

NextSnow

Stima delle Risorse Nivali e dei loro Cambiamenti sulle Alpi

Task 3 del WP1.6 “Risorse criosferiche montane”

V. Levizzani, U. Morra Di Cella, S. Gabellani,
P. Claps, S. Ferraris, C. Cassardo, S. Fratianni,
S. Terzago, S. Zecchetto, S. Laviola





19 gennaio 2017 (parte alta della valle di Cervinia e del gruppo del Monte Rosa)

U. Morra Di Cella, ARPA VdA



Partecipanti

1. CNR – Istituto di Scienze dell’Atmosfera e del Clima
2. ARPA Valle d’Aosta
3. Fondazione CIMA
4. Politecnico di Torino, DIATI
5. Politecnico e Università di Torino, DIST
6. Università di Torino, Dip. di Fisica
7. Università di Torino, Dip. di Scienze della Terra



Durata

2013-2018

Coordinatore

Dr. Vincenzo Levizzani
CNR-ISAC, Bologna



Scopi principali di NextSnow

L'attività di NextSnow è concentrata su

- ① rendere disponibili dataset di copertura e precipitazione nevosa con caratterizzazione dell'errore,
- ② organizzare un'attività di monitoraggio delle risorse nivali da satellite e dal suolo,
- ③ modellare i parametri osservati e il mantello nevoso.

Risultati attesi

- 1) Dataset completo su Valle d'Aosta e Piemonte: snow cover, snow depth, snow water equivalent (SWE).
- 2) Variabili climatiche e metadata da stazioni meteorologiche per gli ultimi 100 anni (digitalizzati e inseriti in un GIS). Serie temporali con statistica degli estremi.
- 3) Dataset di parametri meteorologici su terreno coperto da neve.
- 4) Caratterizzazione della struttura dell'errore.
- 5) Esame delle caratteristiche della neve e del PBL al limitare della copertura nevosa col terreno libero da neve (scioglimento).
- 6) Dataset di dati da satellite (Meteosat, MODIS, AMSU-B/MHS).
- 7) Modellistica numerica di snow cover, snow depth e SWE a scala regionale.
- 8) Modellistica quantitativa del bilancio energetico e idrologico all'interno del manto nevoso con caratterizzazione delle variabili fisiche: bilancio di radiazione sui pendii montani, parametrizzazione del manto nevoso ed effetti del vento.



Risultati delle attività delle Unità di Ricerca



ATTIVITA' REALIZZATA e RENDICONTATA ANNI 2014/15 (riferimento attività e task di progetto NEXTSNOW)

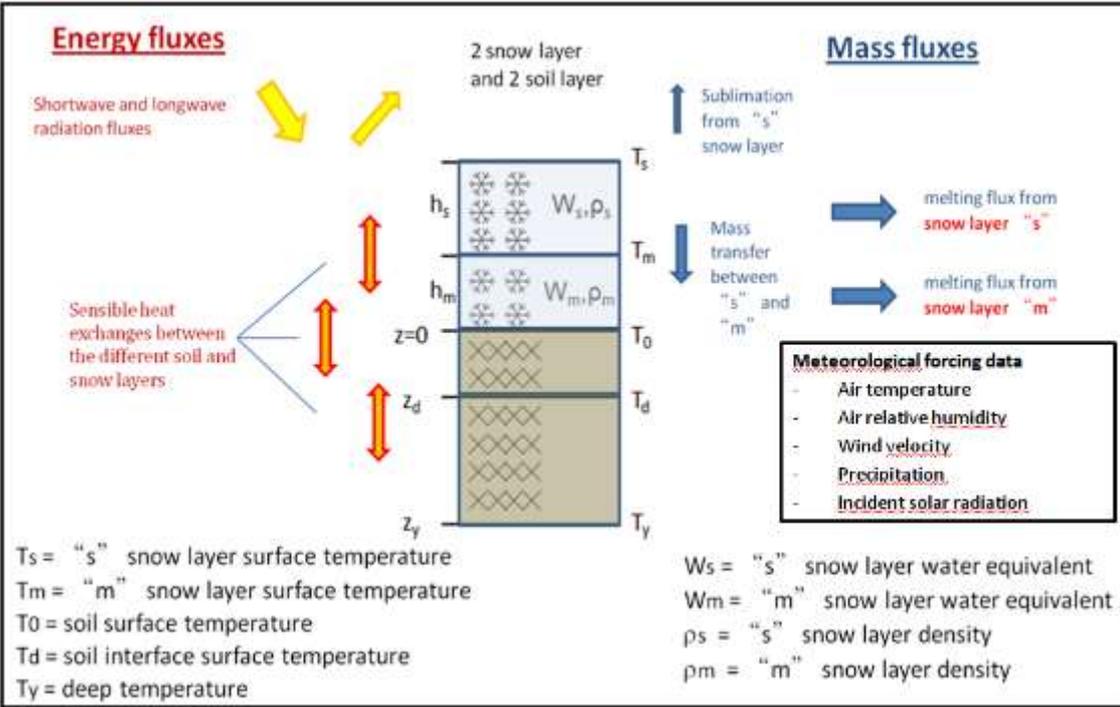
La UR2 ha prodotto i dataset previsti al punto 1.2:

- dataset (2005-2013) di misure di altezza, densità media ponderata e SWE realizzate in Valle d'Aosta (5057 record)
- dati meteo e derivanti dalla stazione eddy covariance impiegati per guidare e validare l'esperimento di confronto di modelli di accumulo e fusione della neve (cfr. slides Terzago)
- dataset "SWE gold" costituito dalle mappe relative alla stima, nel periodo novembre-maggio 2002-2013, del valore distribuito di SWE sul territorio regionale

Sulla base dei dataset rilasciati sono state realizzate le seguenti analisi:

- 1) (i) variabilità spazio-temporale della densità del manto nevoso e la sua relazione con SWE e altezza della neve al suolo e (ii) la climatologia dello SWE a scala regionale nel decennio 2002/13.
- 2) validazione di tre prodotti satellitari di SWE basati su dati MODIS (MOD10A1, EURAC e CIMA) contro i nivometri delle reti regionali della Valle d'Aosta e del Piemonte (83 punti di validazione). I risultati illustrano la performance dei tre prodotti in funzione del periodo della stagione invernale (precipitazione, massimo accumulo, fusione) e di variabili quali quota, morfologia e grado di copertura forestale
- 3) effetto della degradazione progressiva dei dati di input sulla performance di sei modelli (4 fisicamente basati e 2 empirici) (cfr. slides di Terzago) nella simulazione dello SWE. Sono considerati 9 livelli di degradazione dei dati di input, il livello 1 prevede di fornire al modello tutti i dati misurati con frequenza mezz'oraria, il livello 9 prevede di utilizzare in ingresso le rianalisi delle simulazioni globali ERA-Interim. Le simulazioni sono state condotte sul sito di osservazione nivometeorologica di Torgnon (2160 m s.l.m. Valle d'Aosta) sia in accumulo che in fusione per le stagioni invernali 2012-2015. I risultati dell'esperimento dimostrano che con forzanti di buona qualità i modelli fisici forniscono risultati decisamente migliori rispetto ai modelli empirici. Al degradare della qualità delle forzanti i modelli fisici risentono maggiormente rispetto a quelli empirici. Inoltre vi sono dati di input che fanno peggiorare notevolmente le performance di entrambe le tipologie di modello.

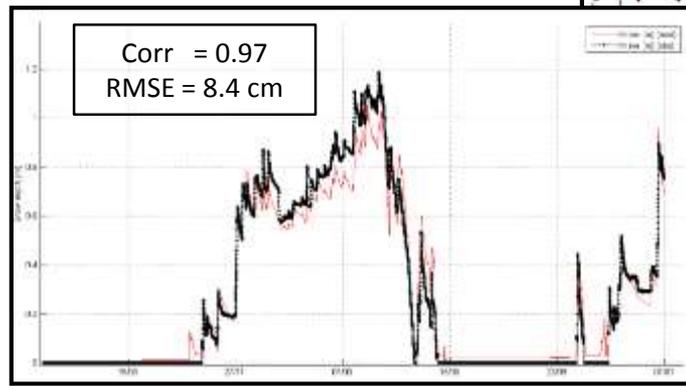
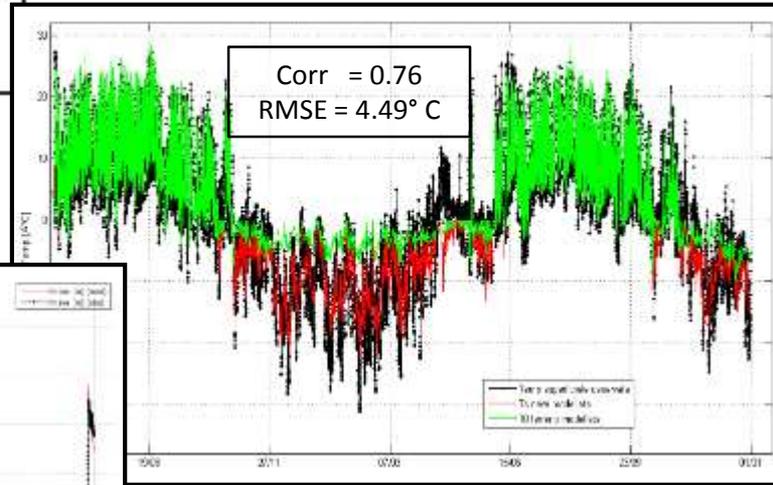




È stato sviluppato un modello multi-strato (2 strati di neve, 2 strati di suolo) fisicamente basato sulla risoluzione dei bilanci di massa ed energia del manto nevoso.

Principali processi fisici modellati: accumulo e fusione, evoluzione della densità della neve, sublimazione, bilancio radiativo, scambi di calore e massa.

Il modello è stato calibrato e testato sui dati della stazione meteo di Torgnon (Valle d'Aosta, 2160 msl)



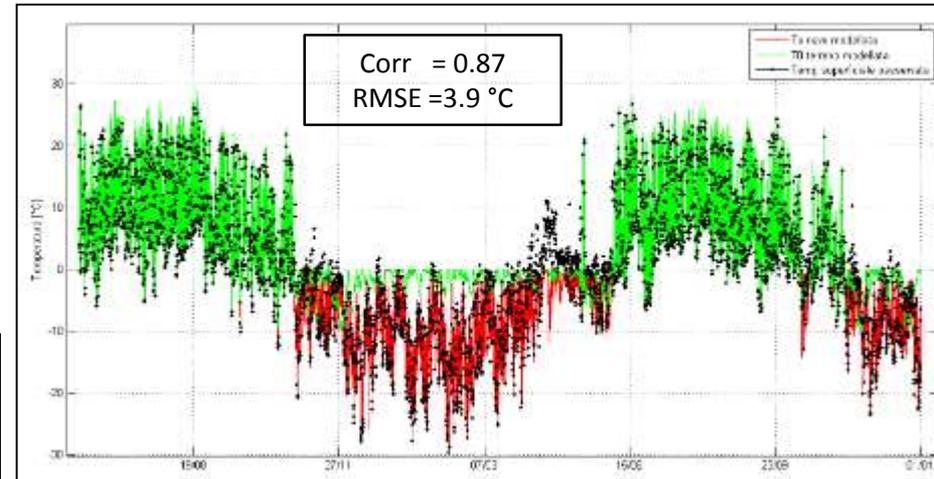
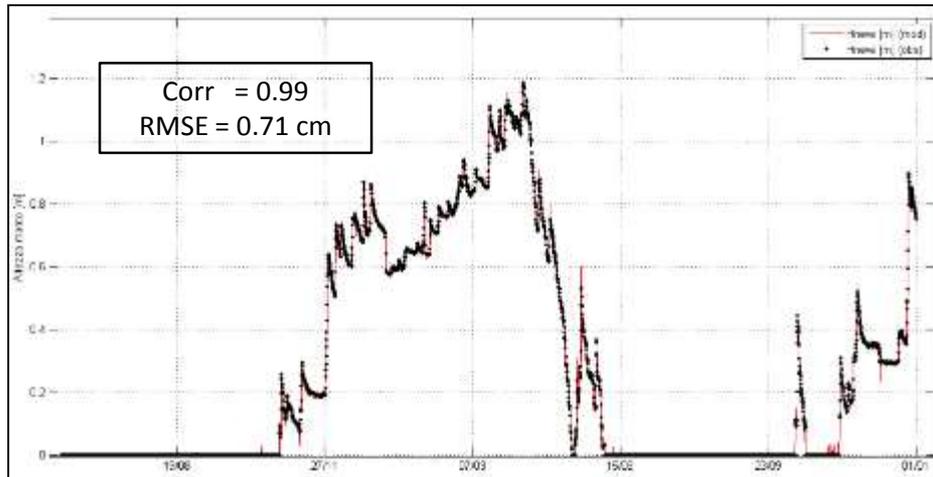
Stagione invernale 2012-13: temperatura superficiale (a dx); altezza di neve (a sx)



È stato implementato uno schema Ensemble Kalman Filter nel modello multistrato di neve per l'assimilazione combinata di diverse variabili osservate.

Il sistema è stato testato assimilando le osservazioni della stazione meteo di Torgnon

1. altezza di neve;
2. temperatura superficiale;
3. albedo;
4. densità della neve



Stagione invernale 2012-13, assimilazione dei dati osservati: temperatura superficiale (a dx); altezza di neve (a sx)

Sono stati condotti diversi esperimenti per valutare la sensibilità del sistema al variare di:

- dimensione dell'Ensemble;
- frequenza di assimilazione;
- diverse variabili assimilate.

Lo studio è stato recentemente presentato all'EGU2016: [EGU2016-7228](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27222-2_7228)

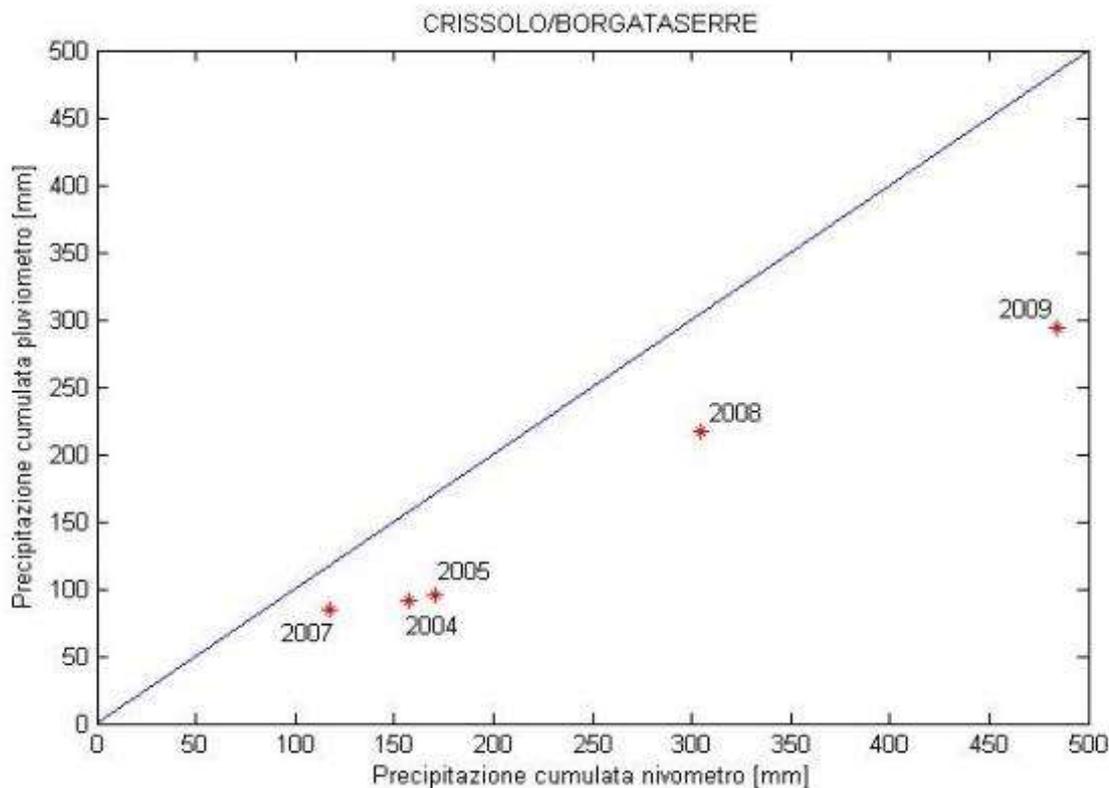
- Valutazione delle performance del modello su diversi siti alpini (Italia, Francia, Svizzera);
- Sviluppo e implementazione di uno schema Particle Filter al fine di valutare la metodologia più performante;
- Pubblicazione articolo in collaborazione con ARPA Valle d'Aosta.

Attività in programma

- Presentazione delle attività di ricerca all'EGU2017 (Vienna, 23-28 Aprile 2017);
- Sviluppo della versione 2D del modello;
- Assimilazione di diversi prodotti satellitari (albedo, Land Surface Temperature, Snow Cover Area);
- Validazione idrologica delle simulazioni di Snow Water Equivalent.



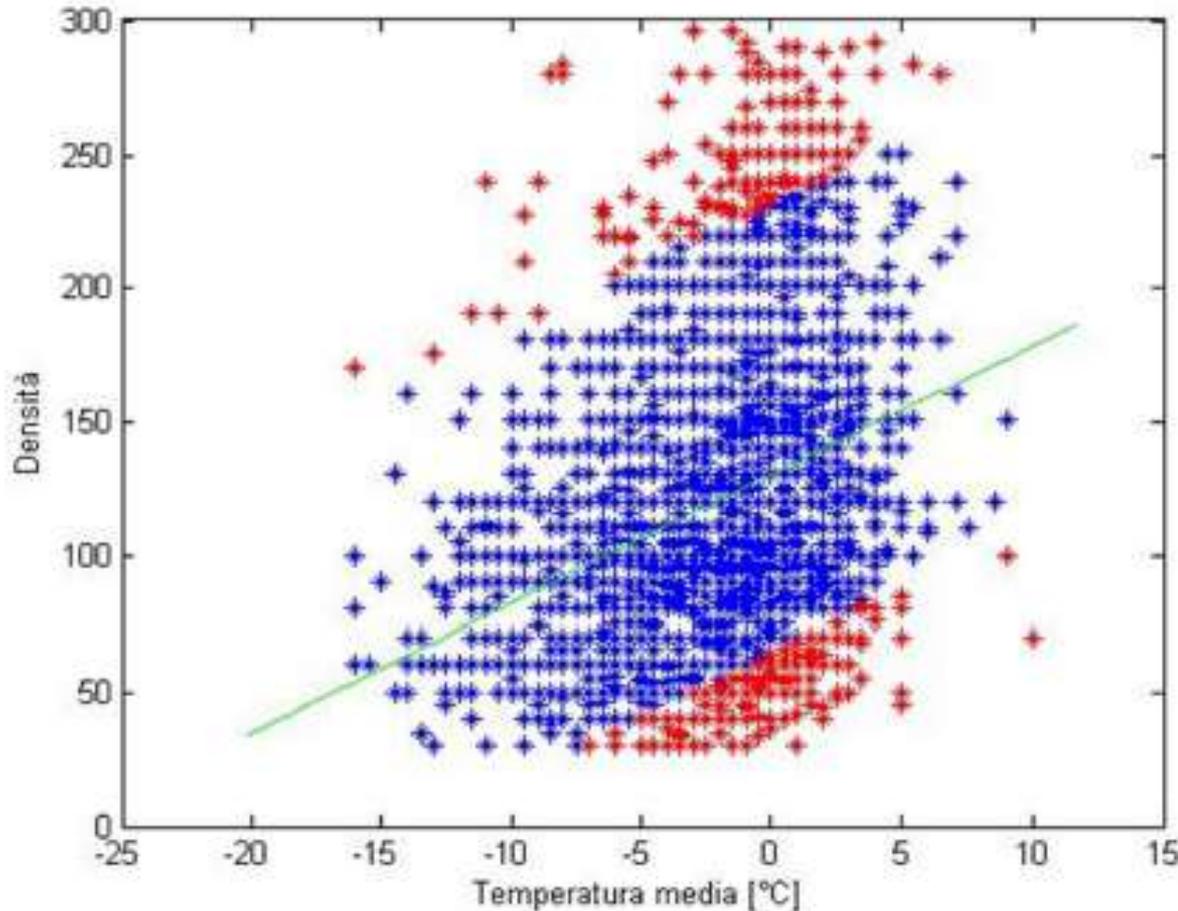
Obiettivi: Rimuovere la sistematica sottostima nella misura delle precipitazioni nevose in alta quota da parte dei pluviometri (riscaldati e non), per aumentare la disponibilità di dati affidabili nelle stazioni montane



Confronto tra le cumulate stagionali di precipitazione da misura manuale (spessore + densità della nevicata) e da pluviometro



Si intende usare il dato nivometrico (spessore) in corrispondenza delle nevicate per integrare il dato pluviometrico, stimando la densità in base alle concomitanti condizioni termiche



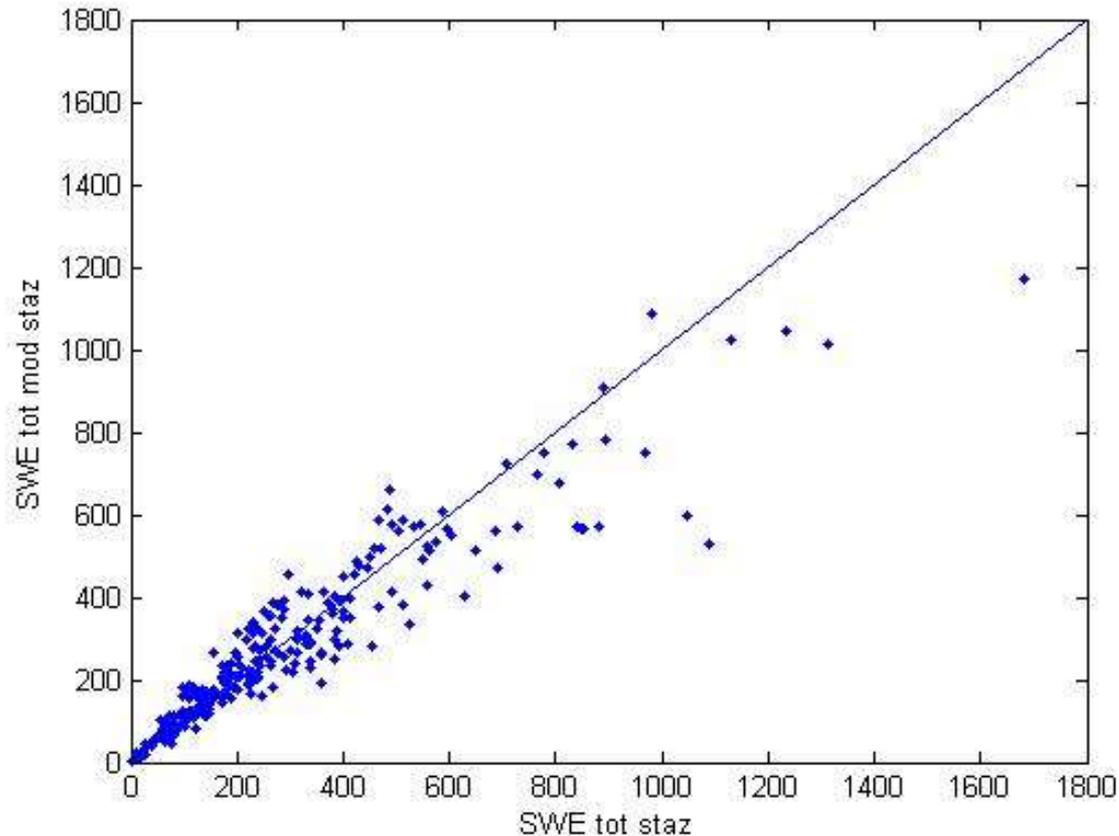
Esempio di ricostruzione della densità con modello lineare in funzione della temperatura media (con identificazione, in rosso, dei punti di misura non affidabili)



Base dati di partenza: 65 punti di misura piemontesi in cui vengono fatti rilievi secondo AINEVA Mod. 1 , poi ridotti a 35 per consistenza dati (> 8 misure/pto).



Primi risultati: ricostruzione dei totali stagionali di Snow Water Equivalent



Confronto fra SWE totali stagionali osservati e ricostruiti con modello per tutte le stagioni in tutti i punti di misura.



Obiettivi finali

L'analisi delle stime di SWE sarà integrata della costruzione della distribuzione di probabilità dell'errore di predizione, anche nel senso della sua dipendenza dalle variabili meteorologiche esplicative, fornendo in questo modo una rappresentazione dell'incertezza di stima.

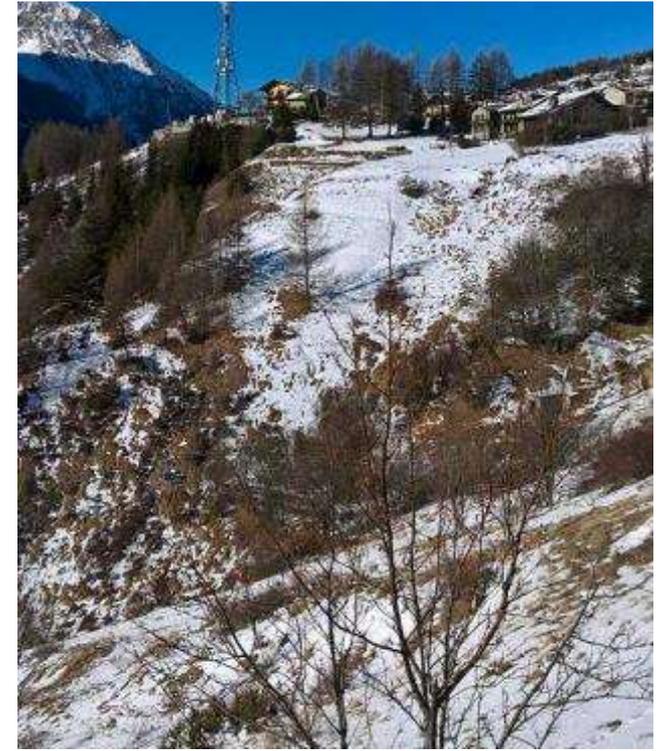
Scopo di questa fase è fornire previsioni probabilistiche dello SWE.

Determinati i modelli di stima, sarà determinata la SWE della neve fresca in ogni stazione automatica di misura in cui siano disponibili dati simultanei di temperatura (la variabile più rappresentativa) e di altezza del manto nevoso.

Ne risulterà un nuovo set di dati di precipitazione utilizzabile in un'ampia zona collocata nelle Alpi nord-occidentali.



Activities performed by DIST-Polito in NextSnow



Il monitoraggio per mezzo di metodologia eddy covariance dello scioglimento della neve è effettuato in continua dall'ottobre 2010 fino ad ora. Le foto mostrano un confronto le situazione del 15 e del 20 gennaio 2017: la temperatura media dell'aria in questi 5 giorni era di circa $-8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ma la radiazione netta in onda corta è sufficiente per causare la perdita di acqua , dovuta all'esposizione e alla pendenza.



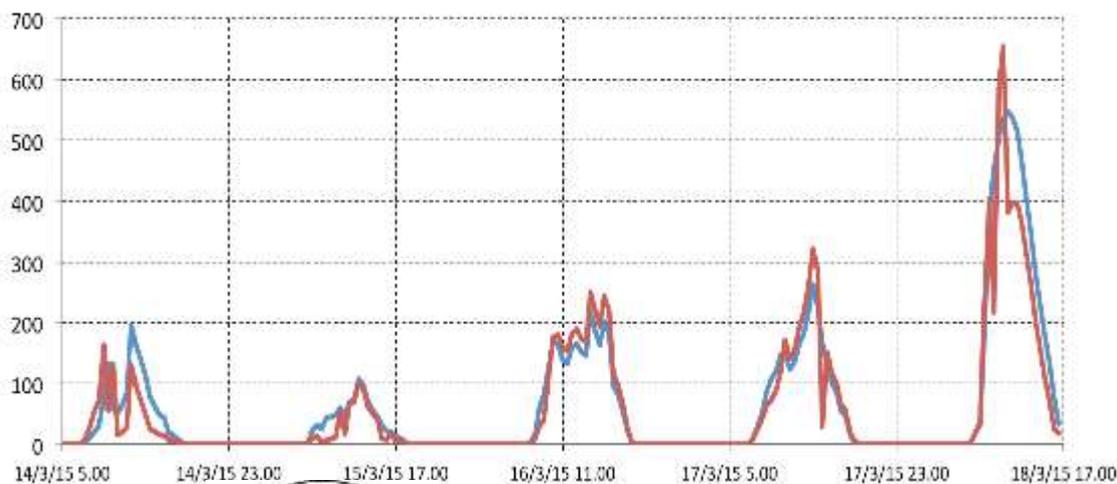
Le misure sono confrontate con simulazioni per mezzo del modello SNOWPACK (Lehning et al., 2002)

UNITÀ 5 – POLITO DIST



Le misure puntuali Doppler di altezza della neve sono comparate con le simulazioni.

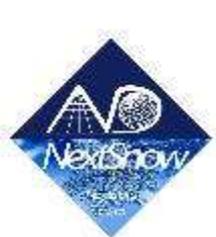
Interessante notare che la radiazione riflessa in onda corta è misurata con il radiometro a quattro componenti che (come l'eddy covariance) integra su un'area più ampia di alcuni metri quadrati dove la neve può essere presente a chiazze.



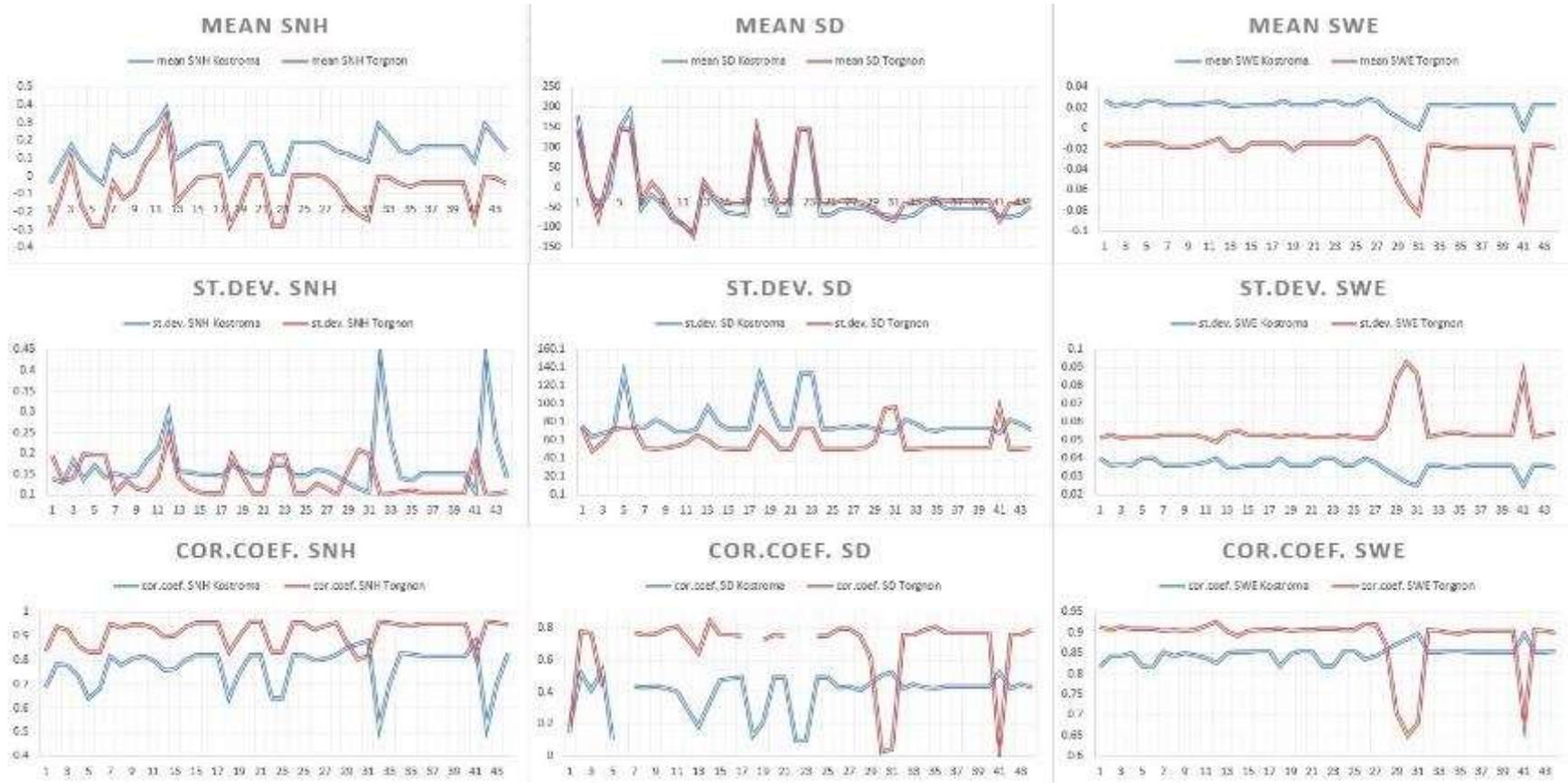
Quindi il bilancio energetico è ottenuto da medie pesate delle simulazioni con e senza neve.



- Diversi schemi di parametrizzazione della densità e della capacità di ritenzione nel modello UTOPIA sono stati utilizzati.
- Questi esperimenti di sensibilità hanno lo scopo di determinare lo schema più adatto e una serie di parametri utili alla migliore parametrizzazione.
- Sono stati usati due set di dati: i) 2.5 anni (2012-15) di osservazioni sulle Alpi al sito del Torgnon (Val d'Aosta: Lon. 7.57806°E , Lat. 45.8439°N , 2160 m a.s.l.); ii) 6 anni (1978-83) di osservazioni a Kostroma (Siberia: Lon. 40.9°E , Lat. 57.8°N , 80 m a.s.l.)
- Sono stati condotti 44 esperimenti di sensibilità modificando uno per uno le parametrizzazioni o i coefficienti per la densità, la ritenzione idrica, o gli schemi a soglie, usando i set di dati sopra menzionati.
- Questi esperimenti hanno permesso di trovare le parametrizzazioni più adatte e il set di coefficienti per un utilizzo nella versione corrente di UTOPIA (UTOPIA201612)



Sommario della statistica degli esperimenti di sensibilità



17

SNH=snow height [m]; SD=snow density [$kg\ m^{-3}$]; SWE=snow water equivalent [m]



Reperimento di dati di temperatura, altezza della neve e neve fresca Piemonte e Valle d'Aosta

- 41 stazioni automatiche 1998-2015
- 30 stazioni manuali 1950-2010

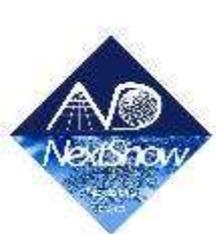
Metodologia

- Ricerca storica → Metadati
- Controllo di qualità → Outliers
- Missing data
- Confronto tra due diverse reti di stazioni
- Analisi climatica e calcolo di indici climatici



Articoli

- Acquaotta F, Colombo N, Fratianni S, Romeo V, Barbero S (2015) Preliminary Results of a Comparison Study Between Two Independent Snow Networks in North-Western Italian Alps. Engineering Geology for Society and Territory - Volume 1: Climate Change and Engineering Geology, 113-116. Doi: 10.1007/978-3-319-09300-0_22
- Fratianni S, Terzago S, Acquaotta, F, Faletto M, Garzena D, Prola C, Barbero S (2015) How Snow and its Physical Properties Change in a Changing Climate Alpine Context? Engineering Geology for Society and Territory - Volume 1: Climate Change and Engineering Geology, 57-60. Doi: 10.1007/978-3-319-09300-0_11
- Giaccone E, Colombo N,, Acquaotta F, Paro, L, Fratianni S (2015) Climate variations in a high altitude alpine basin and their effects on a glacial environment. Atmosfera, Volume 28, Issue 2, 117-128.
- Acquaotta F., Fratianni S., Garzena D.(2014) TEMPERATURE CHANGE IN THE NORTH-WESTERN ITALIAN ALPS FROM 1961 TO 2010. Theoretical and Applied Climatology. Doi: 10.1007/s00704-014-1316-7 ISSN:0177-798X vol. 122 (3) pp.619-634.



Sensibilità dei modelli di neve all'accuratezza della forzante meteorologica

- Le simulazioni di copertura nevosa in aree montane sono influenzate dall'incertezza sulle forzanti meteorologiche.
- Sono stati valutati 5 modelli di neve caratterizzati da *diversi gradi di complessità*:
 - → verifica della loro abilità nel riprodurre l'evoluzione temporale dell'altezza della neve quando sono forzati con misure meteorologiche accurate (stazione del Torgnon station, 2160 m a.s.l., Valle d'Aosta)
 - → verifica della sensibilità dei modelli all'accuratezza dei dati di input forzandoli con dati a bassa frequenza, e bassa risoluzione spaziale, cioè i dati ERA-Interim Reanalysis @ Torgnon



Figure 1. Experimental measurement site of Torgnon, 2160 m a.s.l. in Aosta Valley, NW Italian Alps.

Snow models

We investigate the accuracy of the following snow models:

- GEOTOP² physical model, 2 snow layers
- UTOPIA³ } physical models, single snow layer
- CHTESSEL⁴ }
- S3M⁵ empirical model

Experiments

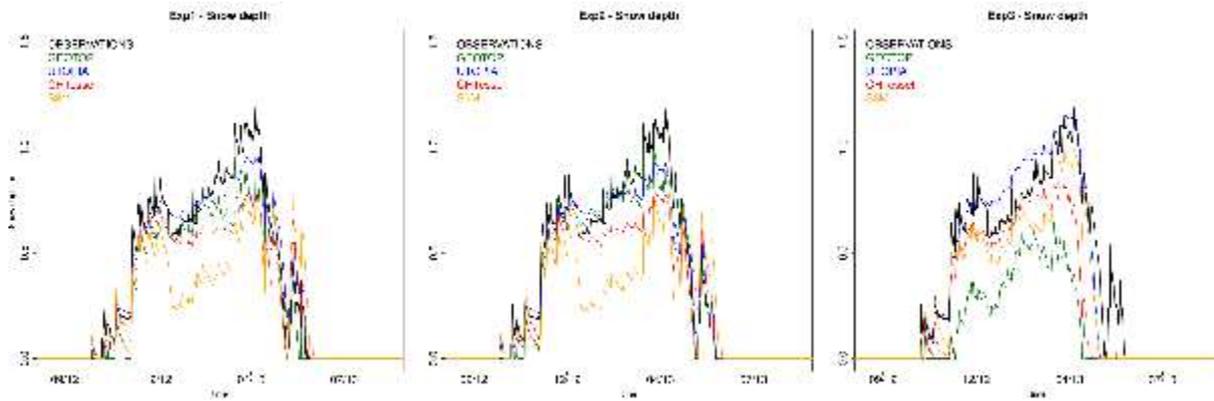
Exp1: Model forced by high quality meteorological measurements performed at Torgnon weather stations at 30 min.

Exp2: Same as Exp1 but with 3hourly forcing.

Exp3: Model forced by ERA-Interim reanalysis, 3h data, ~70 km spatial resolution.



Sensibilità dei modelli di neve all'accuratezza della forzante meteorologica



Experiments

Exp1: Model forced by high quality meteorological measurements performed at Torgnon weather stations at 30 min.

Exp2: Same as Exp1 but with 3hourly forcing.

Exp3: Model forced by ERA-Interim reanalysis, 3h data, ~70 km spatial resolution.

Principali risultati:

- I modelli hanno performance simili quando forzati con dati a 30 minuti o 3 ore.
- L'attendibilità di alcuni modelli decresce utilizzando la reanalisi ERA-Interim a bassa risoluzione, ma le caratteristiche generali dell'accumulo di neve e dello scioglimento sono ancora riprodotte.
- Prossima attività: studiare il potenziale di stima della variabilità dell'altezza della neve ad alta risoluzione basandosi soltanto su forzante a bassa risoluzione/reanalisi aggiustata per la quota.



Due metodi indipendenti di stima della precipitazione nevosa basati sugli stessi sensori satellitari (AMSU/MHS) sono stati applicati per una stima quantitativa durante tempeste di neve sull'Europa e confrontati utilizzando i dati della rete radar NIMROD.

N18 – 20100330 at 0312 UTC

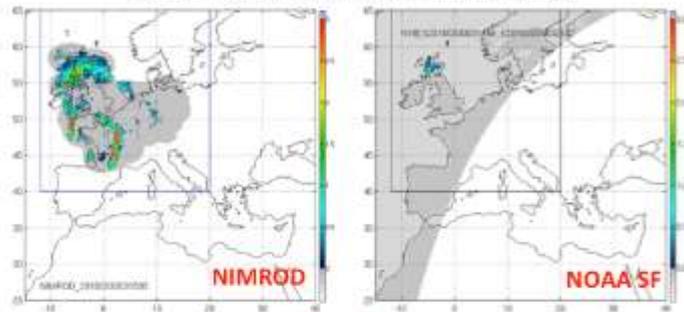


Fig. 1

N18 – 20100330 at 1131 UTC

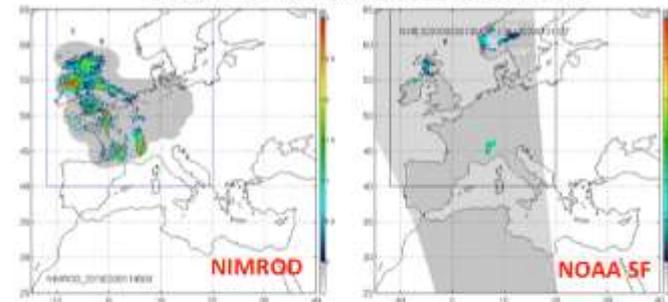
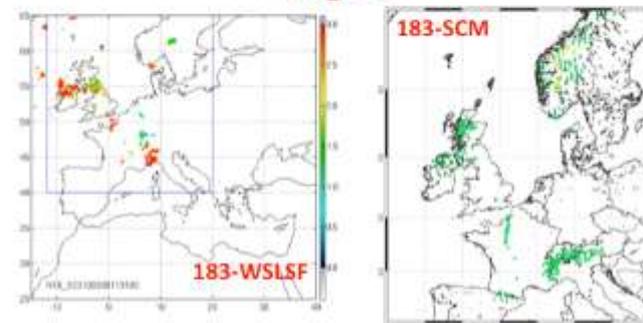
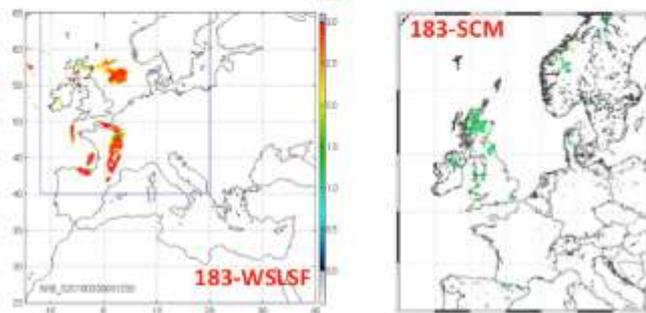


Fig. 2



- L'algoritmo NOAA SF sembra descrivere bene la situazione sulla Gran Bretagna del nord dove l'intensità di precipitazione è più bassa di 2 mm h^{-1} ;
- L'algoritmo 183-WLSLF da un lato sembra sovrastimare l'intensità di precipitazione nevosa e dall'altro mostra alta sensibilità nell'identificazione delle nubi con precipitazione nevosa.
- La maschera di copertura nevosa calcolata dal modulo 183-SCM incluso nello schema di retrieval 183-WSL agisce per filtrare i pixel potenzialmente contaminati dalla copertura nevosa al suolo.
- Gli effetti del modulo 183-SCM aumentano al diminuire dell'intensità di precipitazione nevosa. Quindi, per nevicate leggere o molto leggere il numero di errori del modulo di retrieval 183-WLSLF aumentano drasticamente.



Un nuovo algoritmo per la precipitazione nevosa

Un nuovo algoritmo è stato sviluppato utilizzando le temperature di brillanza dei sensori AMSU-B/MHS simulate attraverso il modello di trasferimento radiativo Radiative Transfer for TOVS (RTTOV).

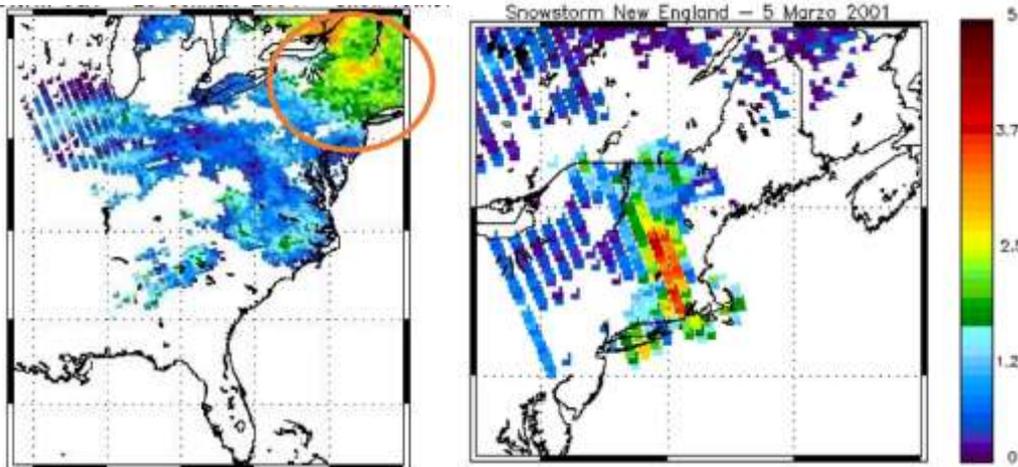
Dati e Approssimazioni

- ERA-40 60 livelli (50000 profili) e 137 livelli di short range forecast (20000 profili).
- Atmosfera piano-parallela.
- Approssimazione Delta-Eddington per il calcolo dello scattering del ghiaccio.
- Approssimazione two-stream per il calcolo della propagazione della radiazione (solo due direzioni di scattering).
- Doppia colonna indipendente per tenere conto della disomogeneità delle nubi.
- Idrometeore liquide e solide (approssimazione di Mie).
- Discrete Dipole Approximation (DDA) per i fiocchi di neve.
- Modified Gamma Function per la distribuzione delle idrometeore.



$$SR_l = A + B \times (BT_{150} - BT_{186}) + C \times (BT_{190} - BT_{186})$$

X-shaped Blizzard on the New England, 5 March 2001 (Kim et al., 2008)



Nuovo algoritmo. Le incertezze sono alte quando il retrieval è effettuato su suolo ghiacciato dove le caratteristiche della neve in caduta sono drasticamente aumentate dallo scattering del terreno coperto da neve (sinistra).

Il modulo **183-WLSF** riproduce bene il blizzard. I buoni risultati sono soprattutto dovuti all'effetto della maschera di copertura nevosa (183-WSC) che filtra i segnali spuri dal terreno ghiacciato/innevato (destra).

Un nuovo modello per i cambiamenti di temperatura in zone glaciali alpine

Studio di un modello lineare per il calcolo delle fluttuazioni della temperatura dell'aria dalle fluttuazioni misurate del fronte glaciale. Il modello è stato applicato per la prima volta a tre piccoli ghiacciai nella catena dei Tauri Occidentali per il periodo 1929-2011. I ghiacciai sono caratterizzati da un'area tra 0.2 3 1.3 km² e da rilevanti variazioni morfologiche.

Un'opportuna calibrazione del modello mediante regressione coi dati osservati ha condotto ad una correlazione modello-dati di 0.8-0.9.

L'aumento della temperatura media modellata sull'intero periodo fitta bene quello derivato dalle temperature osservate.

Zecchetto, S., Serandrei-Barbero, R., Donnici, S., 2016: Temperature reconstruction from the length fluctuations of small glaciers in the eastern Alps (northeastern Italy). *Climate Dyn.*, doi:10.1007/s00382-016-3347-5.



Collaborazioni internazionali innescate dal progetto...

...futuro dipendente dagli investimenti del sistema paese



INARCH: International Network for Alpine Research Catchment Hydrology

Proposer and Contact: John Pomeroy,
Centre for Hydrology & Global Institute for Water Security,
University of Saskatchewan, Canada

www.usask.ca/hydrology john.pomeroy@usask.ca

GEWEX



Proponenti al GEWEX Hydroclimatology Panel

- Ludwig Braun, Bavarian Academy of Sciences & Humanities, Germany
- Karsten Schulz, BOKU, Vienna, Austria
- Matthias Bernhardt, BOKU, Vienna, Austria
- Xin Li, CAREERI, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, China
- Richard Harding, Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, England
- James McPhee, Dept. of Civil Engineering, University of Chile, Santiago, Chile
- Nick Rutter, Dept. of Geography, University of Northumbria, Newcastle, England
- Peter Jansson, Dept. of Physical Geography, Stockholm University, Sweden
- Joseph Shea, ICIMOD, Nepal
- Ignacio Lopez Moreno – CSIC, Institute for Pyrenean Ecology, Zaragoza, Spain
- Yaoming Ma, Institute for Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
- Vincenzo Levizzani, Institute of Atmospheric Sciences & Climate, Bologna, Italy
- Ulrich Strasser, Institute of Geography, University of Innsbruck, Austria
- Georg Kaser, Institute of Meteorology & Geophysics, University of Innsbruck, Austria
- Anil Mishra, International Hydrological Programme, UNESCO, Paris, France
- Isabella Zin, LTHE, Grenoble, France
- Vincent Vionnet, Meteo France, Grenoble, France
- Martyn Clark, NCAR, Boulder, USA
- Roy Rasmussen, NCAR, Boulder, USA
- Richard Essery, School of Geosciences, University of Edinburgh, Scotland
- Tobias Jonas, SLF, Davos, Switzerland
- Walter Immerzeel, Universiteit Utrecht, Netherlands
- Danny Marks, USDA ARS, Boise, USA
- Alain Pietroniro, Water Survey of Canada, Environment Canada
- Rick Janowicz, Yukon Environment, Canada



Urgenza



- IPCC (2014) WG II report – ***“In many regions, changing precipitation or melting snow and ice are altering hydrological systems, affecting water resources in terms of quantity and quality”***
- I bacini di tipo alpino ricevono e producono una grossa frazione della precipitazione globale e del runoff inclusi i contributi alle alluvioni e alla fornitura di acqua per vaste regioni a valle.
- *La precipitazione nevosa non è in corrispondenza 1:1 con la neve accumulata al suolo!*
- Il dominio di neve, ghiaccio e dei cambiamenti di fase sull'idrologia alpina significa che questa è specialmente sensibile ai cambiamenti di temperatura.



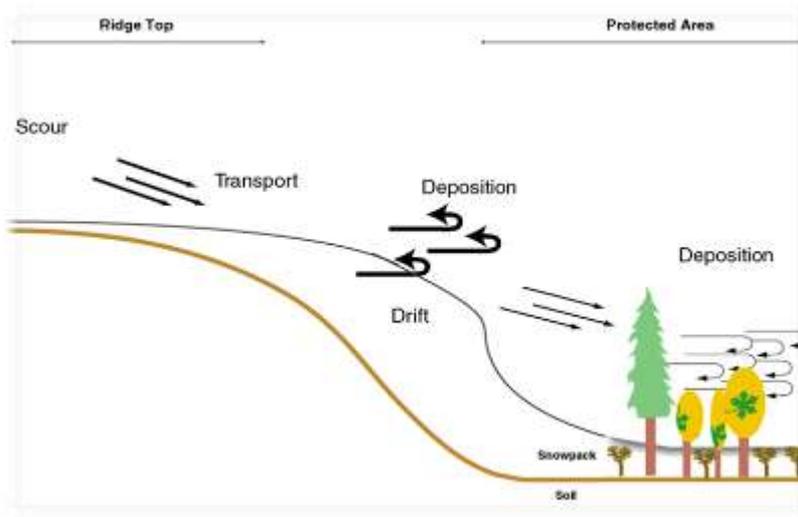
Importanza



- Comprendere la sensibilità dei processi idrologici alpini ai cambiamenti climatici ad alta quota è di straordinaria importanza per gli scambi di acqua ed energia e per la disponibilità di risorse acquifere a valle.
- I cambiamenti climatici in atto hanno già provocato durate più brevi della copertura nevosa stagionale, scarica fluviale primaverile anticipata, aumento della frazione liquida della precipitazione, declino del volume dei ghiacciai, scongelamento dei suoli e crescita della vegetazione arborea in molti bacini alpini.
- Alcuni bacini alpini contribuiscono alla maggiore frequenza di alluvioni e siccità che si sta registrando.



Uno sforzo globale concertato è necessario per comprendere come i processi idrologici di alta montagna medieranno l'influenza dei cambiamenti atmosferici nei bacini alpini.



Obiettivi



Generale: comprendere meglio i processi idrologici delle regioni alpine fredde, migliorare la loro predicibilità e trovare strategie di misura coerenti.

Per raggiungere questo obiettivo è necessario sviluppare modelli trasferibili e validati di diversa complessità che possano supportare la ricerca in regioni montane scarsamente strumentate dominate da copertura nevosa, permafrost e ghiacciai.





Grazie