

A scenic view of a snow-covered mountain valley. In the foreground, a ski lift structure is visible on the left. The middle ground shows a valley with snow-covered slopes and evergreen trees. In the background, there are high, rugged mountains with patches of snow under a clear blue sky.

Università degli Studi di Brescia – Facoltà di Ingegneria  
Dipartimento di Ingegneria Civile

# Monitoraggio a microonde e simulazione della dinamica del manto nevoso

**Relatore:**

**Prof. Ing. Roberto Ranzi**

**Laureando:**

**Gian Luca Ghirardi**

**Matricola n. 020390**

# Collaborazioni

---

Questa ricerca è stata parzialmente finanziata dall'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) e realizzata in collaborazione con:

- ARPAV Veneto (Centro Valanghe di Arabba (BL))
- IFAC CNR di Firenze
- Università degli Studi di Brescia – Dipartimento di Ingegneria Civile

# Presupposti

---

➤ Alternanza, negli ultimi anni, di inverni ed estati ricchi di precipitazioni con inverni poveri di neve ed estati siccitose caratterizzate da elevate temperature



• Eventi valanghivi catastrofici

• Periodi prolungati di magre primaverili ed estive

# Presupposti

---

- Rarità di bacini idrografici dotati di strumentazioni automatiche sufficientemente dense in grado di produrre misure dettagliate delle variabili meteorologiche governanti lo scambio termico fra neve e ambiente (attualmente le stazioni pluviometriche hanno densità di diffusione di  $1/50 \div 1/100 \text{ km}^2$ , quelle nivometeorologiche raramente superano gli  $1/500 \text{ km}^2$ )

# Presupposti

---

- Difficoltà nello stimare le disponibilità idriche dei bacini montani di alcune centinaia di km<sup>2</sup> di superficie
- Difficoltà di disporre in tempi rapidi di misure estensive di altezza e densità del manto nevoso e delle variabili meteorologiche che ne determinano l'evoluzione nel tempo
- Stime dell'equivalente in acqua medio areale affette da notevoli incertezze



# Obiettivi della ricerca

---

- Riduzione del numero di misure al suolo necessarie per la definizione della stratigrafia del manto nevoso
- Ottenere, a parità di misure nivometriche effettuate, una maggiore affidabilità dell'equivalente in acqua medio areale
- Definizione delle caratteristiche del manto nevoso di zone particolarmente difficili da monitorare in modo diretto (in loco)

# Modelli numerici per la simulazione della struttura del manto nevoso

---

## Obiettivi:

- Creare misure preventive per minimizzare i danni delle valanghe
- Simulare le principali caratteristiche del manto nevoso
- Studiare la sensibilità del manto nevoso ai cambiamenti climatici (Martin et al. , 1994)
- Effettuare ricerche in campo idrologico (Braun et al. , 1994)

# Modelli numerici per la simulazione della struttura del manto nevoso

---

I Centri Valanghe, Centri studi della neve e gli Uffici di Meteorologia dei vari Paesi utilizzano diversi modelli numerici di previsione.

- Francia, Grenoble: CEN (Centre d'études de la neige)



Sistema automatico basato su tre modelli matematici indipendenti denominati, rispettivamente:

SAFRAN, CROCUS E MÉPRA

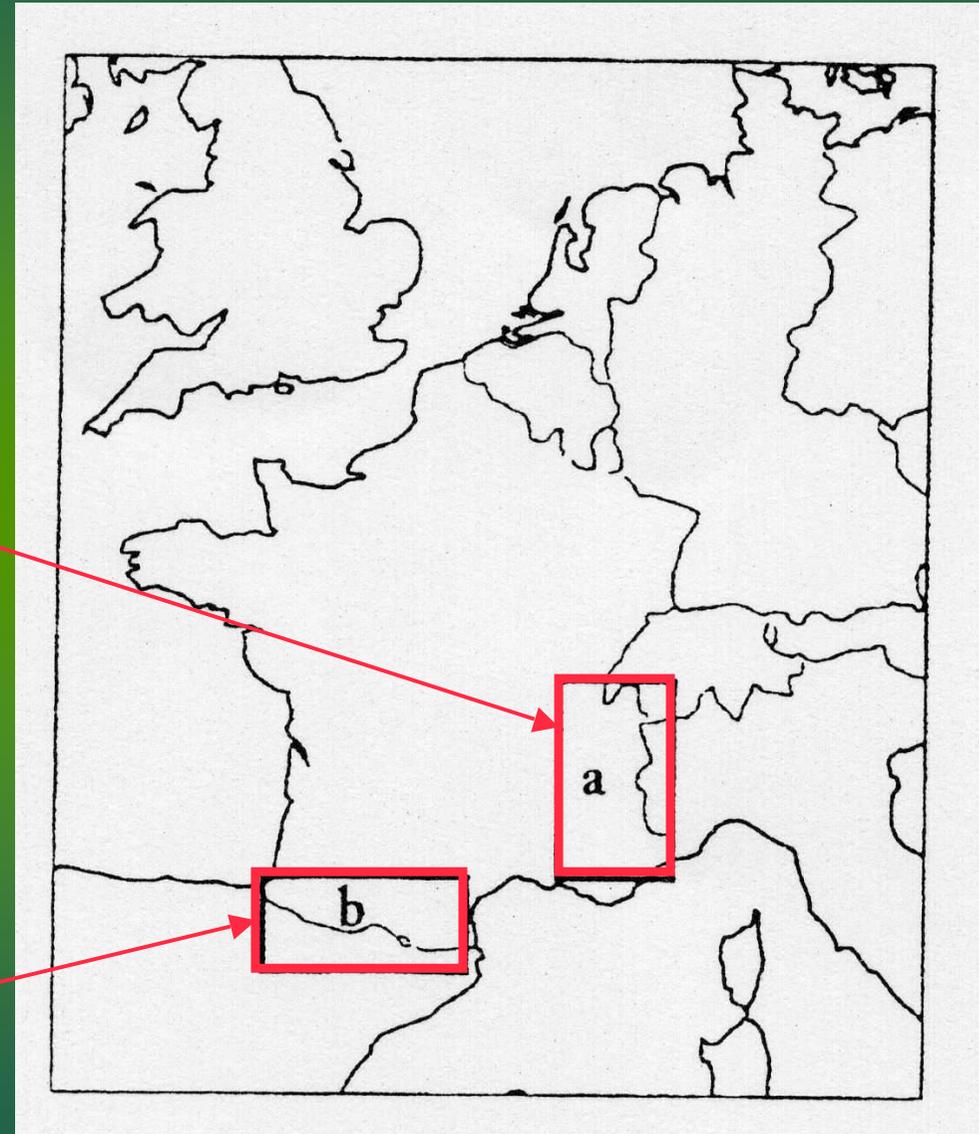
L'insieme di questi modelli è stato chiamato “catena” SCM

# Luoghi di applicazione del sistema SCM

E' stata presa in considerazione per l'applicazione dei modelli un'area vasta circa 500 Km<sup>2</sup> con località situate a quote comprese fra i 600 m.s.l.m. ed i 3600 m.s.l.m.

Alpi Francesi  
(23 località) (a)

Monti Pirenei, tra  
Francia e Spagna  
(15 località) (b)



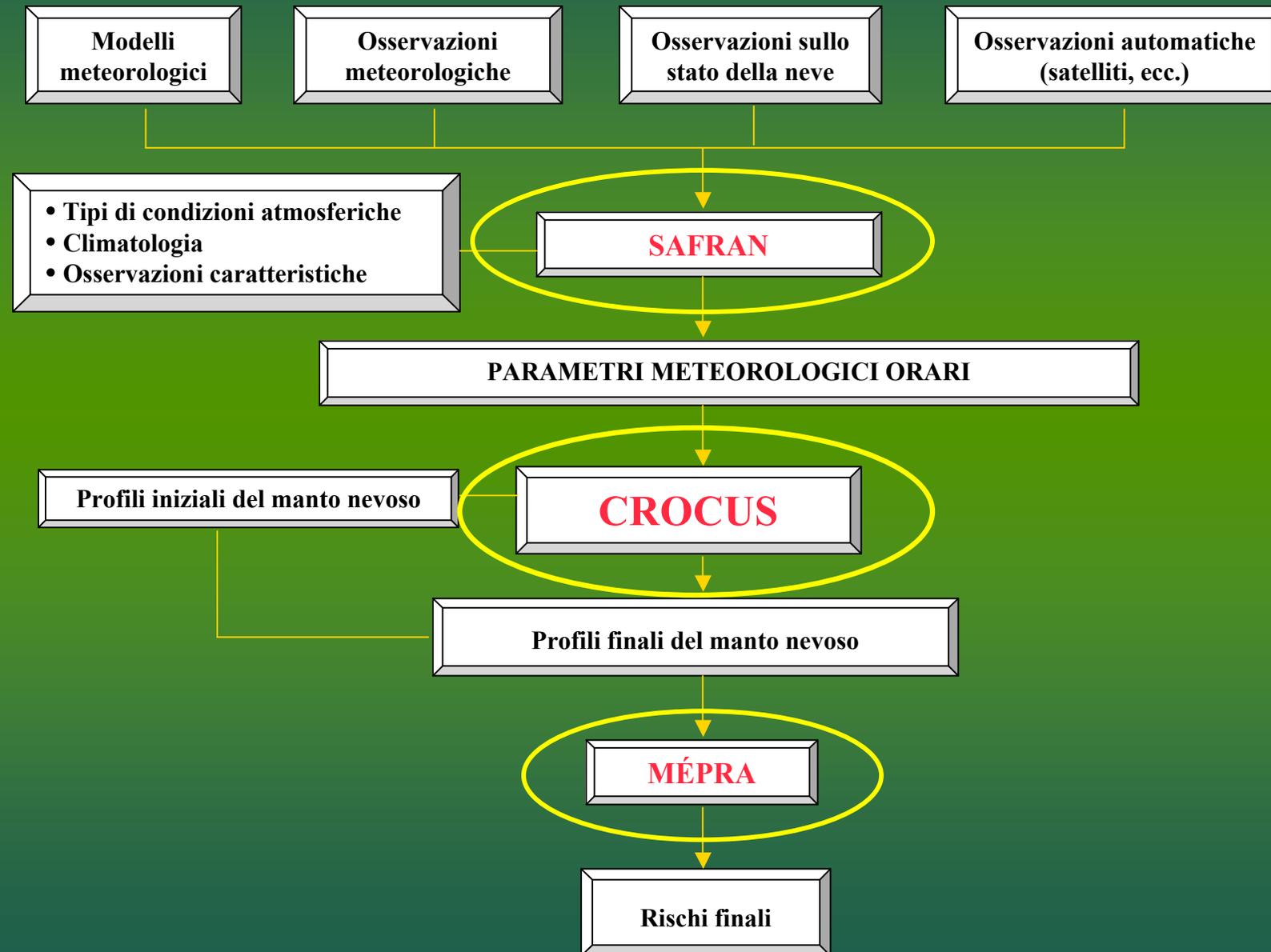
# Il Modello Numerico CROCUS

---

## Caratteristiche principali:

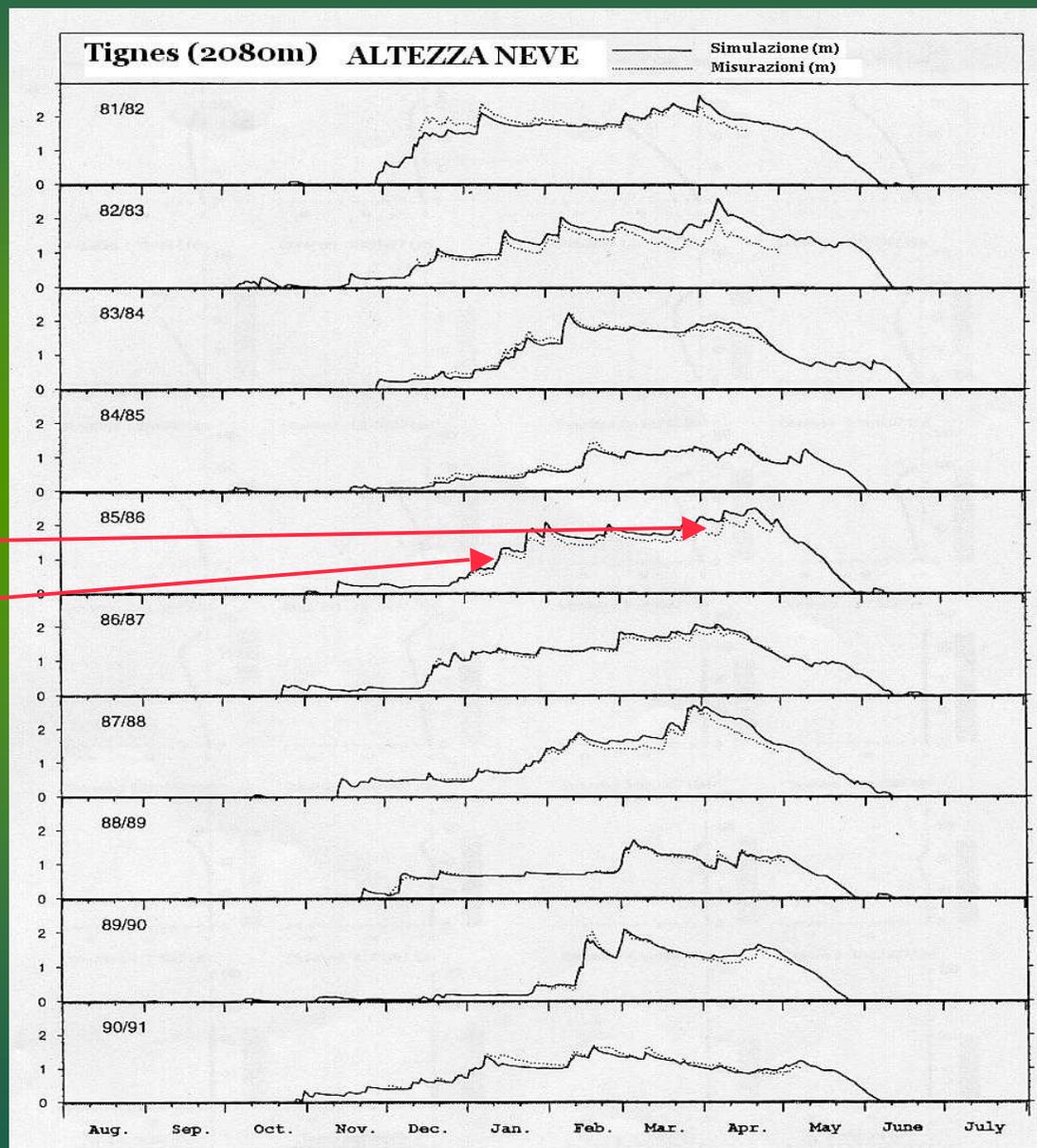
- Utilizza, come dati in ingresso, unicamente osservazioni meteo giornaliere, ottenute da modelli meteorologici numerici e da stazioni di rilevamento fisse
- Calcola l'evoluzione dell'energia ed il metamorfismo del manto nevoso
- Simula l'evoluzione di altezza, temperatura, densità, contenuto in acqua liquida e la stratificazione del manto nevoso
- Peculiarità: capacità di simulare il metamorfismo della neve sia negli strati superficiali che in quelli profondi

# Schema di flusso dati della “catena” SCM



# Esempio di applicazione del modello CROCUS

Confronto fra 10 anni (1981-1991) di misurazioni di altezza della neve **misurate** e **simulate** nella stazione sciistica di Tignes nel massiccio montuoso della Vanoise in Francia



# Modelli numerici per la simulazione della struttura del manto nevoso

---

- Svizzera, Davos: Istituto Federale per la Ricerca su Neve e Valanghe



Modello numerico SNOWPACK

## Caratteristiche principali:

- Utilizza i dati meteorologici provenienti da numerose stazioni nivometeorologiche
- Traccia le proprietà micro-strutturali del manto nevoso utilizzando il gradiente di temperatura ed i processi di metamorfosi della neve

# Il Modello Numerico SNOWPACK

---

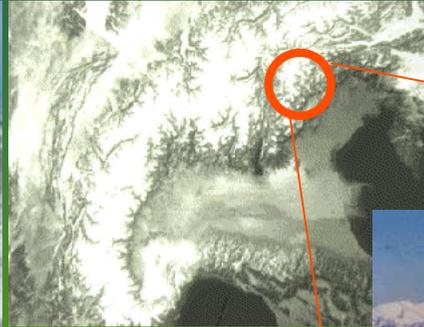
- Risolve numericamente le equazioni differenziali alle derivate parziali che governano massa, energia e conservazione della quantità di moto all'interno del manto nevoso utilizzando il metodo degli elementi finiti
- Peculiarità: utilizza un sistema di coordinate a formulazione “Lagrangiana” che, a differenza della formulazione “Euleriana”, nel tracciare i vari strati del manto nevoso, permette discontinuità nella densità degli strati (in pratica, un elemento finito può avere una densità diversa da un elemento adiacente)
  - ➔ Riesce a simulare tutta la complessità del manto nevoso naturale, strumento indispensabile per la previsione del pericolo di valanghe

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

---

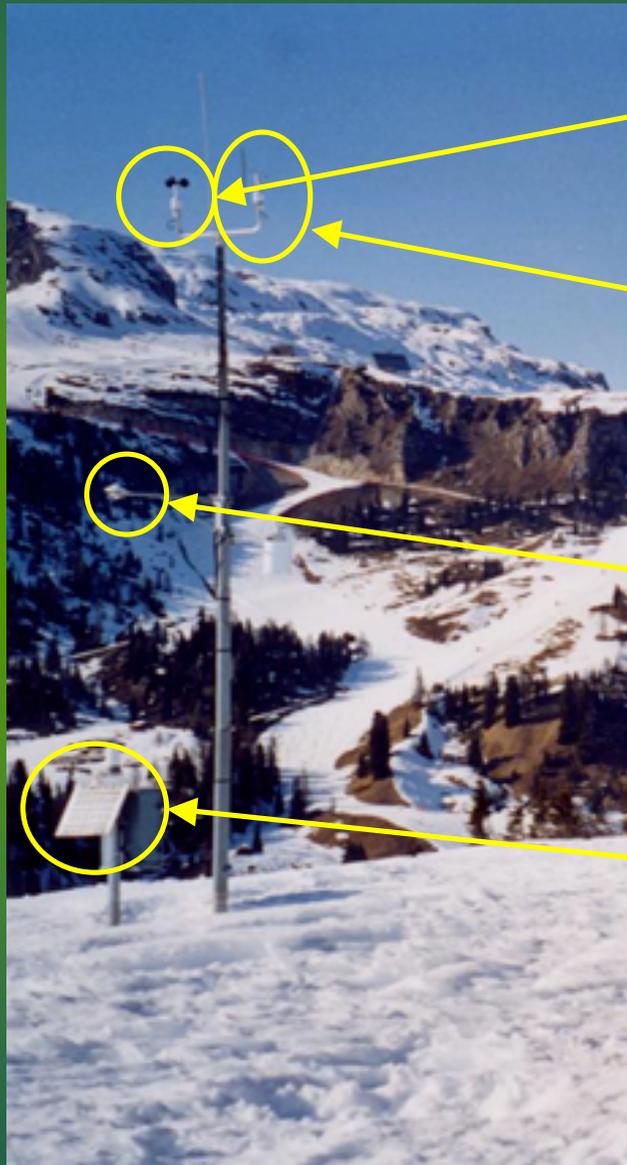
- Esperimento condotto sull'altipiano del Monte Cherz nei pressi di Arabba (BL)
- Obiettivo: studio del ciclo di scioglimento della neve e simulazione della dinamica del manto nevoso basandosi sulla combinazione di misure di tele-rilevamento a microonde con dati a terra e micrometeorologici
- **Strumentazione utilizzata:**
  - Stazione meteorologica del Centro Valanghe di Arabba
  - Stazione meteorologica dell'Università degli Studi di Brescia
  - Radiometro a microonde multi-frequenza dell'IFAC-CNR di Firenze

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)



Il luogo scelto per l'esperimento  
sul Monte Cherz nel Bacino del  
Cordevole

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)



Anemometro (Velocità del vento)

Anemoscopio (Direzione del vento)

Albedometro (Albedo)

Pannello solare per la ricarica delle batterie di alimentazione della stazione

La strumentazione del Centro Valanghe di Arabba

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)



Termoigrometro

Sensori di temperatura a

- 67 cm
- 51 cm
- 32 cm
- -5 cm

Radiometro netto

La stazione meteorologica dell'Università degli Studi di Brescia

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

---

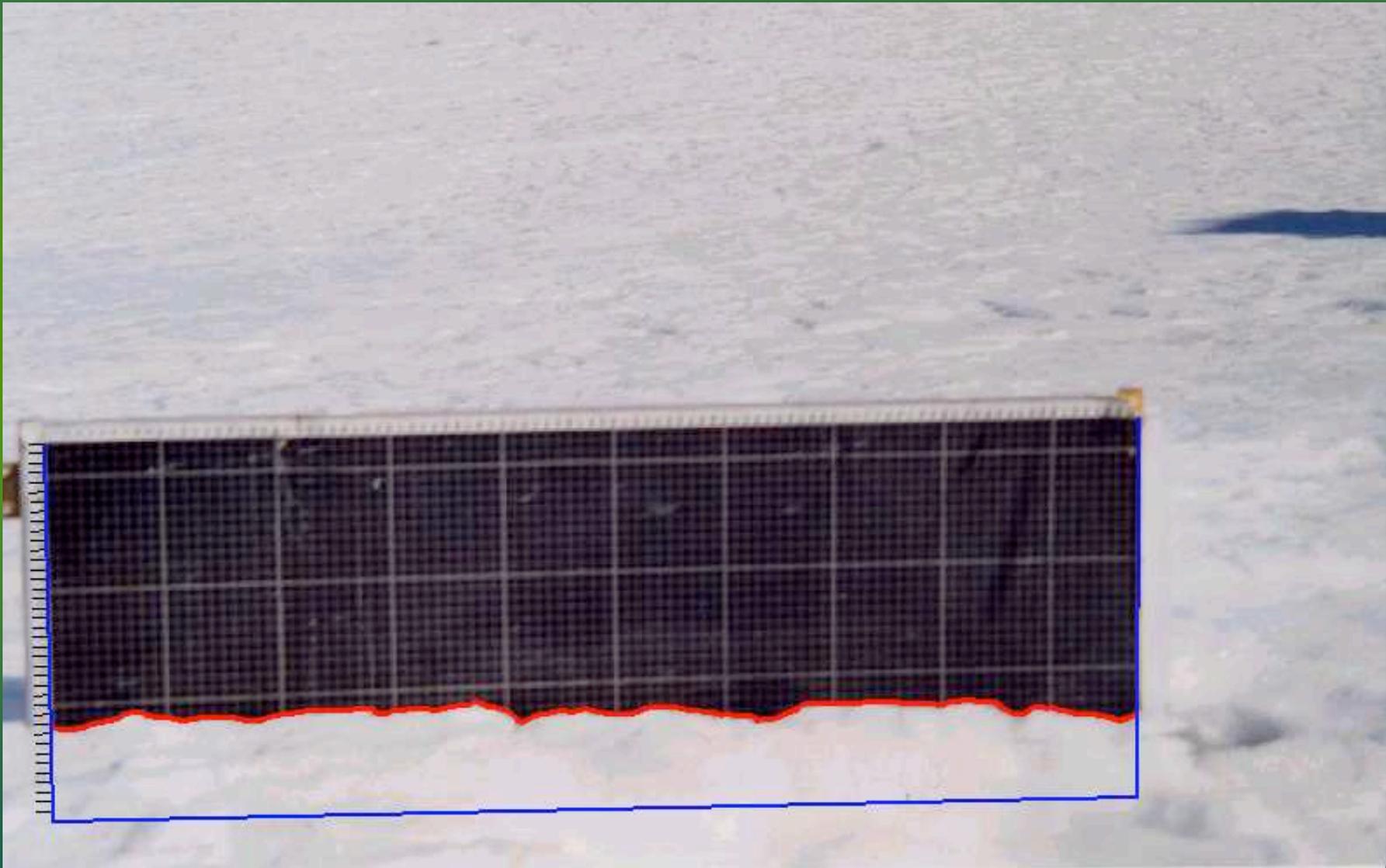


Il box contenente i radiometri operanti alle diverse frequenze di proprietà dell'IFAC-CNR di Firenze

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

---

Pannello di contrasto per evidenziare la rugosità della neve



# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Il modello fisicamente basato e distribuito di fusione del manto nevoso PDSM

- Sviluppato da Prof. Ranzi (1990) e da Ranzi e Rosso (1991, 1992, 1994)

L'equazione del bilancio energetico che descrive l'energia disponibile per la fusione della neve ( $H_m$ ) è la seguente:

$$H_i + H_m = H_{sn} + H_{ln} + H_s + H_l + H_g + H_p$$

dove:

$H_i$  = grado di cambiamento nell'energia interna accumulata nella neve

$H_{sn}$  = radiazione netta ad onda lunga

$H_{ln}$  = radiazione netta ad onda corta

$H_s$  = convezione dell'aria (energia sensibile)

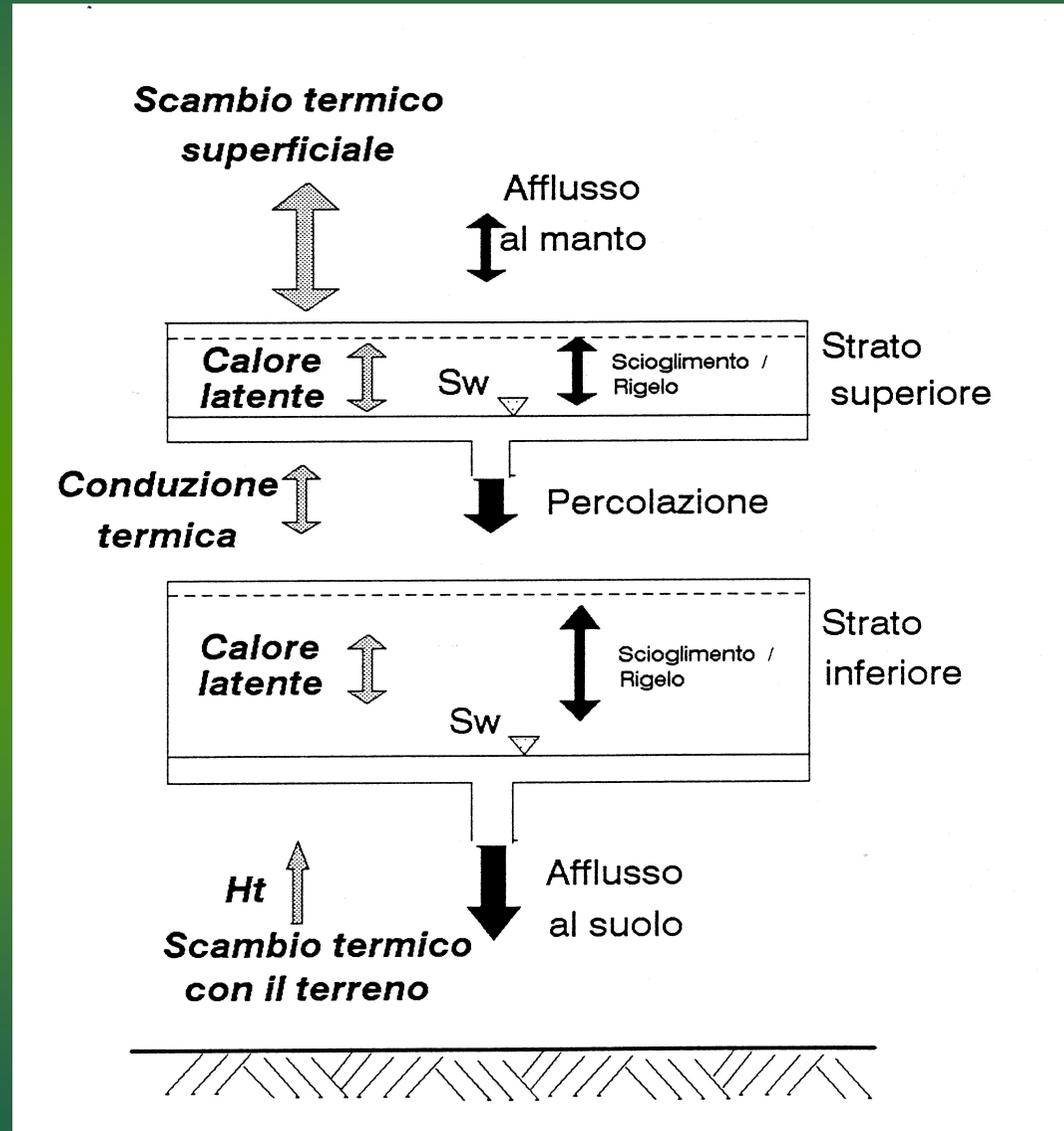
$H_l$  = vapore di condensazione (energia latente)

$H_g$  = conduzione al suolo

$H_p$  = calore di avvezione di precipitazione

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

Per descriverne lo scioglimento, il manto nevoso nel modello PDSM viene diviso in 2 strati (uno superiore, di circa 10 cm ed uno inferiore, fino al terreno) secondo lo schema:



# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

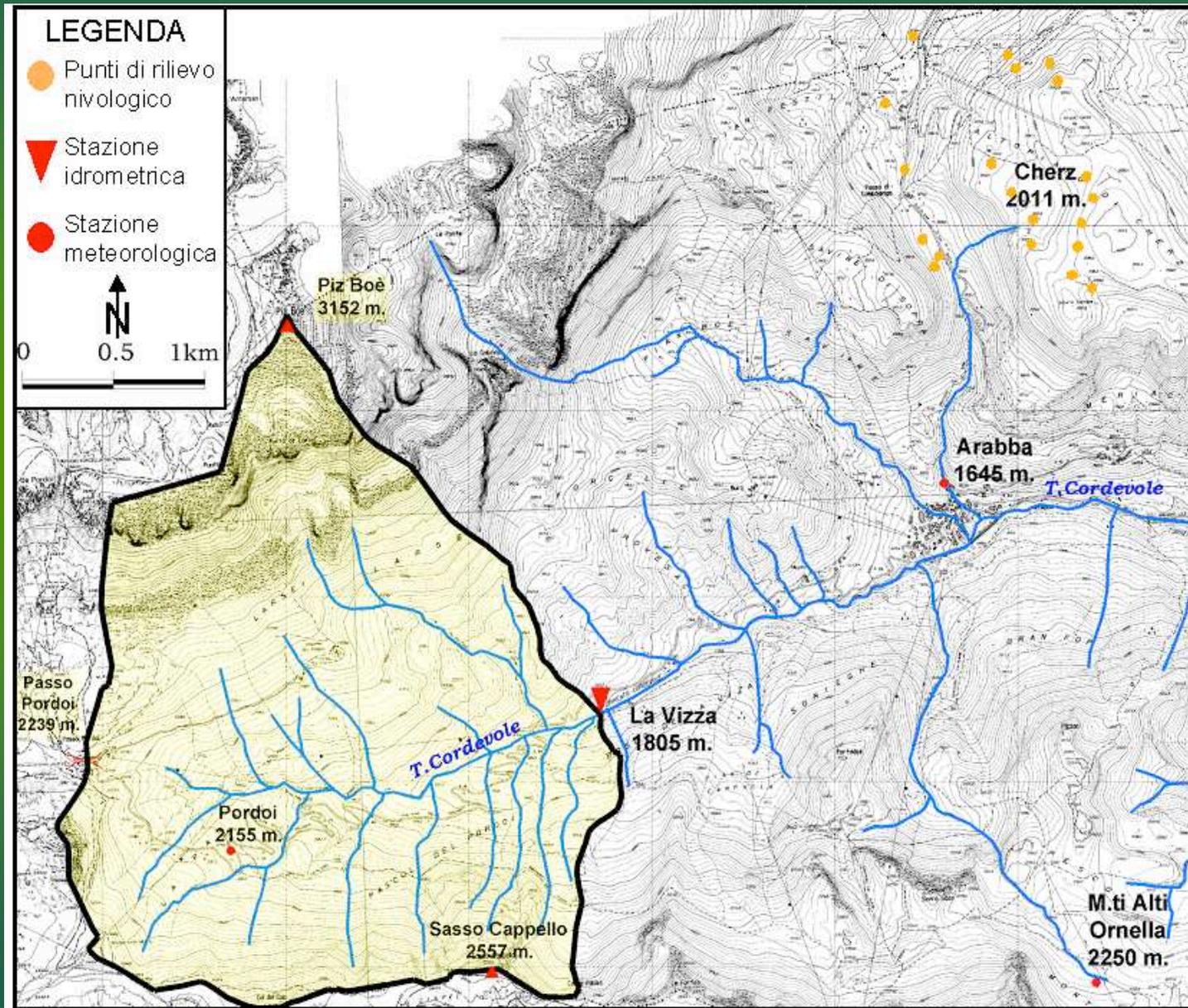


*Rilievi con sonda IFAC*



*Rilievi con Snow Fork*

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)



# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

Data e ora

<b>SNOW COVER PROFILE</b>	Obs Crenaz	Profile Type	Test	No.	24
ENVISnow	Date 01/04/03	Surface Roughness	Smooth		
ARPAV-CVA Arabba	Time 08:15	Penetration	Foot 0	Ski	0

Altezza neve (cm)

Location	Monte Cherz	Air Temperature	0.6	°C
----------	-------------	-----------------	-----	----

Equivalente in acqua di un singolo strato

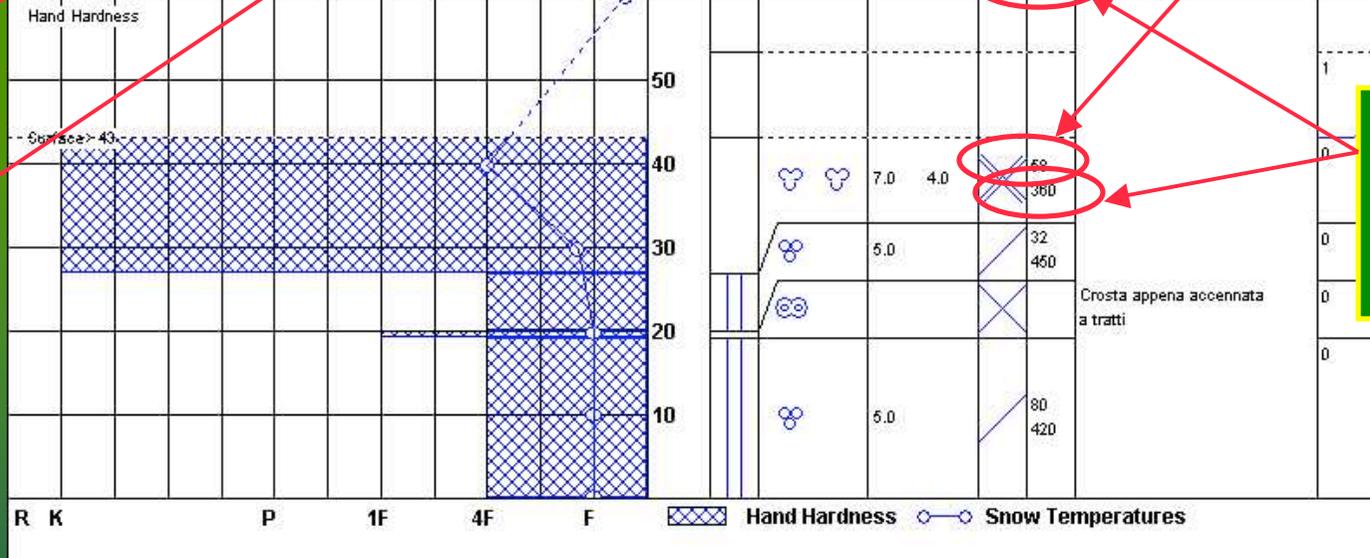
Equivalente in acqua calcolato

H.A.S.L.	2010	Metres	Co-ord	463059, 115252	Sky Cond.	○ Clear
Aspect	West	Slope	1	°	Precip.	Nil
HS	43	HSW	169	P	393	R

Densità media del manto nevoso

R	K	P	1F	4F	F	HW	Comments	S									
T	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	H	θ	F	E		

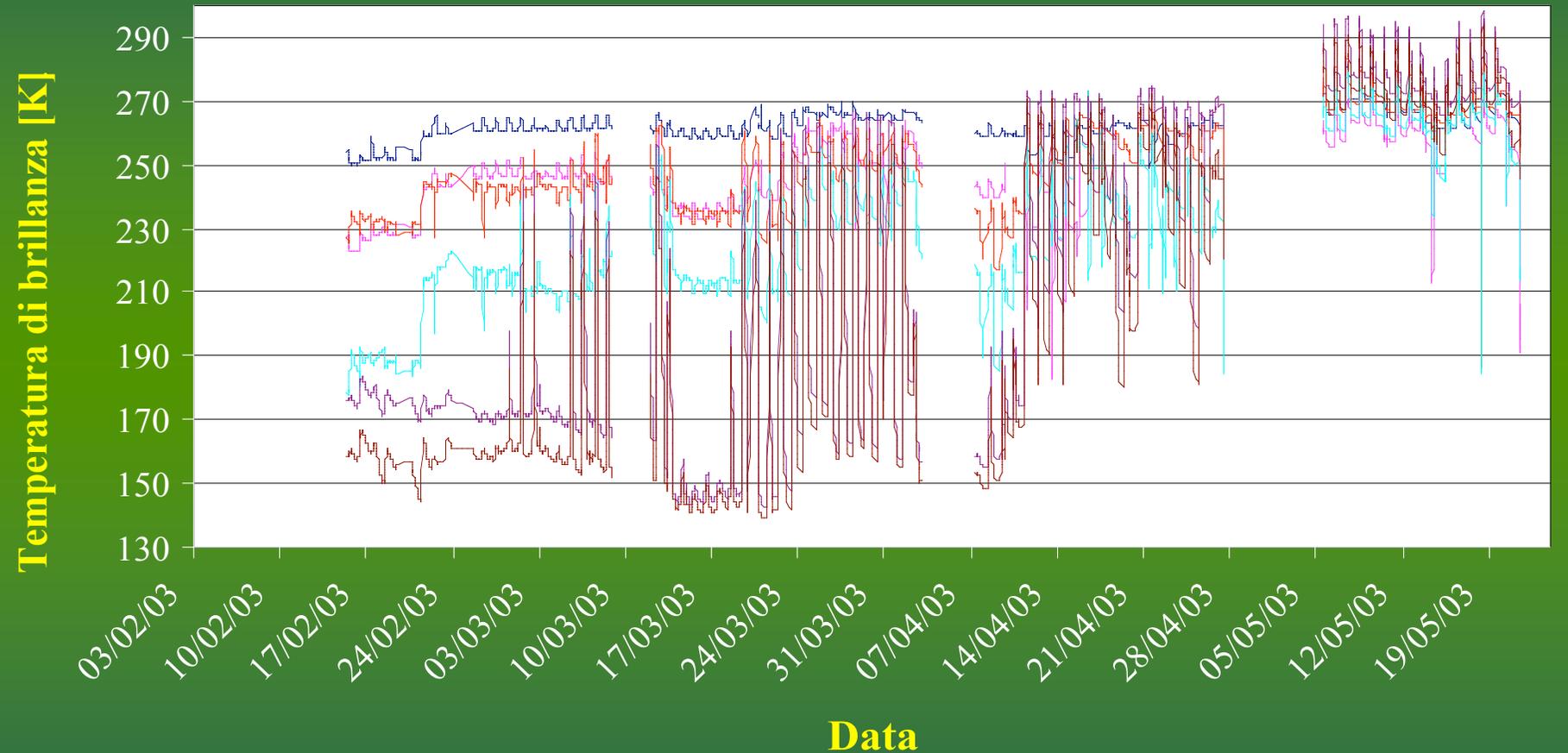
Densità misurata di un singolo strato



Esempio di scheda nivometrica con riportato il profilo del manto nevoso

# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

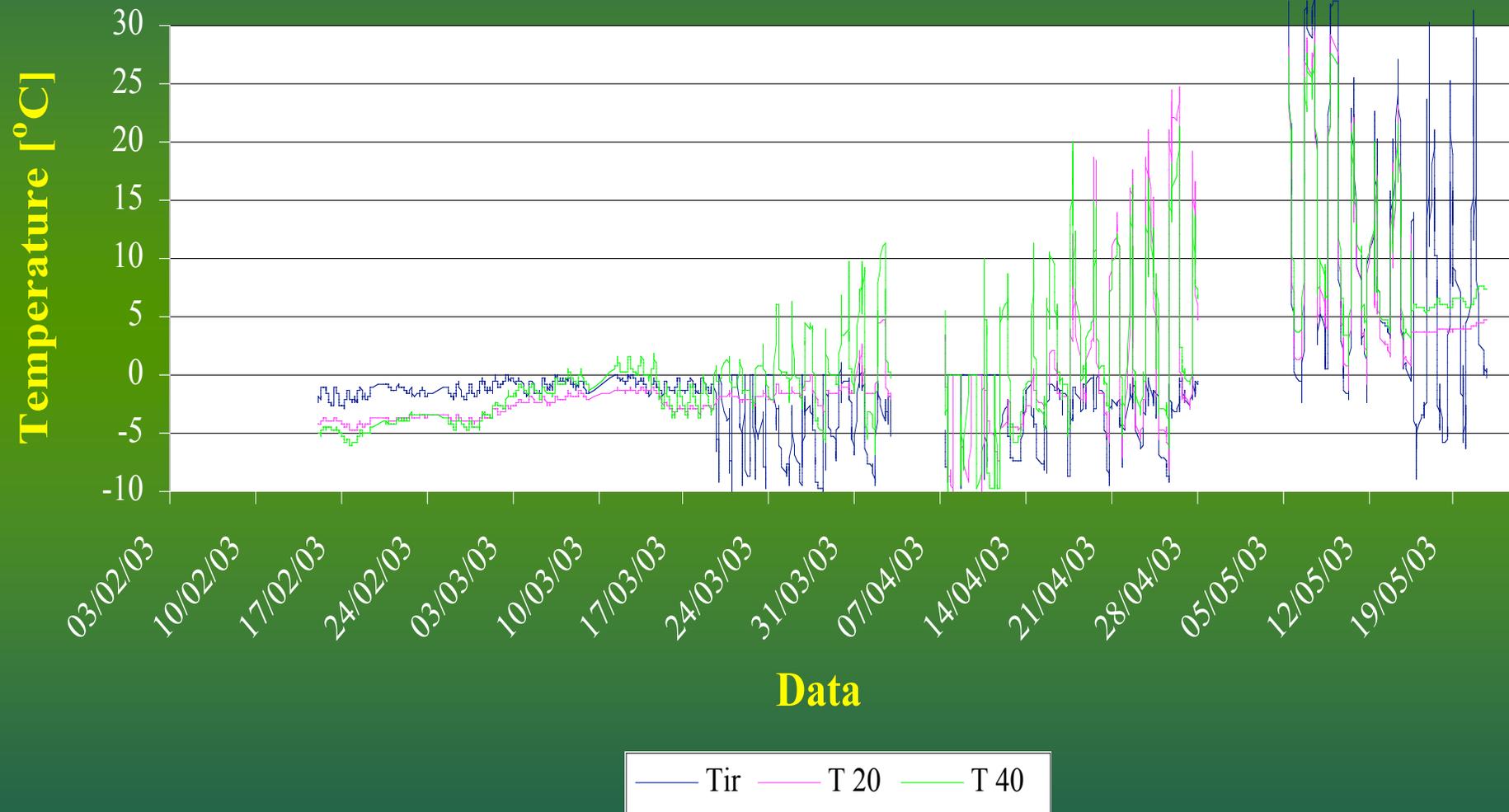
## Misurazioni a microonde



— Tv 6.8 GHz — Th 6.8 GHz — Tv 19 GHz — Th 19 GHz — Tv 37 GHz — Th 37 GHz

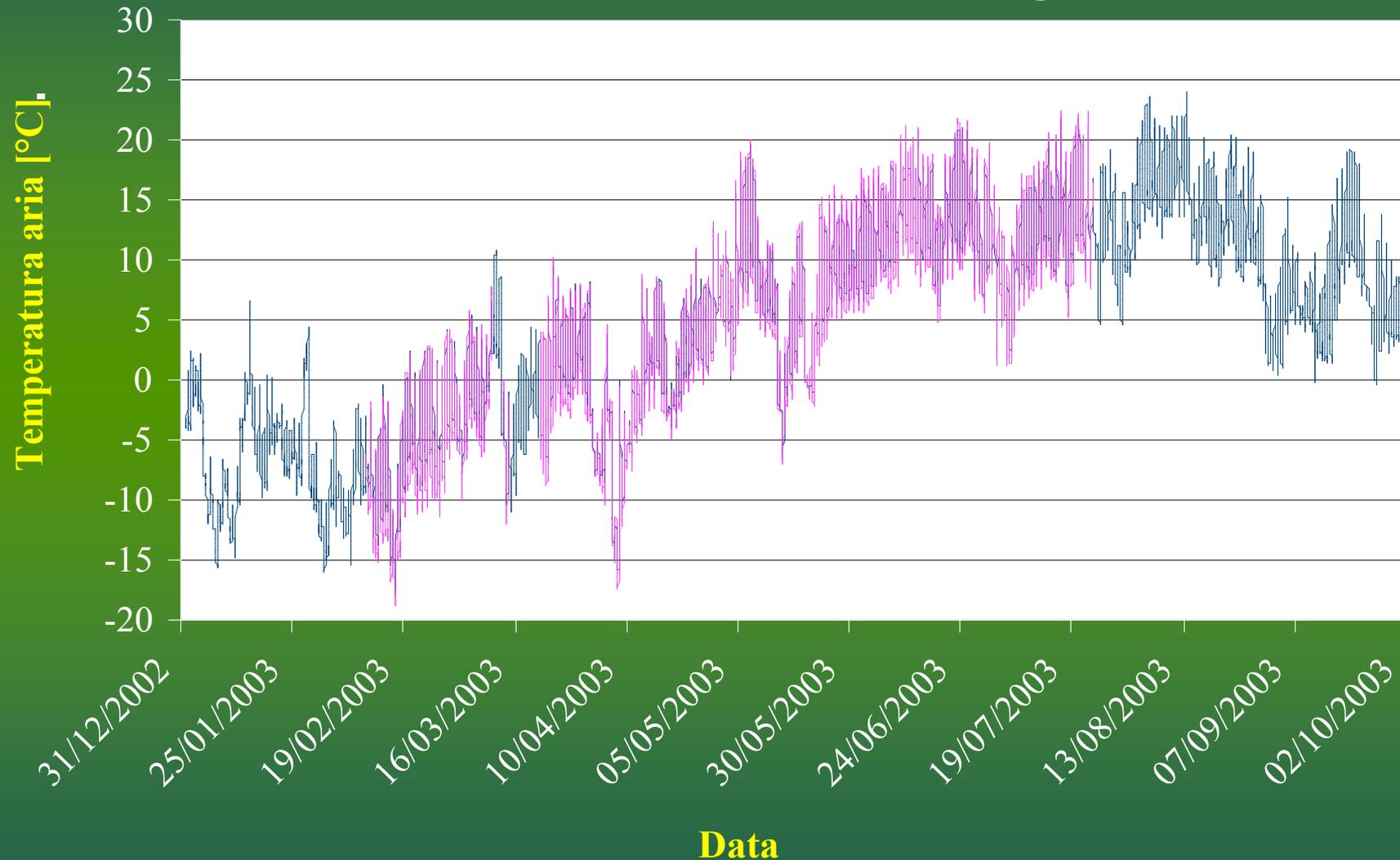
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Misurazioni a microonde



# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

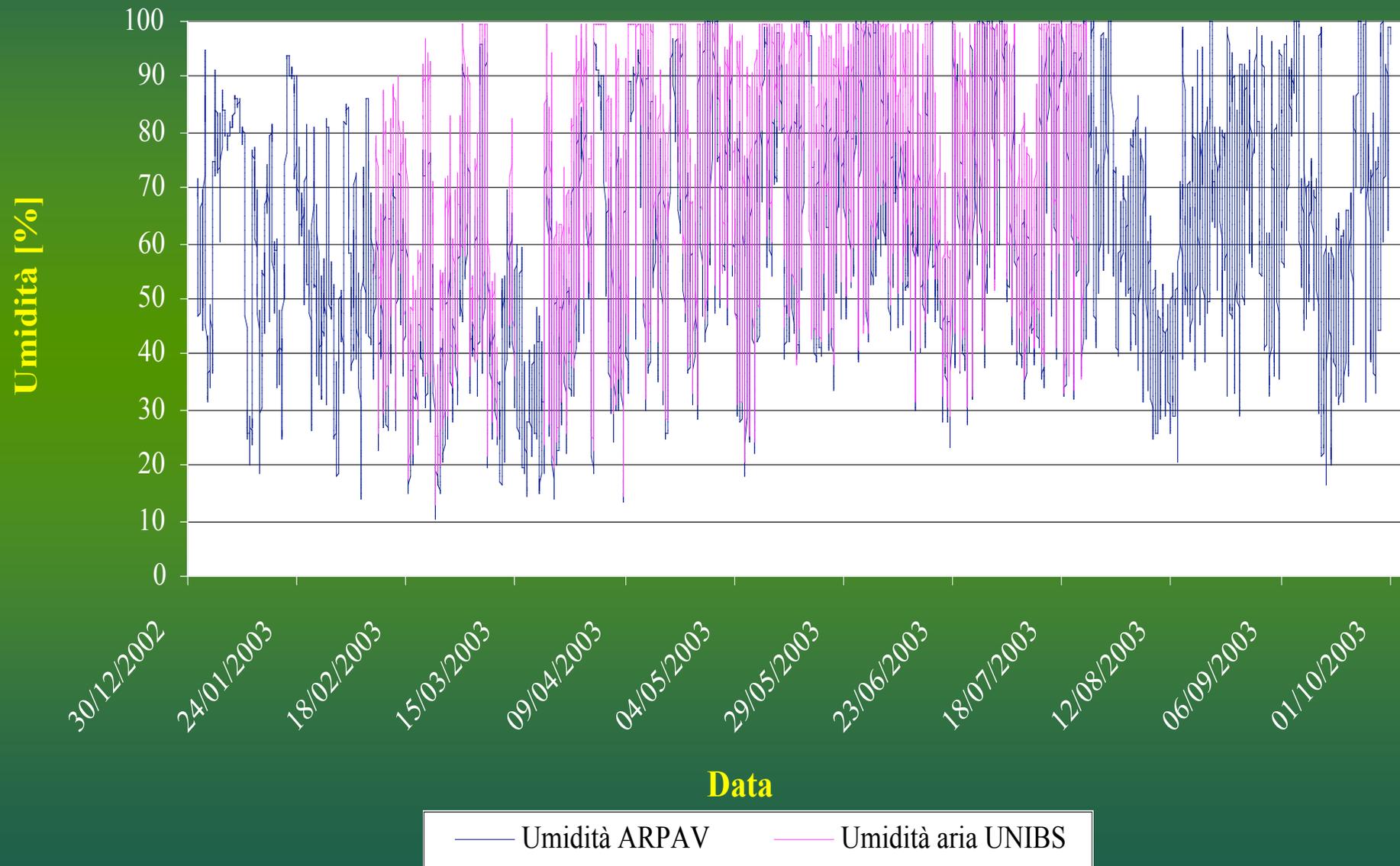
## Misurazioni nivometeorologiche



— Temperatura ARPAV — Temperatura UNIBS

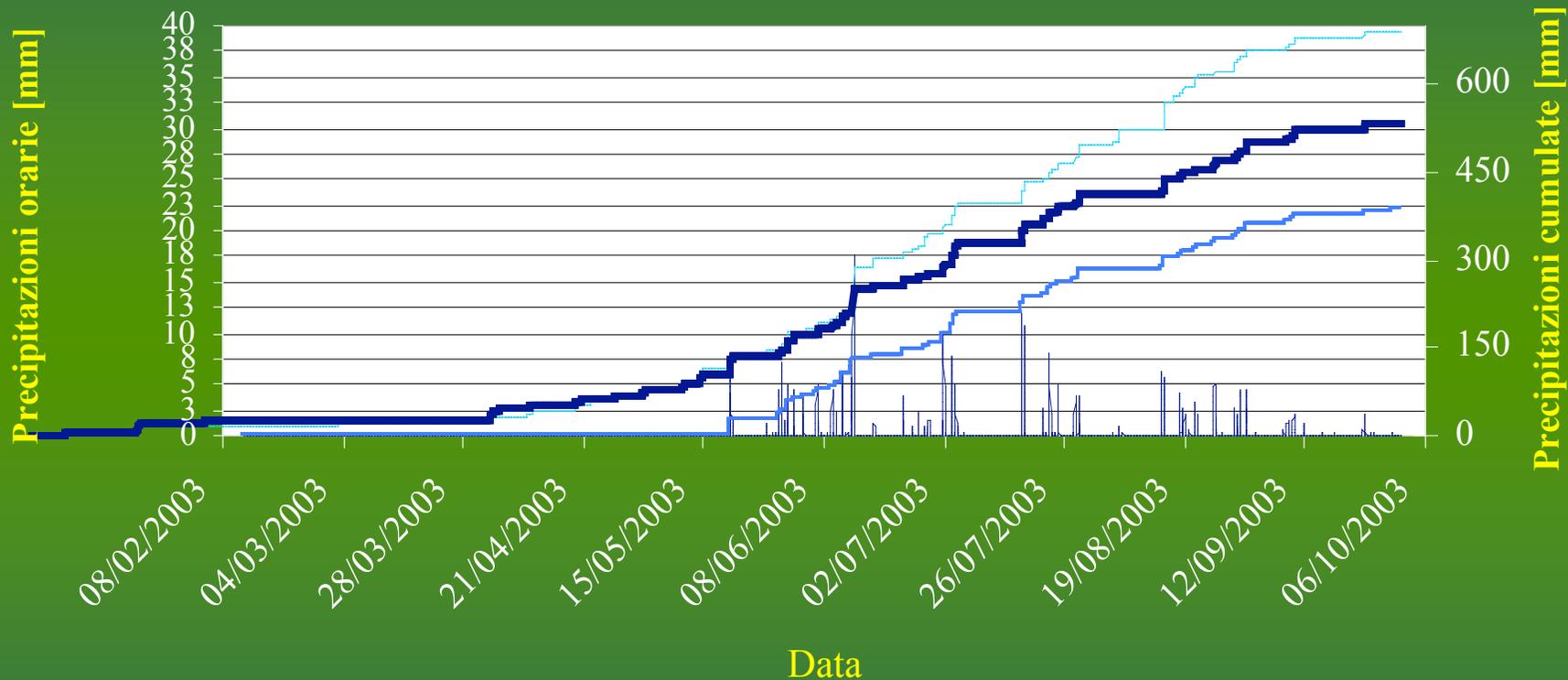
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Misurazioni nivometeorologiche



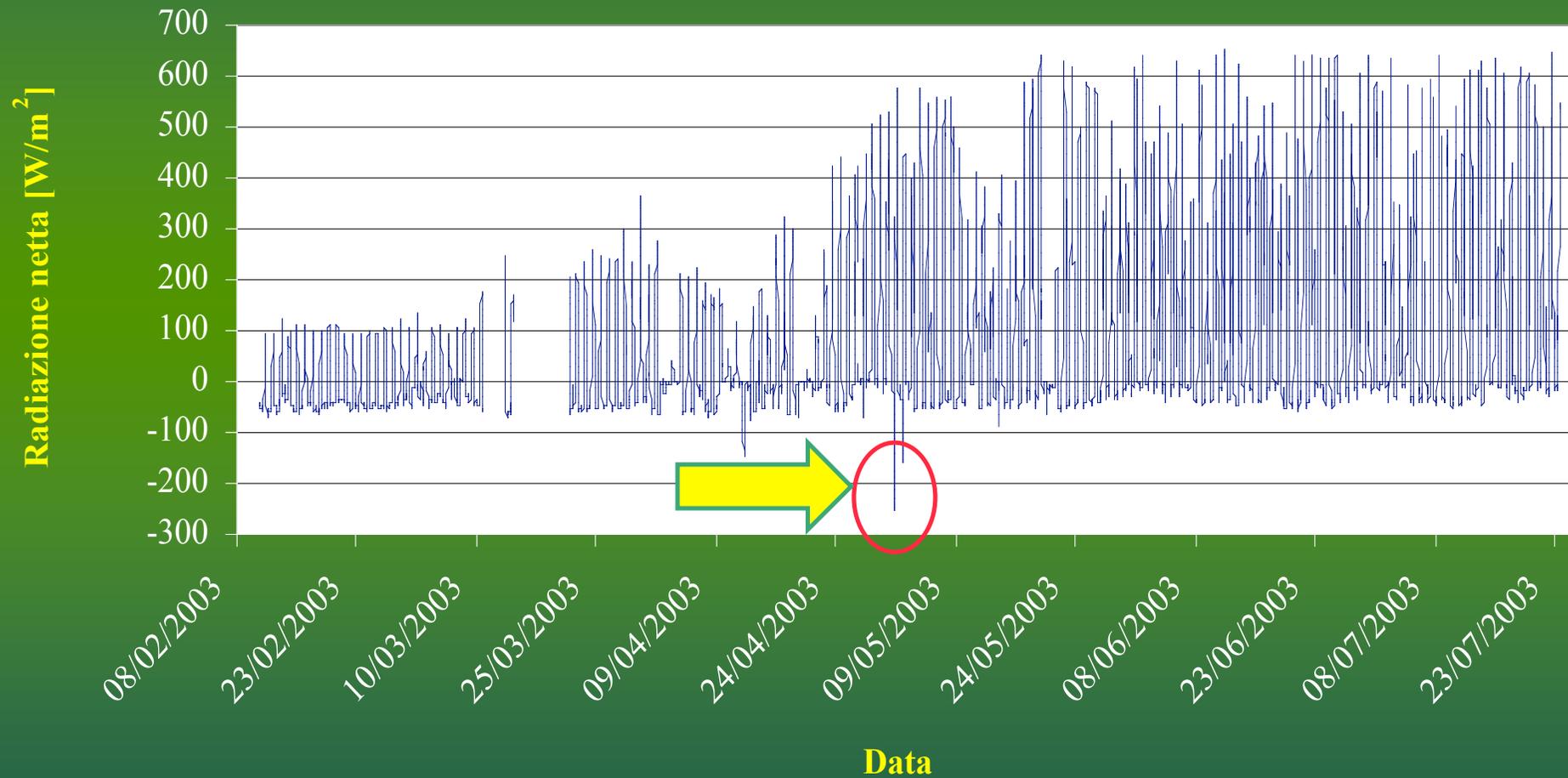
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Misurazioni nivometeorologiche



# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Misurazioni nivometeorologiche



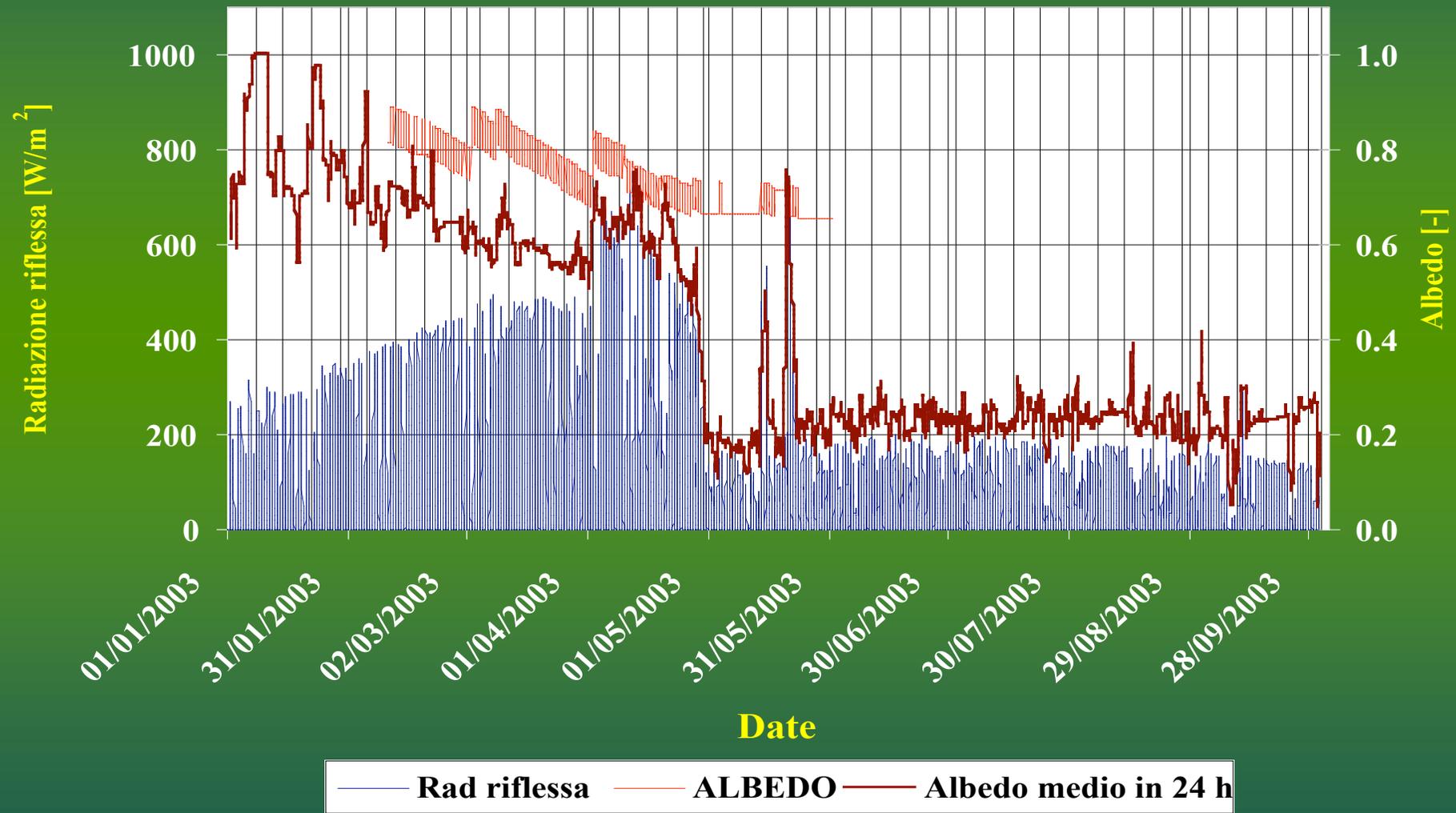
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Misurazioni nivometeorologiche



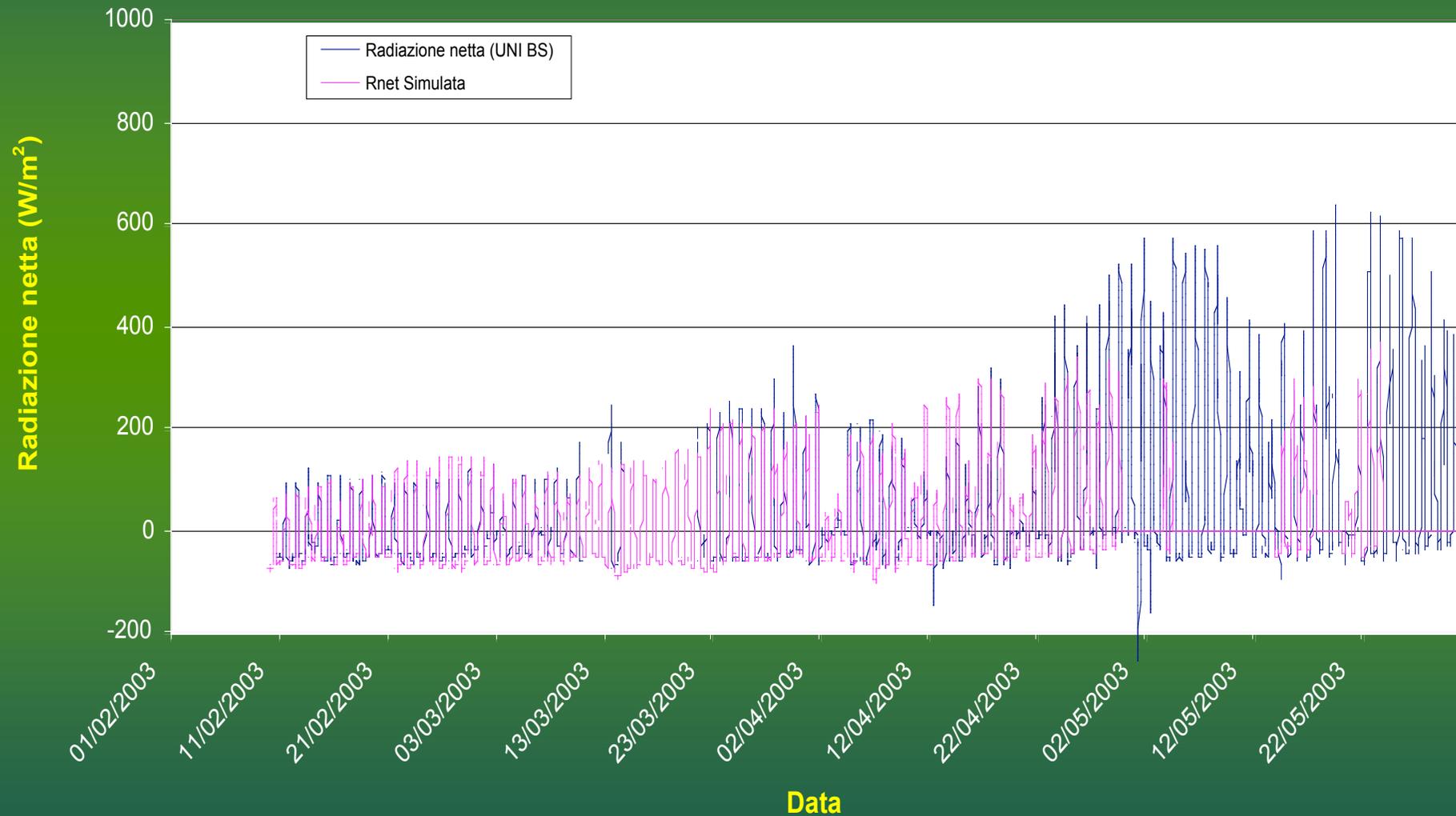
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Simulazioni con il Modello PDSM



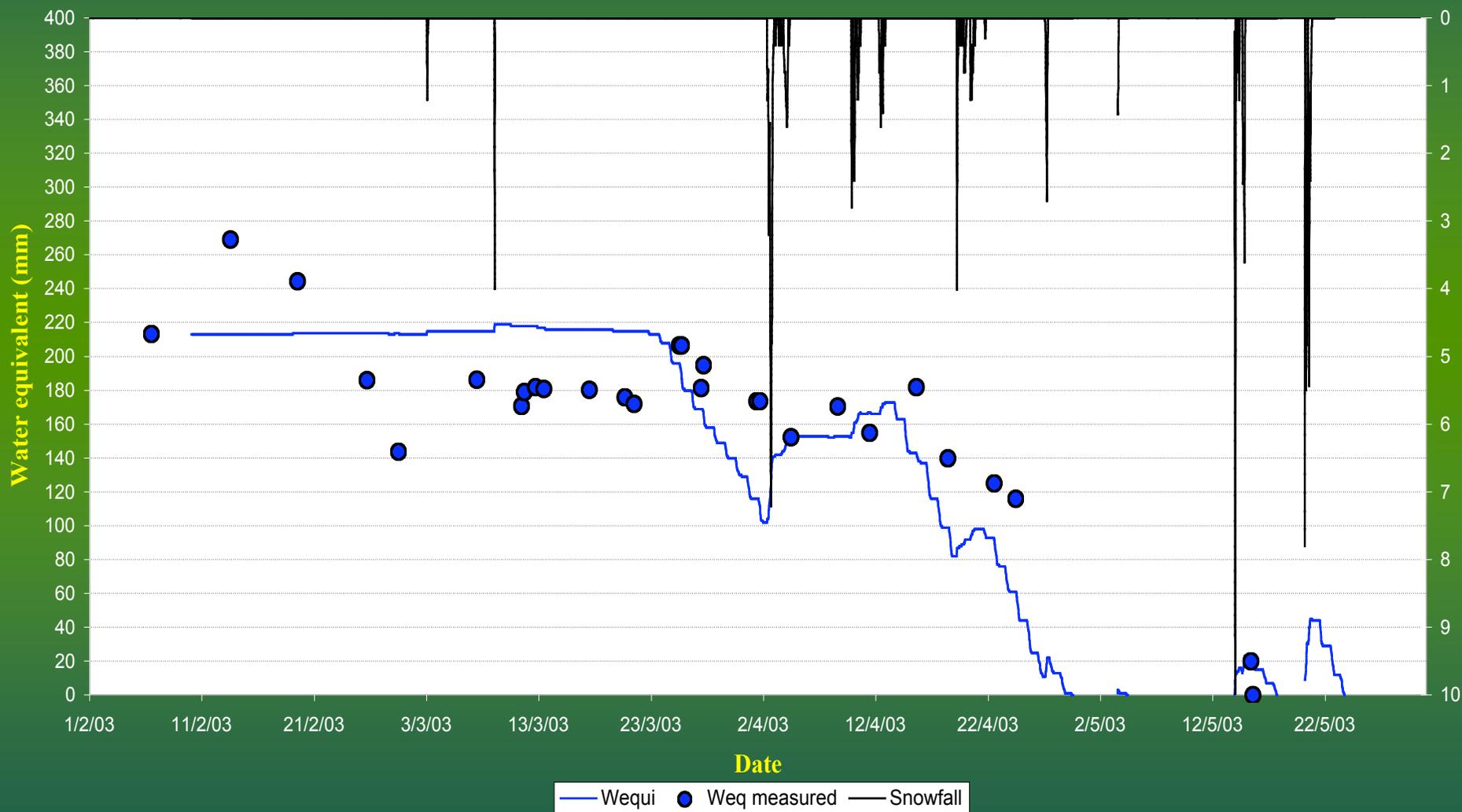
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Simulazioni con il Modello PDSM



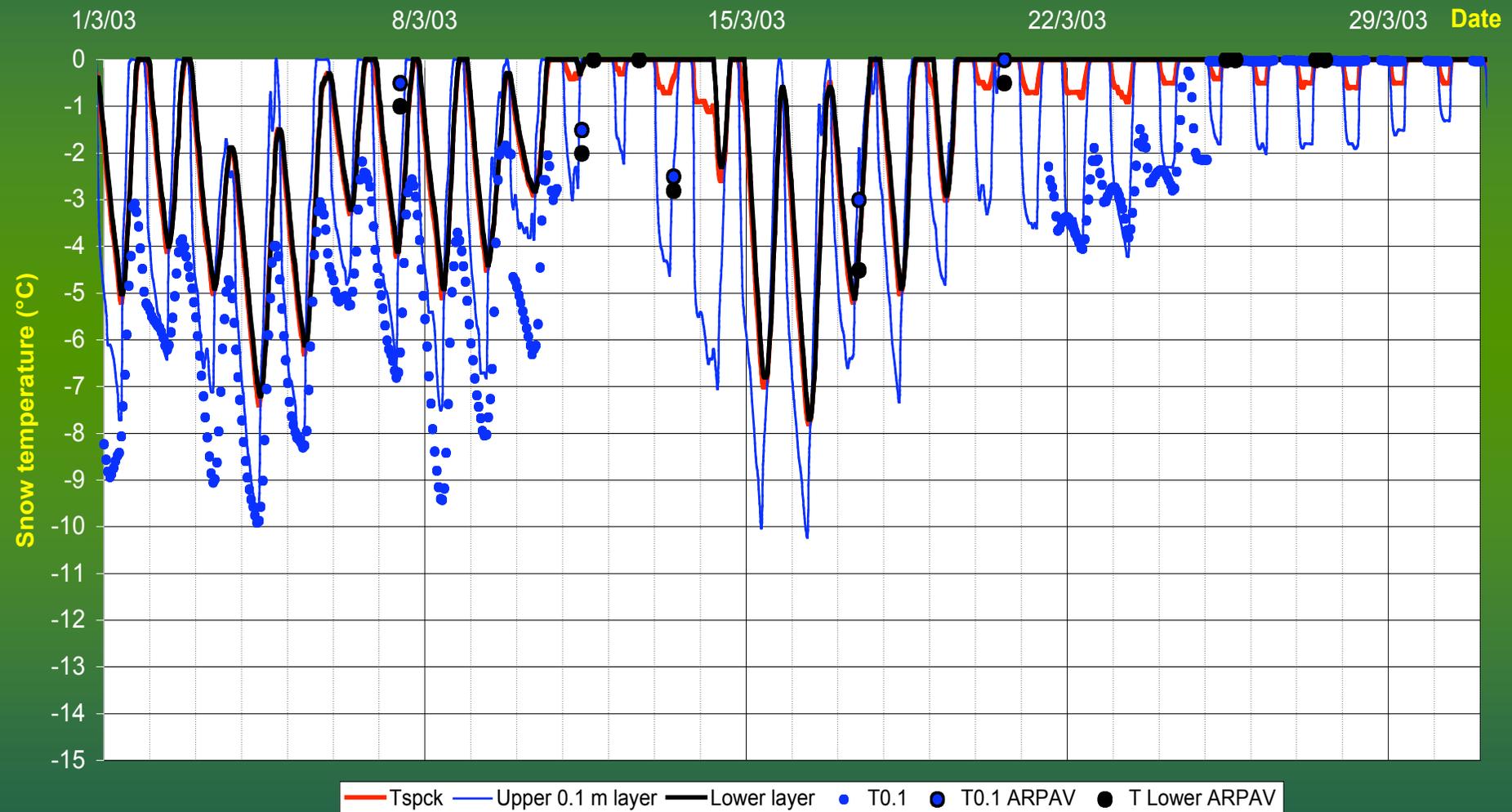
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Simulazioni con il Modello PDSM



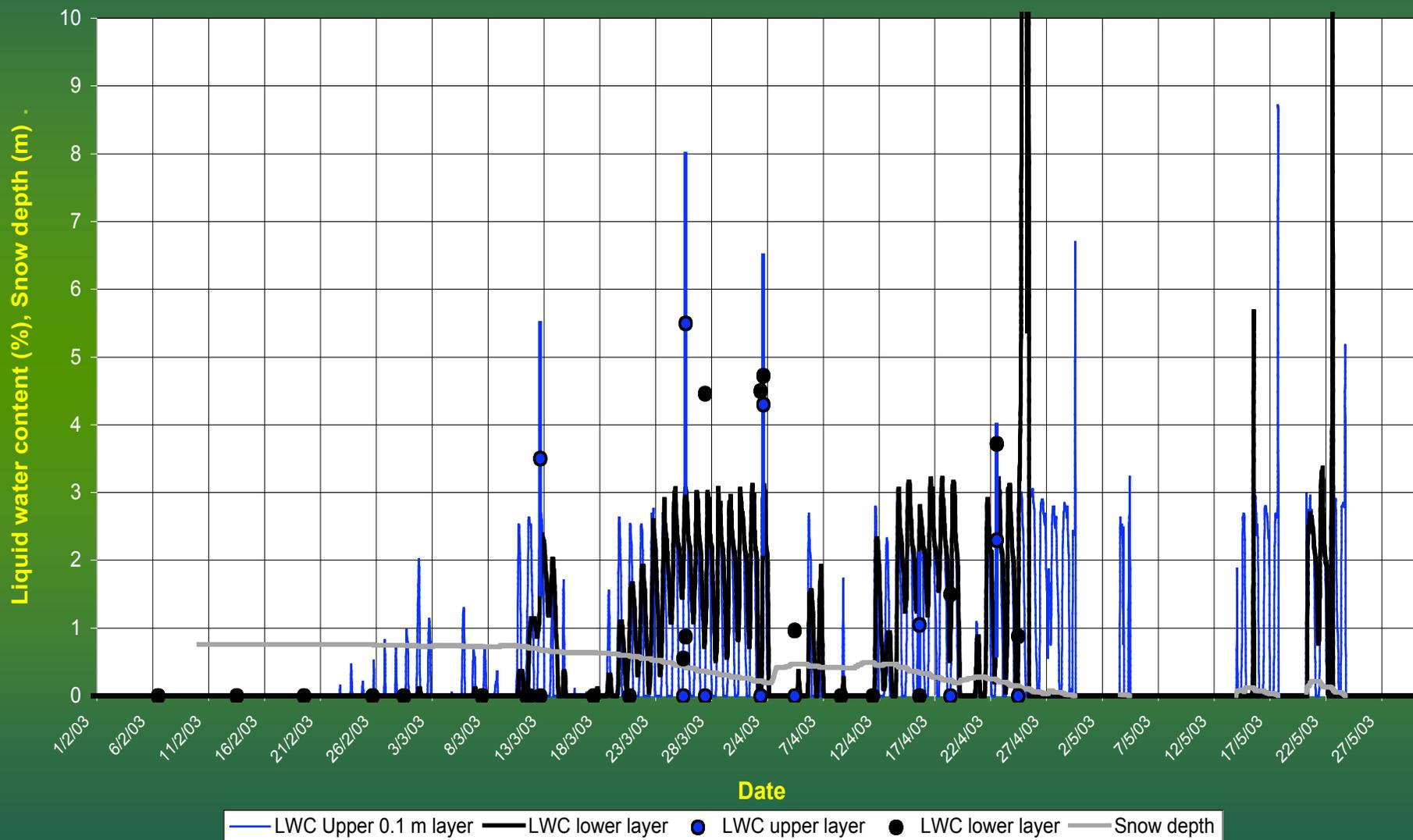
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Simulazioni con il Modello PDSM



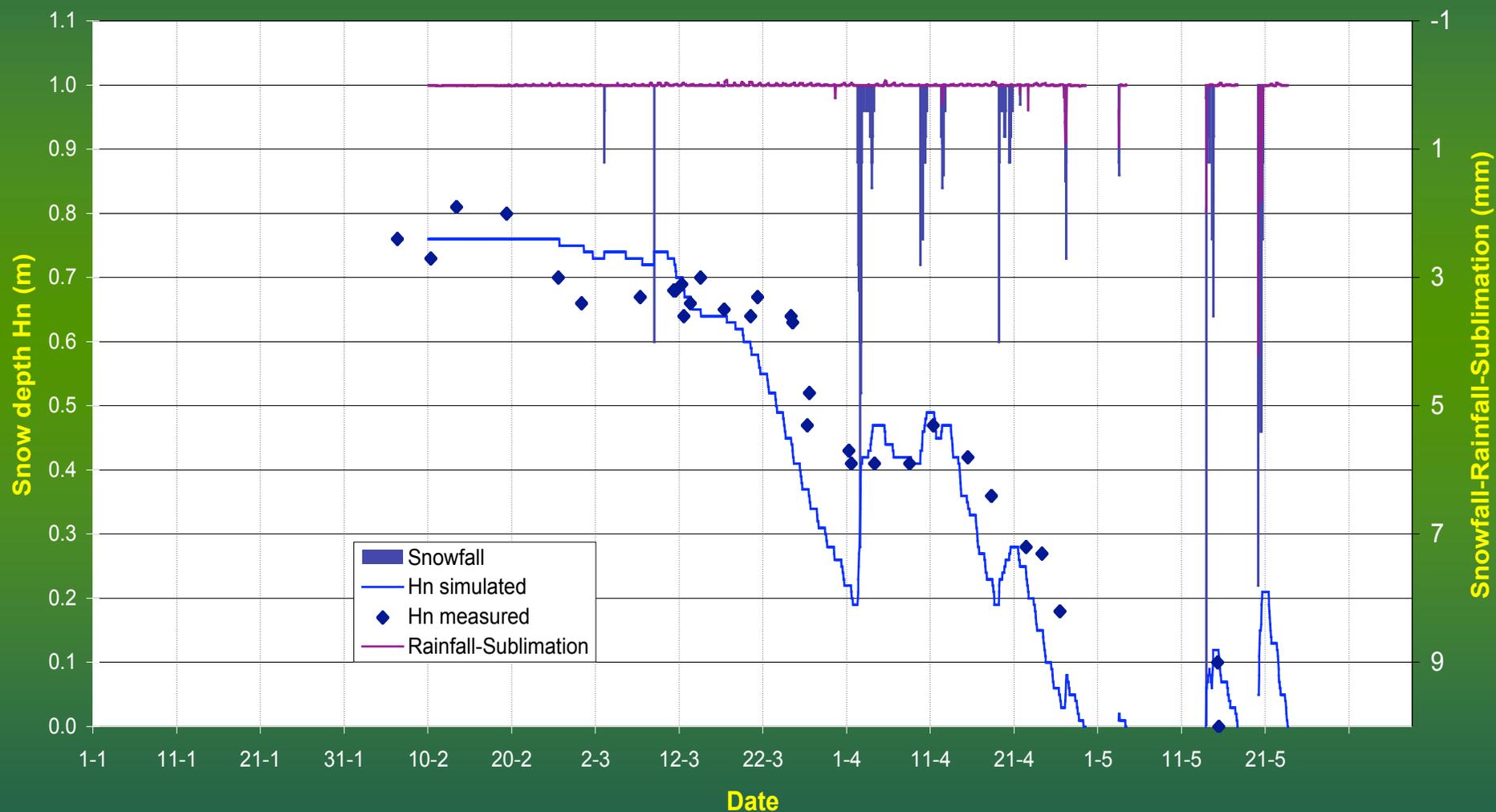
# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Simulazioni con il Modello PDSM



# ESPERIMENTO MASMEX 2003 – Cherz (BL)

## Simulazioni con il Modello PDSM



# Conclusioni

---

- Le stazioni nivometeorologiche sono una base insostituibile per la raccolta dei dati, ma a causa della loro rarità di diffusione non si hanno informazioni sufficienti sulle zone maggiormente a rischio di valanghe
- I dati sul profilo del manto nevoso, il contenuto in acqua, la densità degli strati superiore ed inferiore, temperature dei vari strati e l'equivalente in acqua sono essenziali per la valutazione della stabilità della neve e per il calcolo delle disponibilità idriche dei bacini nivologici
- L'Esperimento MASMEX 2003 costituisce una conferma dell'utilità di un approccio combinato al monitoraggio del manto nevoso e del suo metamorfismo utilizzando rilievi in siti, simulazioni con un modello idrologico e con monitoraggio a microonde

# Conclusioni

---

- L'analisi dei risultati ottenuti ha rilevato un'alta sensibilità dei sensori a microonde nell'individuare i cicli disgelo della neve evidenziando come la temperatura di brillanza dipenda, soprattutto, dalla temperatura della neve e risulti proporzionale al contenuto in acqua
- Va segnalata l'importante apporto dato dai dati micrometeorologici che aggiungono preziose informazioni e permettono di verificare la validità delle simulazioni numeriche e delle misure a microonde
- L'Esperimento MASMEX 2003 ha confermato l'affidabilità dei modelli matematici, in particolare del modello PDSM, dimostrando come essi, con le giuste calibrazioni dei parametri principali, siano uno strumento fondamentale per le previsioni sull'evoluzione del manto nevoso e per la valutazione delle possibili modifiche dei regimi idrometrici e sulla producibilità idroelettrica dei serbatoi montani

An aerial photograph of a snowy mountain landscape. In the foreground, a large, multi-story building, likely a ski resort or hotel, is situated on a snow-covered slope. A ski lift line runs through the middle ground. The background features rugged, snow-capped mountain peaks under a clear blue sky. The text is overlaid on the image in a yellow, serif font.

# Monitoraggio a microonde e simulazione della dinamica del manto nevoso

**Relatore:**

**Prof. Ing. Roberto Ranzi**

**Laureando:**

**Gian Luca Ghirardi**

**Matricola n. 020390**

**Università degli Studi di Brescia – Facoltà di Ingegneria  
Dipartimento di Ingegneria Civile**