

la SONDA FINAPP

Mauro Valt, Stefano Micheletti ¹
Luca Stevanato, Matteo Polo ²

¹ ARPAV- Dipartimento Regionale
Sicurezza del Territorio, Belluno, Italia
² Finapp s.r.l Via della Croce Rossa, 112,
35129 Padova PD

Corrispondenti
Mauro.valt@arpa.veneto.it
luca.stevanato@gmail.com

UN NUOVO STRUMENTO PER LA STIMA DELLO SWE

THE FINAPP PROBE, A NEW INSTRUMENT FOR SWE ESTIMATION

Snow Water Equivalent estimation is of crucial importance for the management of snow water resources in the alpine areas. The CRNS (Cosmic Ray Neutron Sensing) probe by Finapp is an integrated sensor for the measurement of environmental neutrons that allows for both point and area SWE estimation (radius of 250 m). In spring 2021, Finapp sensors were installed at the automatic weather station of Cima Pradazzo (Dolomites). The results provided by the sensor were compared with the outputs from the Snowpack model on the site and with direct measurements of the snow water equivalent.

La stima dello Snow Water Equivalent riveste un'importanza cruciale per la gestione della risorsa idrica nivale nei territori alpini.

La sonda CRNS (Cosmic Ray Neutron Sensing) Finapp è un sensore integrato per la misurazione dei neutroni ambientali che permette la stima dello SWE sia puntuale che areale (raggio di 250 m). Nella primavera del 2021 sono stati installati i sensori Finapp nella stazione automatica (AWS) di Cima Pradazzo (Dolomiti). I risultati forniti dal sensore sono stati messi in relazione con gli output del modello del manto nevoso Snowpack del sito e con misure dirette dell'equivalente in acqua della neve.



INTRODUZIONE

Durante la stagione invernale 2020-2021 è stata sperimentata la sonda Finapp per la stima dello Snow Water Equivalent (SWE) presso la stazione nivometeorologica di Cima Pradazzo, in Comune di Falcade.

La scelta del sito è stata dettata dalla facilità di accesso durante la stagione invernale e dalla possibilità di supporto tecnico da parte della società impianti del comprensorio.

Nel presente lavoro vengono presentati i primi risultati.

LA SONDA FINAPP

La sonda Finapp è una sonda CRNS – cosmic ray neutron sensing – che monitora l'umidità del suolo fino a 50 cm, contenuto in acqua del manto nevoso (Snow Water Equivalent, SWE) la biomassa (Biomass Water Equivalent, BWE) e le perdite d'acqua lungo gli acquedotti.

Poiché i neutroni sono naturalmente moderati dalle molecole d'acqua, le sonde CRNS possono mettere in relazione il conteggio dei neutroni dei raggi cosmici, che naturalmente colpiscono il suolo,

con il contenuto di acqua del suolo, della neve e della biomassa. Una diminuzione del conteggio dei neutroni è correlata ad un aumento del contenuto di acqua nelle vicinanze della sonda.

Il sistema Finapp® (Fig. 1) è un sensore integrato per la misurazione dei neutroni ambientali. È composto da un rivelatore Finapp per neutroni termici (1) e da un rivelatore di muoni (2) per il monitoraggio delle variazioni dei raggi cosmici in arrivo. Il sistema può essere gestito completamente fuori rete grazie alla scheda di controllo a bassissima potenza (3) con un consumo energetico inferiore a 30 mA @ 12V. Il sistema è fornito all'interno di una scatola IP66 (4) per uso esterno con pannello solare (20Watt) (5) e batteria tampone (7Ah) (6). Il sistema Finapp® è plug&play, include già datalogger, modulo GSM e sim card per la trasmissione dati al Finapp Cloud, pannello solare, batteria tampone.

Nel caso dell'installazione effettuata a Falcade si è provveduto ad installare due sonde: la prima è stata fissata su un palo sopra il manto nevoso mentre la seconda è stata posizionata a terra, sepolta sotto

la neve; l'installazione è stata effettuata nella terza decade di febbraio.

Si è deciso di effettuare questa duplice installazione in modo da potere valutare e raccogliere informazioni su tre diverse scale spaziali. Infatti nel caso di misure di SWE si può andare da pochi metri quadrati fino a decine di ettari. I risultati sottolineano l'importanza di disporre di uno strumento che faccia la media del SWE su una vasta area per tenere conto di tutta la variabilità spaziale della regione montana. Più nel dettaglio, le tre diverse misure sono le seguenti:

1. La prima è una misura "areale" fatta con neutroni sopra la neve. L'impronta è molto ampia (raggio ~ 250 m) ma soffre di un punto di saturazione relativamente basso (vicino a 600 mm di SWE).
2. Il secondo metodo è una misurazione "locale" (raggio ~ 20 m) effettuata con neutroni sotto la neve. Il metodo ha punti di saturazione elevati, vicino a 2000 mm di SWE. L'impronta è più piccola di quella del primo metodo, ma è molto grande rispetto alle tradizionali misurazioni puntuali effettuate con lo snow pillow, la bilancia da neve o le misurazioni manuali.
3. Il terzo metodo è una misurazione puntuale effettuata con elettroni cosmici (raggio ~ 2 m). La misurazione puntuale degli elettroni non ha saturazione e quindi può fornire una misurazione di backup fino a quantità praticamente infinite di equivalente in acqua della neve. Rispetto ai tradizionali strumenti SWE ha la stessa area di misura di uno snow pillow, ma è una misura pulita perché non soffre di problemi di snow bridging e non necessita di terreno pianeggiante o sistema antigelo.

LA STAZIONE DI CIMA PRADAZZO

La stazione nivometeorologica di Cima Pradazzo fa parte della rete regionale di Arpa Veneto e precisamente della sottorete del Centro Valanghe di Arabba (Fig. 2).

Fig. 1 - Interno di una sonda Finapp.

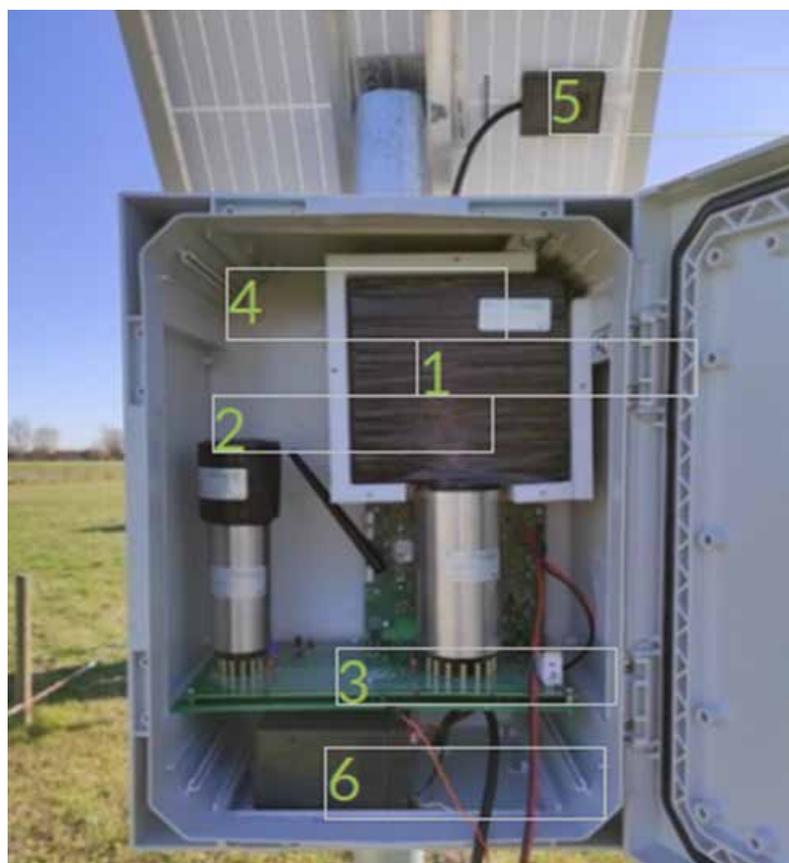




Fig. 2 - Installazione delle due sonde Finapp sulla stazione ARPAV di Cima Pradazzo (M. Valt).

La stazione, ubicata a 2200 m di quota, funziona dal 1987 e trasmette i dati in tempo reale alla centrale di acquisizione del Centro Funzionale Decentrato della Protezione Civile del Veneto; i dati sono anche visibili sul portale dell'Agenzia www.arpa.veneto.it.

I parametri misurati in sito sono quelli tipicamente meteorologici: temperatura aria, umidità relativa dell'aria, direzione e velocità del vento, radiazione solare incidente e riflessa, più alcuni specificamente per la neve: nivometro ad ultrasuoni, sensore di temperatura superficiale del manto nevoso, temperatura interna del manto nevoso a diversi livelli.

Inoltre per la stazione sono disponibili le simulazioni del manto nevoso del modello Snowpack dell'SLF di Davos – AlpSolut di Livigno <https://models.slf.ch/p/snowpack/>, con elaborazioni di diversi parametri fra i quali lo SWE. I dati sono disponibili su una piattaforma ad accesso controllato.

LE MISURE DI SWE

Nell'area adiacente il sito vengono sistematicamente effettuate delle misure di SWE, mediante carotaggio verticale secondo la metodologia Berni e Giacaneli

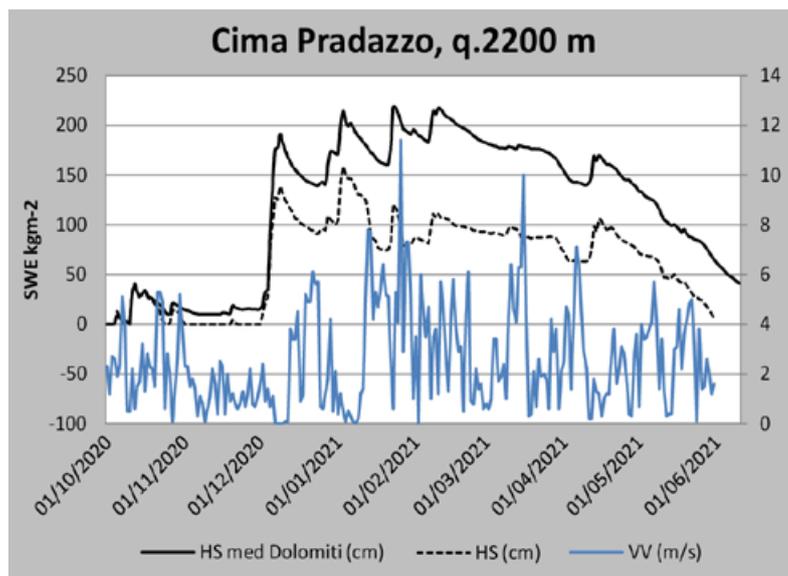


Fig. 3 - Altezza della neve al suolo e velocità del vento misurata a Cima Pradazzo.

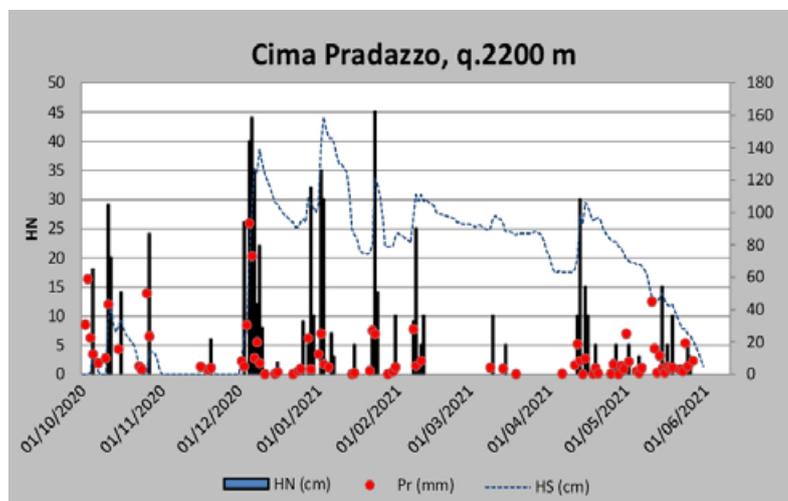


Fig. 4 - Valori di neve fresca, precipitazioni e neve al suolo misurati a Cima Pradazzo.

NEVE

(1966), da febbraio fino alla scomparsa della neve. Il sito di misura tradizionale è ubicato a circa 400 m dalla stazione, in posizione riparata dal vento, in ombra e ad una quota di 2100 m. Nello stesso sito vengono effettuate anche analisi stratigrafiche del manto nevoso, con cadenza quindicinale.

Il sito, denominato Lago di Cavia, è ubicato nelle vicinanze dell'omonimo bacino artificiale e nei dintorni (3 km di raggio) sono ubicati anche i punti di misura di Passo di Valles, Malga Zingari Basso e Cima Omo, a quote ed esposizioni diverse. Per la sperimentazione della sonda sono state effettuate delle misure a fianco della stazione, in modo da validare/tarare le misure in continuo della strumentazione e delle simulazioni del manto nevoso.

IL SITO DI MISURA

Il sito di misura si trova in zona apicale all'inizio della piccola dorsale E-W di

Cima Pradazzo che si sviluppa dalla località Le Buse fino al Passo di Valles. La dorsale è in campo aperto e il contorno delle montagne è distante alcuni km in tutte le direzioni. La stazione è propriamente nota per la misura del sinottico pur essendo di terra. Il suolo è roccioso (porfidi), variabilmente rugoso per la presenza di massi anche di 0,5 m³ disposti in modo casuale e piccole fossette con zone umide (pochi cm di humus) con anche ristagno di acqua.

Per la misura della neve, il sito non è propriamente ideale per la costanza del vento. Tuttavia, è presente un manto nevoso stagionale e vengono stimati anche gli apporti di neve fresca nelle 24 h (Cagnati A., 2003). Verso nord il pendio è in ombra (è presente anche una pista da sci) e rapidamente plana in una zona di calma di vento dove è ubicato il campo di misura di Lago di Cavia, poco a valle della Malga Zingari Alti, lungo la sponda destra del Lago di Cavia.

A sud, il terreno è più omogeneo e meno ripido e decliva più dolcemente (presenti piste da sci, impianto di risalita e rifugio).

ANDAMENTO DEL TEMPO NEL PERIODO FEBBRAIO-MAGGIO 2021

La copertura nevosa della stagione invernale 2020-2021 si è formata principalmente durante gli episodi perturbati della prima decade del mese di dicembre, quando a Cima Pradazzo le precipitazioni hanno superato i 150 cm di neve (Figg. 3, 4). Questo primo strato di neve è caratterizzato da una crosta da fusione e rigelo che è rimasta identificabile per tutta la stagione invernale. Questa neve, a fine febbraio, aveva una densità di 400-420 kgm⁻³. Le nevicate di fine dicembre e inizio gennaio hanno apportato ulteriori 20 cm di neve fresca e anche questa ha trovato in una crosta da vento, formatesi a metà gennaio, uno strato guida durante la stagione. A fine febbraio, questa neve aveva una densità di 320-360 kgm⁻³, con gli strati profondi più densi.

I forti venti della seconda decade di gennaio hanno eroso gran parte della neve del secondo episodio, tanto che le nevicate della terza decade seguite anche esse da vento, nel profilo della altezza neve della stazione, risultano come un picco isolato dalla neve precedente e da quella seguente (70 cm di neve fresca fra il 22 e il 24 gennaio).

Le precipitazioni della prima decade di febbraio (7-8 e 10-11) sono state ancora importanti (50 cm di neve fresca) e anche caratterizzate da una importante deposizione di neve con sabbia di origine sahariana (neve rossa); esse costituiranno il 3° strato guida dei profili stratigrafici del manto nevoso in tutte le dolomiti. Questa neve a fine febbraio ha una densità di circa 320 kgm⁻³.

Il mese di febbraio è caratterizzato da bel tempo e temperature molto miti che ridurranno gradualmente lo spessore del manto nevoso per assestamento (Fig. 5). L'ultima decade del mese di febbr-

Fig. 5 - Altezza della neve e temperatura misurate dalla stazione ARPAV.

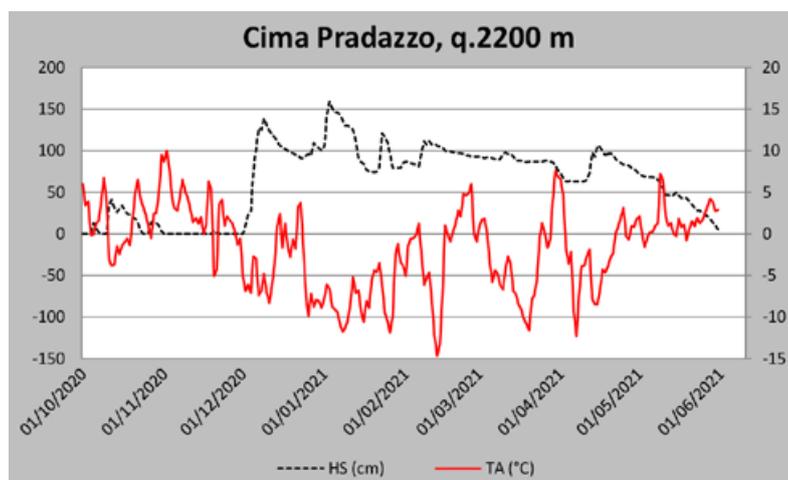
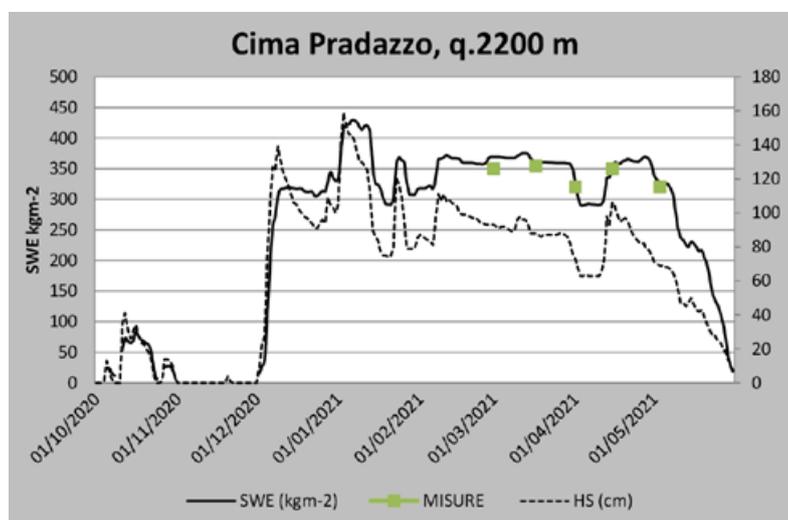


Fig. 6 - SWE elaborato tramite il modello SNOWPACK, SWE misurata manualmente e altezza della neve.





io è stata molto mite (la più calda dal 1990) e caratterizzata da una fusione e sublimazione del manto nevoso che ha messo in luce lo strato di neve "rossa" delle precipitazioni del 7-8 febbraio, favorendo l'ablazione primaverile. Il mese di marzo è caratterizzato da vento, temperature fredde nella seconda decade e da molto caldo negli ultimi giorni del mese. Il manto nevoso sul sito della stazione si è mantenuto compatto e stabile, resistendo alla erosione del vento, che tuttavia ha limato la precipitazione del 10 marzo (30 cm).

Le giornate molto calde di fine mese hanno invece prodotto un importante riscaldamento di tutto il manto nevoso con processi interni di fusione che si sono protratti per gran parte della prima decade di aprile e che hanno generato una veloce riduzione degli spessori del manto nevoso in tutte le Dolomiti. Nella serie temporale dei dati di HS della stazione è ben visibile lo "scalino" che sembra, erroneamente, un episodio ventoso. La seconda decade del mese di aprile è stata molto fredda con precipitazioni nevose fino a bassa quota e apporti a Cima Pradazzo di 70 cm di neve. Da questo episodio in poi inizierà la lenta fusione del manto nevoso. Il tempo è caratterizzato da locali rovesci nevosi, a volte piovosi fino in quota con la forma-

zione di croste da fusione e rigelo, con pioggia fino a 2200 m il 26 aprile, come anche il 1° maggio.

Nel mese di maggio gli apporti nevosi sono confinati prevalentemente oltre i 2600 m di quota mentre al di sotto le precipitazioni risultano piovose o con poca neve. Sulla stazione si osservano apporti nevosi nelle ultime 24 ore le mattine del 3, 15, 17, 19, 25 e 26 maggio. Il mese di maggio sarà il 3° più freddo dal 1990 con una lenta ablazione del manto nevoso, specie lungo i versanti in ombra adiacenti la stazione (versante verso il Lago di Cavia).

La copertura nevosa termina il 30 maggio sulla stazione, rimanendo sul sito in ombra fino oltre il 10 di giugno.

MISURE DI SWE E LE ELABORAZIONI DEL MODELLO SNOWPACK

L'andamento dello SWE elaborato dal modello di simulazione del manto nevoso SNOWPACK (Fig. 6) segue l'andamento delle nevicate arrivando al suo maggior valore nella prima decade di gennaio. Nel mese di gennaio il valore di SWE è condizionato dall'azione di erosione del vento, mentre dalle nevicate di inizio di febbraio in poi, lo SWE sul sito della stazione rimarrà costante pur in presenza di un assestamento (dimi-

nuzione di spessore) del manto nevoso. Invece, con le calde temperature di fine marzo, l'assestamento evidenzia anche una perdita di massa del manto nevoso a significare processi importanti di fusione e di sublimazione. Le successive nevicate portano ad un aumento dello SWE e il seguente assestamento della neve, associato alle temperature relativamente basse per la stagione, evidenziano una diminuzione di spessore più rapida (a fine aprile) a cui non corrisponde anche una diminuzione dello SWE: questo a causa delle piogge fino in quota e del loro contributo positivo allo SWE.

Le misure dirette di SWE effettuate con il carotaggio verticale, a pochi metri dal nivometro, confermano i valori di SWE elaborati dal modello e quindi la sua validità.

MISURE DI SWE NELLE AREE ADIACENTI A CIMA PRADAZZO

Nell'area della stazione vengono effettuate altre misure dirette di SWE e precisamente a Lago di Cavia (q. 2100 m) e Passo Valles (q. 2034 m), poste circa alla stessa quota a 2000 m con buon riparo orografico, Cima OMO a q. 2166 m e Malga Zingari Bassi a quota 1771 m su un versante Est.

NEVE

Fig. 7 - Misure di SWE determinate con le sonde FINAPP in sovrapposizioni alle misure manuali e dati elaborati dal modello.

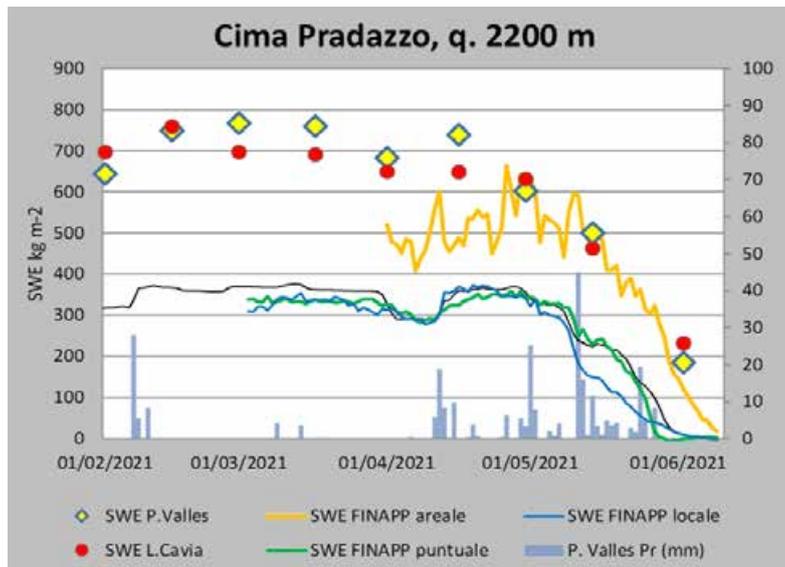
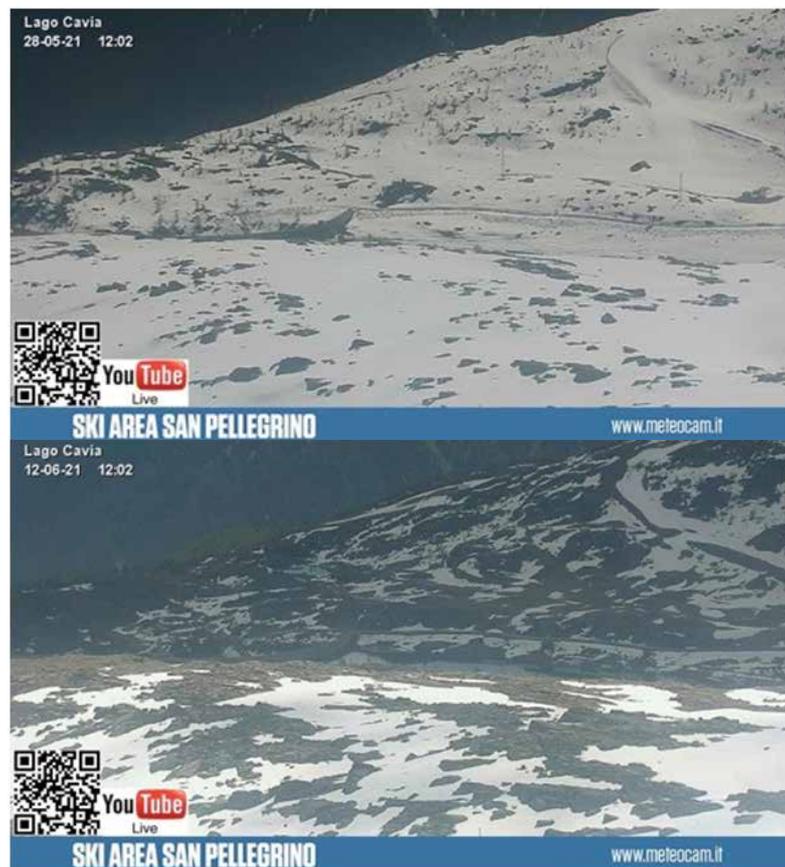


Fig. 8a e 8b - Immagini webcam del Lago Cavia. La stazione di misura non è inquadrata ed è appena sopra dal pendio sulla destra. A sinistra l'immagine del 28 Maggio e a destra quella del 12 Giugno.



I siti di misura di Passo Valles e Lago di Cavia non sono influenzati dall'azione di erosione del vento e rappresentano lo SWE presente nell'area nelle migliori condizioni di innevamento. Anche i valori sono sempre dello stesso ordine di grandezza. Nei periodi di forte ablazione del manto nevoso lungo i versanti meridionali (fine febbraio e fine marzo) nei 2 siti gli effetti sono stati meno importanti poiché in ombra.

In Fig. 7 possiamo vedere il confronto fra i valori di SWE simulati da Snowpack, le misure manuali e i dati della sonda Finapp. La linea verde è la misura puntuale ($\sim 2 \text{ m}^2$) ottenuta con gli elettroni cosmici, la linea blu è il valore locale ($\sim 1000 \text{ m}^2$) dell'SWE misurato con il Finapp sotto la neve, la linea arancione è la misura areale (250.000 m^2) della SWE fatta con il Finapp sopra la neve. In figura 7 sono riportate anche le precipitazioni rilevate alla stazione meteo di Passo Valles.

Come si vede (Fig. 7), le stime locali e puntuali raggiungono lo stesso massimo di circa 400 mm di SWE a fine aprile. Ciò significa che per grandi valori di SWE la differenza tra puntuale e locale è ridotta al minimo, in quanto la variabilità del sito dovuta alla morfologia e all'azione del vento diventa meno rilevante. Le maggiori differenze iniziano a vedersi nella fase di fusione che ha andamenti completamente diversi tra misurazioni locali/puntuali e modello. Il modello e la misura puntuale hanno un andamento più simile: la misura puntuale vede il completo scioglimento intorno al 26 maggio, mentre il modello qualche giorno dopo. Le maggiori differenze con la misurazione locale si evidenziano dopo l'importante episodio di pioggia del 10 maggio quando sono caduti oltre 50 mm con temperature positive. In questo momento lo SWE locale è sceso sotto i 200 mm e ha continuato la sua discesa in modo molto lineare, sottolineando come la quantità di SWE presente verso fine maggio fosse ancora intorno ai 50 mm e non già nulla. Infatti, quando la copertura si assottiglia, le misurazioni puntuali diventano molto meno precise di quelle locali. Altre interessanti conclusioni si possono trarre dall'episodio del 10-13 aprile, quando sono caduti circa 40 mm di precipitazioni con temperature negative. Il modello vede molto bene l'aumento di SWE, perché converte in SWE tutte le precipitazioni solide appena cadute, ma anche la misura locale eseguita con una sonda Finapp sotto neve vede lo stesso aumento a dimostrazione di come il dato sia indicativo di un'area sufficientemente ampia. Il grafico puntuale, invece, mostra un incremento molto contenuto, quasi assente. Infatti il luogo dove è stato installato il sensore ha la caratteristica di essere molto ventoso, come discusso in precedenza, e quindi durante le nevicate la neve viene trasportata altrove, portando l'accumulo locale vicino allo zero. La misurazione dell'areale ha un andamento completamente diverso e deve essere commentato separatamente. Il raggio d'azione del neutrone sopra la neve è un

cerchio con un raggio di circa 250 metri. Questo significa che la sonda ha raccolto informazioni non solo nell'altopiano vicino al palo, ma anche nella valle esposta a nord vicino al Lago di Cavia, dove lo SWE durante l'inverno ha raggiunto un picco di 800 mm. Facendo una media pesata del valore di SWE nell'altopiano vicino al palo e nella valle vicino al lago, abbiamo ottenuto un valore di 550 mm di SWE nel mese di aprile, dimostrando la validità anche del valore areale. Sfortunatamente, questo valore è molto vicino alla saturazione come mostrato dalle enormi fluttuazioni. Informazioni importanti da questa misurazione vengono fornite alla fine della stagione quando il valore di SWE è ben al di sopra del modello e della misurazione locale/puntuale perché si tiene conto anche della neve residua presente nella valle del versante nord vicino al lago.

Quindi si può affermare come le tre misure ottenute dalle sonde Finapp, opportunamente interpretate, riportano valori veritieri di SWE, confermati dalle misure manuali e da modello.

La neve si è sciolta completamente a metà giugno (Fig. 8b) come confermato dalla webcam installata al Col Margherita. Sempre dalle immagini webcam, si può notare come al 28 Maggio (Fig. 8a), giorno in cui la misura puntuale è andata a zero, la neve presente sul pendio fosse ancora molta, a sottolineare come una misura puntuale non è rappresentativa dell'area circostante. Invece la misura areale tramite il Finapp installato sopra neve ben inquadra la situazione generale sia a fine maggio che a metà giugno in prossimità del completo scioglimento del manto nevoso.

CONCLUSIONI

Il periodo di confronto fra i dati misurati e i valori elaborati dallo strumento Finapp vanno da aprile a fine maggio 2021, nel periodo caratterizzato dalla ablazione del manto nevoso. Nell'area di studio, nel periodo citato, sono comunque avvenuti diversi fenomeni meteorologici a caratterizzare una maggiore variabilità

dello spessore del manto nevoso e del relativo SWE, quali le miti temperature di inizio aprile, le nevicate di metà aprile accompagnate anche da episodi di pioggia in quota, questi ultimi più intensi ai primi di maggio, e temperature fredde successive che hanno rallentato la fusione del manto nevoso.

La contemporaneità di misure dirette di SWE con carotaggi verticali, sia presso la stazione FINAPP che nell'area di contorno, ha permesso di validare le simulazioni del manto nevoso del modello SNOWPACK e quindi di disporre dei valori di SWE con la stessa frequenza temporale del sensore FINAPP. I risultati ricavati

da FINAPP nella modalità Local (vicino alla stazione) ha evidenziato una elevata correlazione fra i dati, salvo qualche sottostima nel periodo caratterizzato da piogge alternate a nevicate nella seconda decade del mese di maggio.

Dal confronto con le misure nella modalità FINAPP Areale, che vede l'analisi di una superficie più vasta (che, per quando riguarda la stazione Cima Pradazzo vuol dire anche il versante in ombra caratterizzato da un maggior innevamento dovuto al riparo orografico), i risultati sono apparsi ancora in accordo nell'andamento generale e nell'ordine di grandezza dello SWE misurato.



Bibliografia

- Schattan, P., Köhli, M., Schrön, M., Baroni, G., & Oswald, S. E. (2019). Sensing area-average snow water equivalent with cosmic-ray neutrons: The influence of fractional snow cover. *Water Resources Research*, 55, 10796–10812.
- Berni A., E.Giacanelli. 1966. La campagna di rilievi nivometrici effettuata dall'ENEL nel periodo febbraio – giugno 1966. *L'Energia Elettrica*, 9,
- Cagnati A. (2003). Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- [Lehning et al., 2002a] Lehning, M., Bartelt, P., Brown, R.L., Fierz, C., and Satyawali, P.K. 2002. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part II. Snow microstructure, *Cold Regions Science and Technology* 35, 2002, 147–167.
- [Lehning et al., 2002b] Lehning, M., Bartelt, P., Brown, R.L., and Fierz, C. 2002. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation, *Cold Regions Science and Technology* 35, 2002, 169–184.
- [Lehning and Fierz, 2008] Lehning, M., and Fierz, C. 2008. Assessment of snow transport in avalanche terrain, *Cold Regions Science and Technology* 51, 2008, 240–252.