

PROGETTO RICLIC

Regional Impact of Climatic Change in Lombardy Water Resources: Modelling and applications (RICLIC-WARM)



*Effetto dei contributi nivali e glaciali
e degli invasi artificiali
sul deflusso dell'Adda Valtellinese*

Mario Fugazza

Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale Università degli Studi di Pavia

I Serbatoi della Valtellina

I deflussi del bacino dell'Adda prelacuale Valtellinese sono regolati da numerosi serbatoi. Venti sono serbatoi stagionali, che per volume e tipo di gestione esercitano un'influenza più o meno grande, ma comunque sensibile sul regime dei deflussi:

- S.Giacomo di Fraele e Cancano, di proprietà dell'AEM (Azienda Elettrica Municipale di Milano);
- Frera, Mezzo, S.Stefano, Scais, Venina, Publino, già di proprietà della Sondel e oggi della Edison;
- Pirola, Palù, Alpe Gera, Campo Moro, Inferno, Pescegallio, Trona, Spluga, Truzzo, di proprietà del gruppo ENEL;

I due serbatoi più grandi sono quello di S.Giacomo di Fraele (64 Mm³) e quello di Cancano (123,1 Mm³).

Oltre alle acque del proprio bacino naturale, il serbatoio di S.Giacomo riceve, attraverso il canale Spöl, una parte delle acque della valle di Livigno, che appartiene al bacino idrografico dell'Inn. I serbatoi sono stati costruiti in tempi diversi, e il volume totale è andato progressivamente aumentando, fino al valore attuale di circa 369 Mm³.

Il deflusso medio annuo naturale a Fuentes, ricostruito mediante deregolazione sul periodo 1959-2000 (*Malusardi, Moisello 2001*), è stato stimato in 4991 Mm³.

Il rapporto tra volume invasabile e deflusso annuo medio è di circa il 7 %

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE
VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE
NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



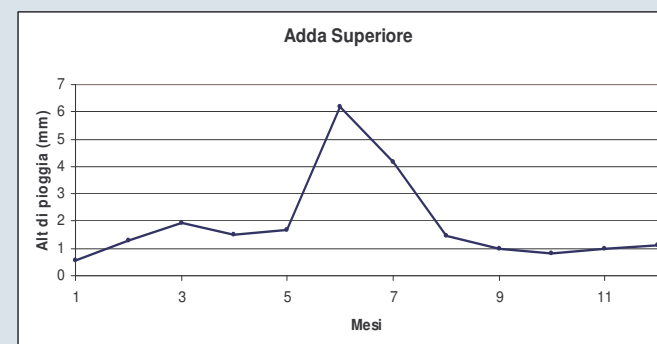
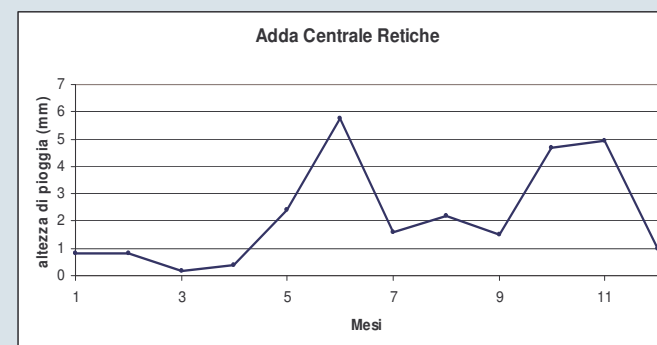
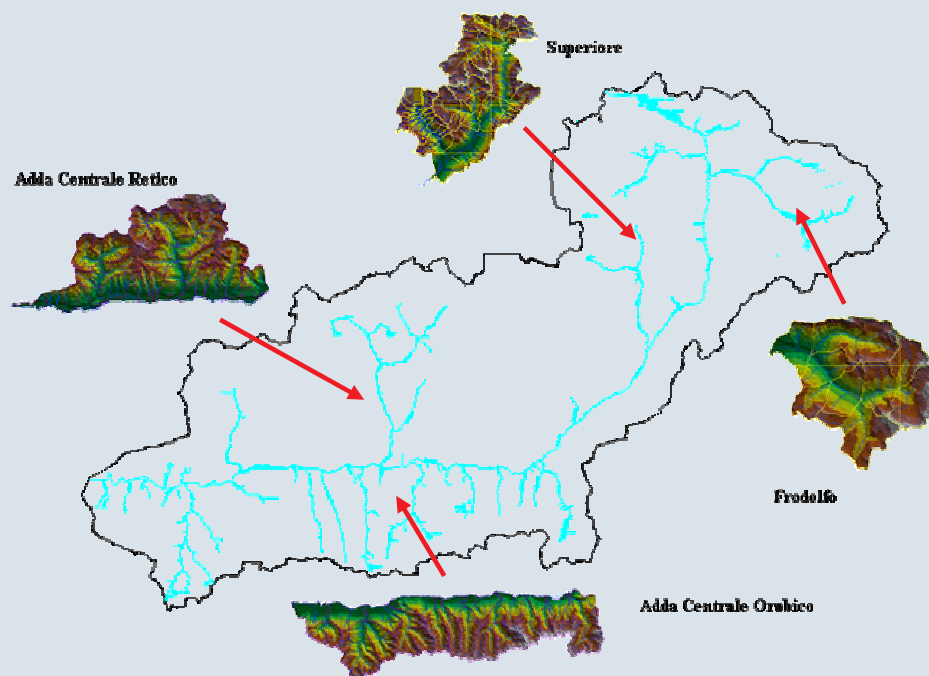
Tabella dei principali invasi presenti in Valtellina

SERBATOIO	SOTTOBACINO	Quota Coronamento (m slm)	Sup. Bacino (km ²)	Volume (Mm ³)	Corso d'acqua
SAN GIACOMO DI FRAELE	Superiore	1951.5	16.96	64	ADDA
CANCANO	Superiore	1902.0	32.32	124.1	ADDA
VAL GROSINA	Superiore	1212.5	60.64	1.34	ROASCO
FRERA	Centrale Orobico	1486.0	8.39	11.19	VENINA
SCAIS	Centrale Orobico	1496.0	17.45	9.06	CARONNO
ALTO MORA	Centrale Orobico	1548.3	0.89	4.17	INFERNO
LAGO DI TRONA	Centrale Orobico	1808.0	2.86	5.35	BITTO G
LAGO VENINA	Centrale Orobico	1824.0	1.54	5.18	LIVRIO
LAGO PESCEGALLO	Centrale Orobico	1863.3	0.92	1.1	BITTO G
LAGO INFERNO	Centrale Orobico	2088.0	27.98	50.1	BELVISO
LAGO PUBLINO	Centrale Orobico	2135.0	5.26	0.84	MORA
CAMPO MORO	Centrale Retico	1969.5	39.9	10.75	CORMOR
ALPE GERA	Centrale_Retico	2128.0	35.05	68.1	CORMOR

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



Distribuzione degli invasi nei sottobacini

SOTTOBACINO	Area Bacino km ² .	Invaso Mm ³	Area prese km ²
Superiore	172.06	189.62	322.90
Centrale Orobico	202.81	88.73	27.44
Centrale Retico	70.49	79.55	268.28

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007

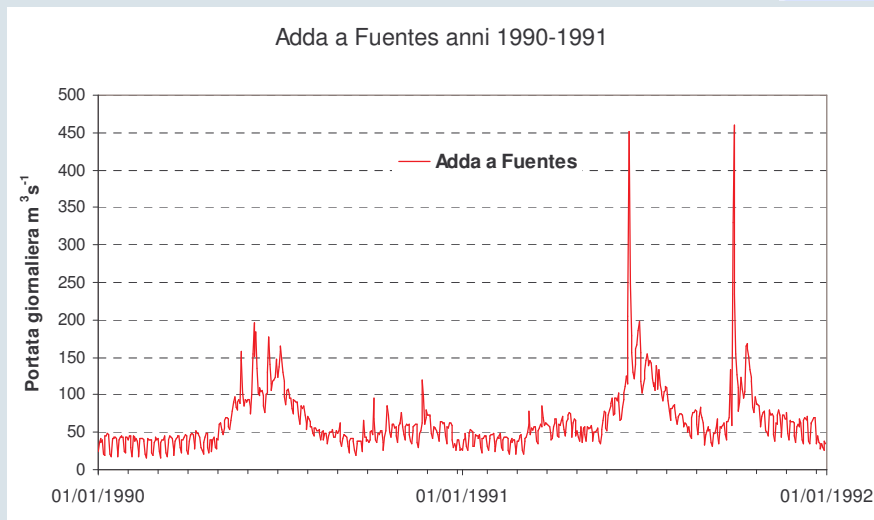


PRIMO EFFETTO DEI SERBATOI

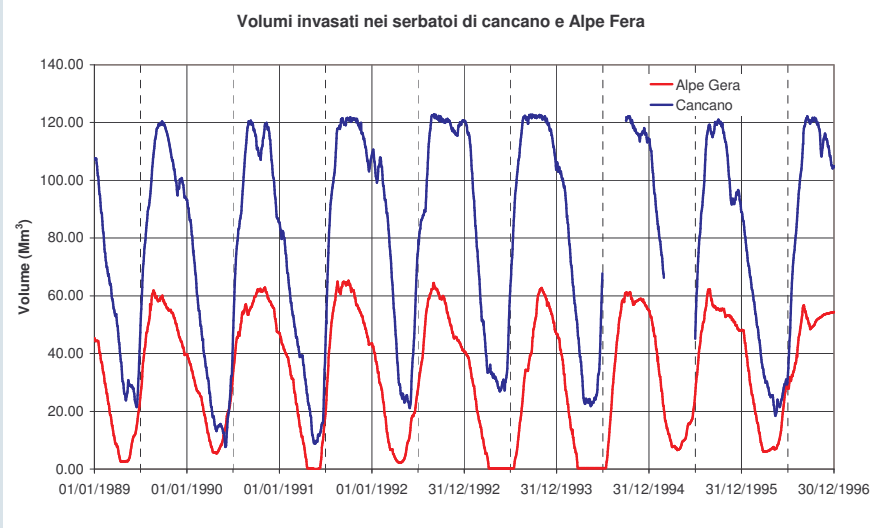
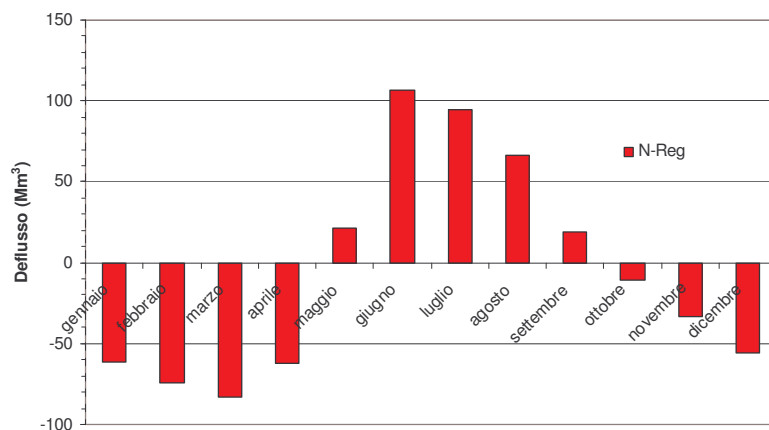
la modulazione del deflusso

L'acqua viene immagazzinata nei serbatoi da maggio a settembre (compresi) e restituita da ottobre ad aprile (compresi).

La frazione del deflusso totale naturale trattenuta temporaneamente nei serbatoi è comunque limitata ed è dell'ordine del 6 %



Differenza tra i deflussi mensili medi sul periodo 1959-2000



WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

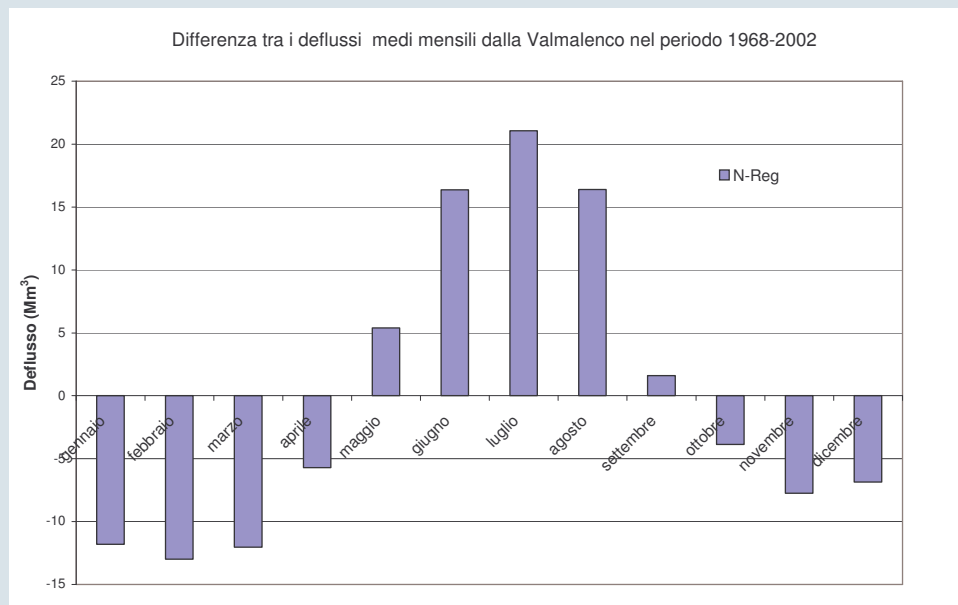
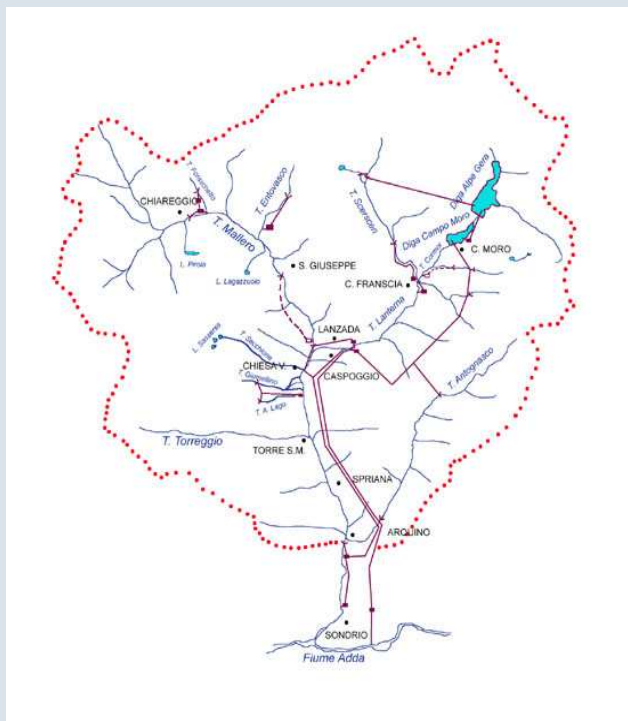
I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



Quanto descritto per l'intera Valtellina
si ripete per i bacini che la compongono.

Si riporta il caso della Valmalenco,
che contribuisce mediamente con circa l'8%
al deflusso totale annuo a Fuentes



Il deflusso medio annuo naturale a Sondrio, ricostruito mediante deregolazione
sul periodo 1968-2002 (Azzoni 2001), è stato stimato in 369.5 Mm³.

Il volume dei serbatoi è 79.5 Mm³

Il rapporto tra volume invasabile e deflusso annuo medio è circa il 21 %

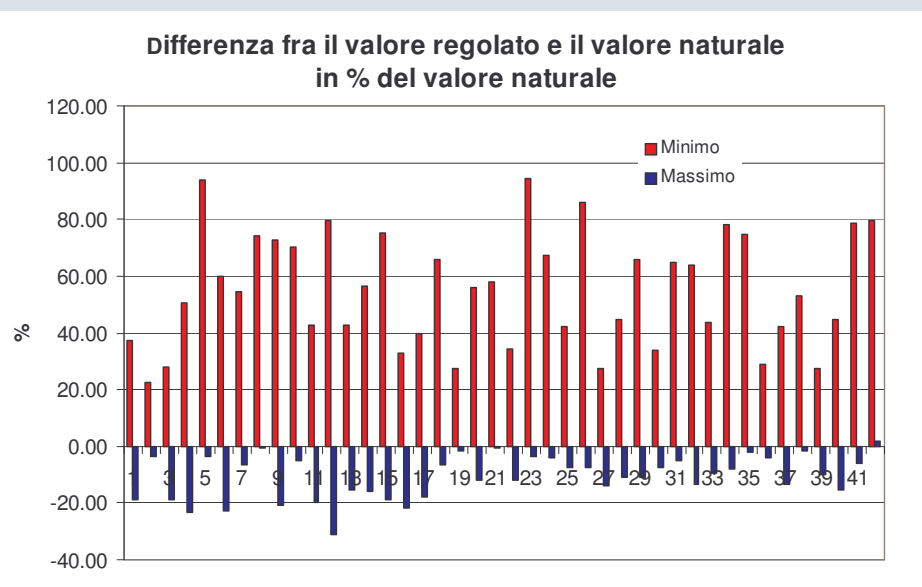
La frazione del deflusso totale naturale trattenuta temporaneamente nei
serbatoi è in questo caso dell'ordine del 16 %

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

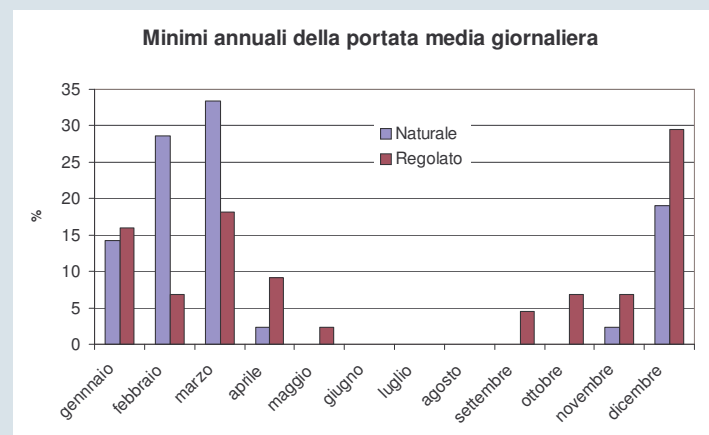
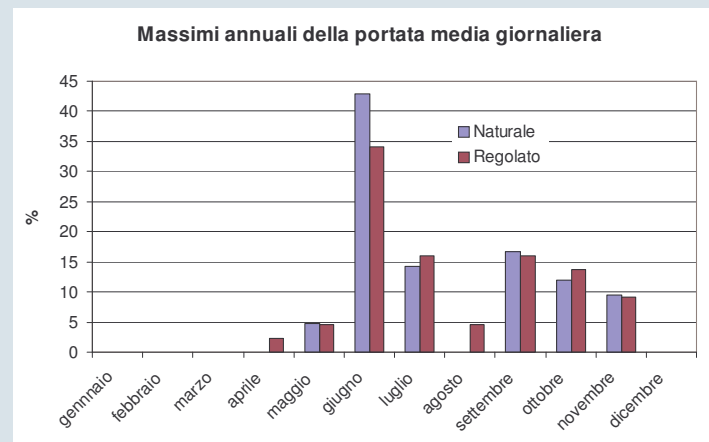
SECONDO EFFETTO DEI SERBATOI la modulazione dei massimi e dei minimi

La regolazione diminuisce il valore dei massimi e aumenta quello dei minimi:

se ci si riferisce al valore medio giornaliero la diminuzione del massimo è del 9.5 % e l'aumento del minimo è di circa il 52% del valore naturale



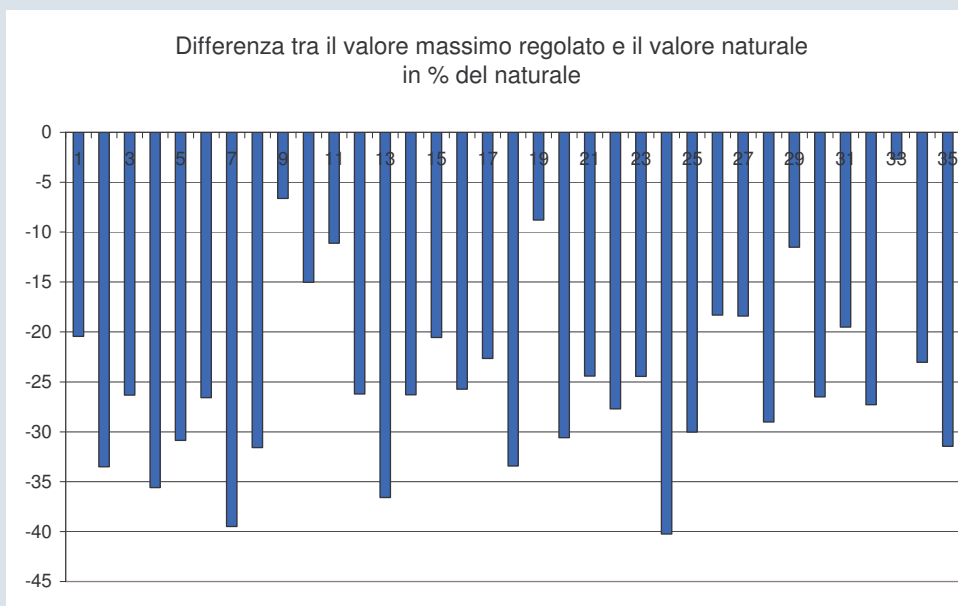
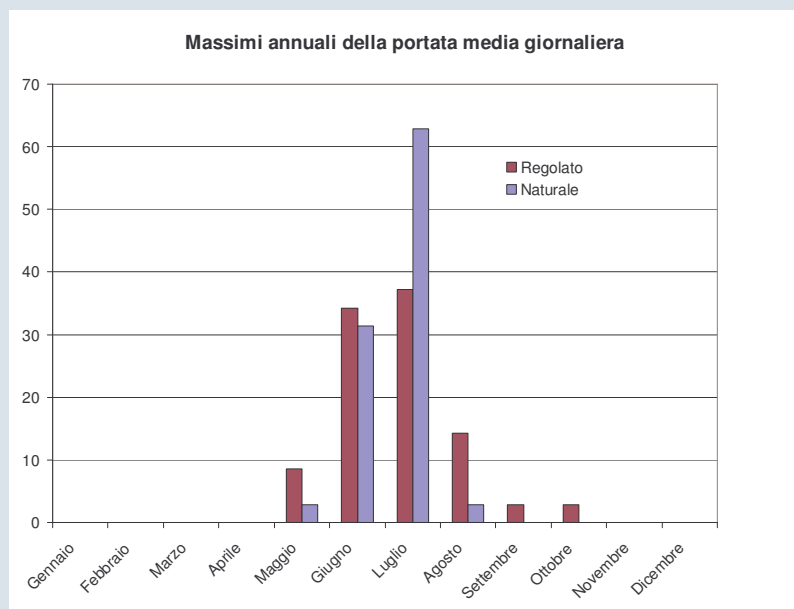
Sulla distribuzione dei massimi annuali di portata nei diversi mesi dell'anno la regolazione ha un effetto piuttosto modesto, mentre ha un effetto consistente sulla distribuzione dei minimi.



WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

Nel caso della Valmalenco l'effetto è del tutto analogo, anche se più accentuato:

la diminuzione del massimo in questo caso è quasi del 25 % del valore medio giornaliero



WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I ghiacciai della Valtellina

I quasi 195 ghiacciai della provincia di Sondrio, contati nel 1929, oggi sono ridotti a non più di 170, il che significa che venticinque ghiacciai sono scomparsi in soli quarant'anni. L'estensione media dei grandi ghiacciai della provincia è passata dai 130 km² del 1929 ai 110 km² attuali. Il ghiacciaio dei Forni che è il più esteso della zona, e supera decisamente con i suoi 20 km² di superficie e la sua lunghezza di oltre 5 km gli altri due giganti, il Fellaria orientale e lo Scerscen superiore (5-6 Km di lunghezza con 7-8 km² di superficie) dal 1925 ad oggi si è ritirato di circa 700 m e dal 1864 addirittura di due chilometri.

Le cause dell'attuale regresso glaciale (che risale al 1860) sono da ricondurre principalmente a due fattori determinanti e indispensabili per lo sviluppo e l'esistenza dei ghiacciai: la nevosità e la temperatura estiva.



WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

La copertura nevosa

La formazione della neve è legata alla temperatura dell'aria.

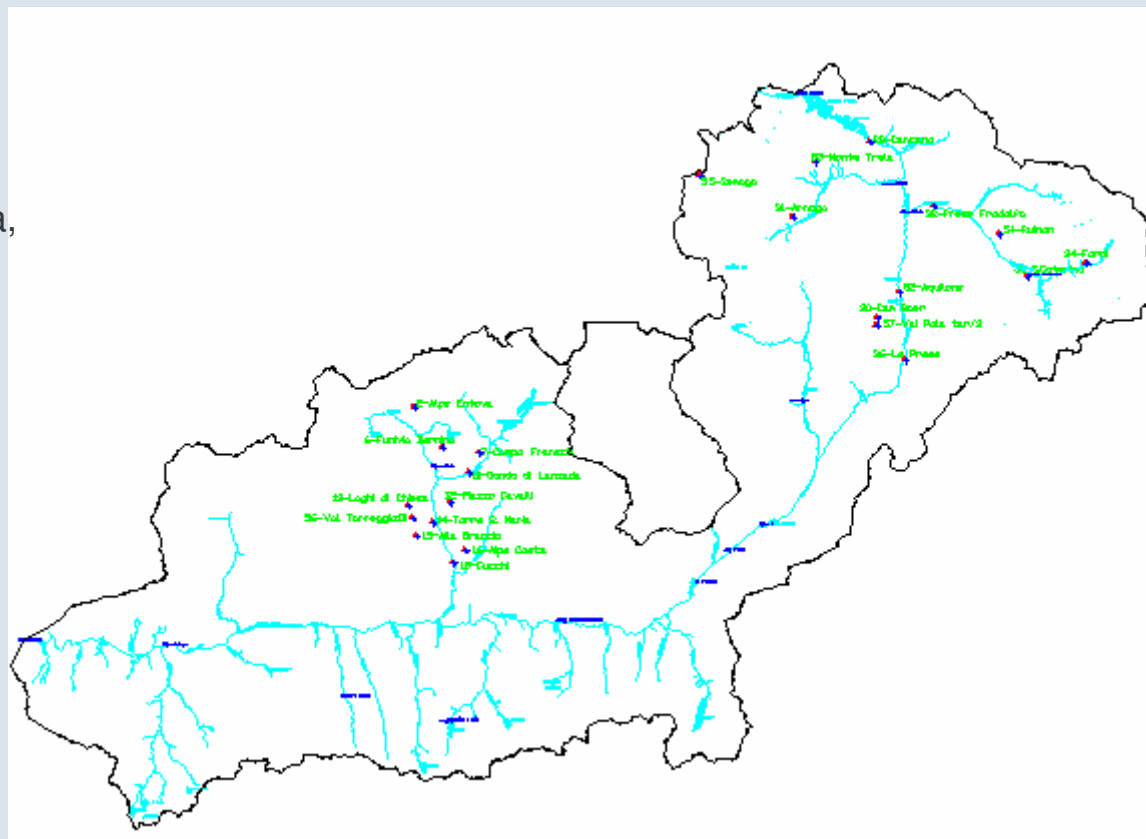
Le temperature medie mensili in Valtellina

Stazione	N	Quota	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Cucchi	18	660	2.4	3.1	6.1	7.6	10	11.9	15.8	16	11.8	9.3	5	2.3
Torre S. Maria	14	750	1.1	2.1	5.7	7	10	13.1	15	16.7	12.2	9.4	3.8	1.3
Le Prese	36	950	-0.2	1	4.6	6.9	11.1	13.6	16.3	16.4	10	6.8	2.4	0.1
Ganda di Lanzada	10	990	-1.4	-0.2	3.8	6.5	10.1	12.4	15.8	15.6	10.9	7.1	2.1	-1.3
Aquilone	52	1082	-0.4	0.6	2.7	5.1	9.3	10.4	10.8	11.1	8.6	6.6	2	0.8
Prese Frodolfo	32	1250	-2.3	-1.4	2.2	4	9.3	11.3	13.8	13.8	9.5	5.8	0.6	-1.9
Val Torreggio 1B	56	1283	-0.8	0.8	2.6	6.5	12.1	14.1	15.7	16.2	11.5	9.1	2.1	-1.4
Campo Frascaia	7	1525	-1.4	-1.5	1.1	2.6	5.9	8.2	11.8	12	7.4	5	0.7	-1.8
Laghi di Chiesa	13	1596	-4.2	-3.1	0.1	1.4	5.5	7.8	9.8	10.1	6.3	3.7	-1.7	-4.8
Semogo	55	1600	-2.1	-0.9	1.2	2.4	7.5	9.1	10.4	9.2	7.9	4.9	-0.8	-2.7
Alla Braccia	15	1650	-1.9	-1.5	1.2	2.7	6.8	9.4	12.7	13	8.2	5.5	0.3	-2.4
Alpe Costa	16	1672	-1.7	-1.8	0.1	1.1	4.5	6.6	9.4	8.8	5.9	4.7	0.1	-2
Piazzo Cavalli	12	1719	-1.6	-1.5	0.7	2	6.4	8.9	12.2	12.6	7.9	5.5	0.4	-2.1
S.Caterina	33	1730	-6.7	-5.3	-0.7	1.2	7.4	9.8	12.7	12.5	7.5	3.7	-2.9	-6.4
Alpe Entova	2	1905	-2.6	-2.3	-0.1	1.3	5.7	8.1	11.4	11.8	7.2	4.8	-0.3	-2.9
Cancano	28	1930	-5.5	-5.1	-1.8	-0.5	5.4	7.8	10.7	11	6.5	3.3	-2.6	-5.4
Funivia Bernina	6	2014	-4.6	-4	-1.1	0.4	4.8	7.5	10.6	11	6.3	3.8	-1.6	-4.8
Cam Boer	30	2114	-3.2	-3.4	-1.6	-0.2	4.5	4.8	8.6	9.3	5.7	2.9	-1.8	-3.9
Ruinon	54	2140	-5.7	-5.4	-2.1	-0.6	5.6	7.9	9.3	10.5	6	3.8	-2.7	-5.4
Monte Trela	53	2150	-4.4	-2.8	-2.5	-2.1	2.5	3.8	6.4	7.7	4.2	1.6	-4.8	-6.2
Forni	34	2180	-4.8	-4.7	-1.9	-0.6	4.9	7.5	10.8	10.7	5.6	3	-2.9	-5.4
Val Pola tar/3	57	2330	-1.8	-2.6	-1.4	-1	3.8	6.8	9.9	8.6	5.4	3.3	-1	-2.8

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

La copertura nevosa

Dall'analisi dei valori di temperatura media mensile in 22 stazioni di misura, distribuite a quote diverse sul bacino, e dalle curve ipsografiche è stato ricavato un grafico che mostra come da novembre ad aprile più del 70% dell'area si trovi a temperatura inferiore ai 2 C°.



Ciò significa che la probabilità che la precipitazione in Valtellina in quel periodo sia nevosa è molto elevata.

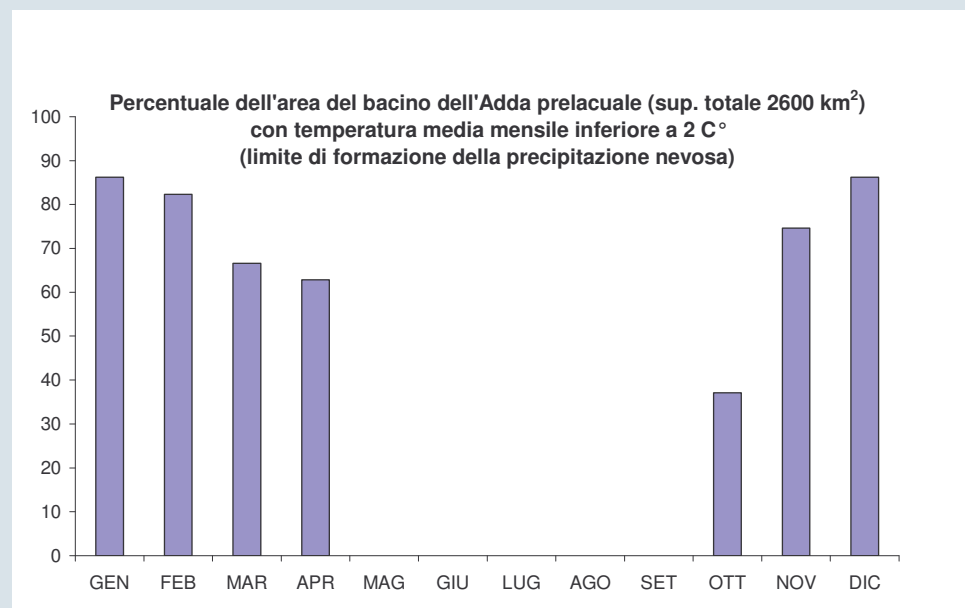
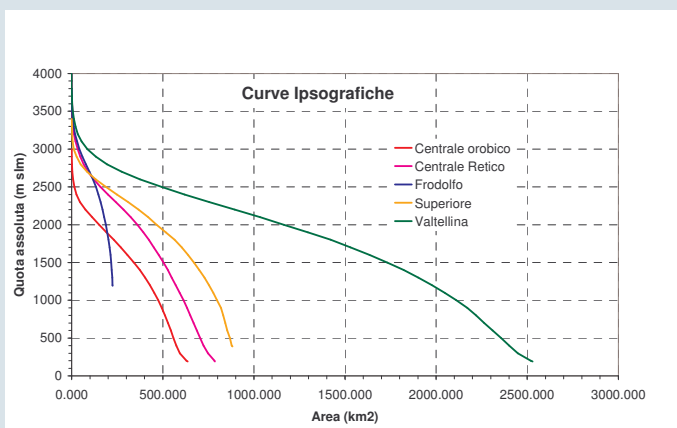
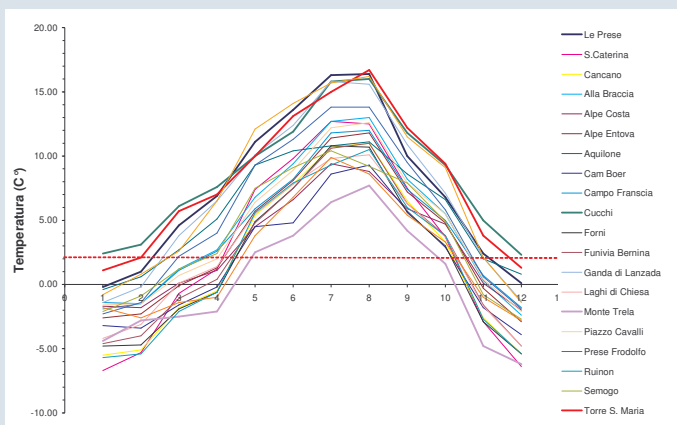
WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



La copertura nevosa



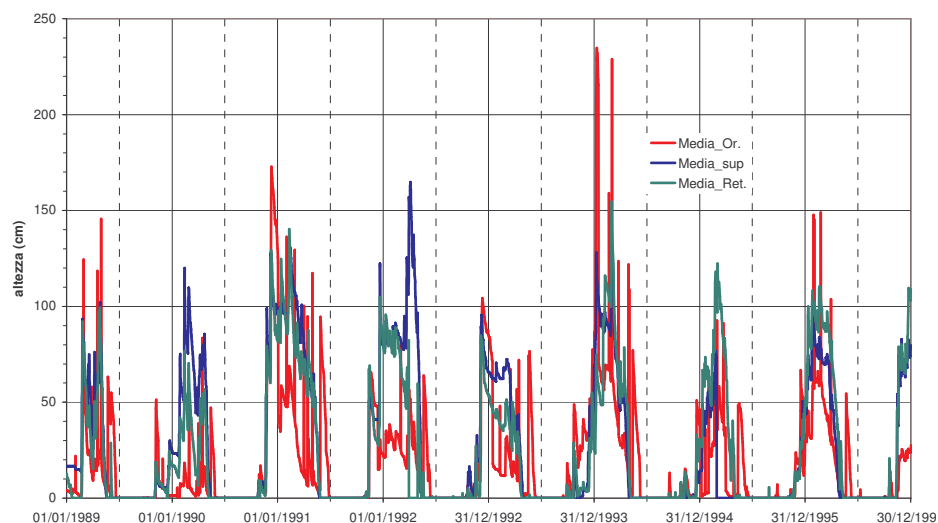
WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

La copertura nevosa

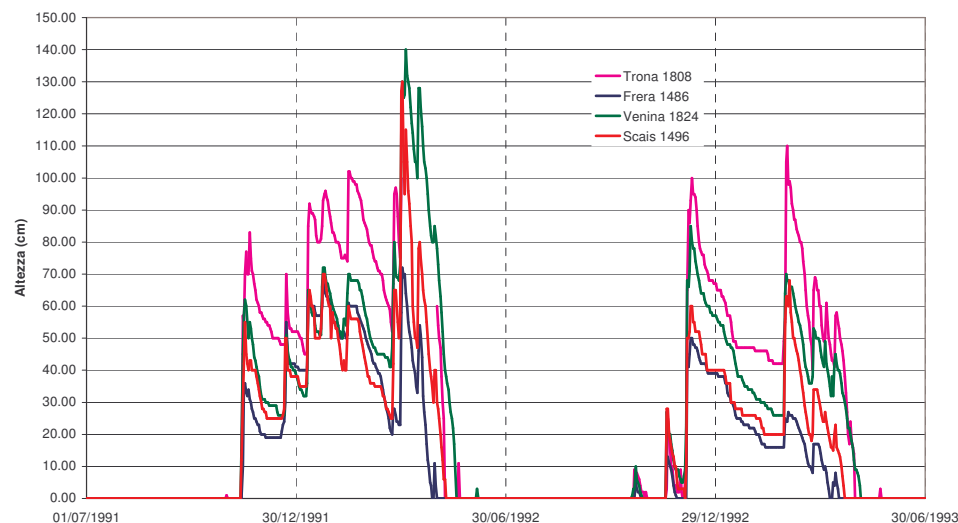
Nella figura si mostra l'andamento dell'altezza di neve al suolo nei tre sottobacini Centrale Orobico, Centrale Retico e Superiore, misurata in corrispondenza degli invasi; le misure sono state fornite dal R.I.D. (Registro Italiano Dighe).

I valori sono ragguagliati all'area totale tenendo conto dell'area dei bacini sottesi alle singole dighe
La quantità di neve ragguagliata aumenta con la quota.

Altezza neve al suolo in corrispondenza degli sbarramenti



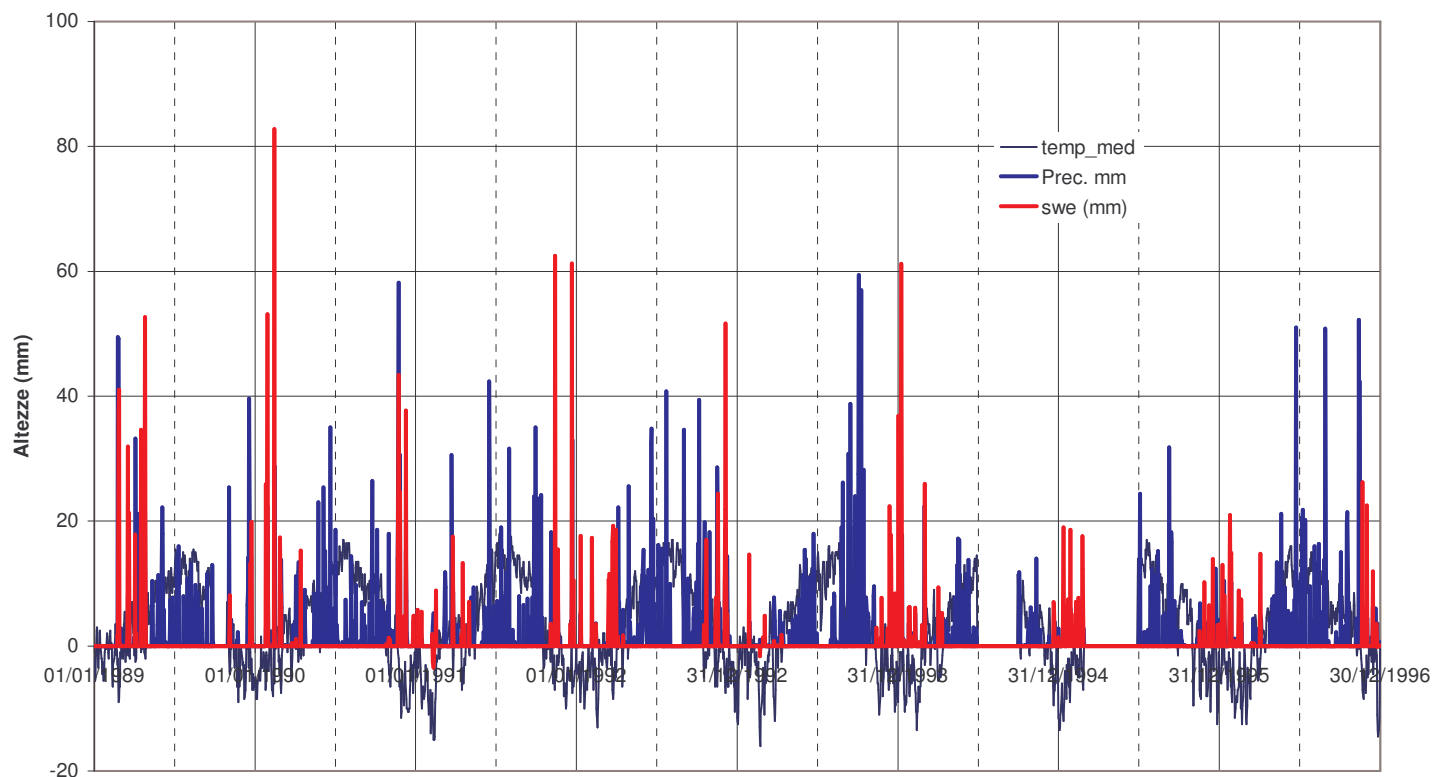
Altezza neve al suolo in corrispondenza di alcuni serbatoi nel sottobacino Centrale Orobico



WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

La copertura nevosa

Precipitazione misurata a Cancano
Calcolo dello S.W.E. utilizzando l'altezza di neve misurata



Utilizzando le misure di precipitazione totale e di altezza di neve al suolo è possibile calcolare l'altezza di neve giornaliera e il suo equivalente in acqua SWE(mm).

La variazione dell'altezza di neve suolo dipende anche dal vento e da altri fattori che causano e modificano l'accumulo

La stima della quantità di neve caduta non è esente da errori

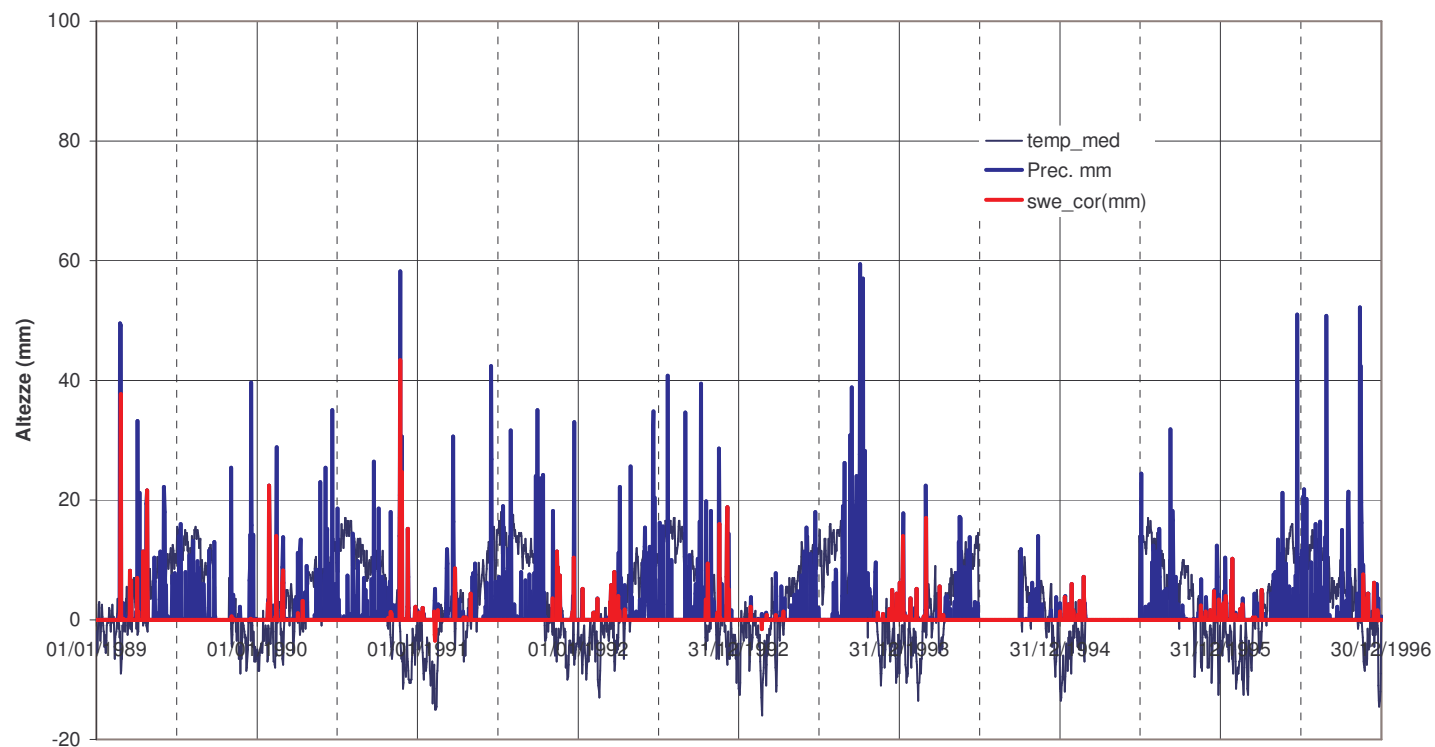
WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



Precipitazione misurata a Cancano
Calcolo dello S.W.E. con correzione dell'altezza di neve misurata



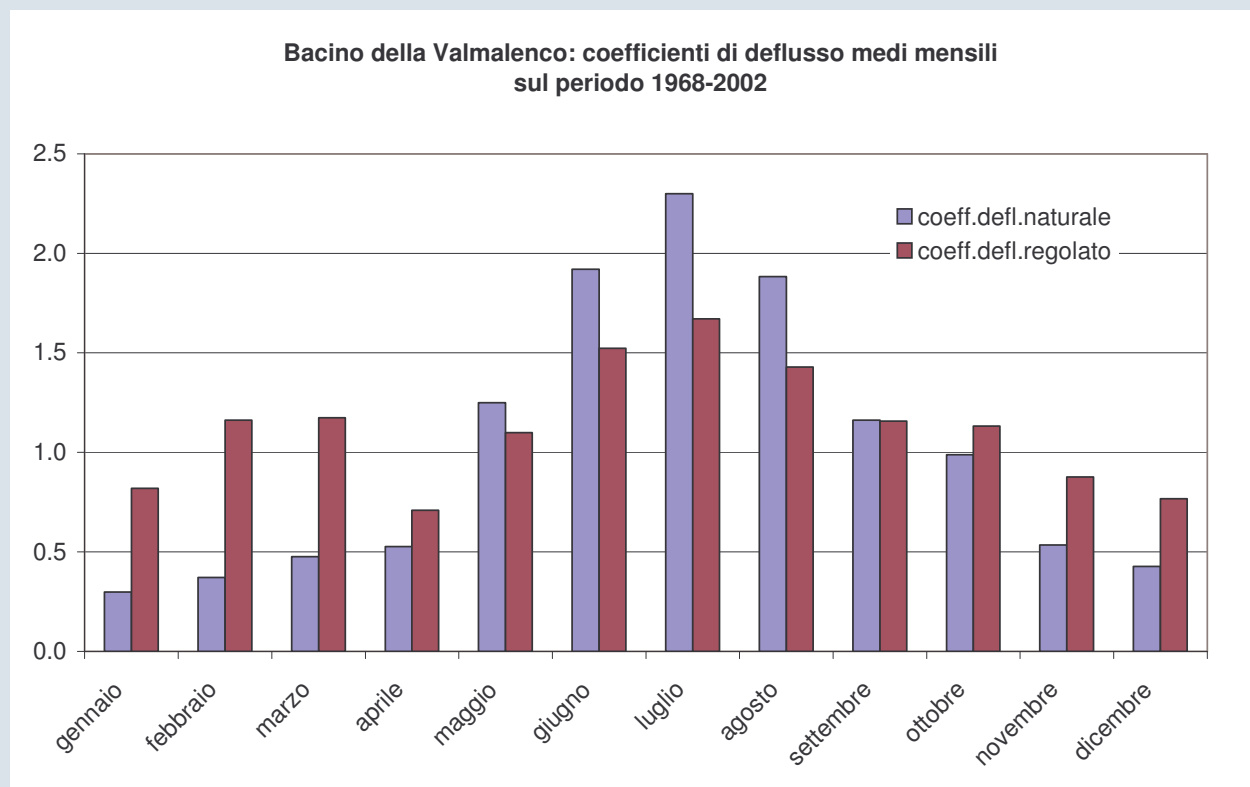
WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



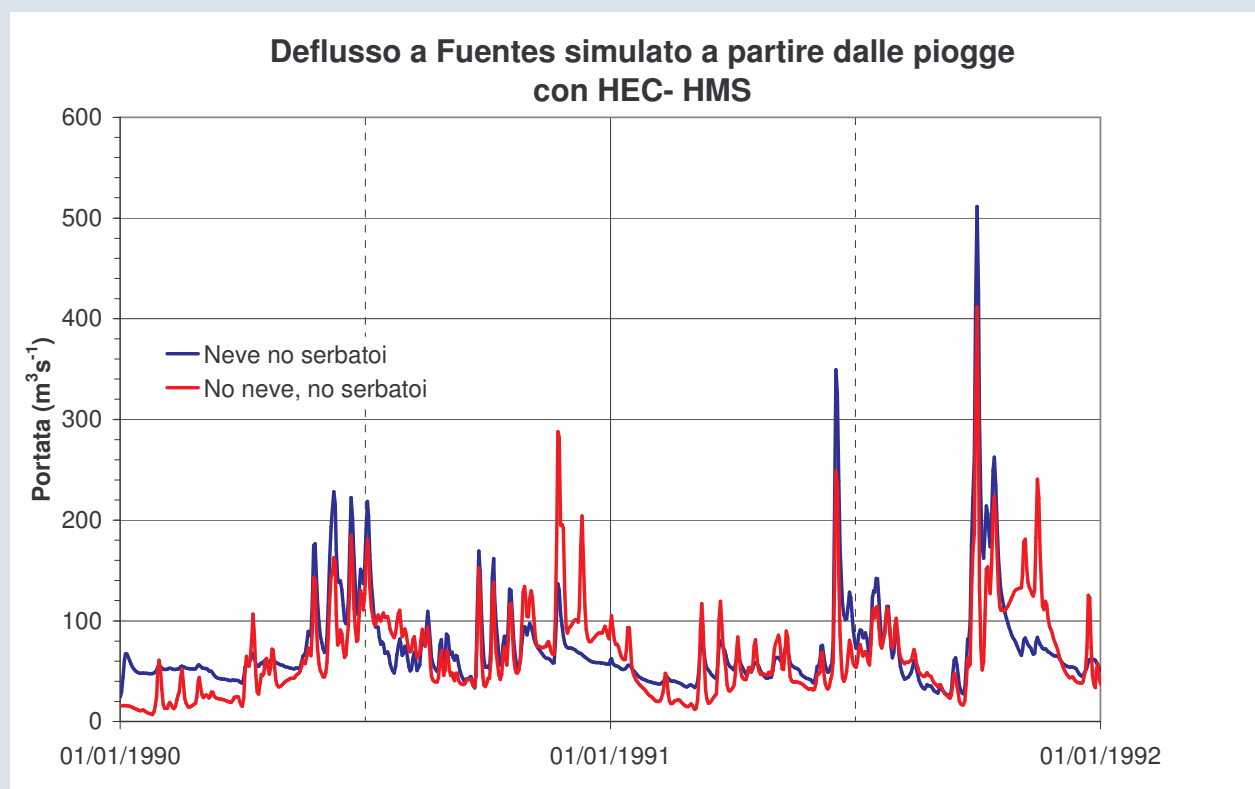
L'importanza del contributo nivale e glaciale è quantificabile osservando come il coefficiente di deflusso nei mesi estivi (giugno –settembre) sia sempre > 1 . Si riporta il caso della Valmalenco, nella quale si trovano tra l'altro alcuni tra i più grandi ghiacciai della Valtellina



WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I modelli di trasformazione afflussi-deflussi sono in grado di simulare la formazione e lo scioglimento del manto nevoso.

Il sistema “Valtellina” viene studiato con il modello HEC-HMS



HEC –HMS utilizza per lo scioglimento il metodo del grado giorno:

$$M_s = C_m (T_a - T_b)$$

M_s : scioglimento (mm/d)

C_m : tasso di scioglimento
(mm/°C giorno)

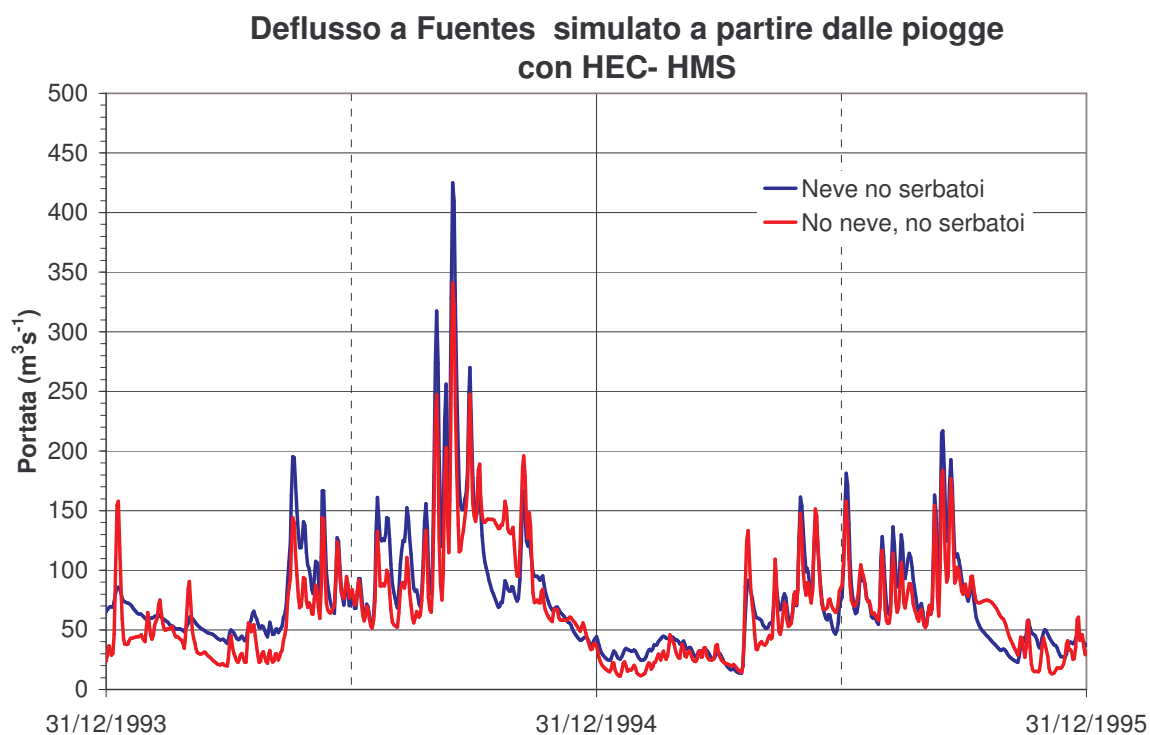
T_a : temperatura dell'aria

T_b : temperatura di base

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



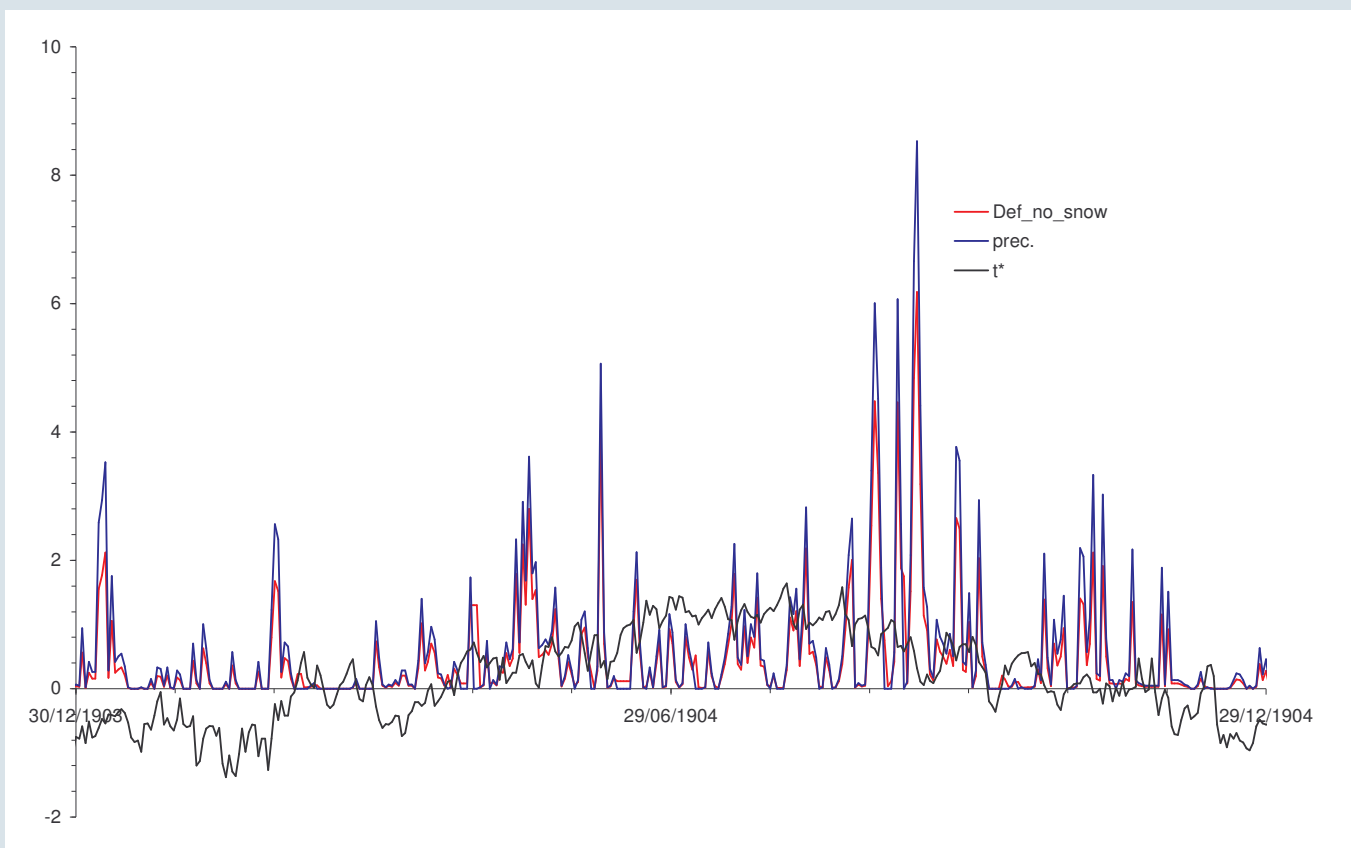
WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



Con un modello semplificato è stata simulata la formazione del deflusso sui bacini che alimentano gli invasi artificiali allo scopo di tarare il modulo “Serbatoi” del sistema Valtellina



Dai risultati della simulazione è possibile osservare le varie componenti dell'afflusso e del deflusso e verificare l'effettiva importanza della formazione e dello scioglimento del manto nevoso.

NB

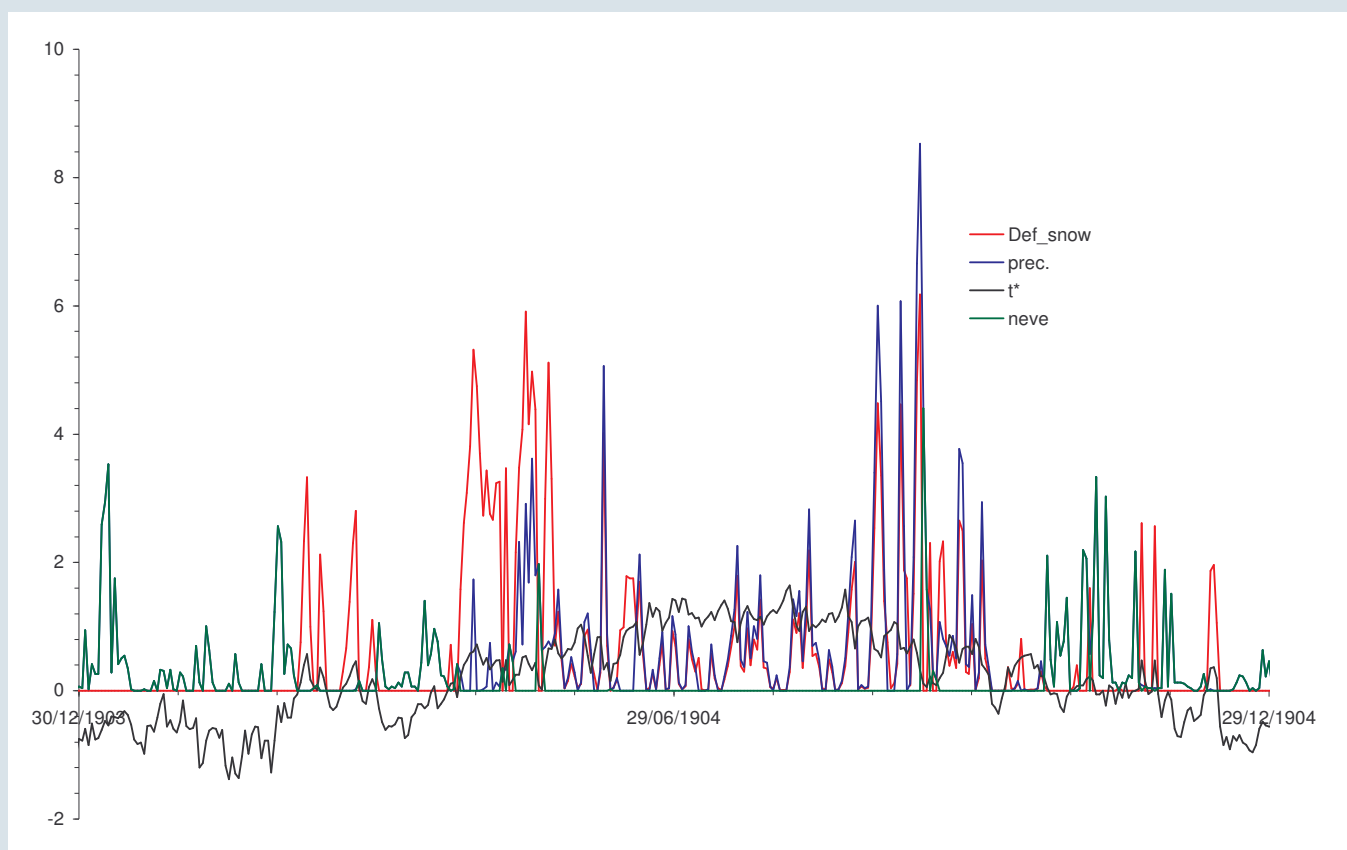
t^* è in $^{\circ}\text{C}/10$
per questioni di scala

Senza neve

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLE RISORSE IDRICHE NELLA REGIONE LOMBARDIA

Università Milano-Bicocca, Milano 21 Novembre 2007



Con neve

WKP2 - Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso.

