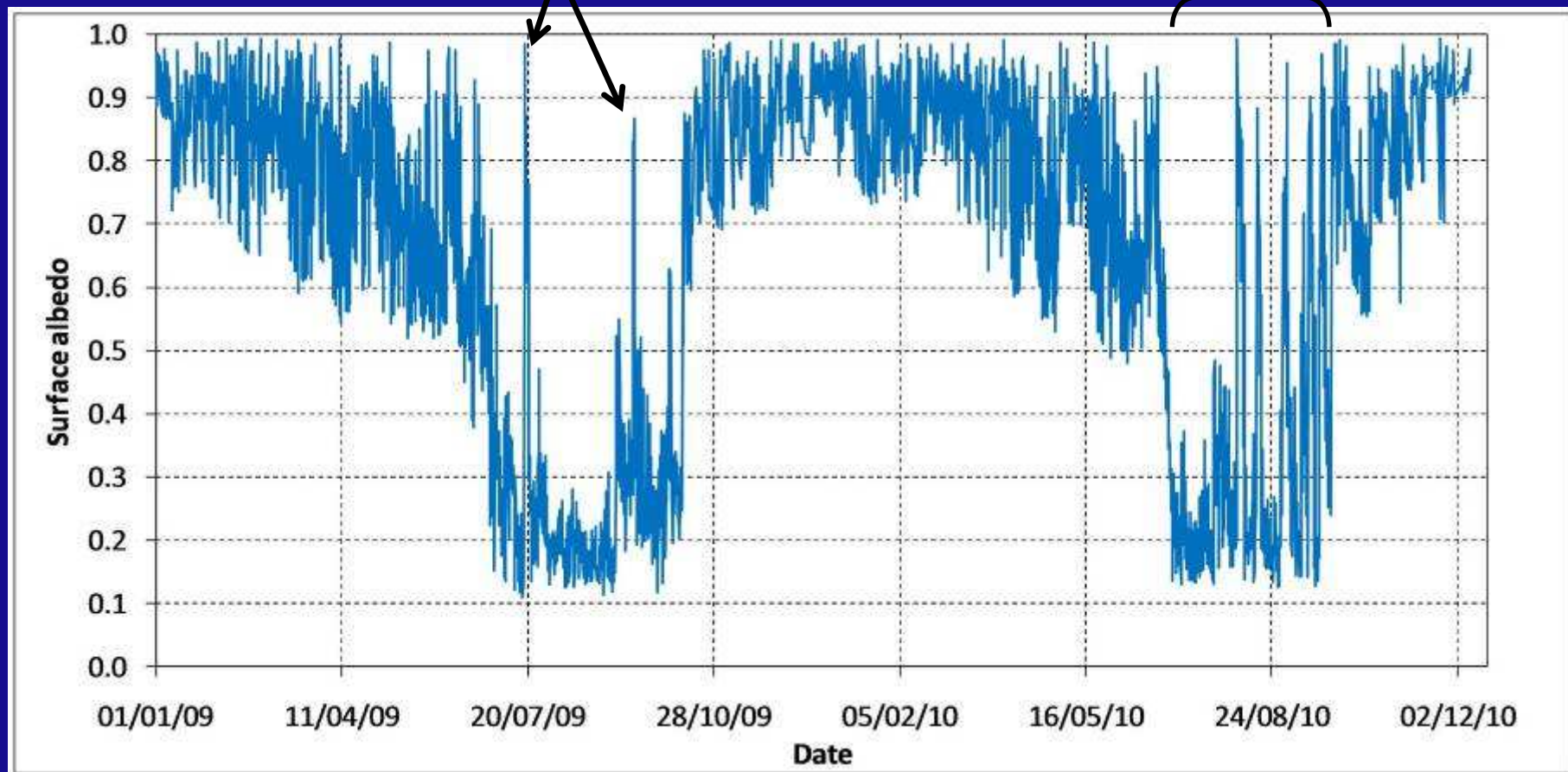
Temperature amplitude =  $40.45^{\circ}\text{C}$



## I risultati conseguiti : dati 2009 -2010 orari di albedo

**2009 ice ablation season** from 30<sup>th</sup> June 2009 to 10<sup>th</sup> October 2009:  
2 snowfalls (totally 5 days with snow covered surface)

**2010 ice ablation season** from 29<sup>th</sup> June 2010 to 24<sup>th</sup> September 2010:  
5 snowfalls (totally 16 days with snow covered surface)





I risultati conseguiti : dati 2009 -2010 orari di albedo

Ice albedo (July 2010)

SW out ( $W m^{-2}$ )

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10



400

## I risultati conseguiti : dati 2009 -2010 di flussi energetici

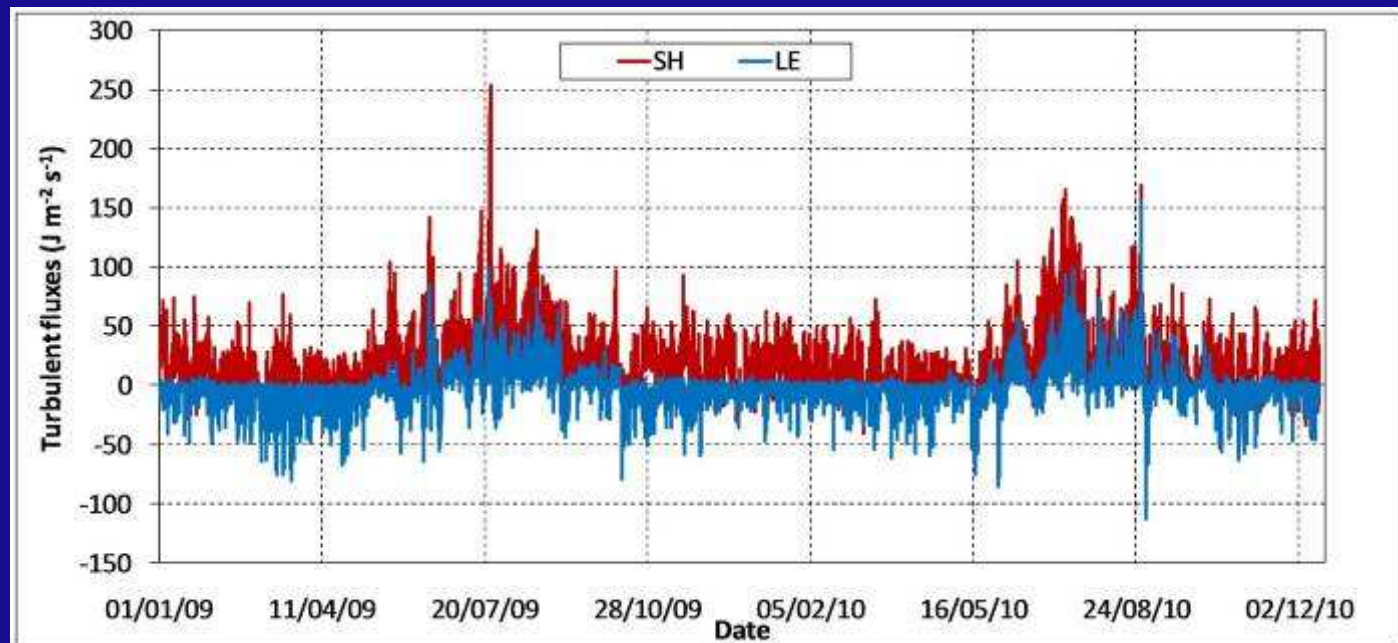
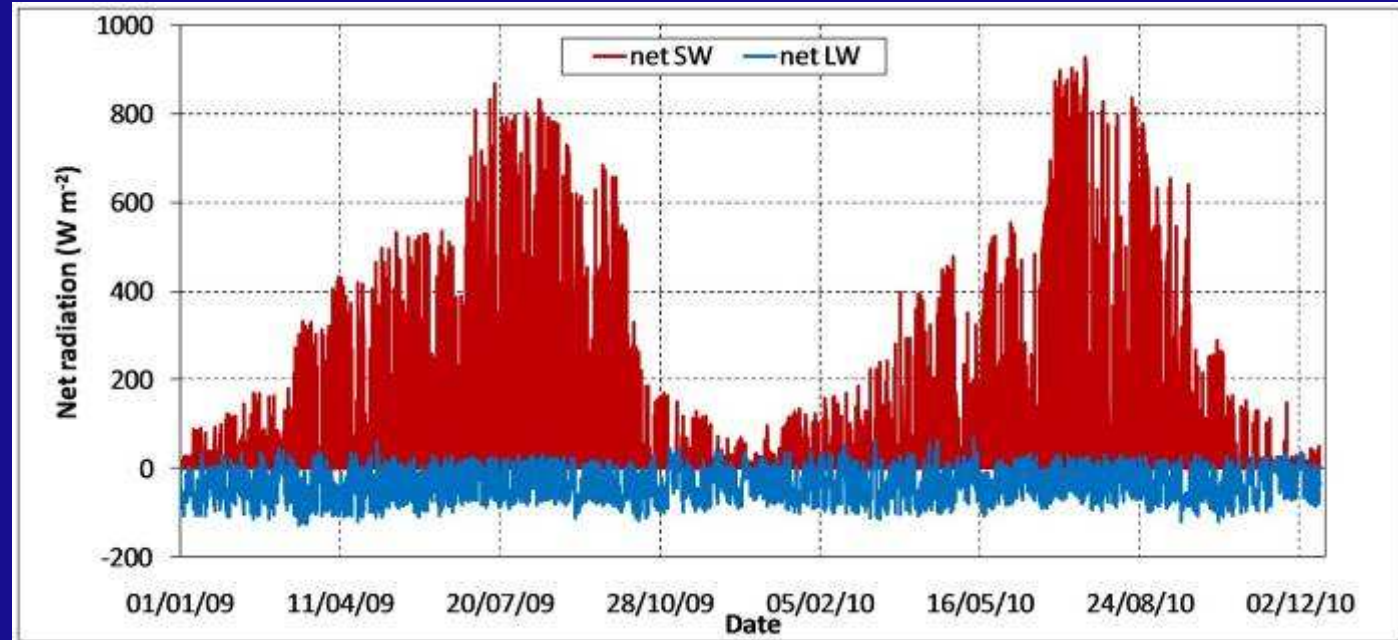
Net shortwave (net SW)  
and longwave (net LW) radiation



Four components of  
surface energy  
balance (hourly  
values)



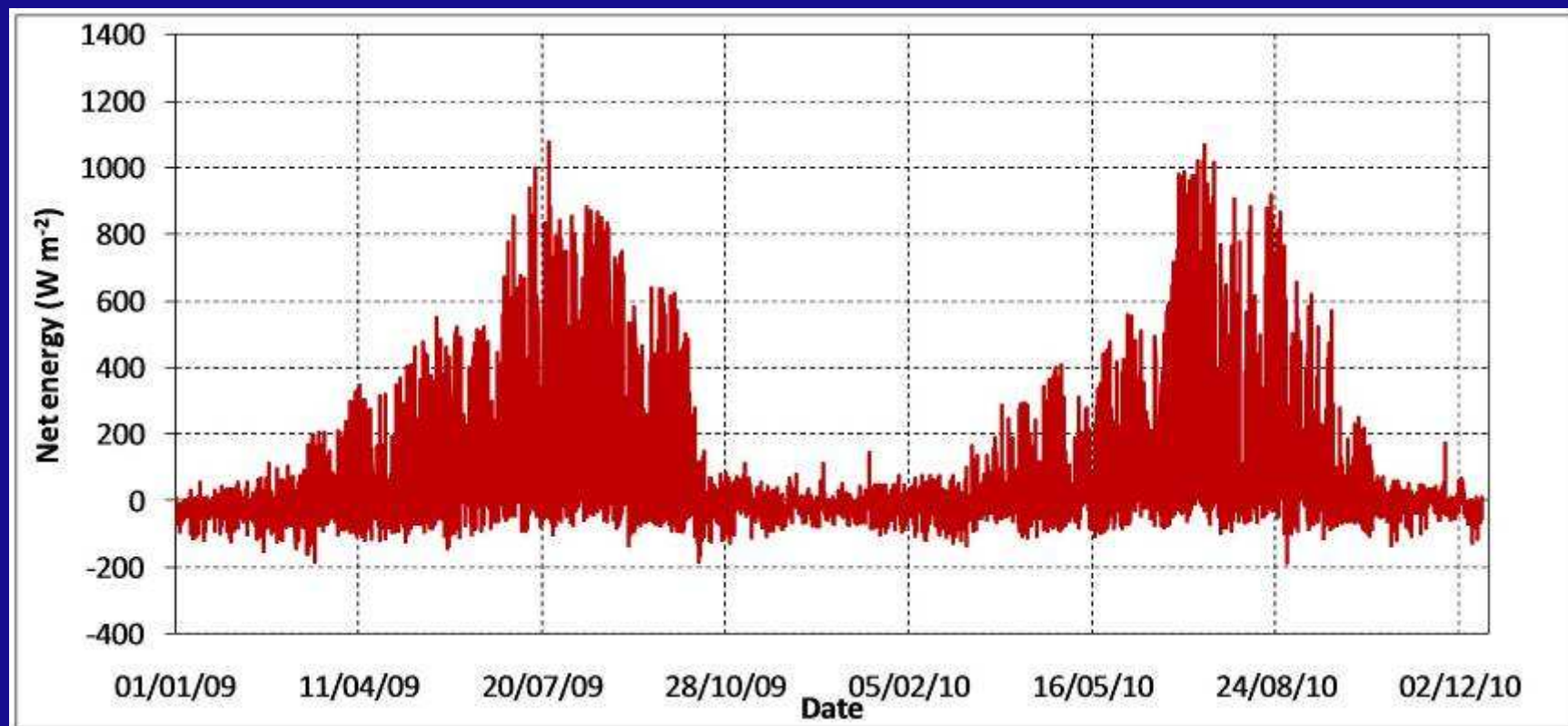
Turbulent fluxes of  
sensible (SH) and  
latent (LE) heat





# Surface energy balance (hourly values)

$$R_s = \text{net SW} + \text{net LW} + \text{SH} + \text{LE}$$

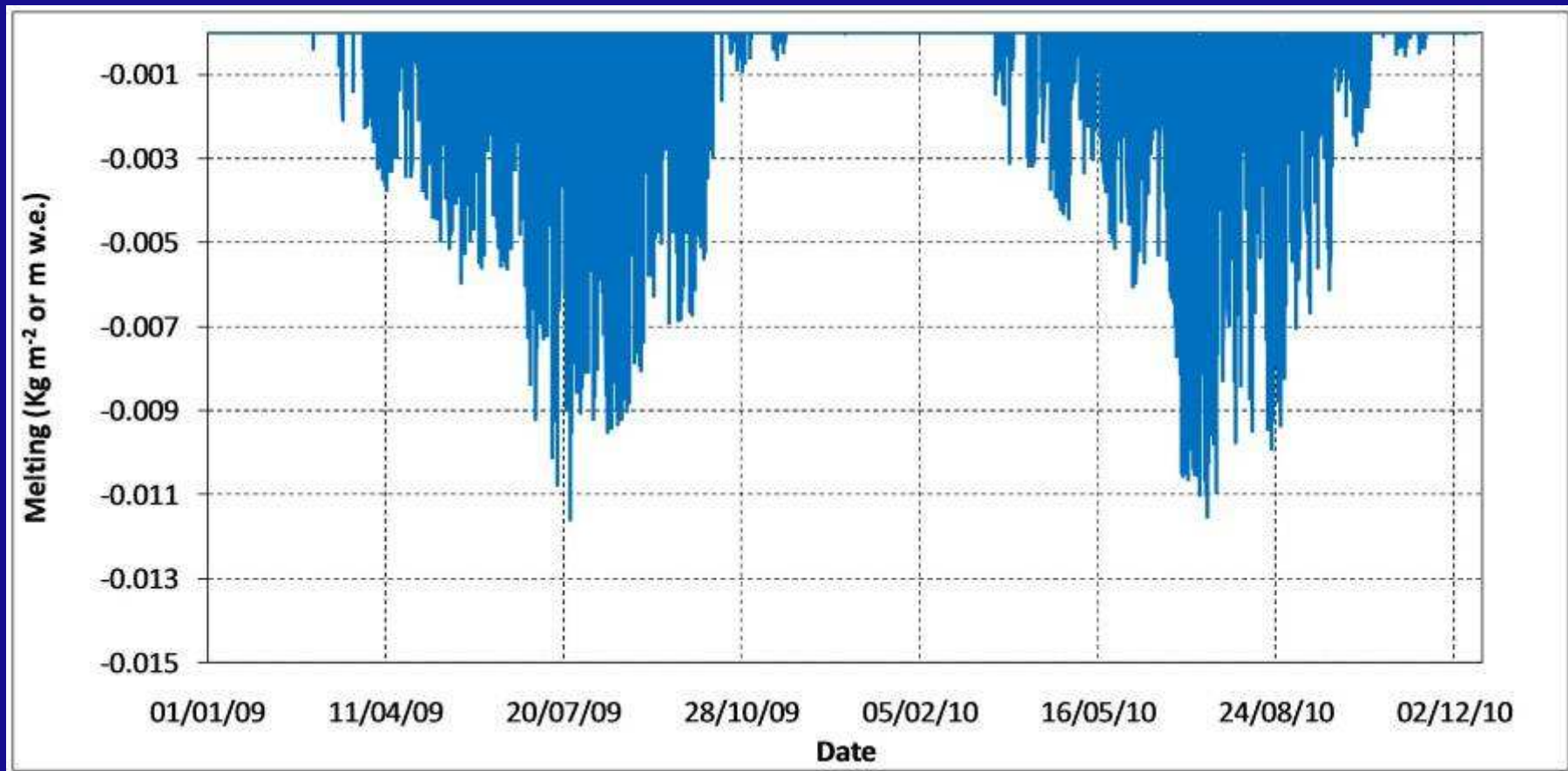


# I risultati conseguiti : Quantificazione dell'ablazione superficiale estate 2009 e 2010

Mass loss in kg of ice or snow per surface unit (hourly values)

$$M = R_s / L_m$$

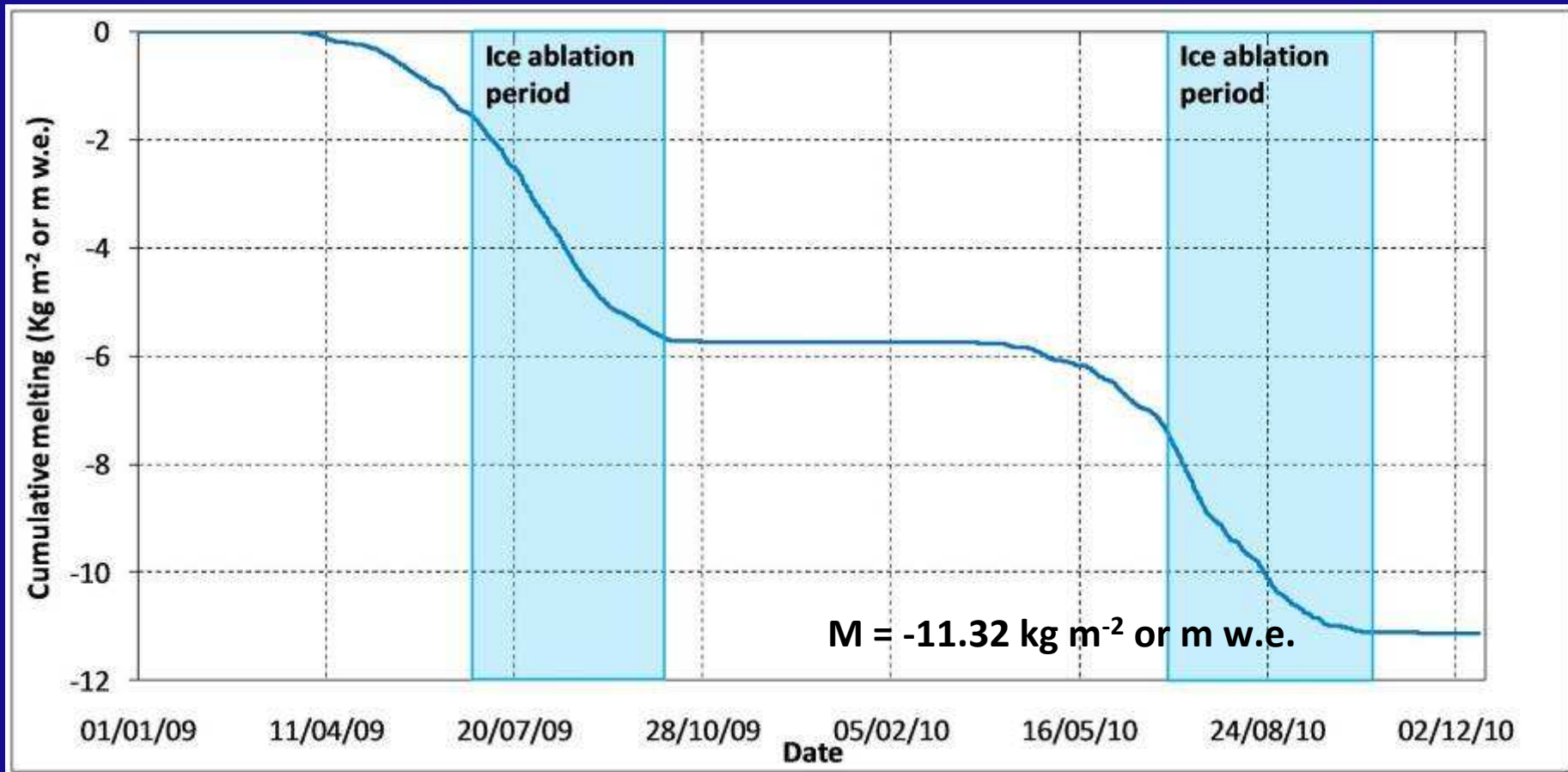
$L_m$  = latent heat of melting





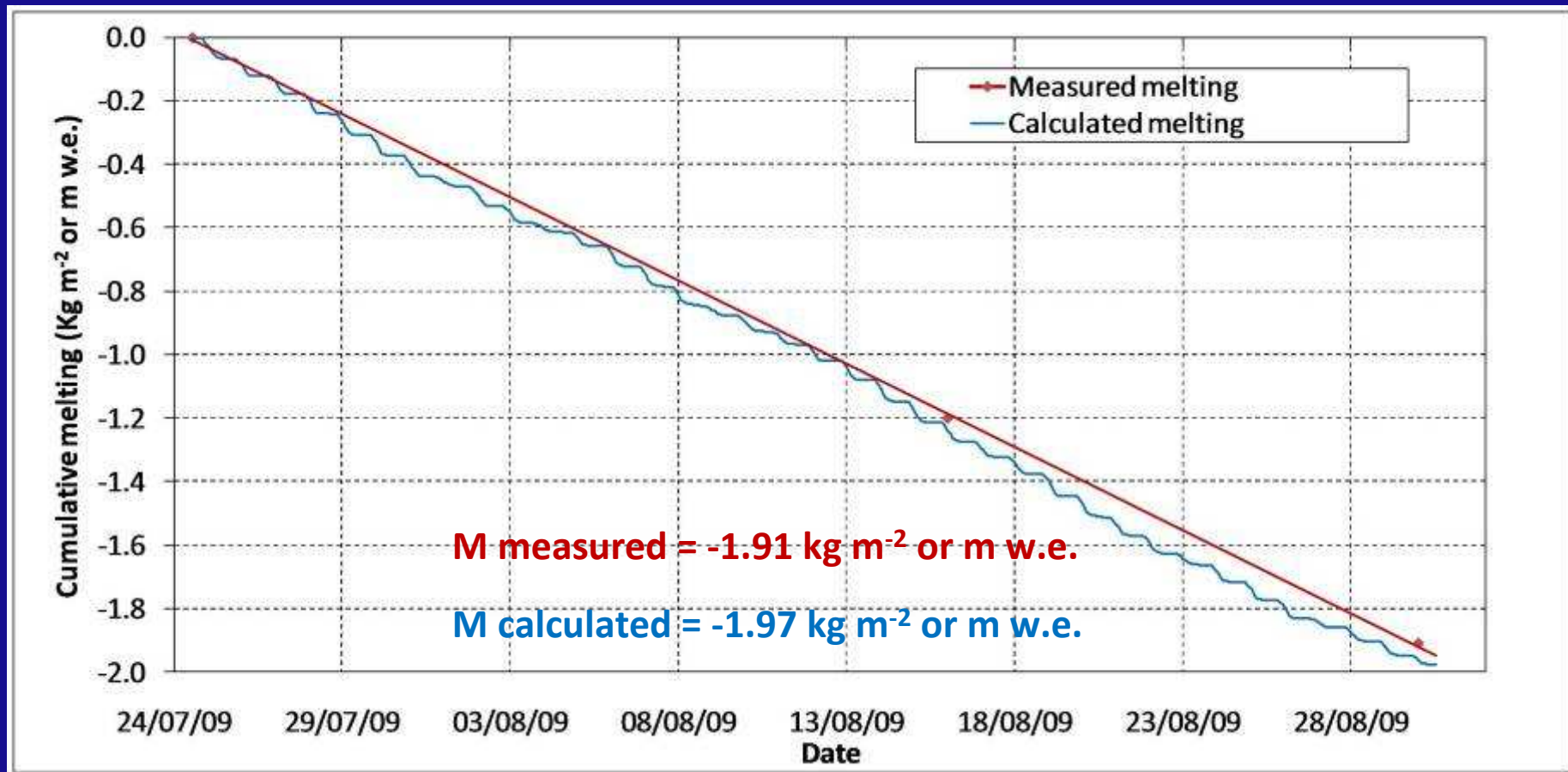
# I risultati conseguiti : Quantificazione dell'ablazione cumulativa estate 2009 e 2010

## Cumulative hourly melting



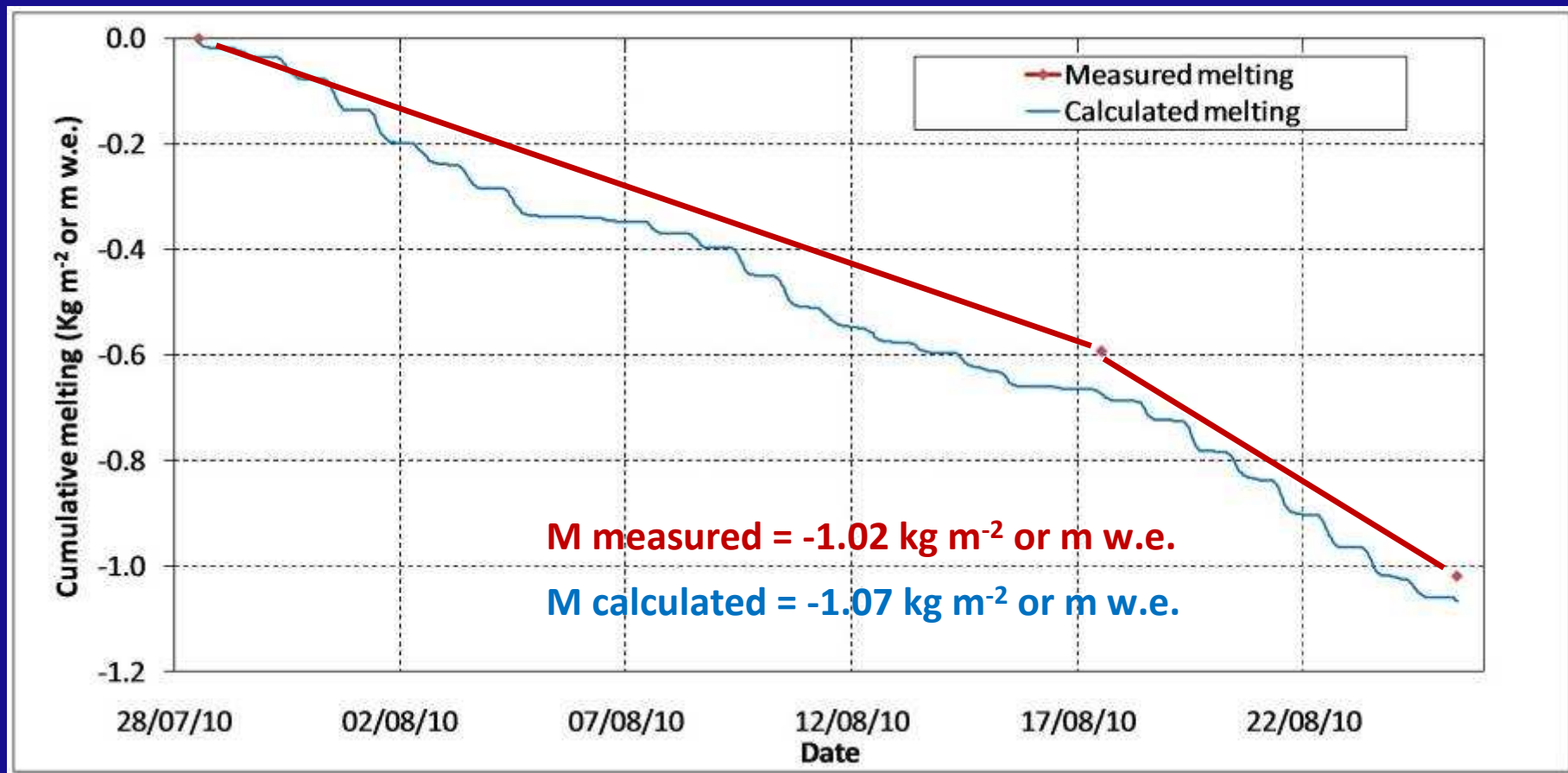
## Verifica dei risultati conseguiti:melting misurato vs calcolato estate 2009

Measured vs Calculated  
cumulative hourly melting during summer 2009



## Verifica dei risultati conseguiti: melting misurato vs calcolato estate 2010

Measured vs Calculated  
cumulative hourly melting during summer 2010





## I progetti Nazionali ed Internazionali di afferenza della AWS1 Forni

**SHARE**  
**SHARE**  
Stations at High Altitude for Research on the Environment

**SHARE**  
**SHARE**  
Stations at High Altitude for Research on the Environment

**ITALY**

**SHARE**  
**SHARE**  
*stelvio*  
Stations at High Altitude for Research on the Environment

**GEWEX**  
WCRP

**GLOBAL ENERGY AND WATER CYCLE EXPERIMENT**  
World Climate Research Programme

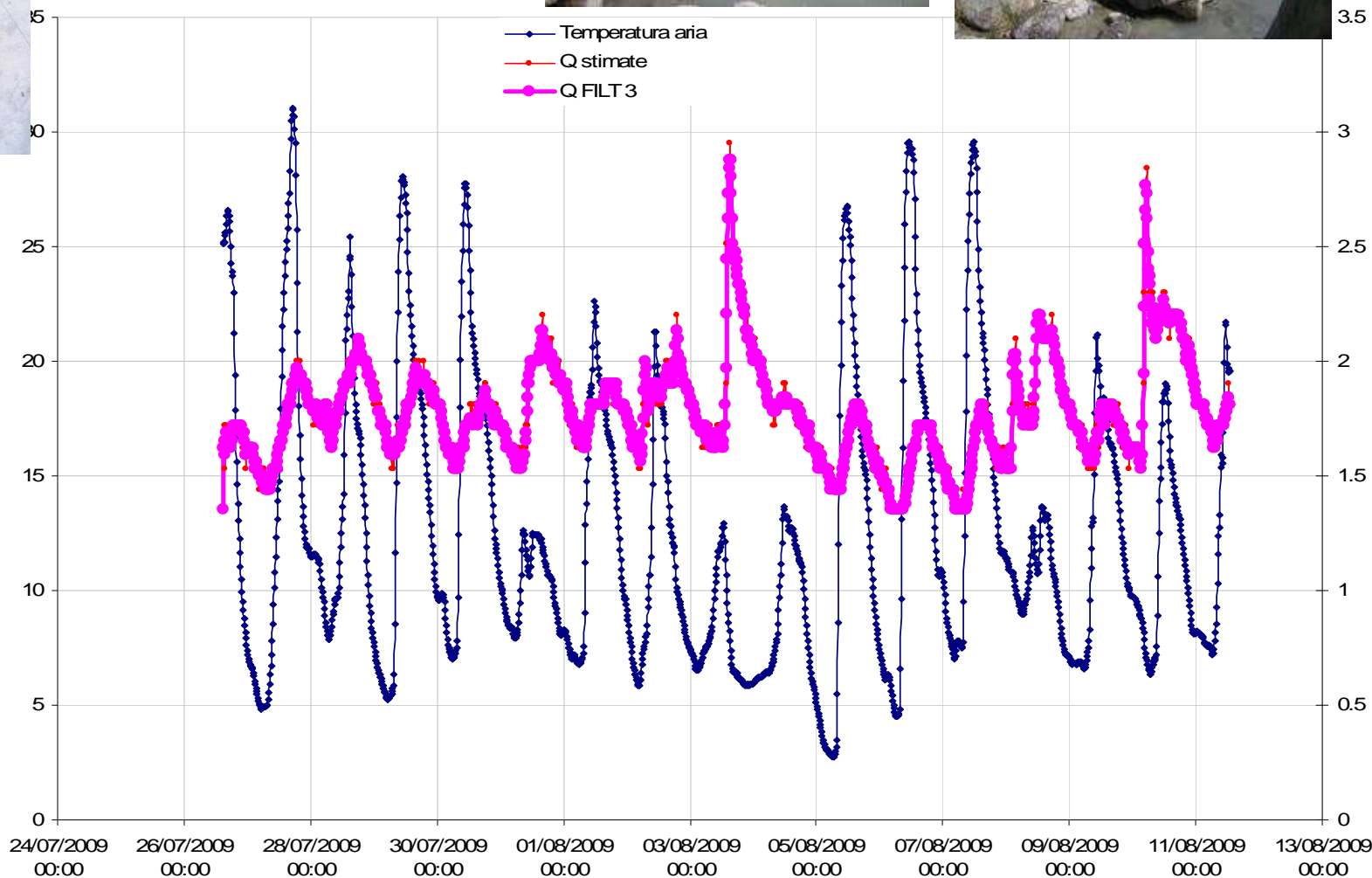
**CEOP Coordinated Energy and Water Cycle Observations Project**

# I risultati conseguiti dalle stazioni satellite: i dati idrometrici

Ghiacciaio  
Dosedè – Piazz  
Campo (2850 m  
slm)



AS idrometrica



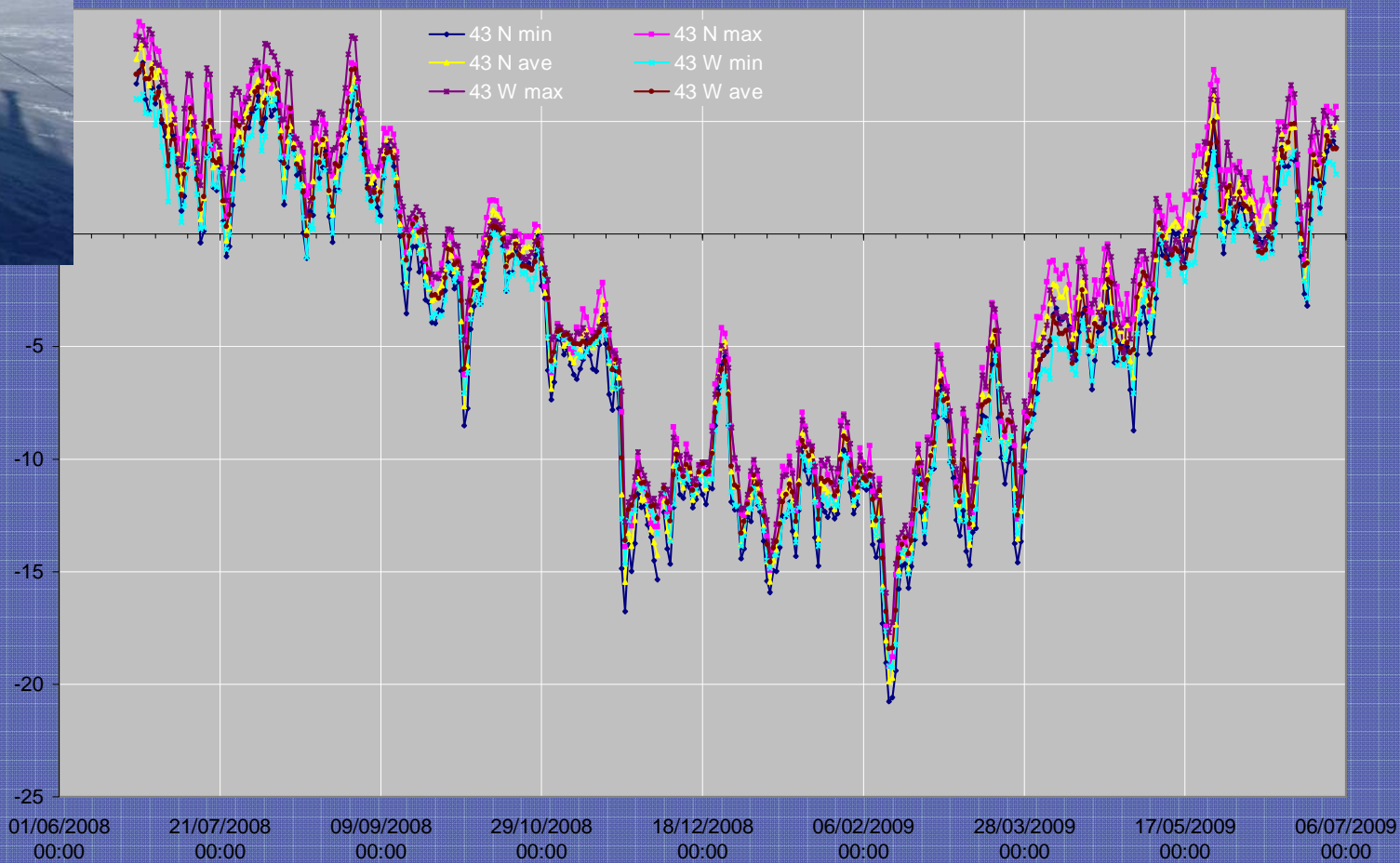
# I risultati conseguiti dalle stazioni satellite: i cicli termici in roccia



Ghiacciaio del  
Gigante – M. Bianco  
(3430 m slm)



AS Roccia





## Conclusioni

- La rete di AWS sopraglaciali ha permesso di caratterizzare quantitativamente le condizioni del *boundary layer* glaciale, di identificare e descrivere fenomeni come il vento catabatico
- I dati raccolti hanno permesso di quantificare con elevata risoluzione temporale il bilancio energetico completo, compresi i flussi non radiativi responsabili sino al 30% dell'ablazione glaciale e di calcolare a risoluzione anche oraria la fusione glaciale
- I dati raccolti hanno permesso di descrivere la variabilità dell'albedo superficiale con elevata risoluzione temporale
- I dati raccolti hanno permesso di calibrare modelli di bilancio energetico glaciale
- I dati raccolti alle stazioni satellite hanno permesso di quantificare i cicli termici in roccia a diversa profondità e/o le portate di torrenti scaricatori glaciali e di correlarli alla dinamica meteorologica
- La rete di AWS ha ottenuto il riconoscimento della comunità scientifica internazionale ed afferisce a tre reti importanti (SHARE, SHARE ITALY e CEOP).

## Pubblicazioni

- Citterio M., Diolaiuti G., Smiraglia C., Verza Gp. & Meraldi E. (2007), *Initial results from the Automatic Weather Station (AWS) on the ablation tongue of Forni Glacier (Upper Valtellina, Italy)* . *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 30, 141-151.
- Diolaiuti G., Smiraglia C., Verza G.P., Chillemi R & Meraldi E. (2009) - *La rete micro-meteorologica glaciale lombarda: un contributo alla conoscenza dei ghiacciai alpini e delle loro variazioni recenti*. In *“Clima e Ghiacciai. La crisi delle risorse glaciali in Lombardia”* (a cura di C. Smiraglia, G. Morandi e G. Diolaiuti), Regione Lombardia, 69-92.
- Senese A., G. Diolaiuti, C. Mihalcea, C. Smiraglia (2010) - *Evoluzione meteorologica sulla lingua di ablazione del Ghiacciaio dei Forni, gruppo Ortles-Cevedale (Parco Nazionale dello Stelvio, Lombardia) nel periodo 2006-2008*, *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 13 (3), 845-864.
- Senese A., Diolaiuti G., Mihalcea C. and Smiraglia C. (in press) . *Energy and mass balance of Forni Glacier (Stelvio National Park, Italian Alps) from a 4-year meteorological data record*. *Arctic Antarctic Alpine Research*



*Grazie per l'attenzione !*