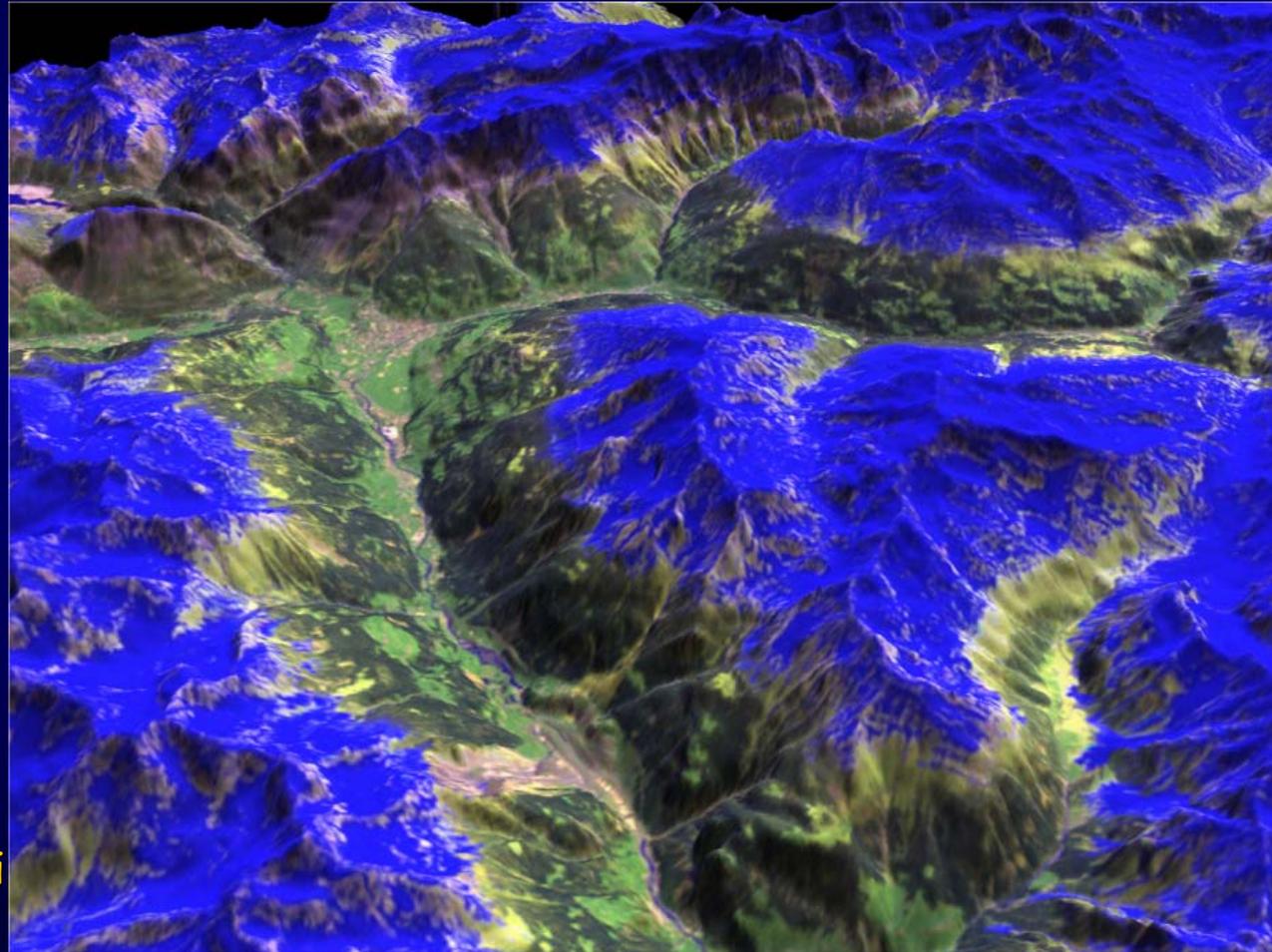


# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE) mediante integrazione di misure a terra e immagini satellitari



Enrico Zini, Dario Bellingeri

ARPA Lombardia  
Settore Sistemi Informativi

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

## Obiettivo:

- Fornire stime con periodicità settimanale dei quantitativi di acqua immagazzinati sotto forma di neve nei bacini montani.

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

## Caratteristiche del modello:

- Fenomenologia: accumulo e scioglimento della neve
- Modello distribuito: maglia 100 m
- Frequenza temporale output: 7 giorni
- Integrazione di dati a terra con dati telerilevati

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

$$SWE_n = SWE_{n-1} + \Delta SWE_n^+ + \Delta SWE_n^-$$

$\uparrow$   
*SWE settimana n-esima*

$\uparrow$   
*accumulo*

$\uparrow$   
*scioglimento*

$$\Delta SWE_n^+ = \sum_i \rho_i \cdot h_i$$

*accumulo*

$\rho_i$  = *densità nevicata i-esima*

$h_i$  = *altezza nevicata i-esima*

$$\Delta SWE_n^- = -c \sum_j (T_j - T_o)$$

*scioglimento: modello Degree-Day*

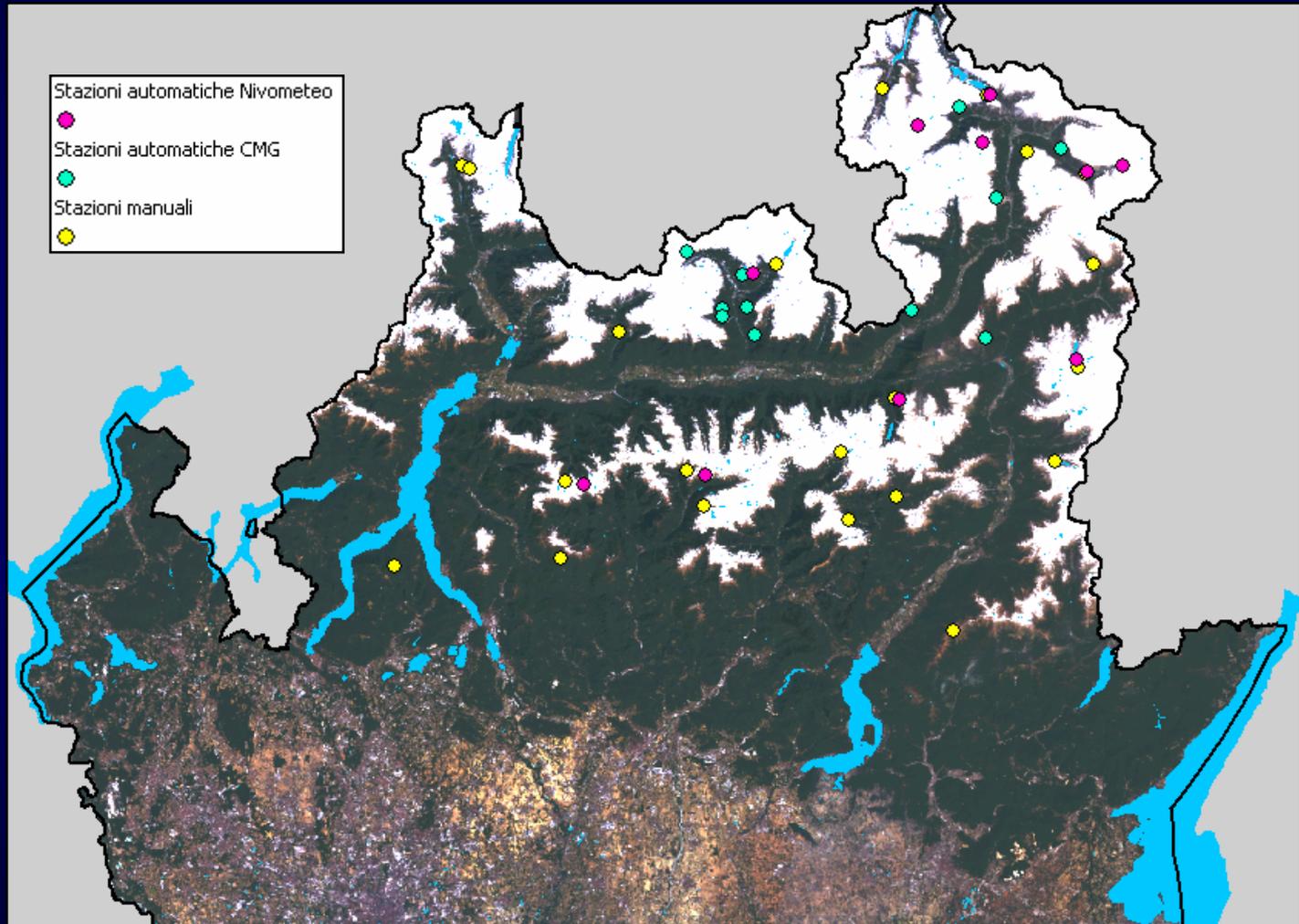
$c$  = *costante di scioglimento*

$T_j$  = *temperatura media giornaliera dell'aria del giorno j*

$T_o$  = *temperatura soglia scioglimento*

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

## Stazioni nivometriche di ARPA Lombardia



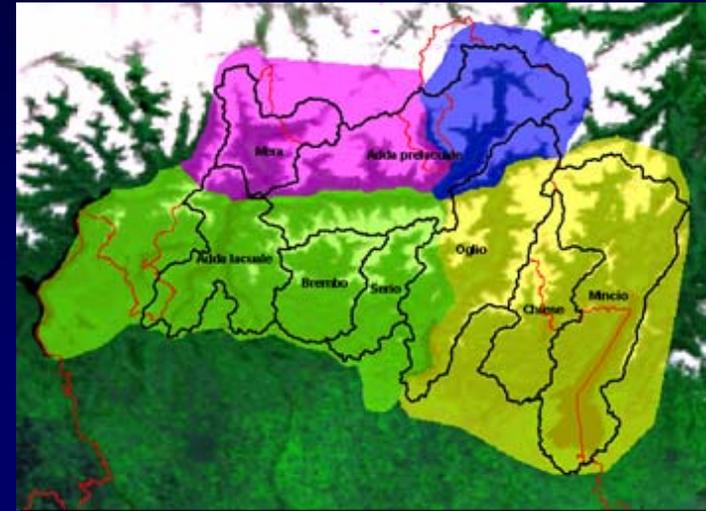
Stazioni nivometriche automatiche e manuali di ARPA Lombardia

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

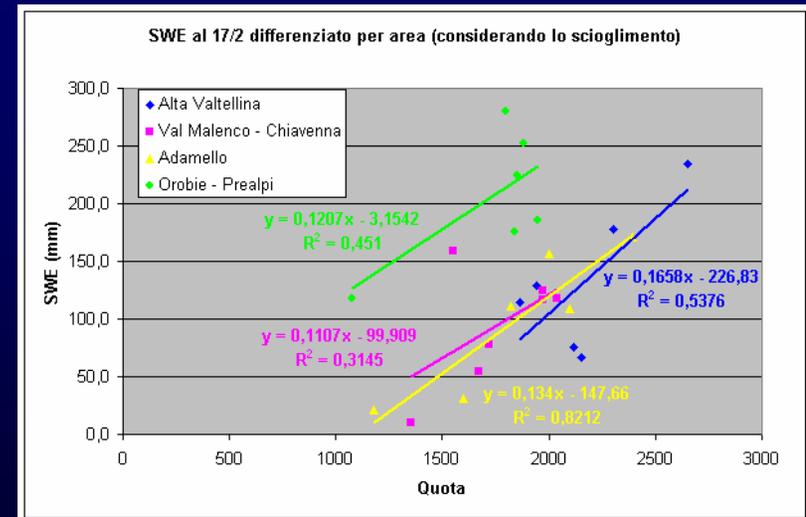
## Stazioni nivometriche utilizzate per la stima dell'SWE

N°	Stazione Nivometrica	Quota (m)	Tipo
1	San Primo	1075	Manuale
2	Aprica Paese	1180	Manuale
3	Torreggio	1350	Automatica
4	Madesimo	1550	Manuale
5	Ponte di Legno	1600	Manuale
6	Alpe Costa	1672	Automatica
7	Piazzo Cavalli	1719	Automatica
8	Trona	1800	Manuale
9	Lago d'Arno	1820	Manuale
10	Gerola	1840	Automatica
11	Carona	1850	Manuale
12	Livigno Sro	1865	Manuale
13	Barbellino	1880	Manuale
14	Cancano (M)	1940	Manuale
15	Carisole	1950	Automatica
16	Campo Moro	1970	Automatica
17	Campo Moro (M)	1970	Manuale
18	Aprica	2000	Automatica
19	Alpe dell'Oro	2040	Automatica
20	Pantano	2100	Automatica
21	Cam Boer	2114	Automatica
22	Monte Trela	2150	Automatica
23	Oga San Colombano	2300	Automatica
24	Pantano (M)	2390	Manuale
25	La Vallaccia	2650	Automatica

Stazioni utilizzate per il calcolo dello SWE



Aree omogenee utilizzate per la spazializzazione dello SWE



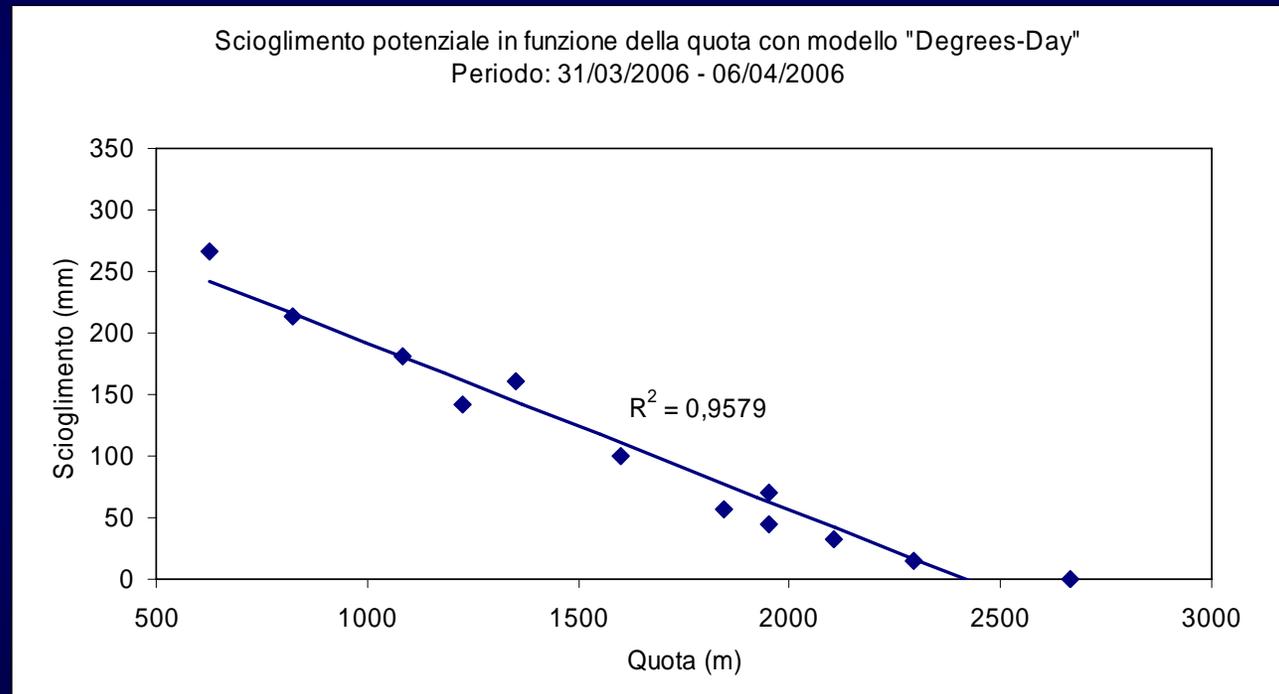
Relazione tra SWE e quota nelle aree omogenee

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

Stima dello scioglimento della neve col modello Degree-Day e correlazione con la quota delle stazioni

N°	Stazione	Quota (m)
1	Barni	625
2	Branzi	825
3	Oltre il Colle	1084
4	Bormio	1225
5	Torreggio	1350
6	Semogo	1600
7	Gerola	1845
8	Aprica	1950
9	Carisole	1950
10	Pantano	2105
11	Oga	2295
12	La Vallaccia	2665

Stazioni utilizzate per il calcolo della temperatura dell'aria media giornaliera



Relazione tra SWE sciolto alle stazioni e quota

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

L'utilizzo del telerilevamento satellitare: Landsat TM e MODIS

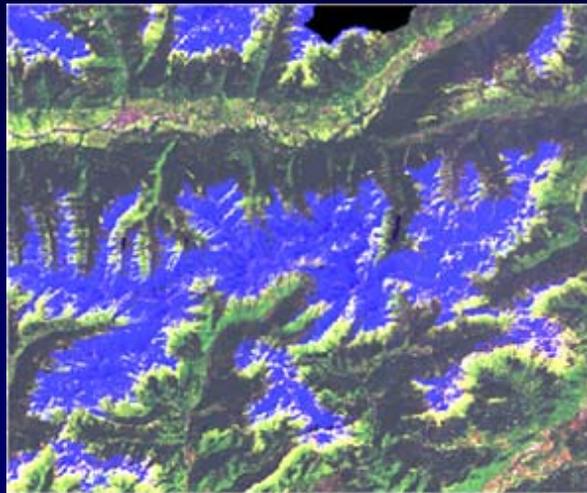


Immagine Landsat TM - 29/05/2001

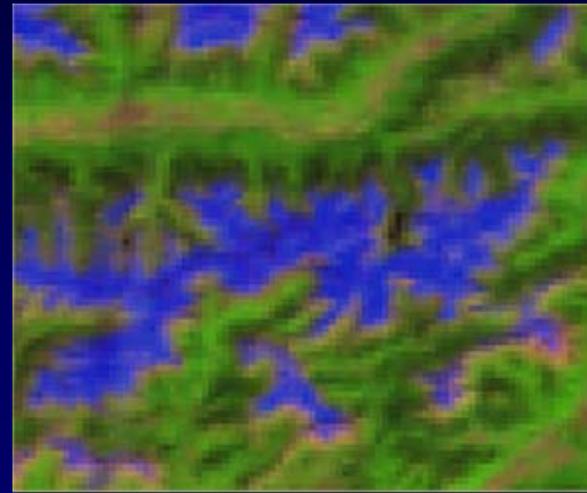


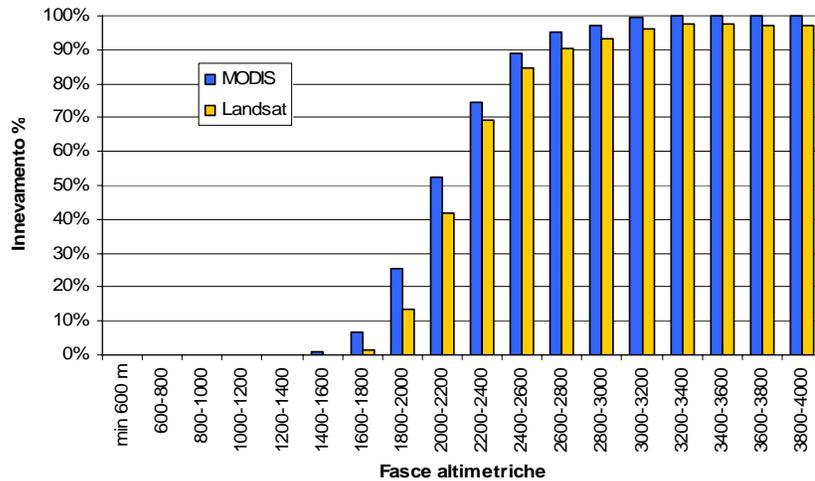
Immagine MODIS - 29/05/2001

Parametro	Landsat TM	MODIS
Risoluzione geometrica	30 m	500 m
Frequenza di ripresa	16 giorni	1 giorno
N° bande spettrali	7	16
Dimensione scena	180 Km x 180 Km	500 Km x 1500 Km
Tempo di fornitura	alcune settimane	2 giorni
Costo/scena	800 €	gratuita

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

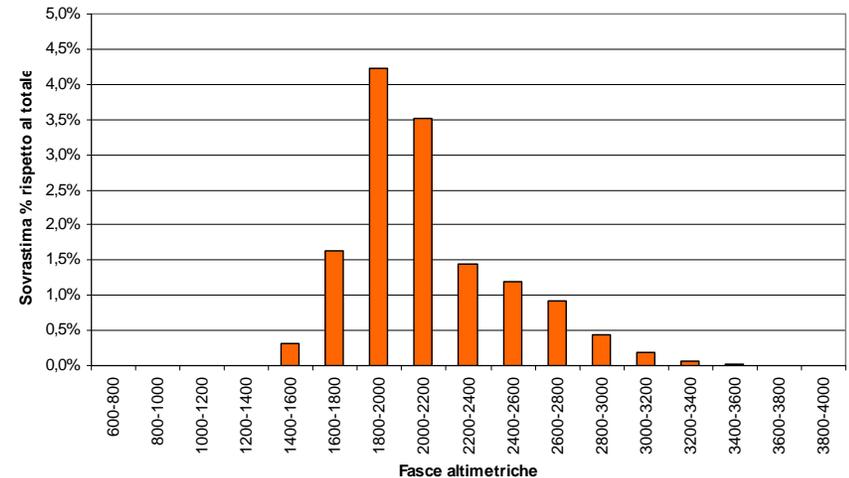
## Errori derivanti dall'uso delle immagini MODIS a 500 m

Confronto MODIS / Landsat - 29/05/2001



Confronto tra MODIS e Landsat TM sulle aree classificate a neve - immagini del 29/05/2001

Sovrastima dell'estensione nevosa (MODIS vs Landsat) per fasce altimetriche - TOT: 14%



Sovrastima di MODIS rispetto a Landsat TM sulle aree classificate come neve - immagini del 29/05/2001

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

La classificazione delle aree innevate con le immagini MODIS

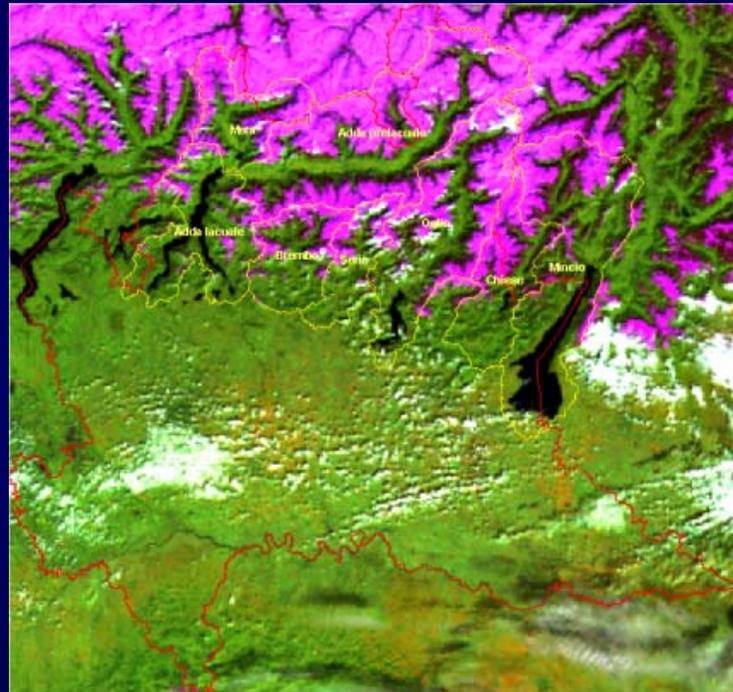


Immagine MODIS

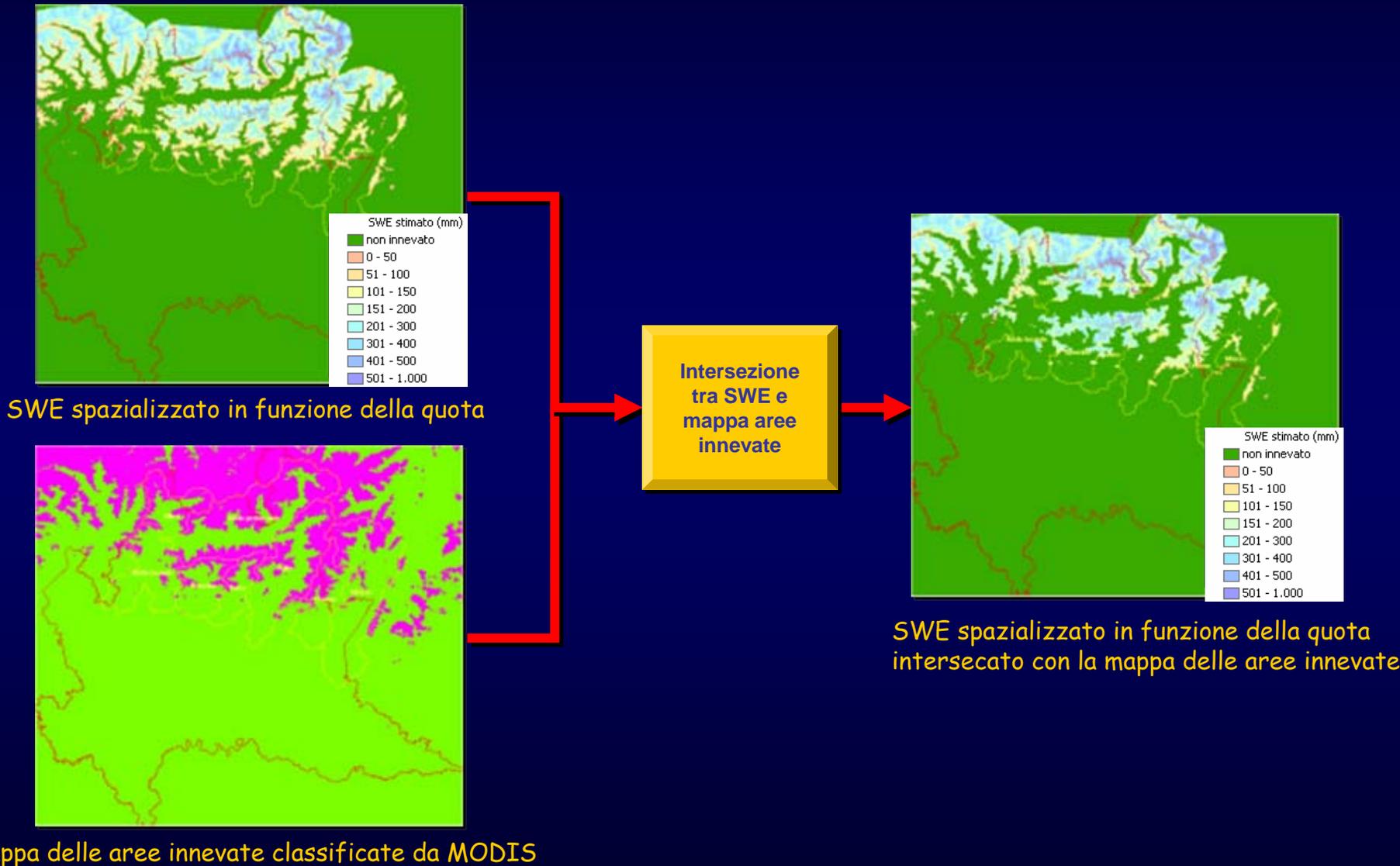
Classificazione  
aree innevate



Mappa delle aree innevate

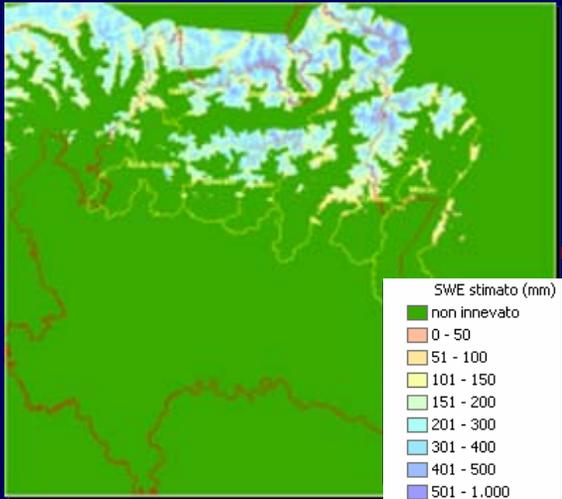
# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

L'integrazione tra dati a terra e telerilevamento



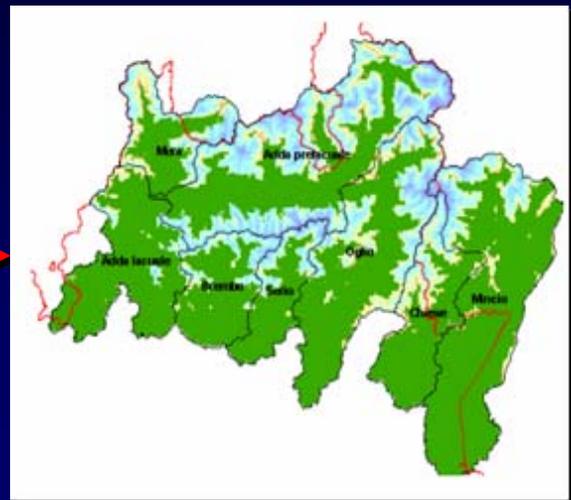
# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

I prodotti: stime SWE a livello di bacino

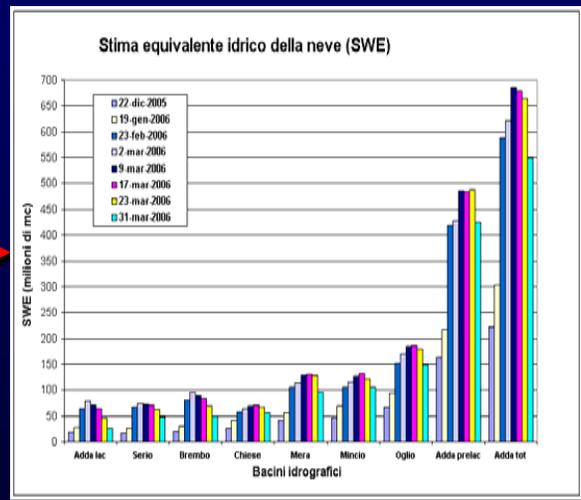


SWE spazializzato in funzione della quota intersecato con la mappa delle aree innevate

**SWE<sub>n</sub>**  
integrato sui bacini idrografici

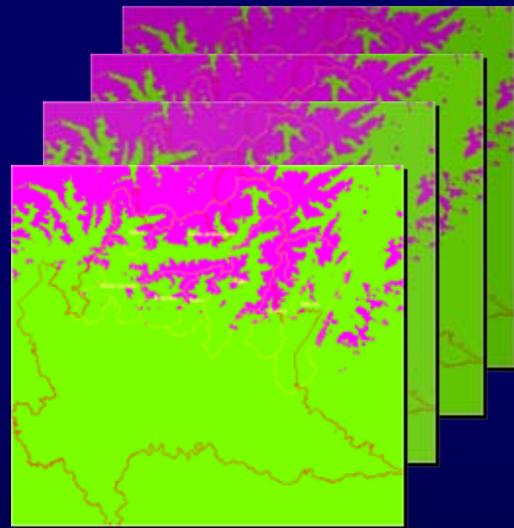


Stime SWE per ciascun bacino idrografico



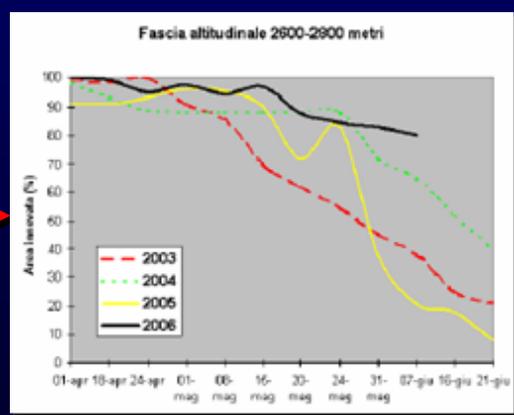
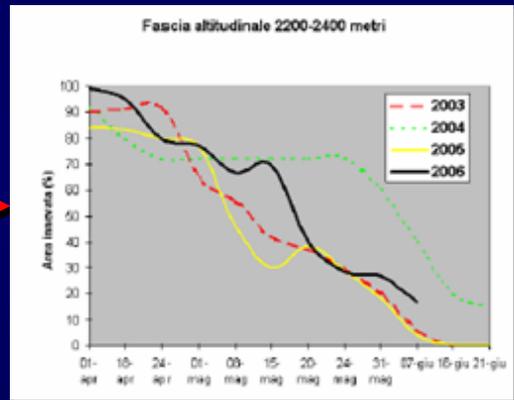
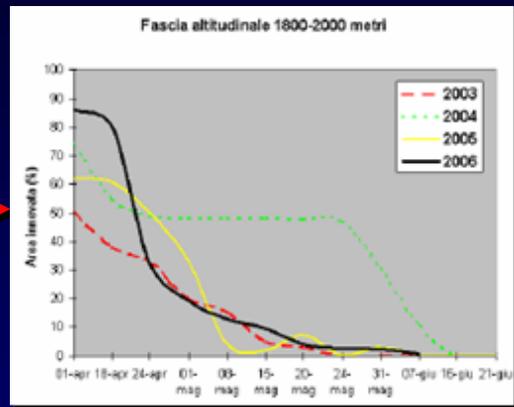
# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

I prodotti: curve di deplezione



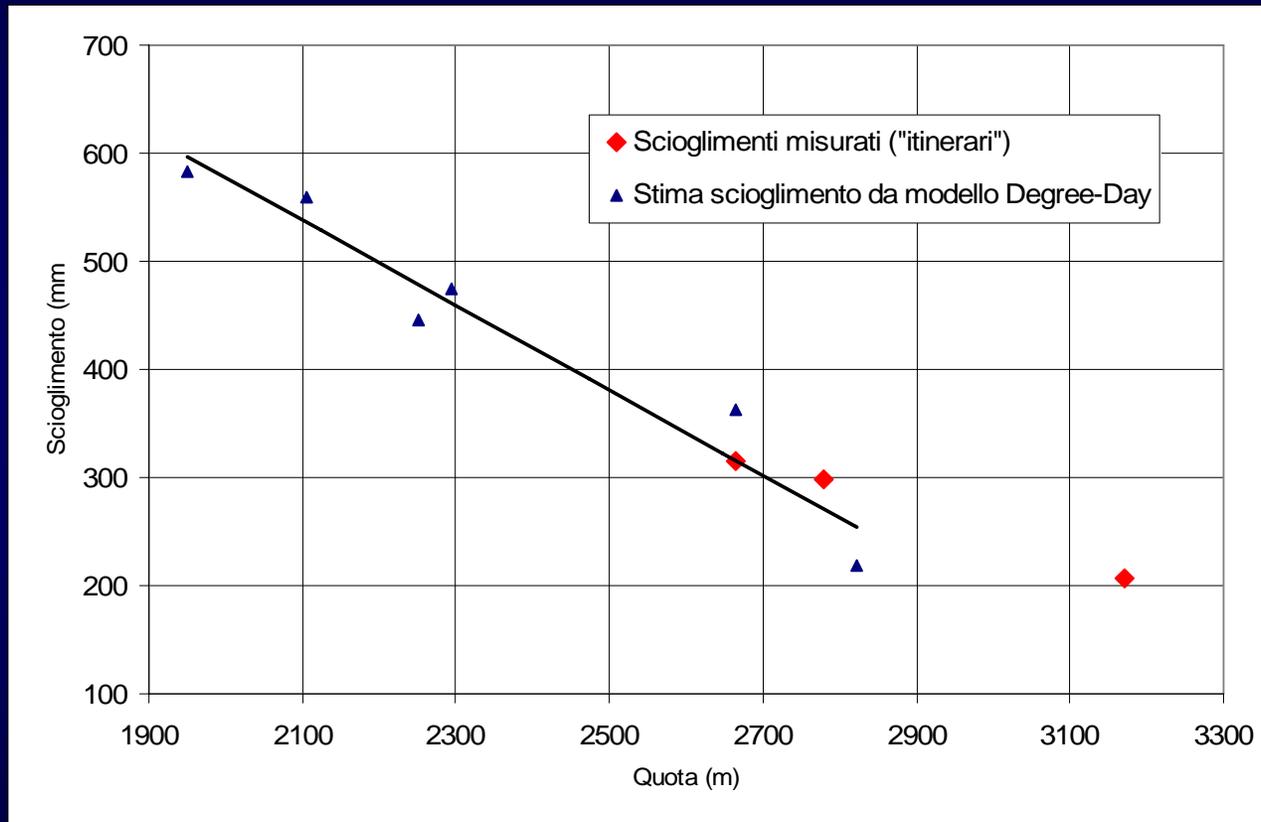
Mappe delle aree innevate classificate da MODIS

Calcolo Curve di Deplezione



# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

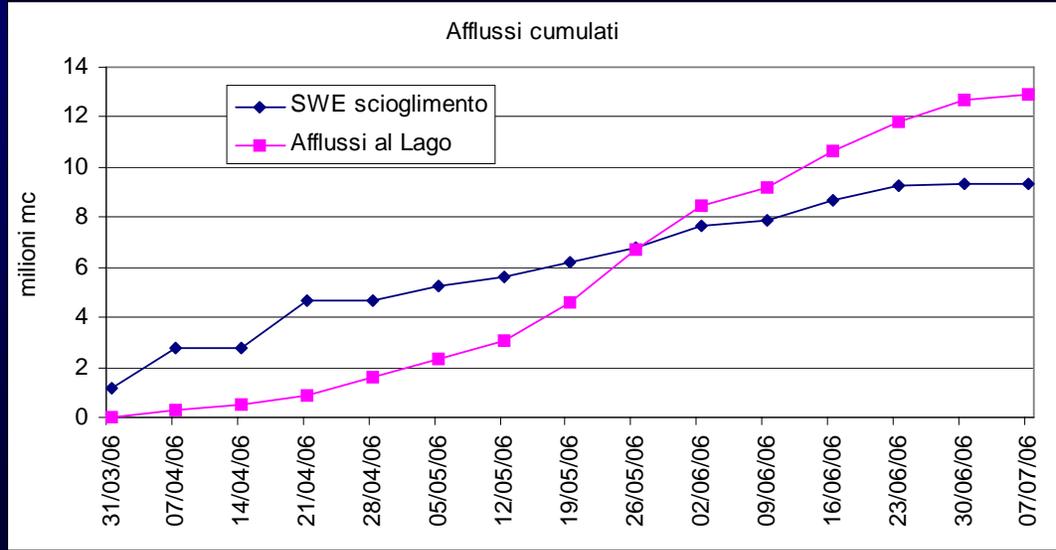
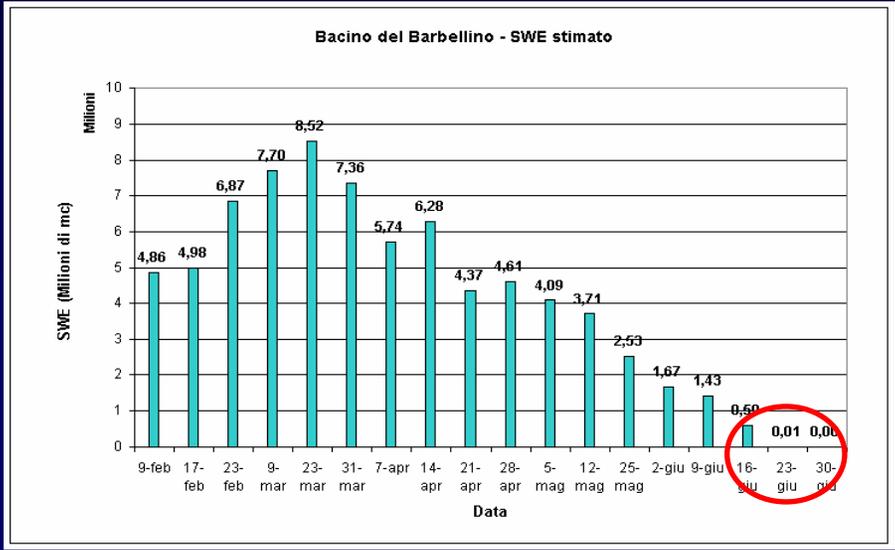
## Verifica del modello di scioglimento Degree-Day



Confronto fra valori misurati di scioglimento nevoso e stime con metodo Degree-Day nel periodo 26/05 - 07/06 2005

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

## Verifica sull'invaso del Barbellino (Alta Val Seriana)

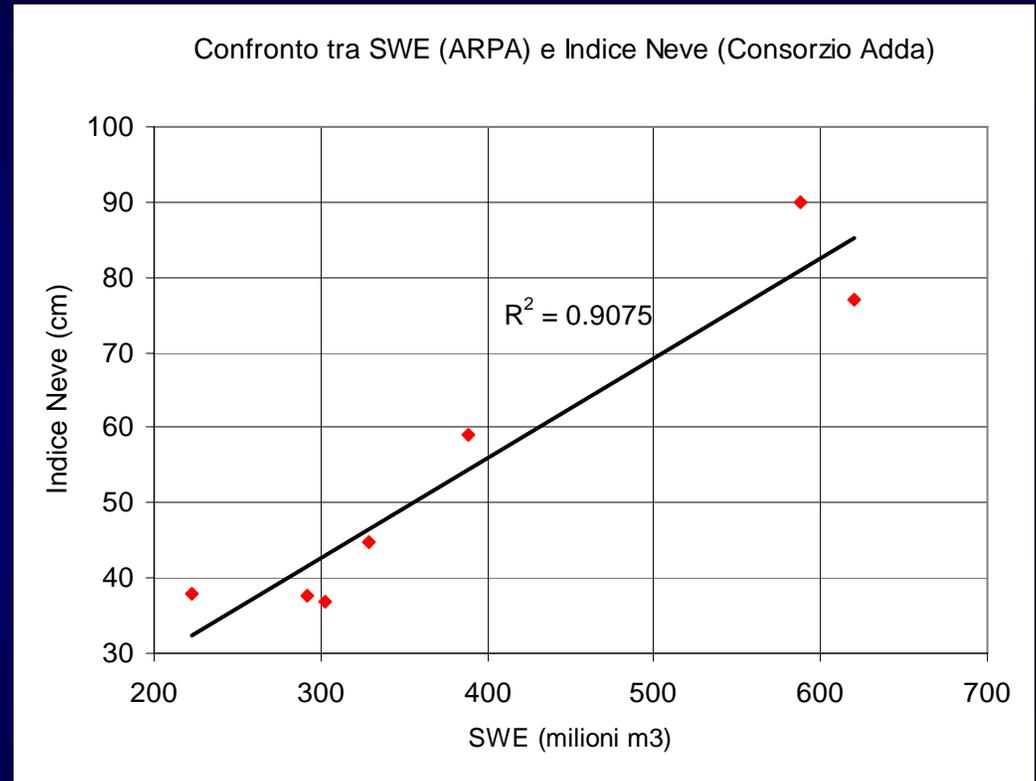


Afflussi al Lago elaborati da Arpa su dati dati Enel per gentile concessione Enel Spa

# Stima dell'equivalente idrico della neve (SWE)

Verifica sul Bacino dell'Adda sopra-lacuale (Valtellina e Mera)

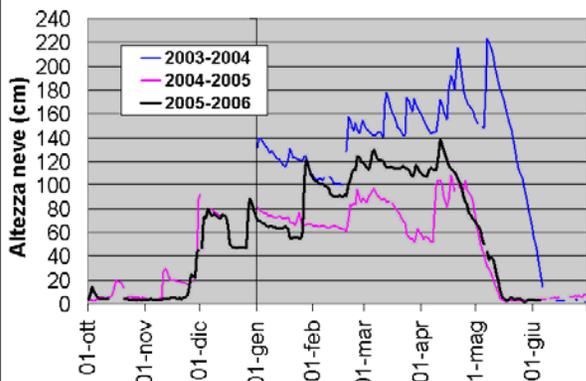
Data	SWE ARPA (milioni m3)	Indice Neve Consorzio Adda (cm)
22/12/05	222.40	37.90
12/01/06	291.90	37.60
19/01/06	302.70	37.00
02/02/06	388.10	59.00
09/02/06	328.40	44.80
23/02/06	587.70	89.90
02/03/06	620.20	77.10



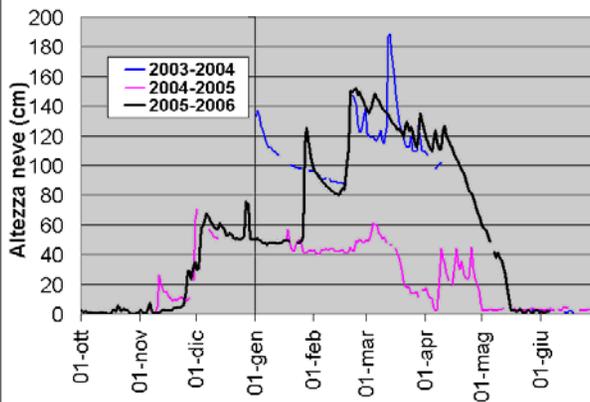
# Alcuni elaborati...

## Andamento dello spessore della neve al suolo

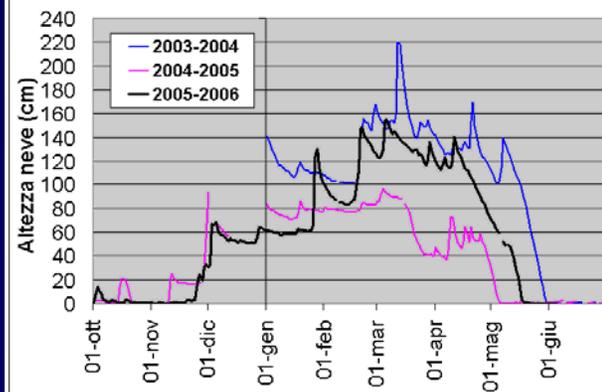
Altezza neve - stazione Val Gerola -  
quota 1845 m.



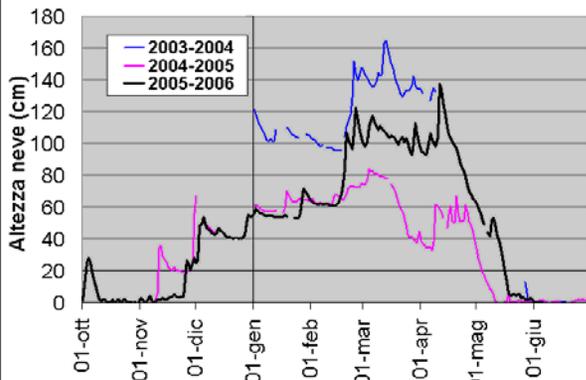
Altezza neve - stazione Carisole -  
quota 1950 m.



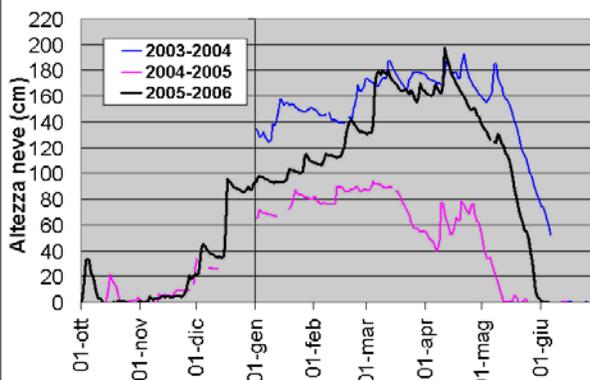
Altezza neve - stazione Aprica -  
quota 1950 m.



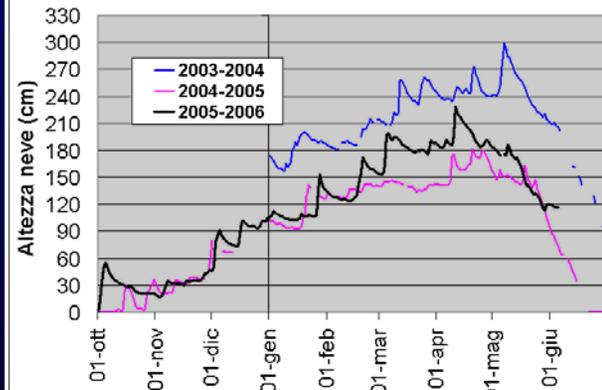
Altezza neve - stazione Pantano -  
quota 2105 m.



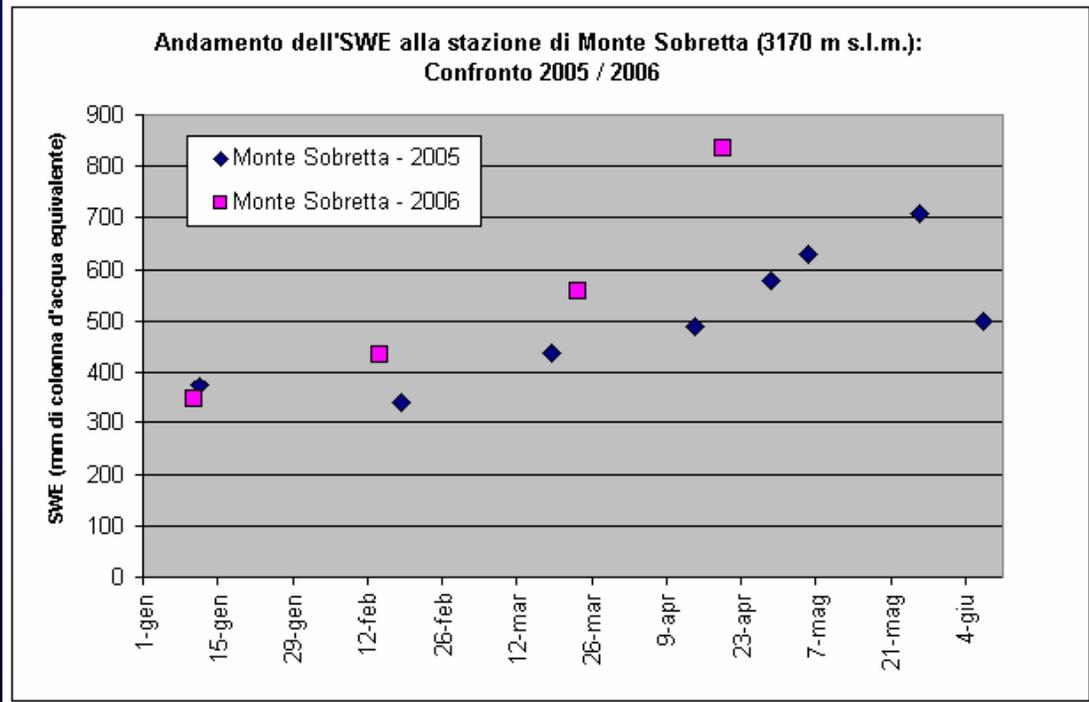
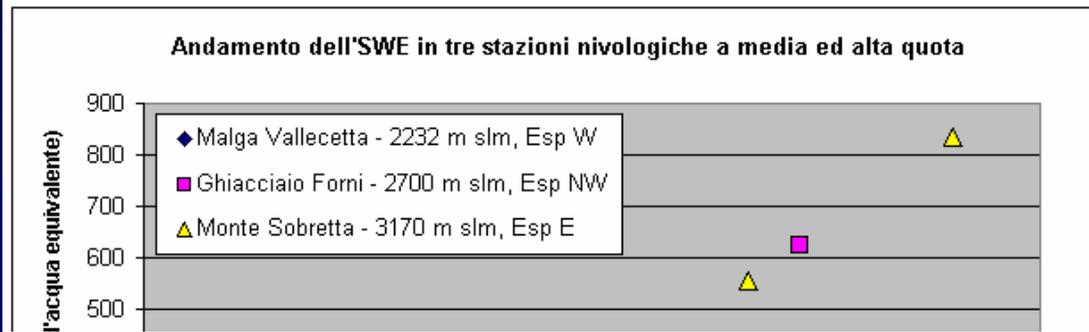
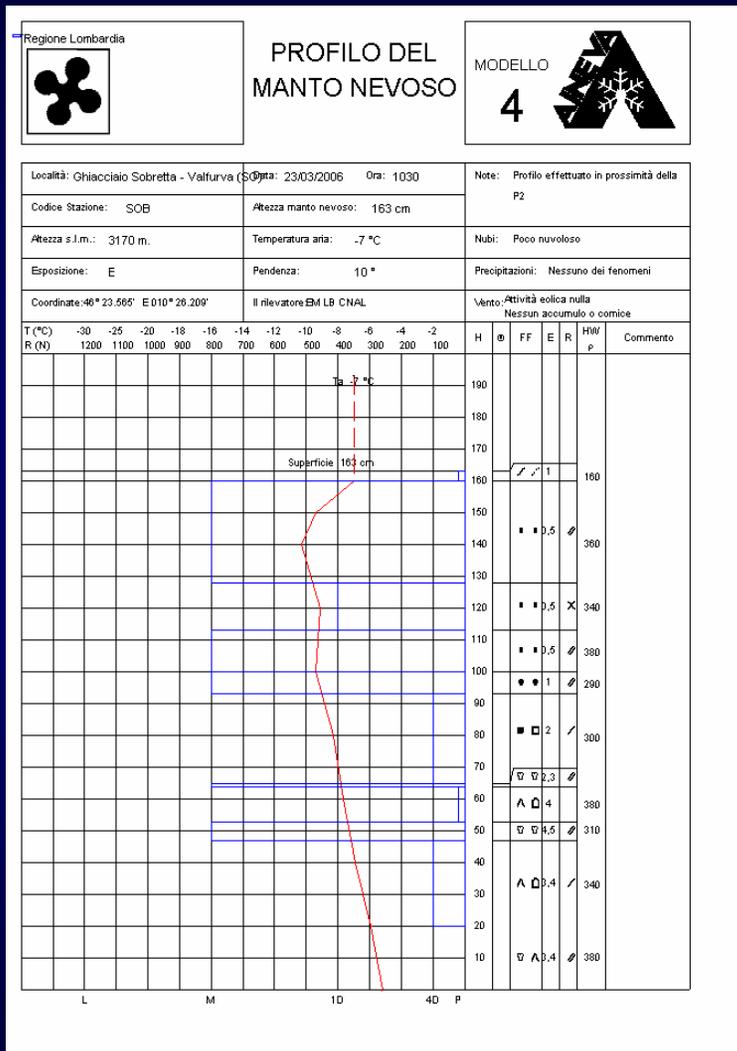
Altezza neve - stazione Oga - quota 2295 m.



Altezza neve - stazione La Vallaccia -  
quota 2655 m.

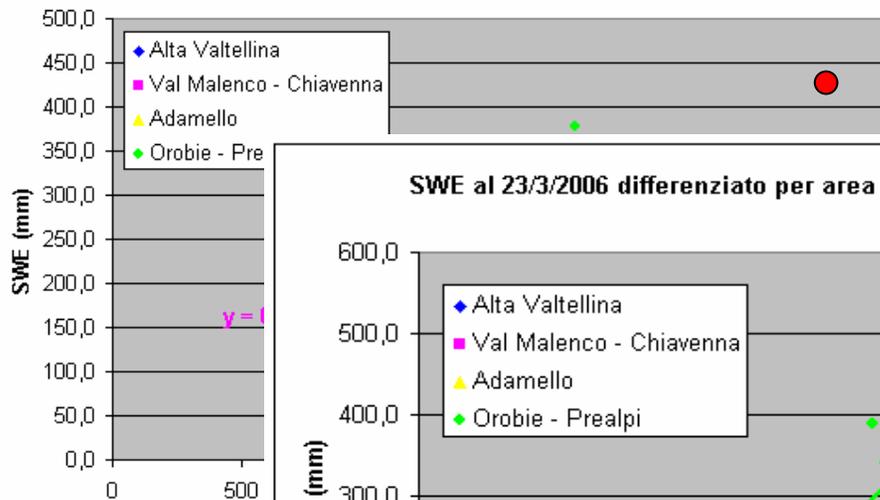


# Misure dirette di SWE

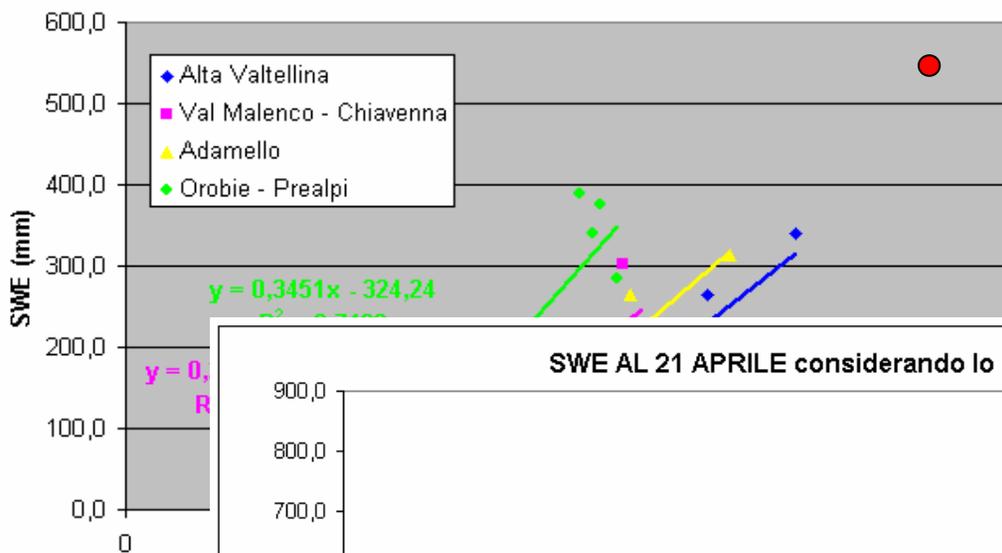


# Stime di SWE locali e validazione con misure dirette

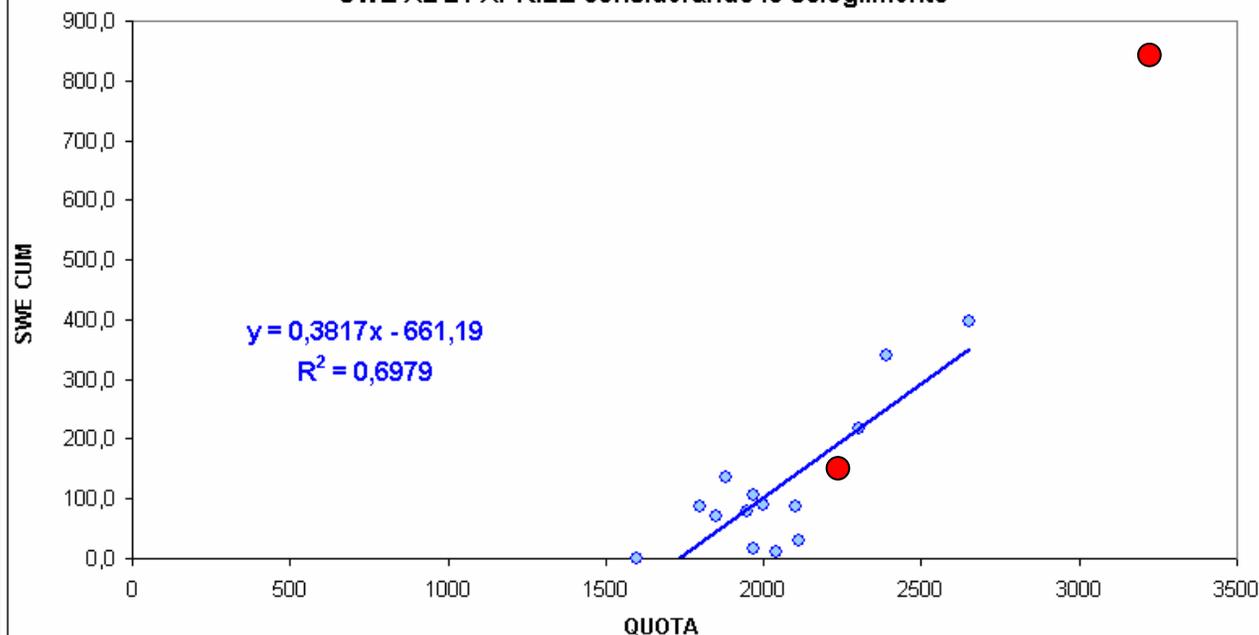
SWE al 2/3/2006 differenziato per area (considerando lo scioglimento)



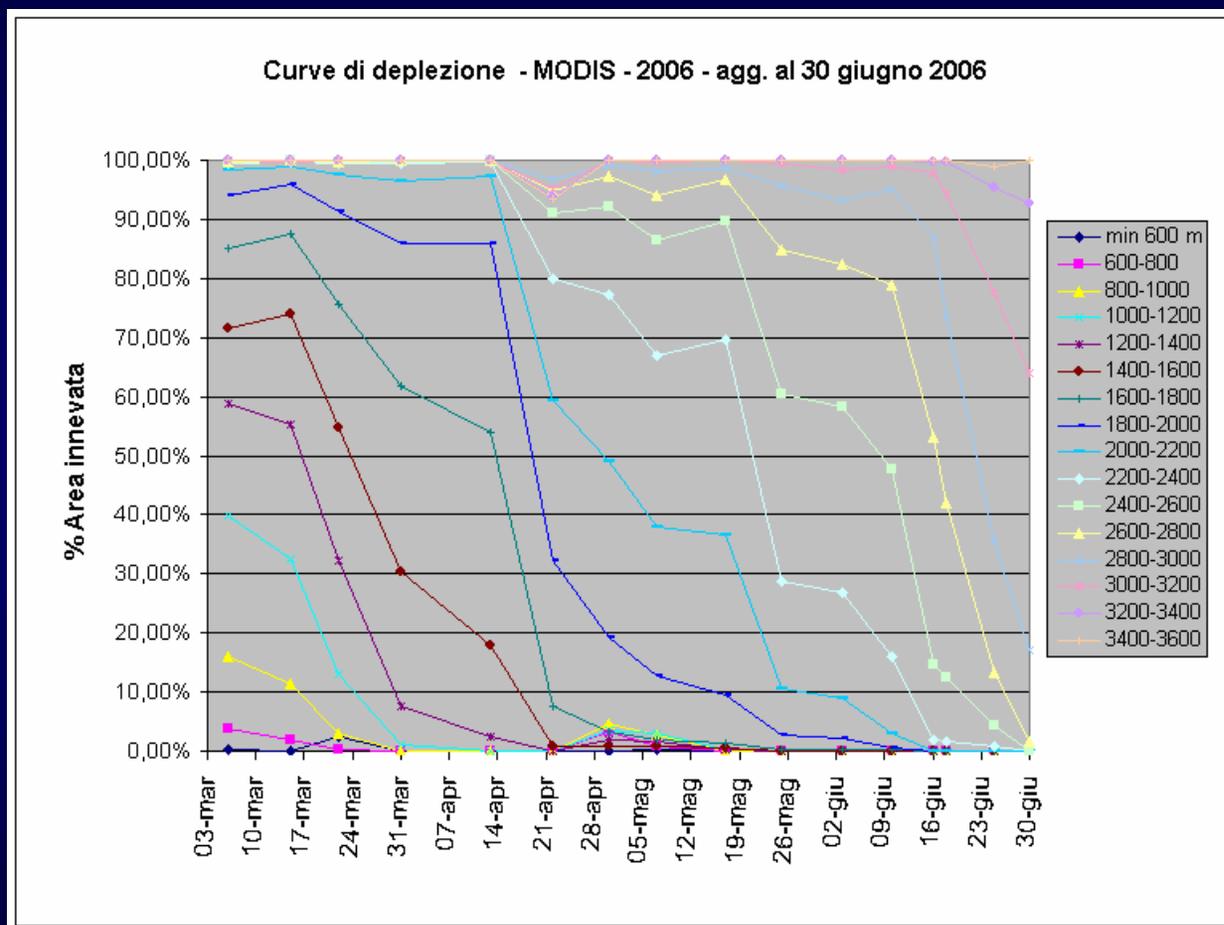
SWE al 23/3/2006 differenziato per area (considerando lo scioglimento)



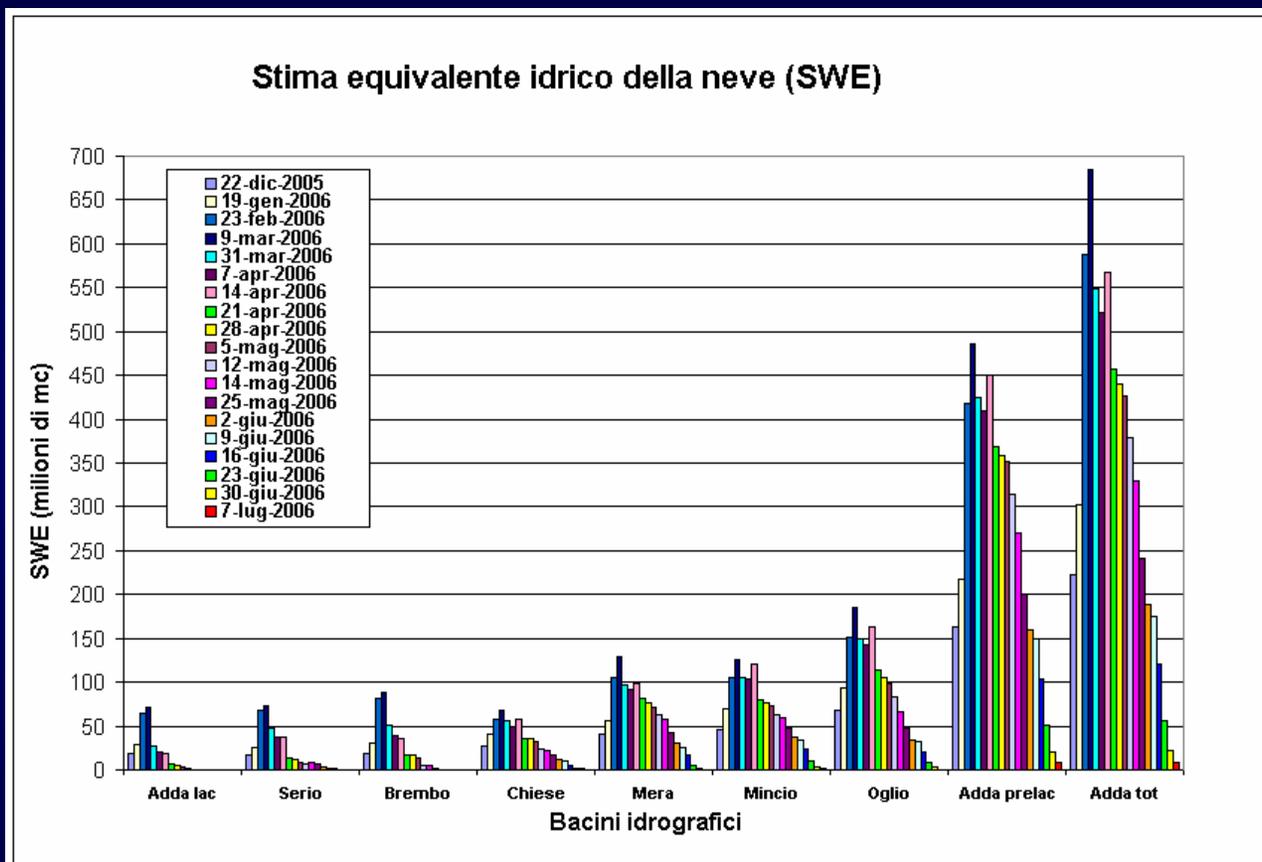
SWE AL 21 APRILE considerando lo scioglimento



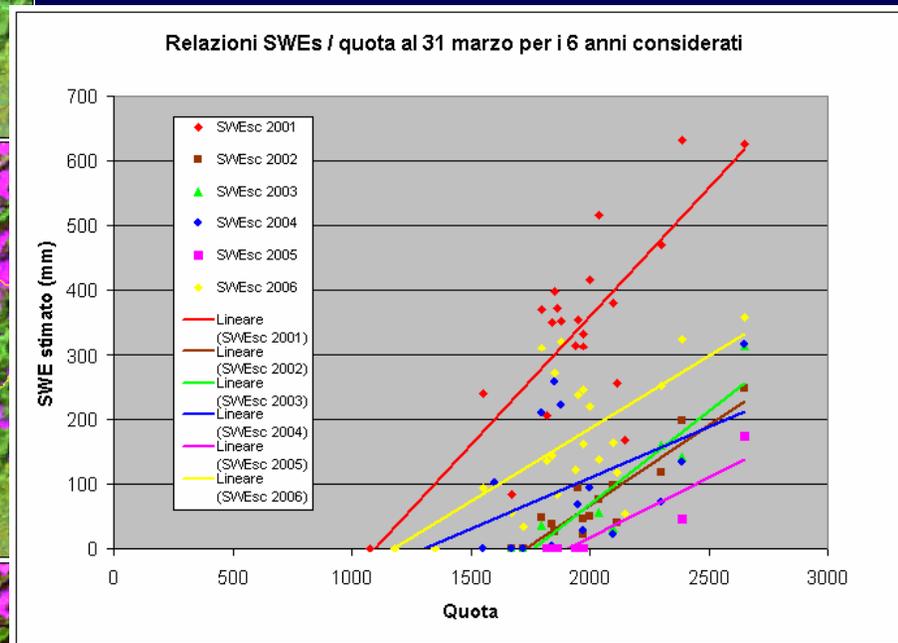
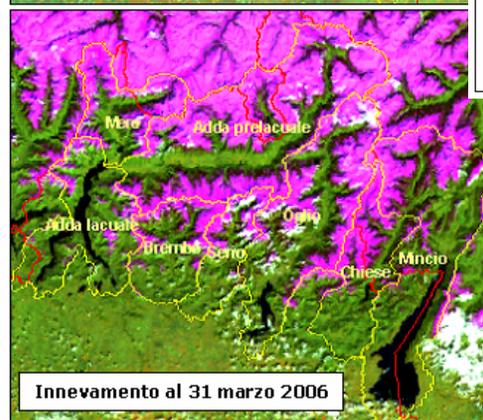
# Curve di deplezione 2006



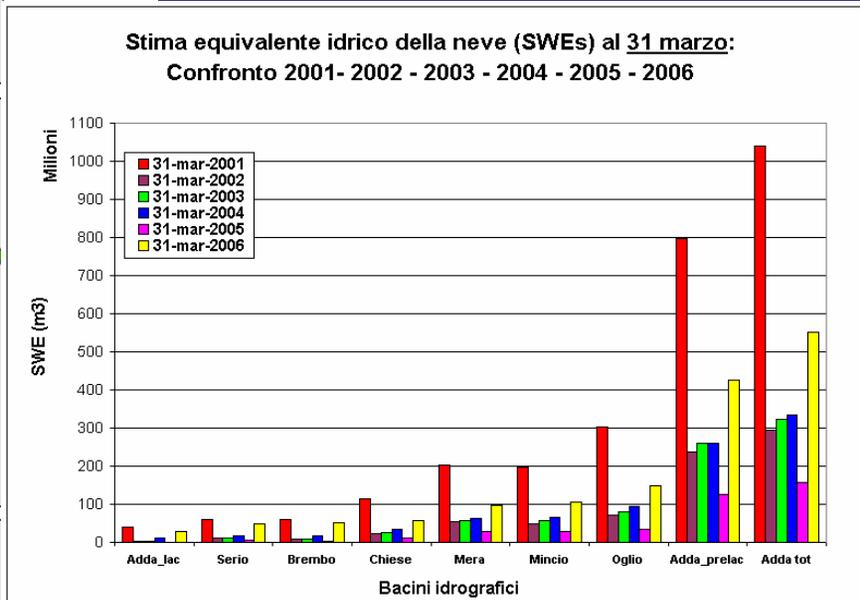
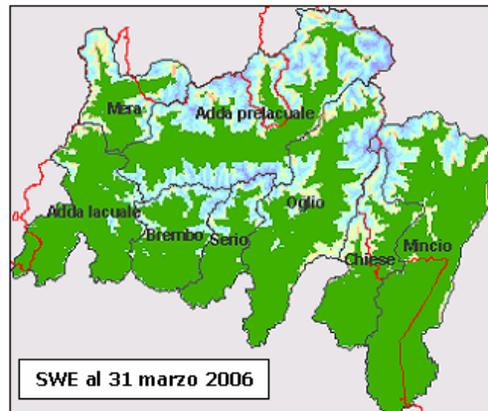
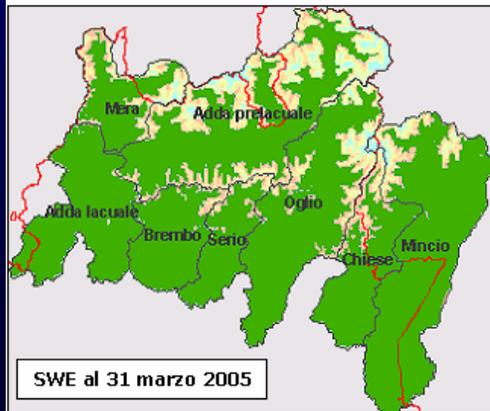
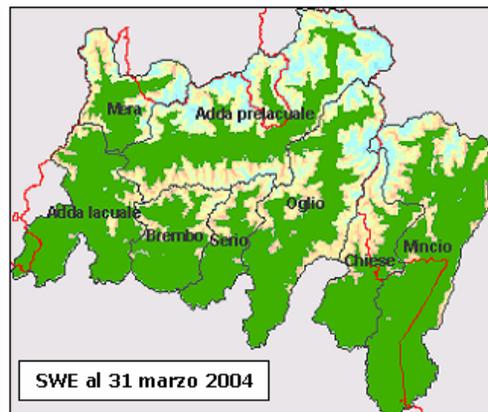
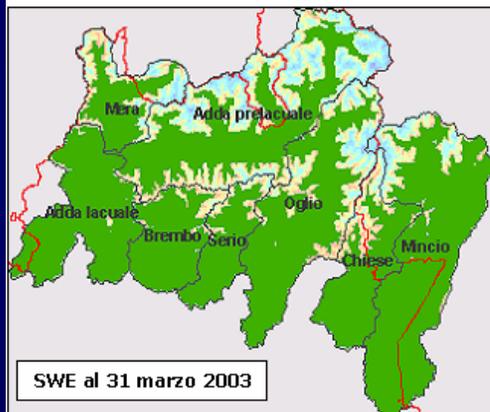
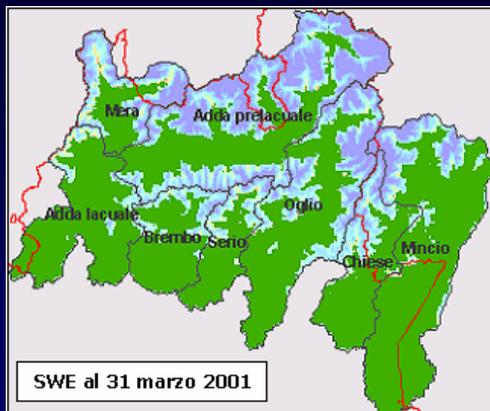
# SWE 2006 sui bacini idrografici



# Confronto innevamento in diversi anni



# Confronto SWE in diversi anni



# Bollettini idrologici settimanali e mensili

## BOLLETTINO IDROLOGICO

Situazione al 2 Luglio 2006  
Emesso il 5 Luglio 2006



### SINTESI SITUAZIONE Settimana dal 26 giugno al 2 luglio

Gli afflussi meteorici registrati nella settimana sono risultati in aumento rispetto al precedente periodo. Gli eventi piovosi principali, a carattere di rovesci e temporali isolati, si sono registrati nell'area alpina e prealpina tra le giornate di lunedì 26 e giovedì 2 luglio.

Le elevate temperature del periodo hanno determinato una forte attività di ablazione del manto nevoso con sensibile riduzione dello spessore al di sotto dei 3000 metri di quota. La copertura nevosa ormai è continua solamente oltre i 3000 metri sui versanti esposti a Nord e sugli apparati glaciali; sui ghiacciai, a queste quote, lo spessore del manto nevoso è di circa un metro.

Le stime di SWE potenziale sui bacini idrografici montani sono in tendenza decrescente, ed i quantitativi di acqua immagazzinata sotto forma di neve sono ormai nulli o trascurabili per tutti i bacini prealpini.

Le temperature medie giornaliere registrate su tutta la regione sono risultate in linea con la settimana precedente. I valori massimi si sono verificati nella giornata di martedì 27 con picchi di 36 °C in pianura.

I livelli idrometrici dei grandi laghi prealpini, rilevati durante la settimana, hanno presentato un trend negativo legato al regime delle regolazioni ad eccezione del lago di Como che si è mantenuto pressoché costante. I livelli idrometrici di quasi tutti i principali fiumi lombardi presentano una lieve tendenza all'aumento rispetto alla settimana precedente, ad eccezione del Chiese e del Brembo.

I livelli idrometrici registrati nelle sezioni di misura lombarde lungo l'asta del Po hanno registrato un leggero aumento rispetto alla settimana precedente.

#### Quadro di sintesi e confronto con la settimana precedente

Settimana 26 giugno- 2 luglio	Bacini montani											
	Adda		Brembo		Serio		Oglio		Chiese		Mincio	
	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend
<b>Afflussi</b>	110,6	↑	9,4	↑	7,1	↑	27,5	↔	53,2	↑	74,6	↑
<b>SWE<sup>1</sup></b>	22,5	↓	0,0	↔	0,0	↔	2,6	↓	0,9	↓	4,0	↓
<b>Laghi prealpini</b>	L. Como											
	L. Isèo		L. Idro		L. Garda							
	28%	↔					36%	↓	58%	↓	52%	↓
Settimana 26 giugno- 2 luglio	Bacini di pianura											
	Adda		Brembo		Serio		Oglio		Chiese		Mincio	
	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend	Min3	trend
<b>Deflussi</b>	82,8	↑	4,0	↔	n.d.		n.d.		18,2	↑	42,3	↔
<b>Livelli fiumi</b>	↑		↓		n.d.		↑		↔		↑	

<sup>1</sup> Equivalente idrico della neve

## IDRO METEO REGIONE

Riassunto Idrometeorologico e  
scenari previsti in Lombardia



Emesso il 12 Giugno 2006

### QUADRO RIASSUNTIVO IDROLOGICO - GIUGNO 2006 -

Il presente rapporto analizza la situazione idrologica lombarda nel mese di giugno 2006 e le previsioni meteorologiche a medio-lungo termine.

#### AFFLUSSI METEORICI

Gli afflussi registrati nel mese di giugno sul territorio lombardo sono risultati al di sotto della norma per il periodo analizzato. L'analisi dei valori medi mensili di precipitazione evidenzia che i quantitativi maggiori di pioggia si sono riversati su tutto il settore alpino e sulle Prealpi orientali della regione.

#### NEVE

Le elevate temperature del mese di giugno hanno determinato una forte attività di ablazione del manto nevoso. La copertura nevosa ormai è presente solamente oltre i 3000 metri di quota. Le stime di SWE potenziale sui bacini idrografici montani nel mese di giugno sono risultate in costante tendenza decrescente, ed i quantitativi di acqua immagazzinata sotto forma di neve sono ormai nulli o trascurabili per tutti i bacini idrografici considerati.

#### TEMPERATURE

Le temperature medie hanno mostrato un aumento di circa due gradi rispetto alla norma del periodo, un aumento che ha contraddistinto in particolare la seconda metà del mese di giugno.

#### INVASI

Durante il mese di giugno il volume accumulato all'interno dei laghi è progressivamente diminuito: in particolare il grado di riempimento del Lario si è più che dimezzato passando dal 64% a circa il 30% mentre quello dell'Isèo è passato dal 94% al 20% circa. I volumi regolati nei bacini montani invece sono nel complesso stabili rimanendo tra il 46-49% del volume massimo regolabile.

#### DEFLUSSI

L'andamento dei volumi defluiti nei corsi d'acqua lombardi nel periodo considerato si è presentato in diminuzione rispetto al mese precedente ad eccezione di quelli transitati a valle del lago di Como, maggiori anche rispetto a quelli calcolati per lo stesso mese nel 2005.

### PREVISIONI METEO

Nel medio termine persiste una situazione caratterizzata da precipitazioni sparse a carattere di rovescio, anche frequenti ma con apporti medi a livello di bacino non particolarmente abbondanti. Temperature elevate. Nel lungo termine non si evidenziano segnali di anomalie di particolare intensità, la previsione resta molto incerta e con buone probabilità per gli opposti scenari di eccesso o difetto rispetto alla norma dei due parametri di base (pioggia e temperatura). Gli ultimi aggiornamenti modellistici propendono per la scarsità di precipitazioni con temperature superiori alla norma.

*Grazie per l'attenzione!*