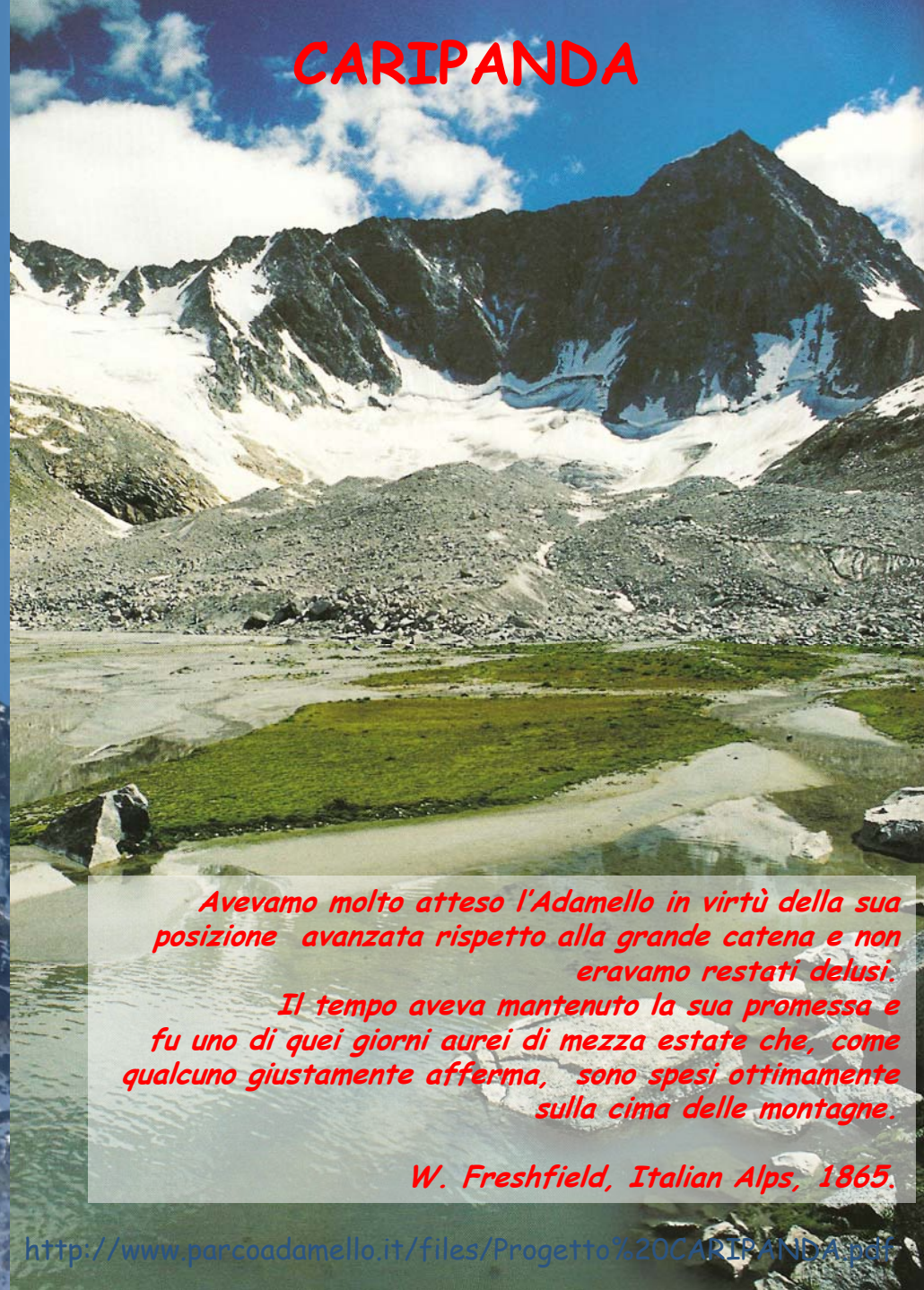


Bandi FONDAZIONE CARIPLO 2006
*GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE:
PROMUOVERE FORME DI GESTIONE
INTEGRATA E PARTECIPATA DELLE ACQUE
SUPERFICIALI.*

CARIPANDA
*Cambio climatico e Risorsa Idrica nel Parco
Naturale Dell'Adamello*

CARIPANDA



*Avevamo molto atteso l'Adamello in virtù della sua
posizione avanzata rispetto alla grande catena e non
eravamo restati delusi.*

*Il tempo aveva mantenuto la sua promessa e
fu uno di quei giorni aurei di mezza estate che, come
qualcuno giustamente afferma, sono spesi ottimamente
sulla cima delle montagne.*

W. Freshfield, Italian Alps, 1865.



**fondazione
cariplo**

*Anyone who can solve the problems of water will be worthy
of two Nobel Prizes, one for Peace and one for Science
J. F. Kennedy, 1963.*

L'acqua: problema del millennio

A causa della crescita delle attività umane la disponibilità di acqua potabile per persona sta diminuendo. All'inizio del terzo millennio si calcolava che oltre un miliardo di persone non avesse accesso all'acqua potabile e che il 40% della popolazione mondiale non potesse permettersi il lusso dell'acqua dolce. Il più recente *technical paper* dell'IPCC, *Climate Change and Water* nel sommario esecutivo recita:

"Observational records and climate projections provide abundant evidence that freshwater resources are vulnerable and have the potential to be strongly impacted by climate change, with wide-ranging consequences for human societies and ecosystems."

L'impatto del cambiamento climatico

Lo studio dei dati climatici di breve-lungo periodo ha evidenziato una tendenza all'estremizzazione del rifornimento climatico di acqua, ossia della precipitazione, con variazione della sua distribuzione spaziale e temporale. L'intensità degli eventi estremi (*i.e.* con precipitazioni elevate e potenzialmente disastrose) è aumentata fortemente. Nel corso del 20° secolo, le precipitazioni sono aumentate in quantità alle latitudini più elevate (regioni temperate e subpolari), mentre sono diminuite nelle regioni tropicali (10°-30°). In tali aree, le zone classificate come desertiche sono aumentate in maniera notevole (raddoppiate dagli anni '70).

Inoltre, la quantità d'acqua immagazzinata sotto forma di manto nivale (stagionale o perenne) e glaciale è diminuita a tutte le latitudini, come stretta conseguenza dalle temperature crescenti. I deflussi stagionali dovuti allo scioglimento di tale manto nivoglaciale nelle regioni temperate sono diminuiti in quantità e traslati nel tempo, con scioglimento anticipato. Si rende necessario quindi lo studio delle future tendenze dell'idrologia in ambiente alpino, allo scopo di predisporre strategie di adattamento.

Il progetto Caripanda

Il progetto di ricerca CARIPANDA è finanziato dalla Fondazione CARIPLO Lombardia (tramite il Bando Ambiente 2006), e riunisce il Parco Adamello come capofila, il Politecnico di Milano, Sezione CIMI, deputato al coordinamento scientifico, l'Università di Milano, UNIMI-FIS e UNIMI-SCI, l'Università di Brescia, dipartimento DICATA, oltre all'ARPA Lombardia, Settore Sistemi Informativi. Inoltre, ENEL Produzione partecipa attivamente al progetto come portatore di interesse. Il progetto CARIPANDA ha come fine la valutazione di scenari di distribuzione della risorsa idrica e del bilancio idrologico pluvio-nivo-glaciale del Parco, su un orizzonte temporale di 50 anni.



Ghiacciaio del Pisgana Ovest



Parete Nord dell'Adamello/Vedretta dei Frati



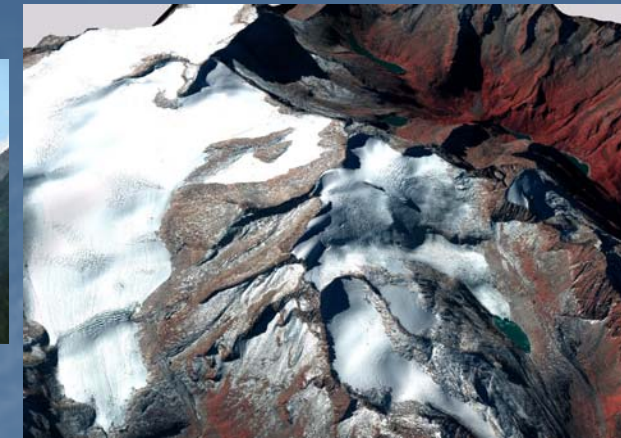
Il ghiacciaio dell'Adamello

Il Gruppo dell'Adamello contiene il 39% della superficie glaciale della Regione Lombardia.

Stime recenti della superficie glaciale forniscono un valore di 23 km², contro un valore stimato di 28 km² nel 1983.

Molti apparati glaciali si sono accorciati di centinaia di metri, ed alcuni sono evoluti in "ghiacciai neri", o coperti di detrito (Pisgana, Venerocolo).

La quantità totale di acqua immagazzinata nei gruppi glaciali dell' Adamello si stima intorno ai 1.85 km³ nel 2003, contro un valore di 2.2 km³ nel 1983. In media, nell'ultima decade si stima che ogni anno il ghiacciaio fornisca 22 milioni di m³ di acqua di fusione



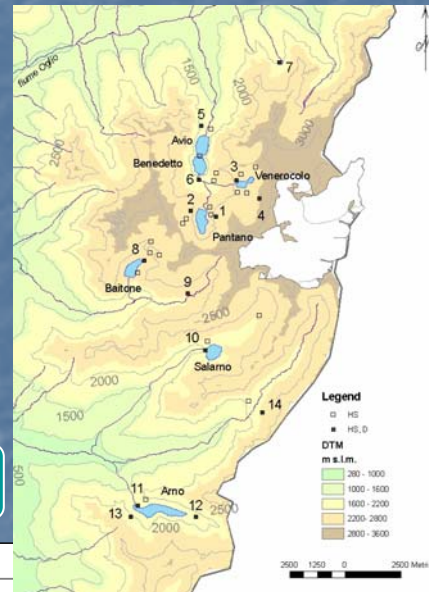
L'area glacializzata dell'Adamello, sullo sfondo la Val d'Avio
Immagine satellitare IKONOS, ottobre 2007

Si sono utilizzati dati da misure di campo, elaborazioni di immagini da remoto e modelli di bilancio per valutare l'estensione, lo spessore, l'ablazione ed i deflussi forniti dei gruppi glaciali dell'Adamello.

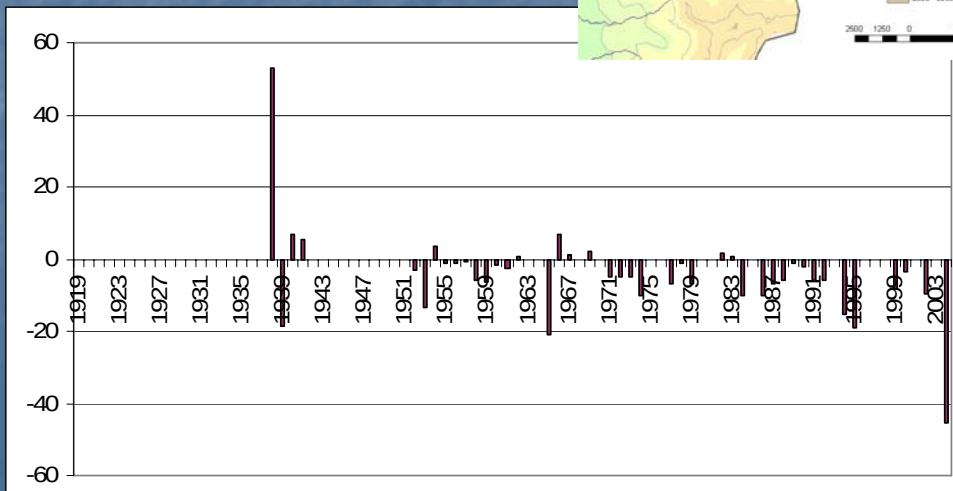
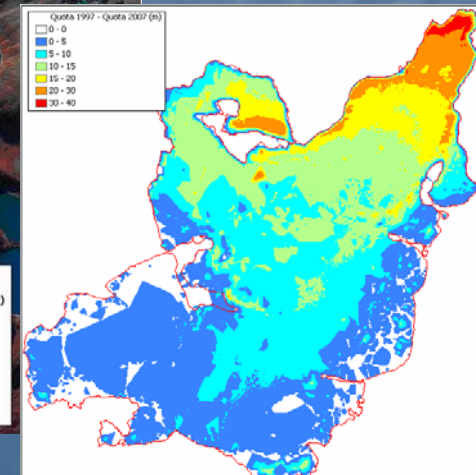
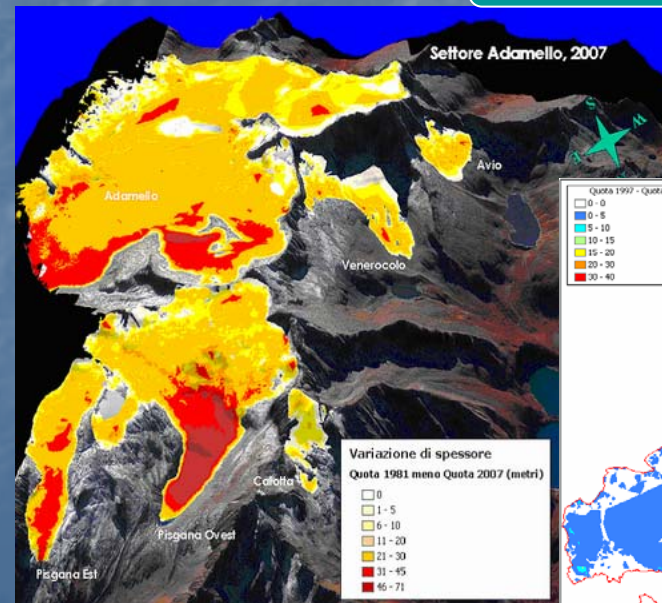
Perdita stimata di spessore, 1981-2007



Variazioni di lunghezza al fronte
del ghiacciaio del Venerocolo 1938-2003



1997-2007



Rilievi di campo

Rilievi di campo sono stati condotti per tre stagioni di ablazione sui ghiacciai dell'Adamello-Mandrone e del Venerocolo, il più importante ghiacciaio "nero" del Gruppo



Dosson di Genova, 5 Ottobre 2009



Palina di ablazione, Pian di Neve

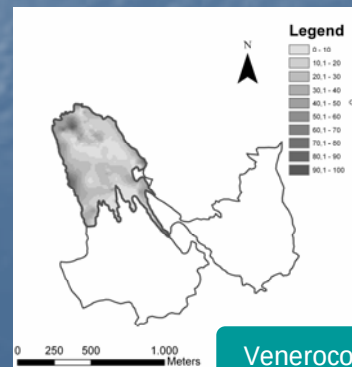
Installazione stazione micrometeorologica, Ghiacciaio del Mandrone, 14 Giugno 2008



Stazione AWS, Ghiacciaio del Venerocolo, 27 Luglio 2007



Misure nivologiche, Venerocolo
13 Giugno 2008



Venerocolo, mappa del detrito



Foratura ghiaccio per la posa di paline, Venerocolo, Luglio 2007

La risorsa idrica nivale

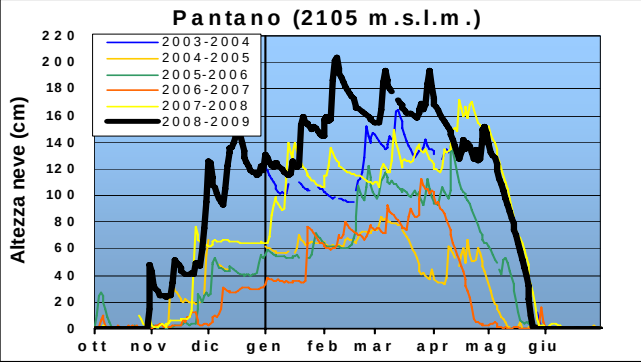
Utilizzando misure di neve al suolo e dati satellitari di area coperta di neve, si sono valutate le riserve idriche nivali stagionali sottoforma di equivalente idrico nivale, *snow water equivalent*, SWE.

Misure di deflusso in alta quota

Si sono condotte misure di deflusso di ablazione in area glaciale

Lingua di ablazione glaciale,
Venerocolo, 28 Luglio 2009

Misure di deflusso con sonda
doppler a guado,
Venerocolo, Settembre 2009



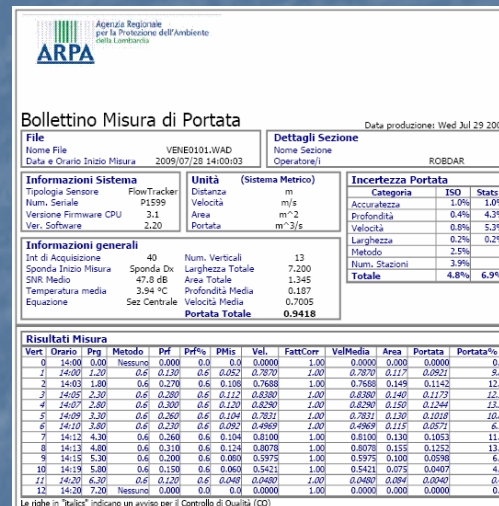
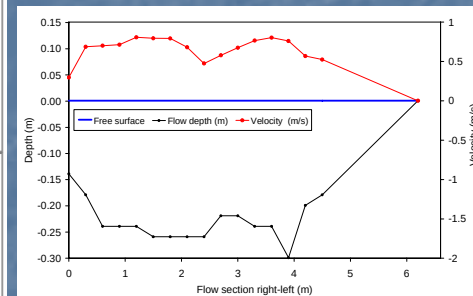
Altezza del manto nivale,
stazione di Pantano



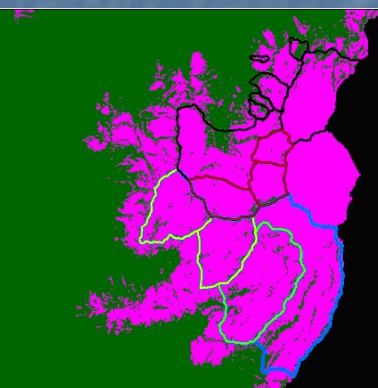
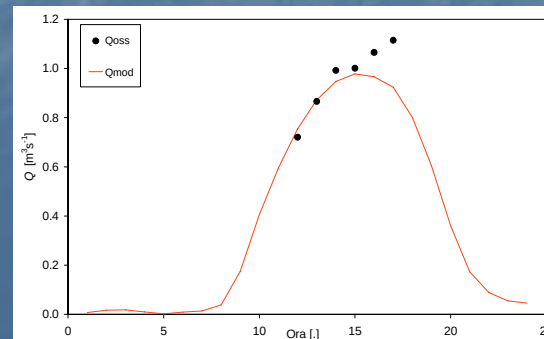
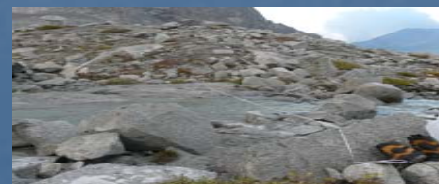
SWE stimato per sei
date canoniche



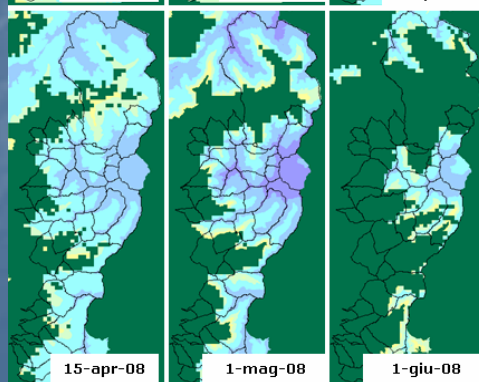
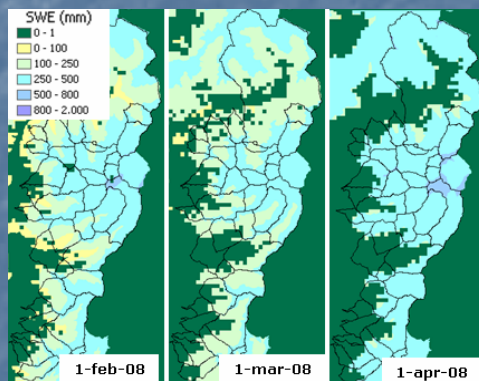
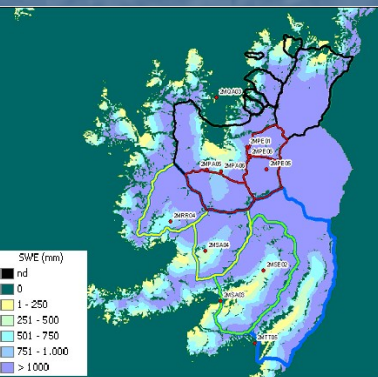
Misura di deflusso in alveo,
output della sonda doppler



Deflusso glaciale orario osservato
e riprodotto tramite modello,
Ghiacciaio Venerocolo,
28 Luglio 2009



Mappa satellitare di area innevata

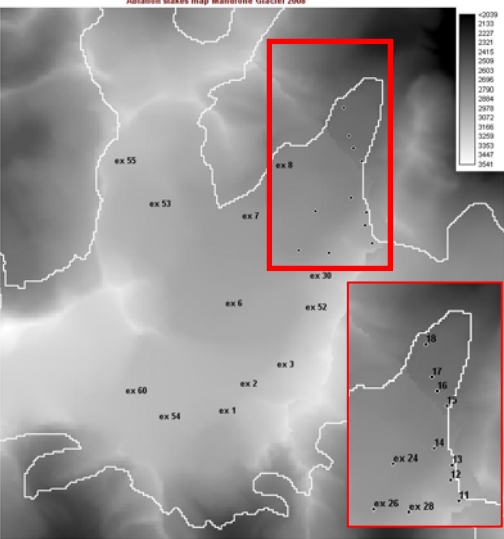


Mappa di SWE stimato al suolo

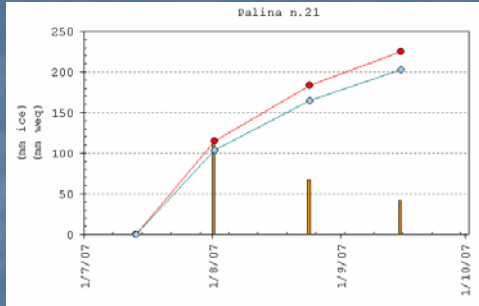
Stima dell'ablazione glaciale

Si è potuta quantificare l'ablazione glaciale ed i relativi bilanci di massa

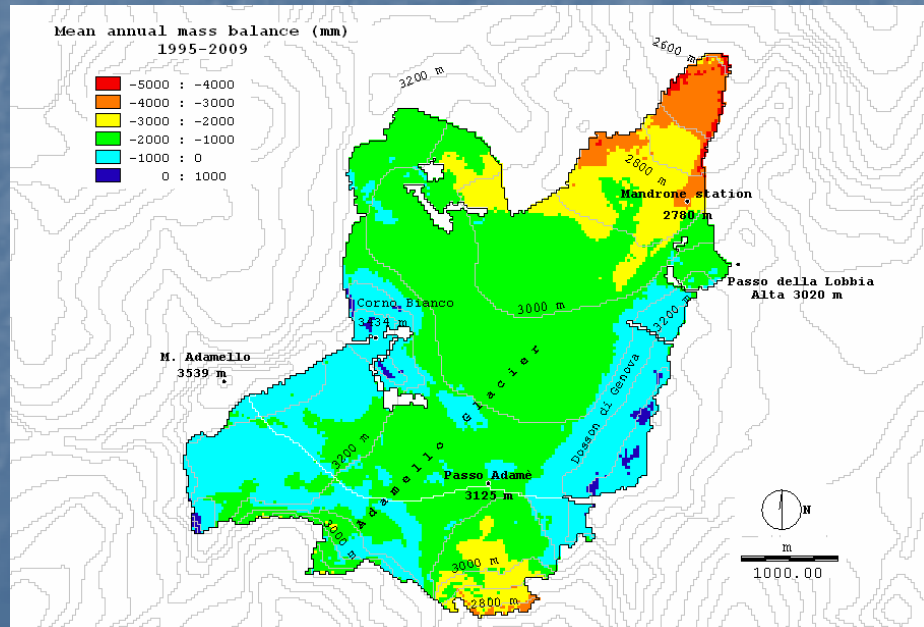
Ablation stakes map Mandrone Glacier 2008



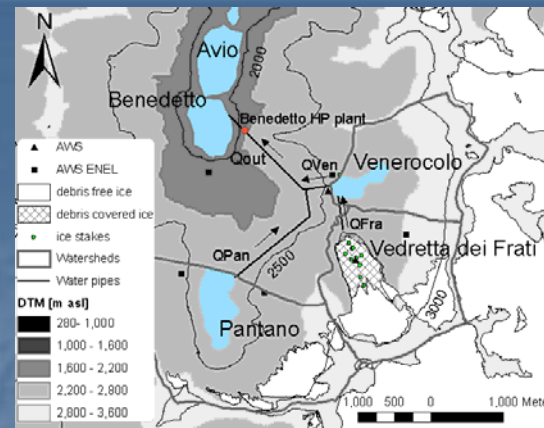
Mandrone, paline ablatometriche estate 2008



Mandrone, ablazione ad una palina Campione, Estate 2007



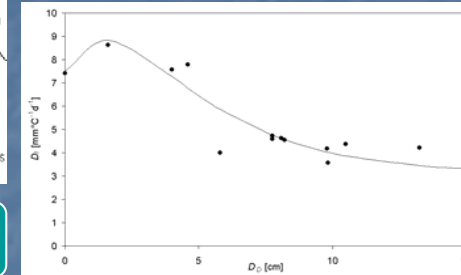
Mandrone, bilancio di massa medio annuo, *i.e.* differenza tra l'accumulo invernale e ablazione estiva nel periodo 1995-2009.



Fattori di ablazione giornaliera ghiaccio, funzione dello spessore di detrito

Sistema Venerocolo-Avio, Derivazioni e portate

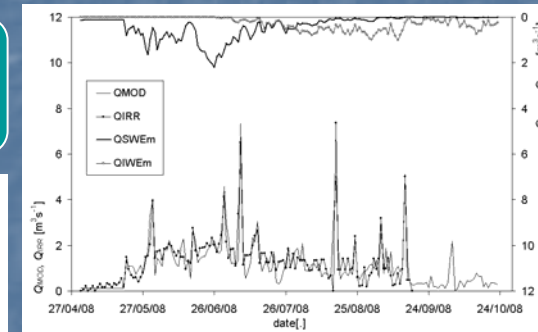
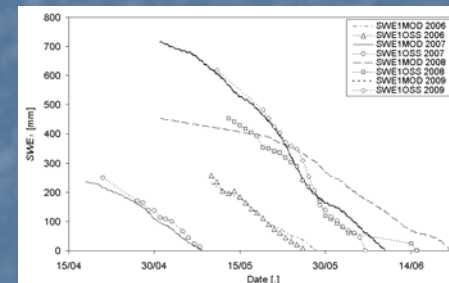
$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{\Delta W_{Ven}}{\Delta t} + \frac{\Delta W_{Pan}}{\Delta t}$$



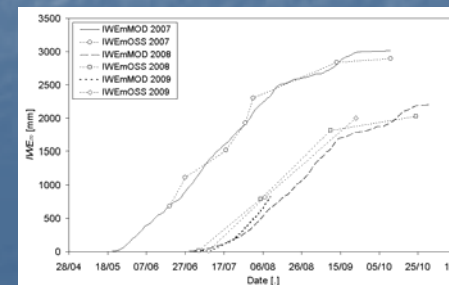
Modellazione del deflusso glaciale

Utilizzando dati di campo, modelli e dati storici dalla base dati ENEL si sono modellati i deflussi primaverili nelle aree glaciali

Sistema Venerocolo Avio, portate totali, nivali (QSWem), glaciali (QIWem), Anno 2008



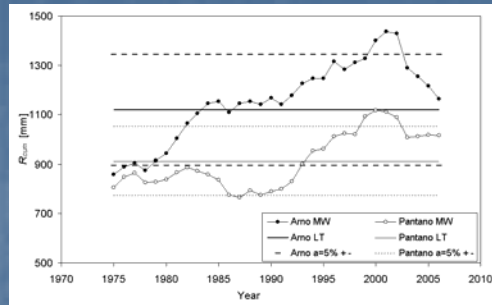
Fusione del manto nivale osservato e modellato alla diga del Venerocolo, 2530 mslm



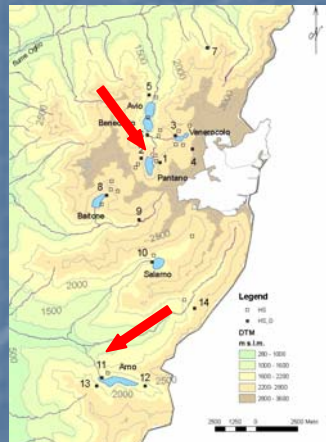
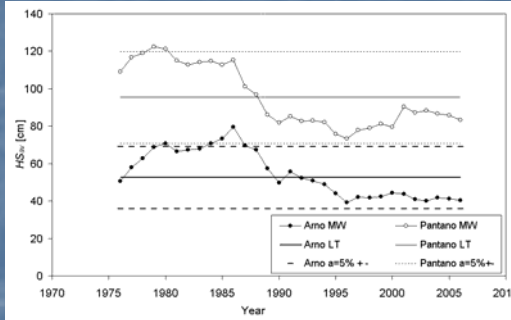
Fusione glaciale osservata e modellata, Vedretta dei Frati

Trend climatici

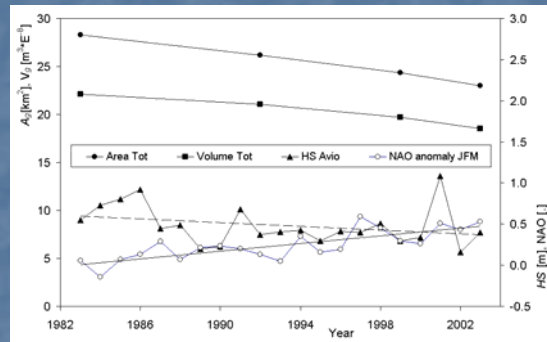
Studi sulla base dati climatica storica hanno evidenziato trend locali di precipitazione, temperatura e copertura nivale legati agli indici di variazione climatica globali



Media mobile (10 anni) della precipitazione liquida per il periodo 1967-2007, stazioni di Arno e Pantano

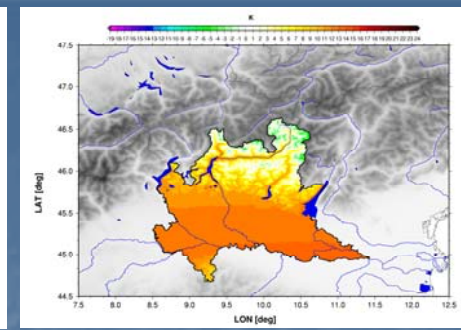
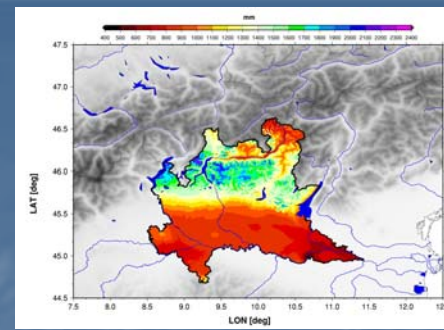
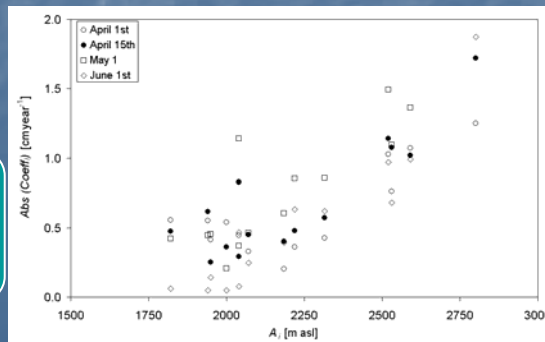


Media mobile (10 anni) dello spessore annuale del manto nivale per il periodo 1967-2007, stazioni di Arno e Pantano

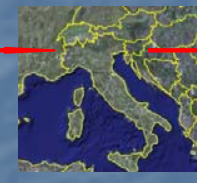


Diminuzione della copertura nivale, di area e volumi glaciali, e valore dell'indice di Oscillazione delle pressioni sull'Atlantico del Nord, NAO

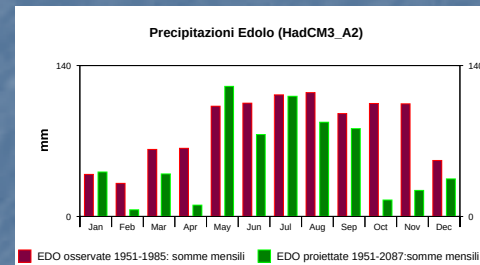
Diminuzione dello spessore medio del manto nivale (1967-2007) a date fissate in funzione della quota



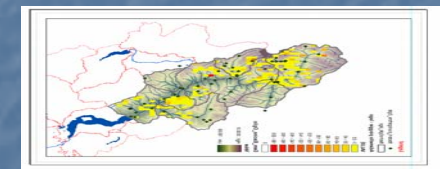
Cumulato annuo di precipitazione (mm) e temperature media annue (°C) in Lombardia, 1961-1990



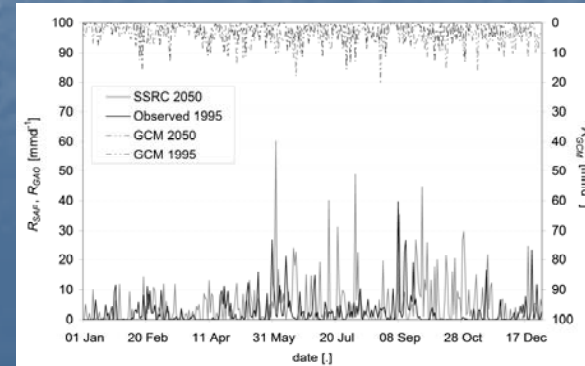
Scenari climatici si sono utilizzati modelli climatologici a scala globale, accoppiati a metodi di disaggregazione, per produrre scenari climatici per il futuro



Precipitazioni cumulate mensili (mm), stazione di EDOLO. Modello HADCM3, A2 (Business as Usual)



Piogge giornaliere medie (mm) sul bacino dell'Oglio, per gli anni 1995 e 2050 (proiezione), disaggregate da modello NCAR_PCM, A2 (Business as Usual)



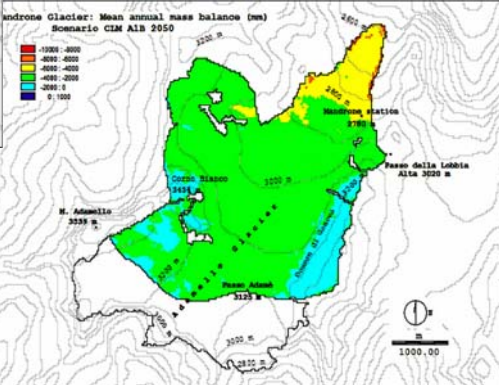
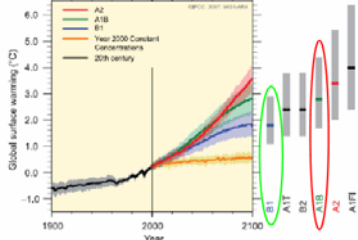
Scenari glaciali futuri

Gli scenari climatici prodotti sono stati utilizzati per simulazioni di scenari idrologici

Scenari climatici dell'IPCC. Evidenziati quelli considerati dall'European Environmental Agency nel Report No 8/2009. (IPCC, 2007. Rielaborazione).

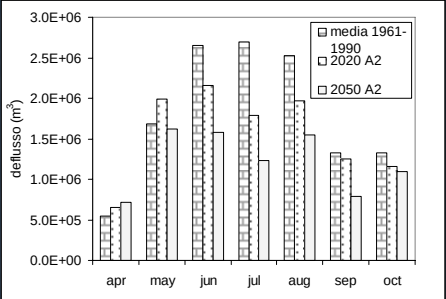
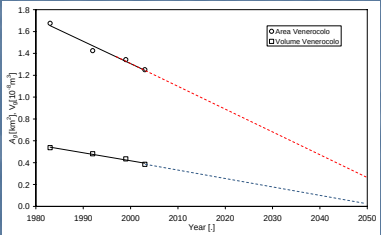
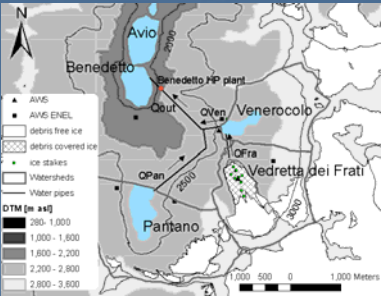
A1. Mondo futuro caratterizzato da una crescita economica e demografica molto rapida (con un calo di popolazione mondiale dopo la metà del secolo)
A1B. Bilancio tra le fonti energetiche fossili e non
B1. Evoluzione demografica simile all'A1 ma con maggiore importanza data alle soluzioni globali per l'economia, alla sostenibilità sociale ed ambientale

Medie di più modelli e intervalli valutati per il riscaldamento superficiale

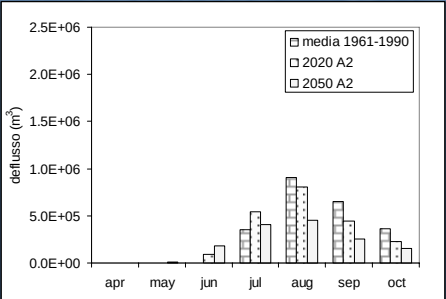


Mandrone.
 Bilancio di massa medio annuale proiettato al 2050.
 Modello CLM
 (COSMO model in CLimate Mode)
 Sopra:B1 (+2.6 °C entro il 2100)
 Dx:A1B (+3.9°C entro il 2100)

Suddivisione del ghiacciaio Mandrone in zone a diversa vulnerabilità ai possibili futuri mutamenti climatici (Verde= medio-bassa; Giallo= medio-alta; Viola = alta)

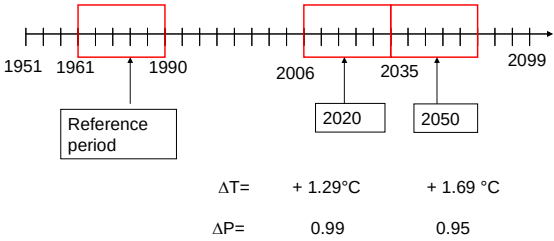


Deflusso nivale cumulato mensile (m³)



Sistema Venerocolo-Avio, scenari di cambio climatico utilizzati

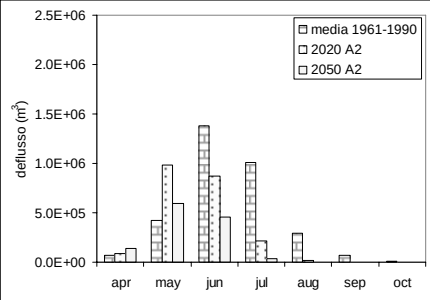
model	scenario	variable	Grid point X	Grid point Y
HadCM3	A2	Precipitation (monthly data)	45	11.25
HadCM3	A2	Temperature (monthly data)	45	11.25



Scenari glacio-idrologici futuri

Area e volume ghiacciaio Venerocolo (m³)

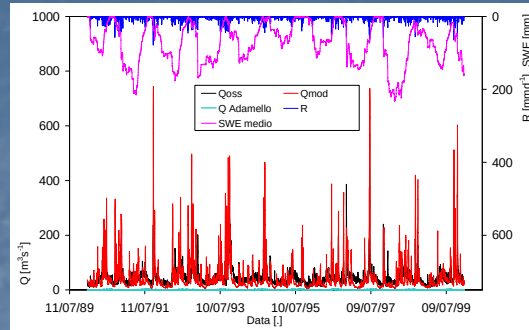
Deflusso cumulato mensile (m³)



Deflusso glaciale cumulato mensile (m³)

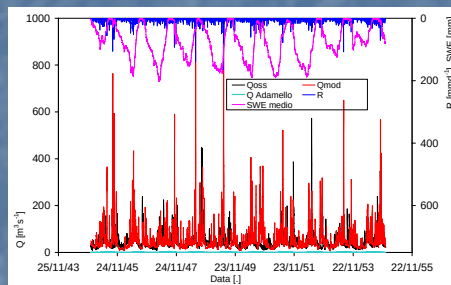
Scenari idrologici

Gli scenari climatologici prodotti sono stati utilizzati per produrre scenari idrologici relativi al bacino dell'Oglio prelacuale, che costituisce l'unità fisiografica in cui il Parco si situa.



Deflussi giornalieri dell'Oglio a Costa Volpino (1990-1999). Valori osservati e modellati. Si riportano la precipitazione liquida (R) e la riserva nivale media a scala di bacino (SWE).

Deflussi giornalieri dell'Oglio a Costa Volpino (proiezioni 2045-2054). Trend di temperatura locali, LOCT+SSRC (+2.1 °C al 2050)



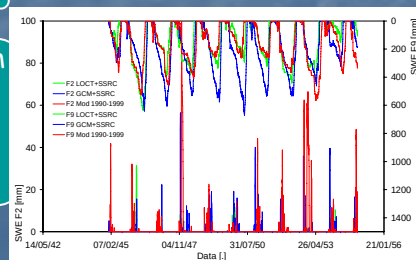
Deflussi giornalieri dell'Oglio a Costa Volpino (proiezioni 2045-2054). Modello NCAR-PCM A2, GCM+SSRC (+1.6 °C, + 310 mm/anno al 2050)

Deflussi mensili

2975 mslm

SWE

525 mslm



In conclusione

Il progetto CARIPANDA, fra i primi ad investigare le possibili conseguenze del cambiamento climatico nell'ambiente alpino italiano, ha prodotto interessanti risultati. Lunghi dal fornire indicazioni conclusive, il progetto ha fornito spunti di riflessione importanti per la discussione sulle future tendenze dell'idrologia alpina e sulle relative strategie di adattamento.



La forzante atmosferica principale del cambiamento climatico è senza dubbio la temperatura, chiaramente accresciuta in tutta l'area, che ha determinato un incremento osservabile della fase liquida (pioggia) a scapito della fase solida (neve), rilevante soprattutto alle quote intermedie (1000-2000 m asl) ed alla riduzione degli apparati glaciali nel recente passato. Meno certo è l'effetto della precipitazione complessiva. Le misure strumentali sembrano indicare un incremento della precipitazione poco significativo, e persino una diminuzione alle quote maggiori, mentre i modelli climatologici utilizzati prevedono un aumento da lieve a consistente (10%-30%) da qui al 2050. A tale incertezza corrisponde un'ampia variabilità della risposta idrologica attesa.

Le proiezioni qui fornite possiedono solo il valore di una prima esplorazione delle possibili condizioni idrologiche future e non costituiscono uno strumento previsionale, se non di larga massima, affetto da notevoli incertezze.

Negli anni a venire le osservazioni dirette permetteranno di capire quali degli scenari applicati qui siano effettivamente più vicini alla reale evoluzione del clima, di condurre una scelta dei modelli atti a prevedere l'evoluzione della risorsa idrica e di prevedere le adeguate contromisure.



Caripanda Team α - β :

Gabriella Apollonio, Stefano Barontini, Dario Bellingeri, Guerino Benaglio, Emanuela Bianchi Janetti, Daniele Bocchiola, Anna Bonettini, Michele Brunetti, Laura Bruschi, Paolo Caronna, Matteo Cella, Alessia Chiappini, Carlo D'Agata, Guglielmina Diolaiuti, Vittorio Ducoli, Alessandro Gitti, Elisa Gorni, Bibiana Gropelli, Giovanna Grossi, Gianluca Lentini, Stefano Malgarida, Davide Maragno, Ombretta Martinelli, Maurizio Maugeri, Claudia Mihalcea, Boris Mosconi, Teresa Nanni, Alice Pagani, Francesca Petra Possenti, Carlo Pretara, Anna Riccardi, Renzo Rosso, Maria Cristina Rulli, Roberto Serra, Claudia Simolo, Claudio Smiraglia, Andrea Soncini, Jonathan Spinoni, Enrico Zini.