

Effetti del cambiamento climatico sul ciclo idrologico a scala di bacino

Alberto Bellin

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

e

*Centro Universitario per la Difesa del Territorio Montano
(CUDAM)*

Università di Trento



UNIVERSITY OF
TRENTO



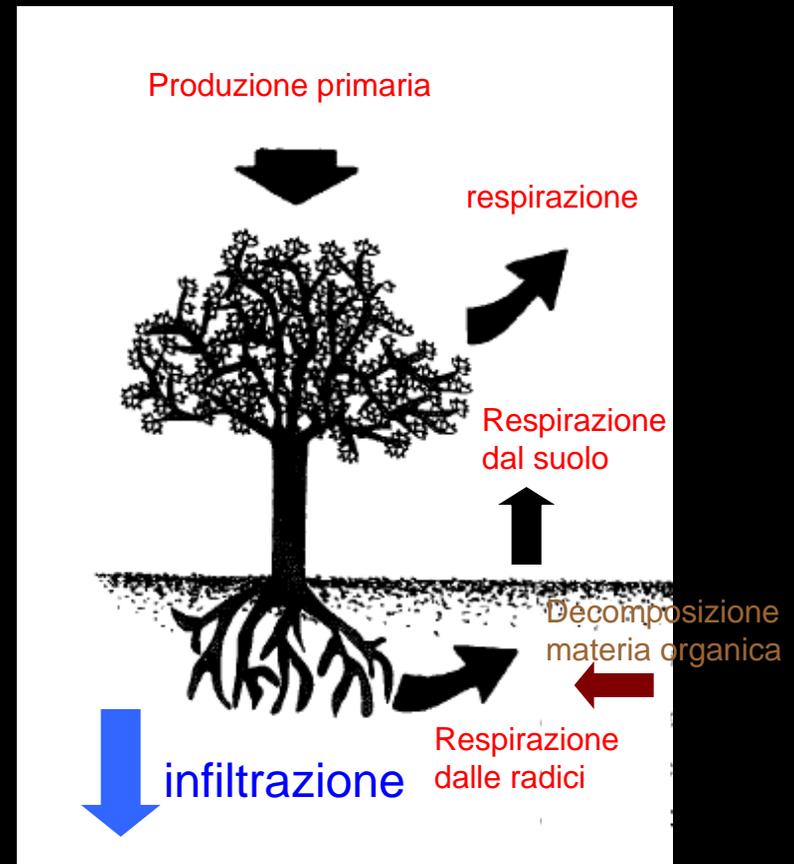
TRENTINO CLIMA 2008



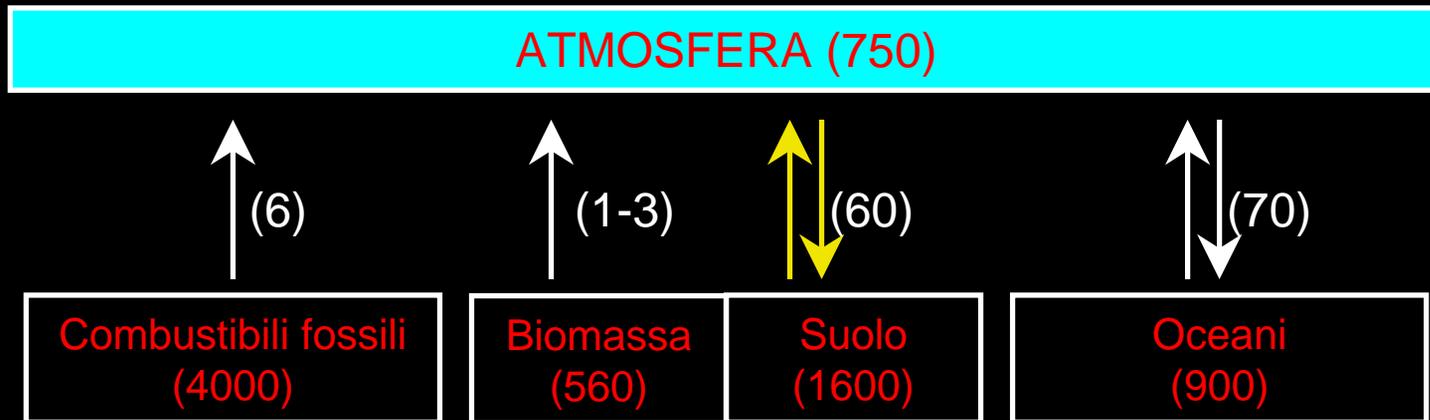
Alberto.Bellin@unitn.it

Clima e ciclo idrologico

- Il ciclo idrologico è intimamente legato al ciclo del carbonio e dell'azoto. Sono presenti importanti effetti di retroazione controllati dal contenuto d'acqua nello strato attivo di suolo (rizosfera);
- L'ecosistema evolve adattandosi alle condizioni climatiche e pedologiche locali che a scala continentale influenzano il bilancio della CO₂.
- In questo contesto la dinamica dell'umidità del suolo gioca un ruolo cruciale;
- Nonostante la sua importanza l'umidità del suolo è raramente monitorata



Clima e ciclo idrologico (continua)



Serbatoi: 1 unità = 10^{12} kg

Flussi: 1 unità = 10^{12} kg/anno



Il ciclo idrologico



UNIVERSITY OF
TRENTO



PROVINCIA AUTONOMA
DI TRENTO



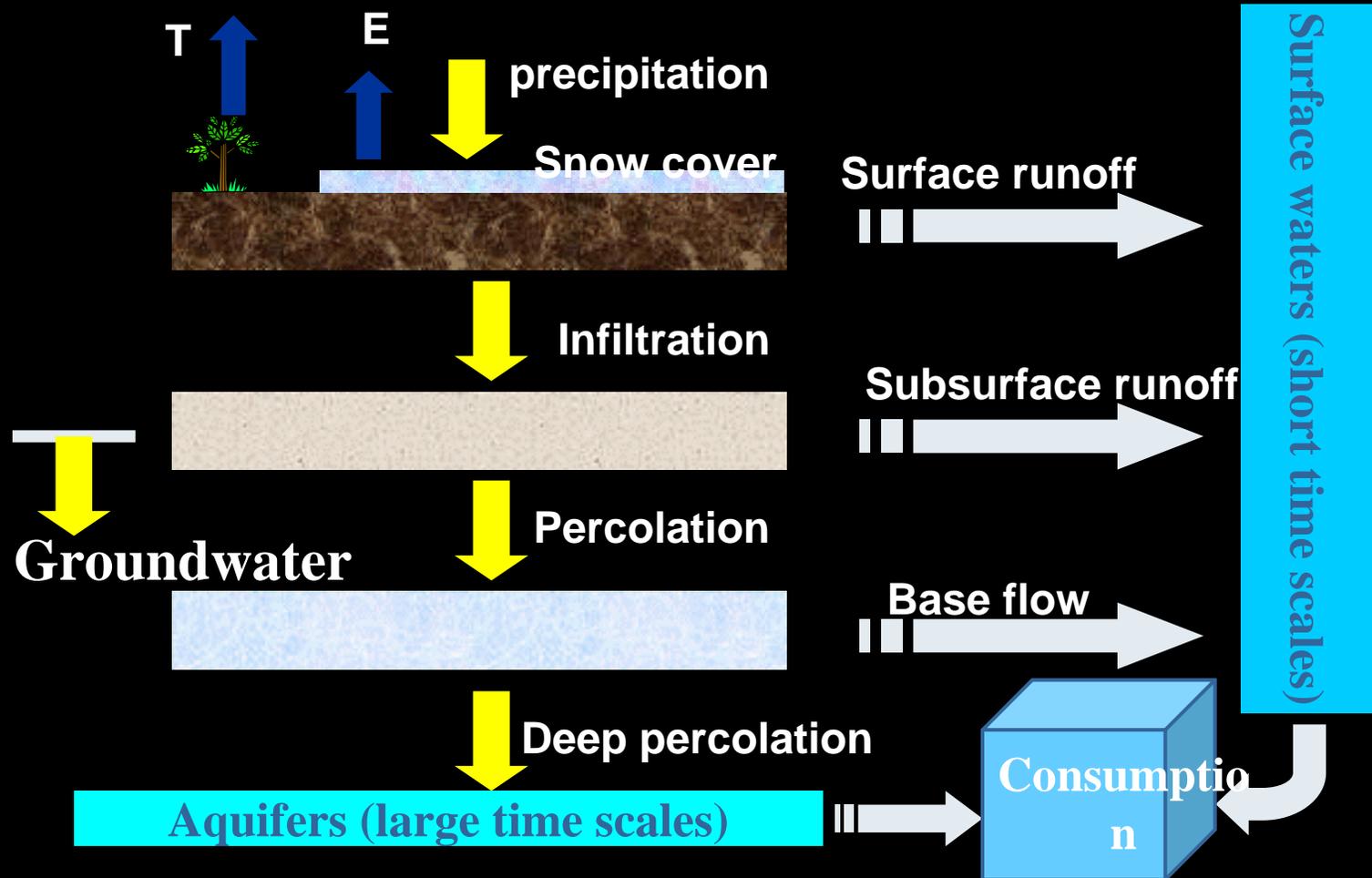
MUSEO TRENINO
DI SCIENZE NATURALI

TRENTINO CLIMA 2008

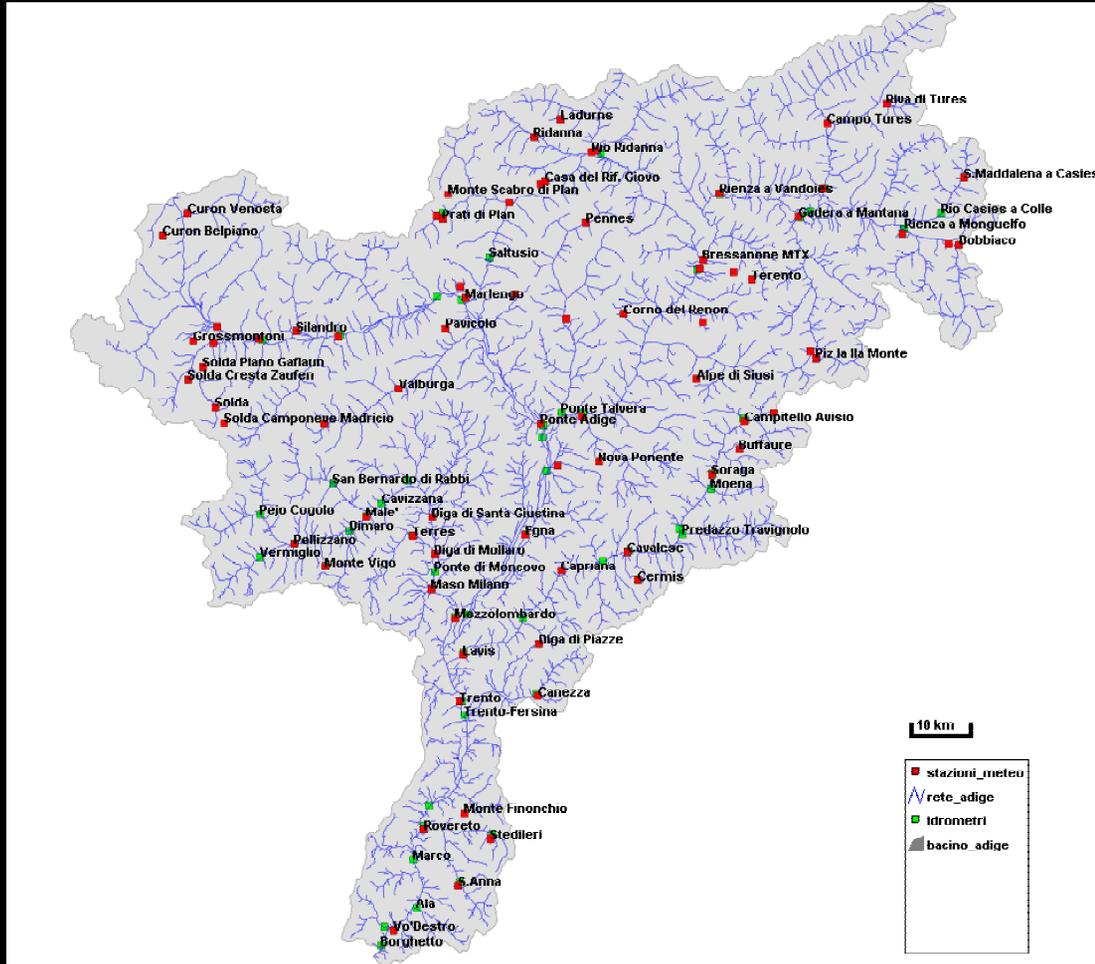


Alberto.Bellin@unitn.it

Water Balance



Il bacino dell'Adige



Schema elaborato da
HydroloGIS
<http://www.hydrologis.com/>



UNIVERSITY OF
TRENTO

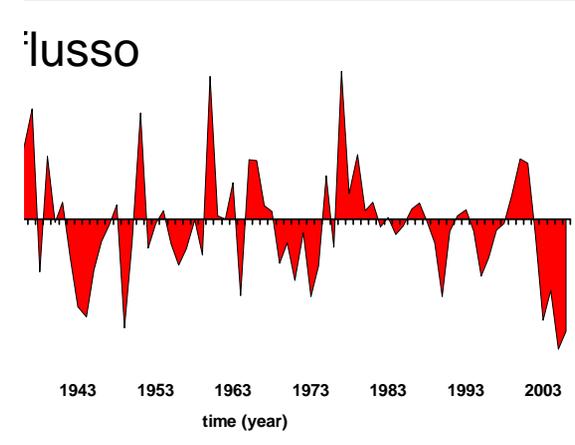
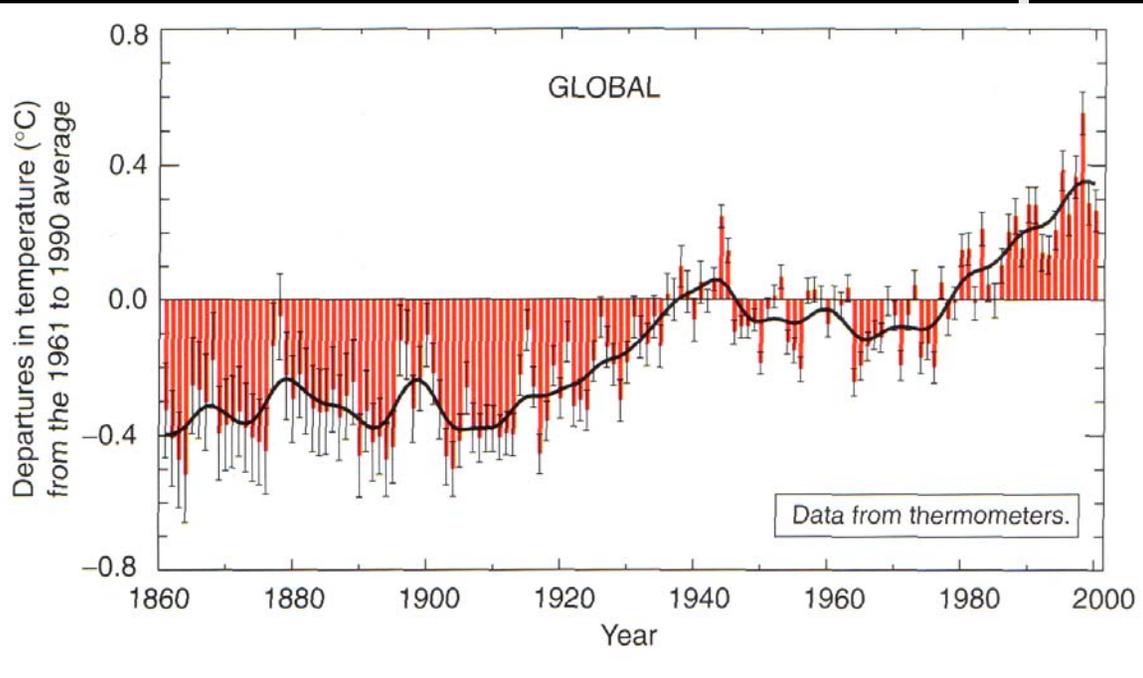


TRENTINO CLIMA 2008

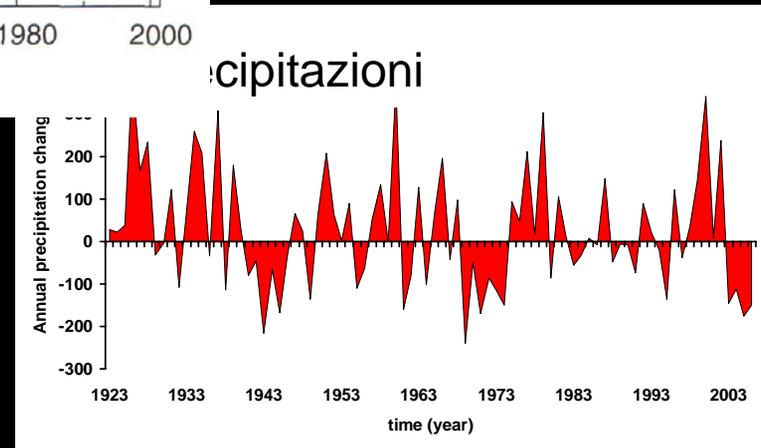


Alberto.Bellin@unitn.it

Serie temporali

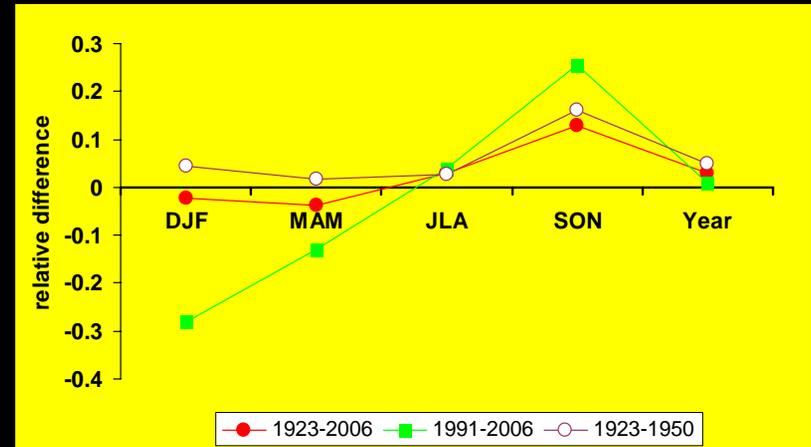
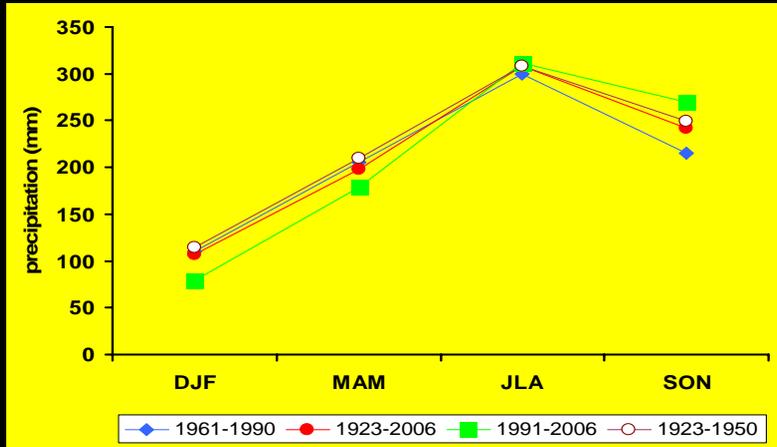


medie mensili del bacino dell'Adige dalla media del periodo (1961-1990)

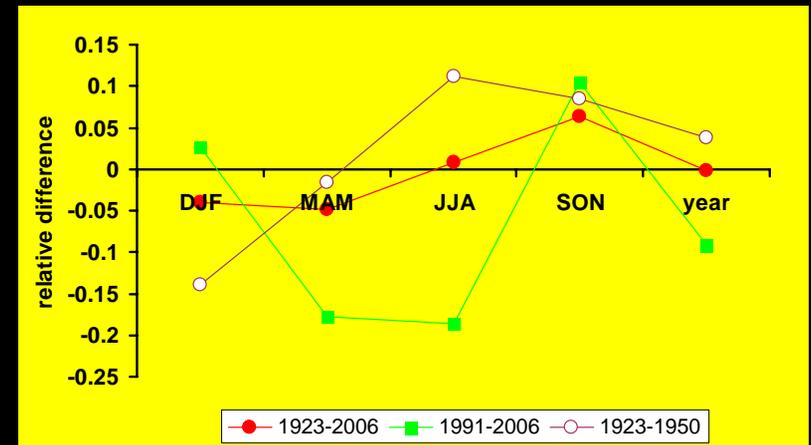
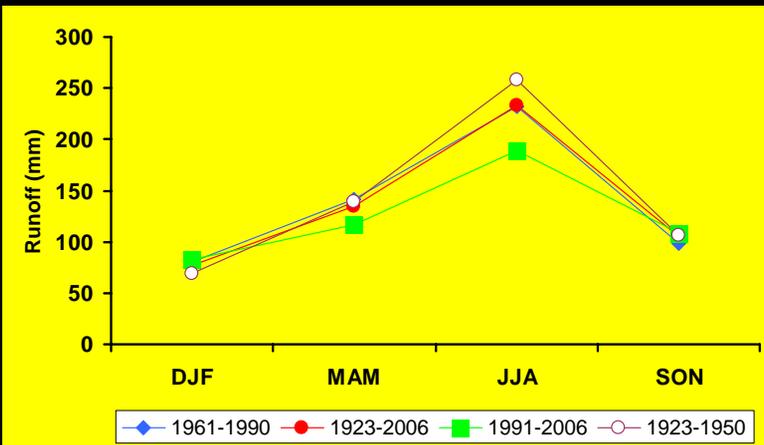


Medie stagionali

Precipitazioni



Deflusso



Analisi dei Trend

- **Mann Kendall**

- Dalla serie di dati indipendenti si ricava una seconda serie che contiene il numero d'ordine (ranking)



$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x) &= 1 \quad \text{for } x > 0 \\ \text{sgn}(x) &= 0 \quad \text{for } x = 0 \\ \text{sgn}(x) &= -1 \quad \text{for } x < 0 \end{aligned}$$



Analisi dei trend (continua)

Se le misure sono indipendenti il parametro S risulta distribuita in modo Normale con media e scarto quadratico medio che assumono i seguenti valori

$$\mu = 0$$

$$\sigma = n(n-1)(2n+5)/18$$

Viene quindi definita la seguente statistica:

$$z = |S| / \sigma^{0.5}$$

SE

$$z > Z_{cr}$$

Il test è verificato

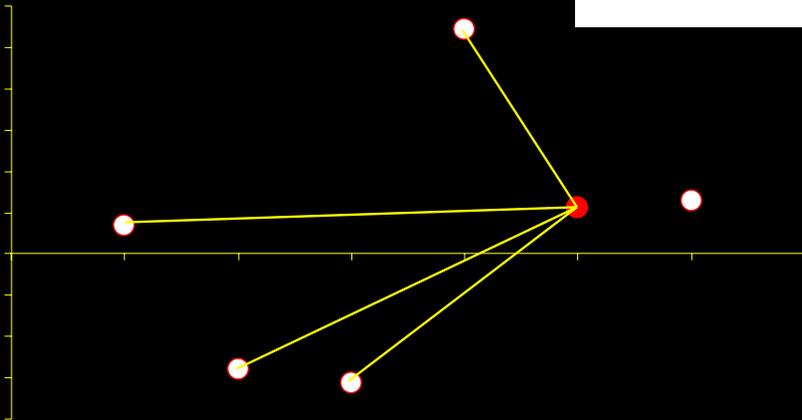
$$y_{detect} = \left[\frac{12\sigma^2}{\tau^2} (W_{1-\alpha/2} - W_\beta)^2 \right]^{1/3}$$



Analsi dei Trend (continua)

Il trend si approssima con la mediana delle pendenze secondo la seguente espressione:

$$b = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_l}{j - l} \right) \forall l < j$$



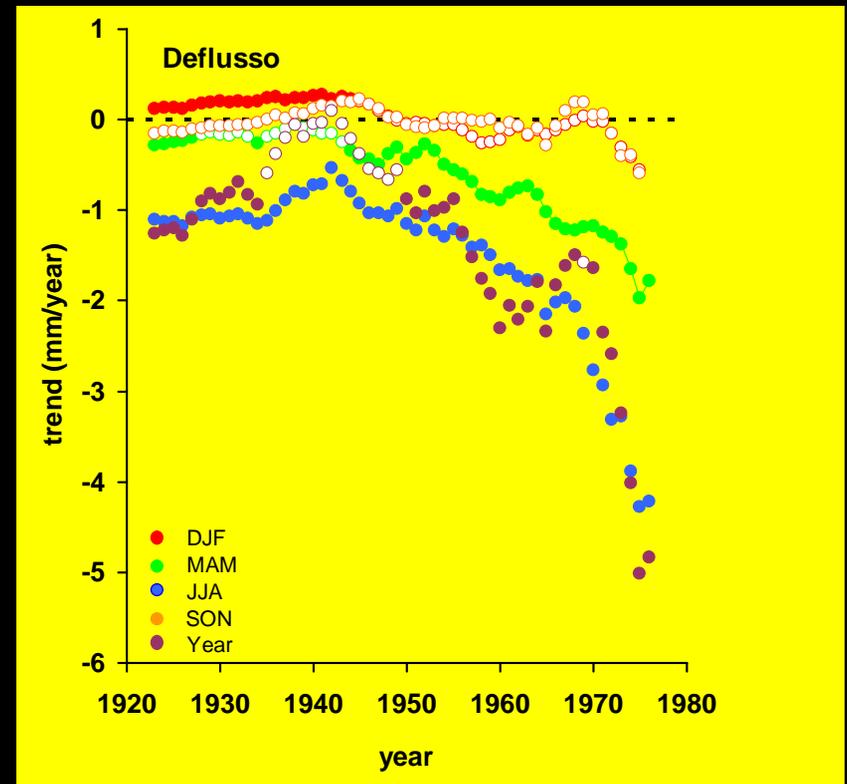
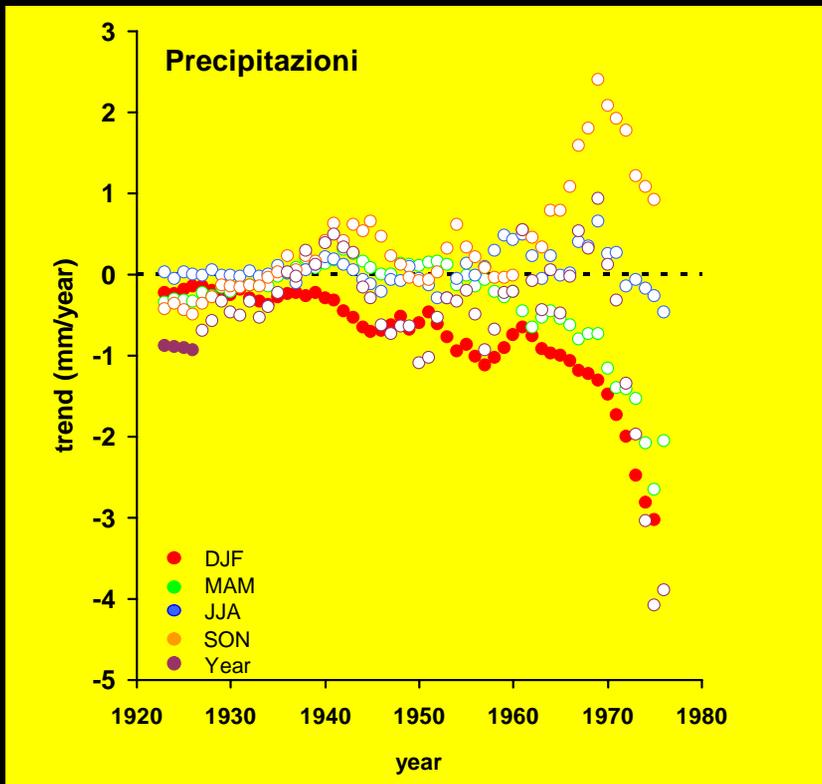
Se la correlazione a “lag” unitario è superiore a 0.05 il trend stimato viene rimosso e l’analisi viene poi ripetuta sulla serie risultante (prewhithening)

$$h_{pw}(i) = \frac{h(i) - \rho_1 h(i - 1)}{1 - \rho_1}$$



Analisi dei Trend (risultati)

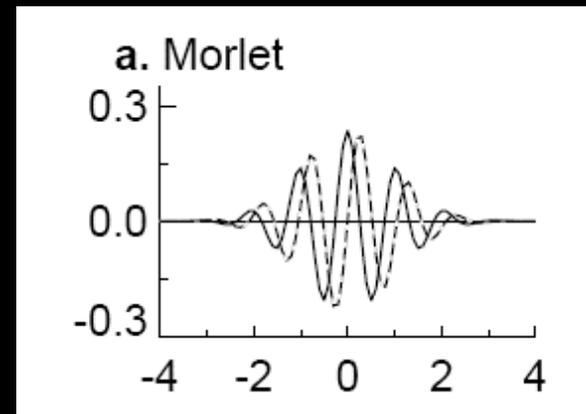
5 mm/anno  1.7 m³/s anno



Analisi mediante wavelets (ondine)

- Trasformate wavelets: sono degli oggetti matematici che consentono di evidenziare i modi di variare di un segnale con maggiore efficacia rispetto alle classiche trasformate di Fourier
- Sono particolarmente adatte per trattare segnali statisticamente non stazionari
- Consentono di analizzare il segnale come con una lente diversa per ogni periodo di variazione

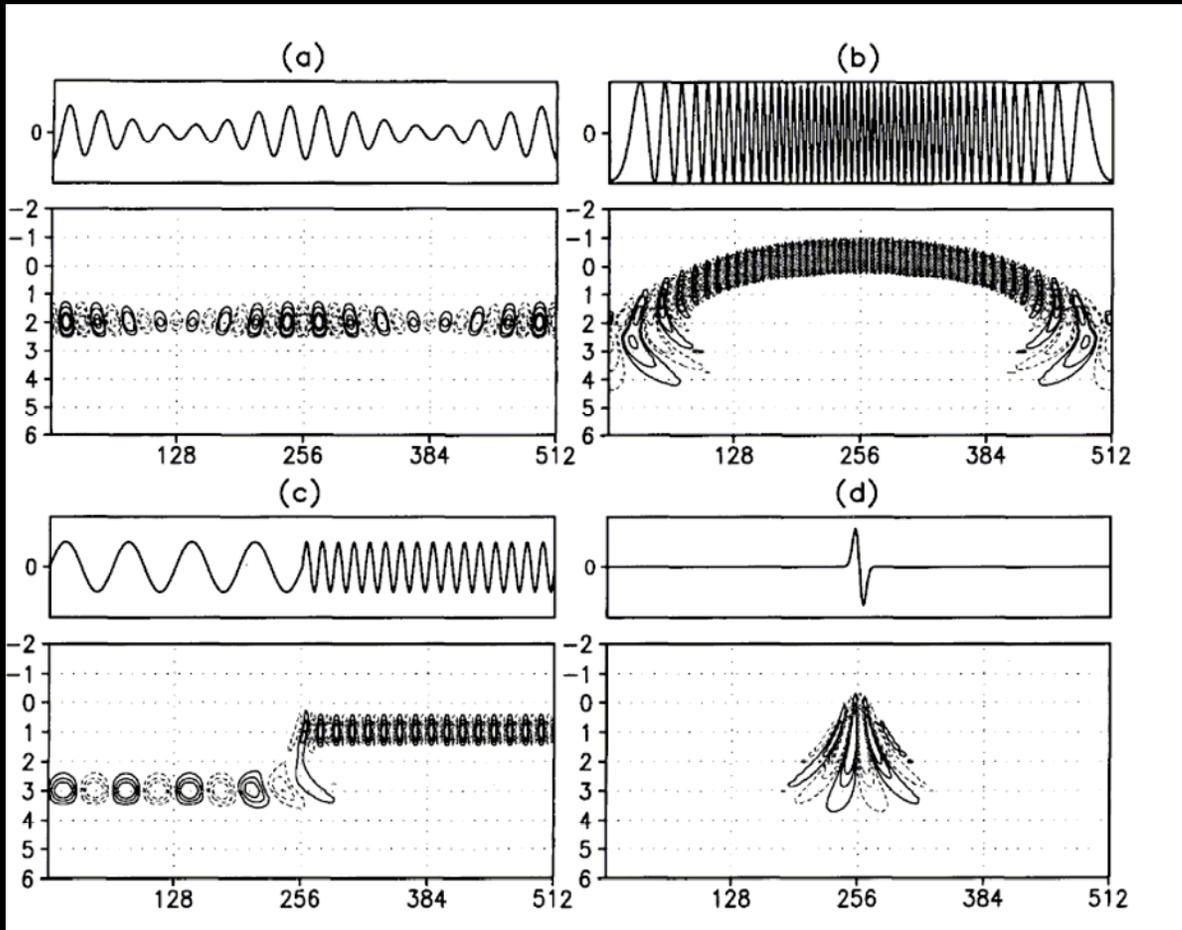
$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi * \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right]$$



$$S_n(s) = |W_n(s)|^2$$



Wavelets (continua)

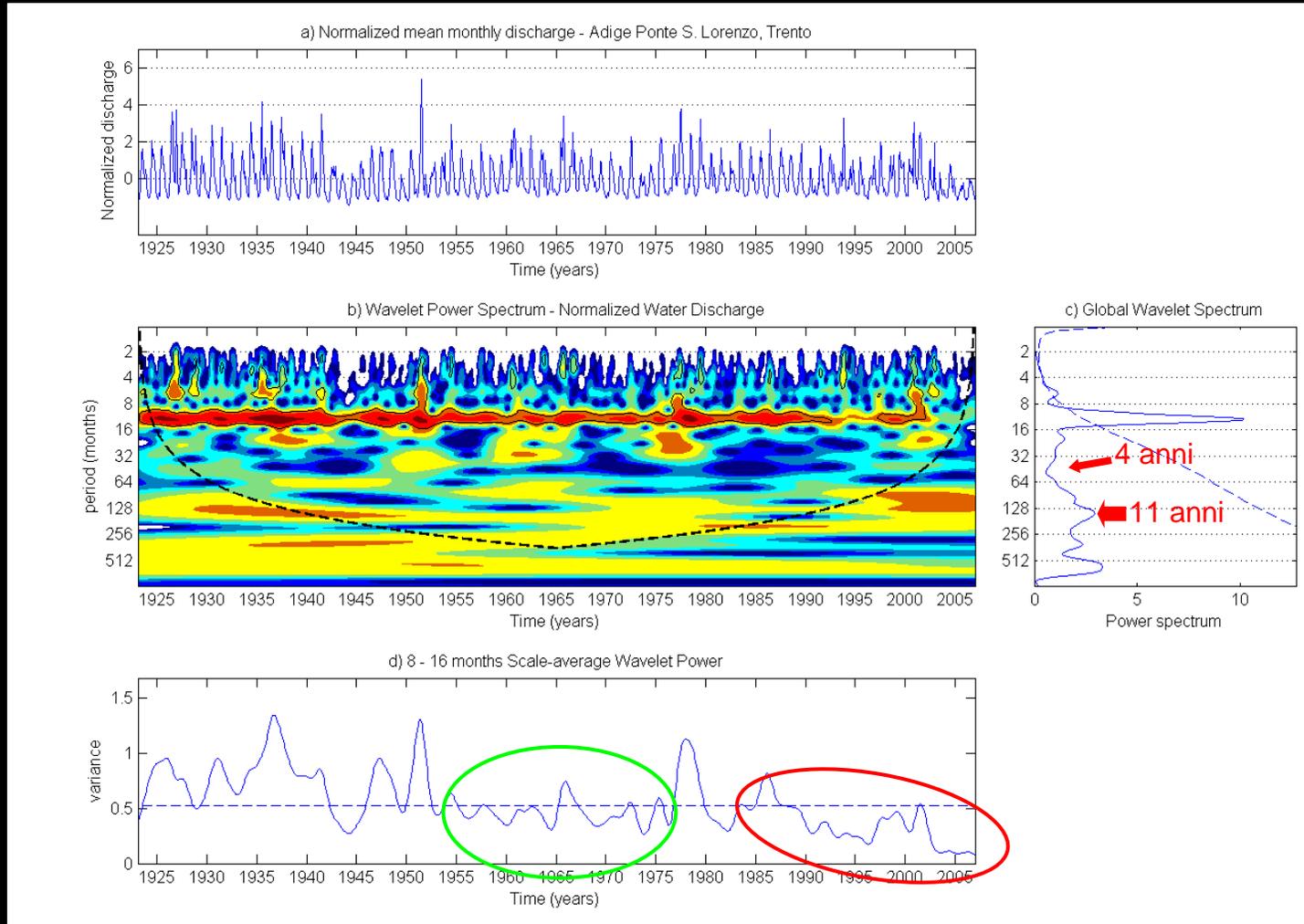


Lau, K.-M., and H.-Y. Weng, 1995:
Climate signal detection using
wavelet transform: How to make
a time series sing.
Bull. Amer. Meteor. Soc., **76**,
2391–2402.

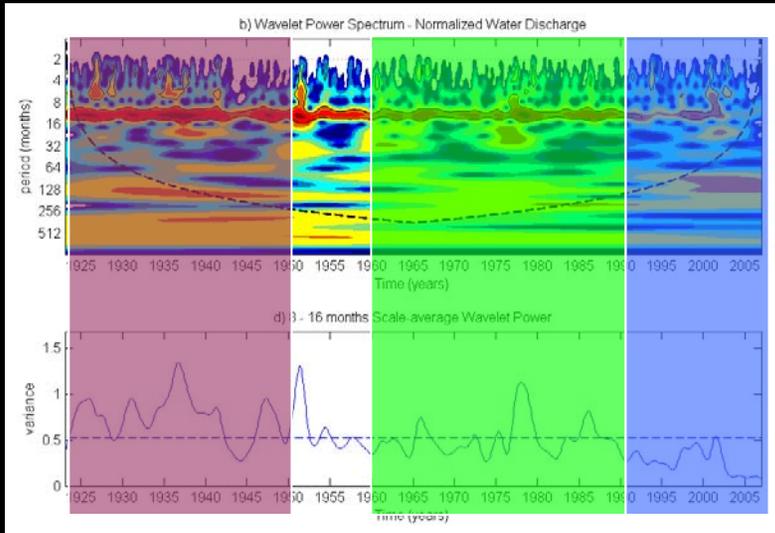
- a) Segnale modulato in ampiezza
- b) Segnale modulato in frequenza
- c) Cambiamento brusco di frequenza
- d) Variazione impulsiva



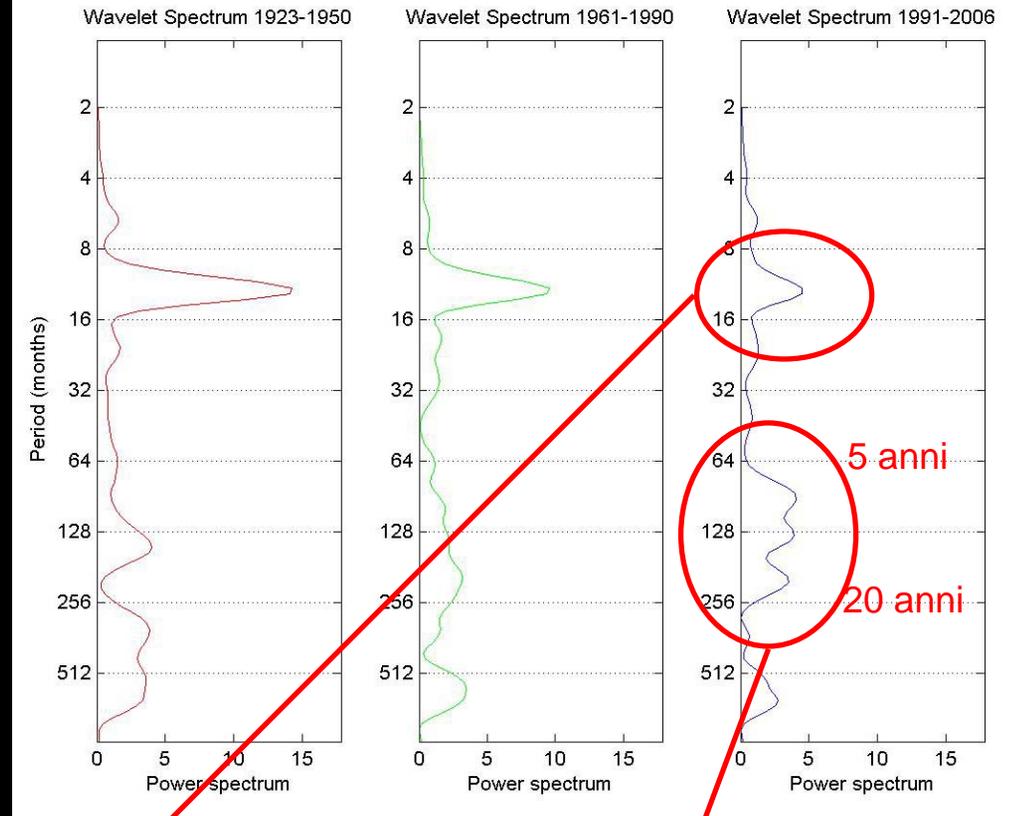
Wavelets: deflusso medio mensile



Analisi mediante wavelets: risultati



Tre periodi:
 1923-1950 (pre-idroelettrico)
 1961-1990 riferimento IPCC
 1991-2006 odierno

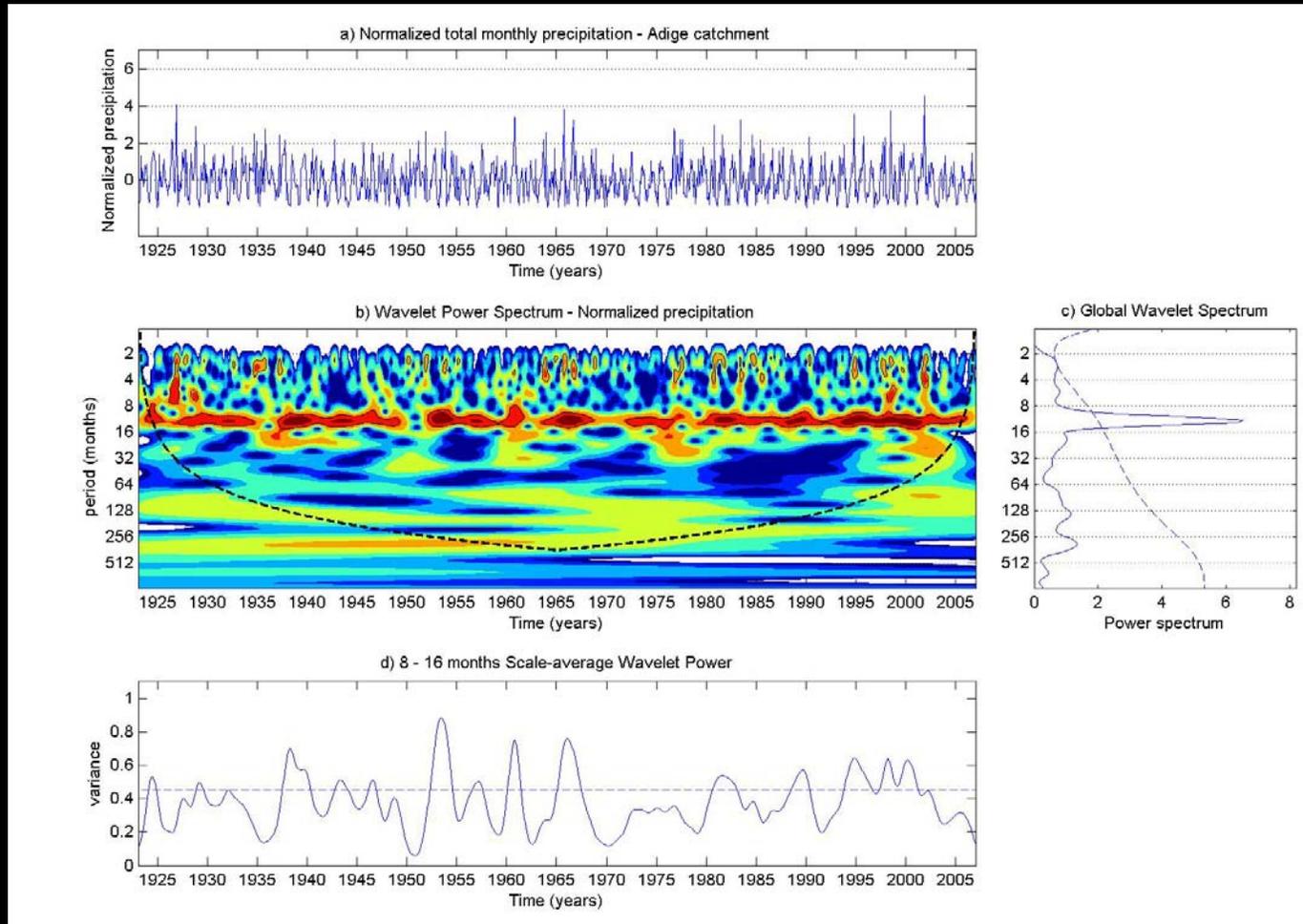


Minore variabilità intra-annuale

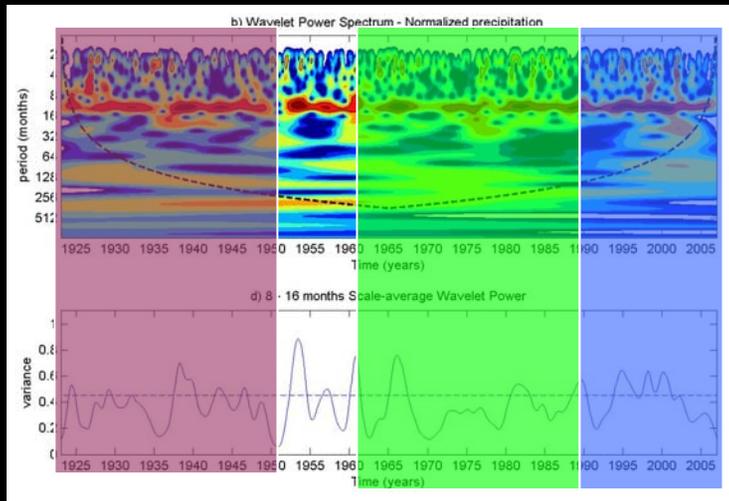
Effetto dei trend?



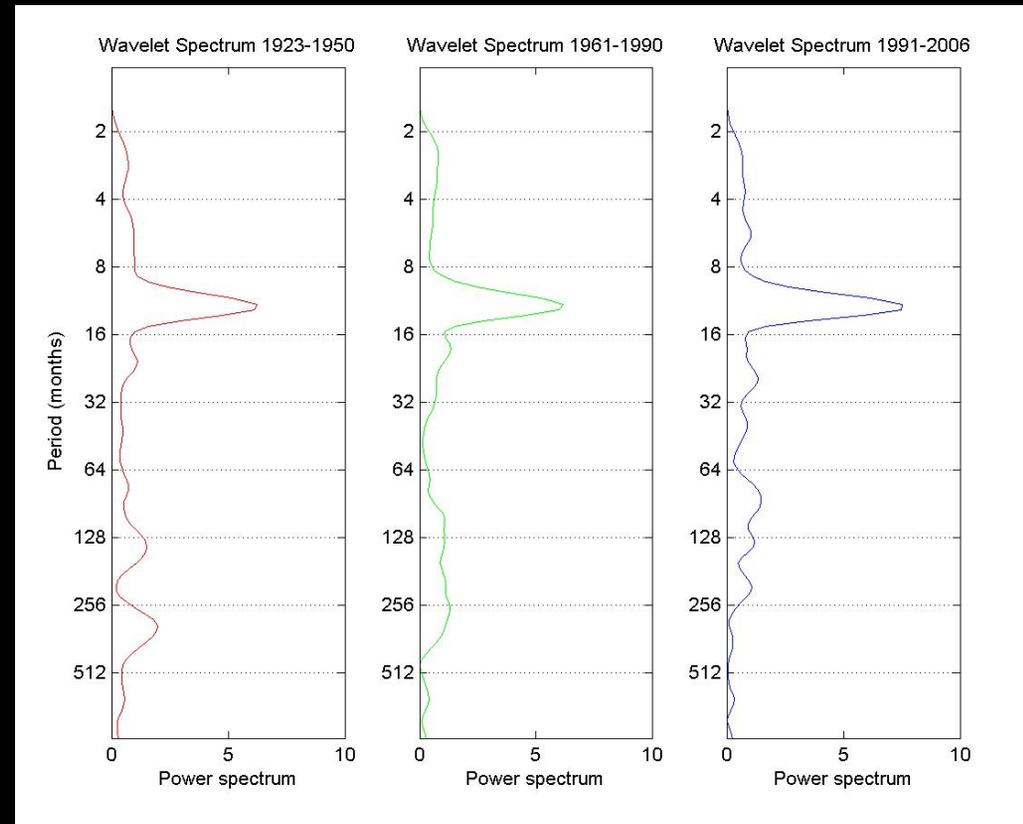
Wavelets: precipitazioni mensili



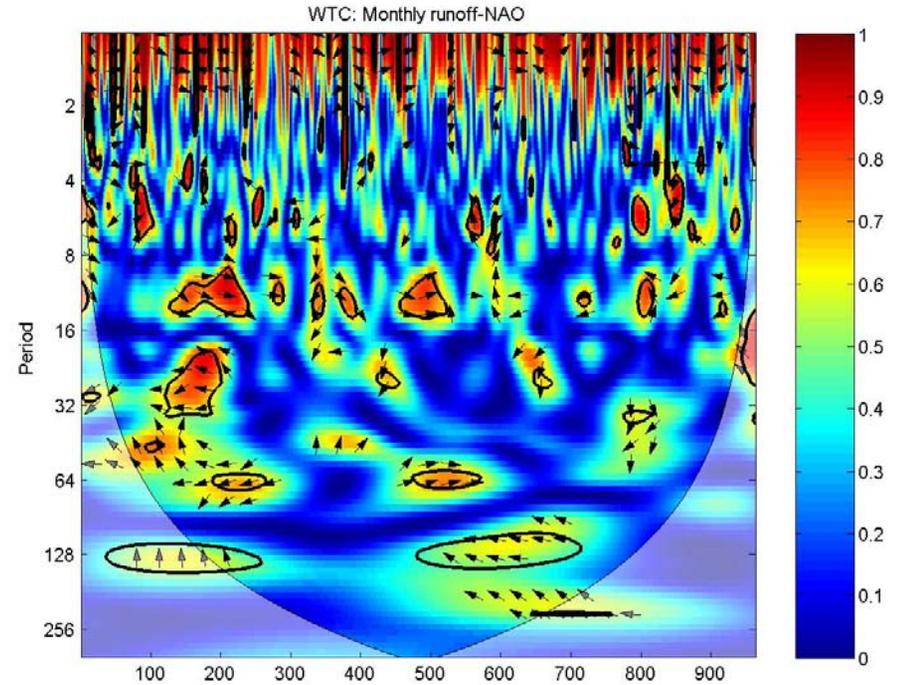
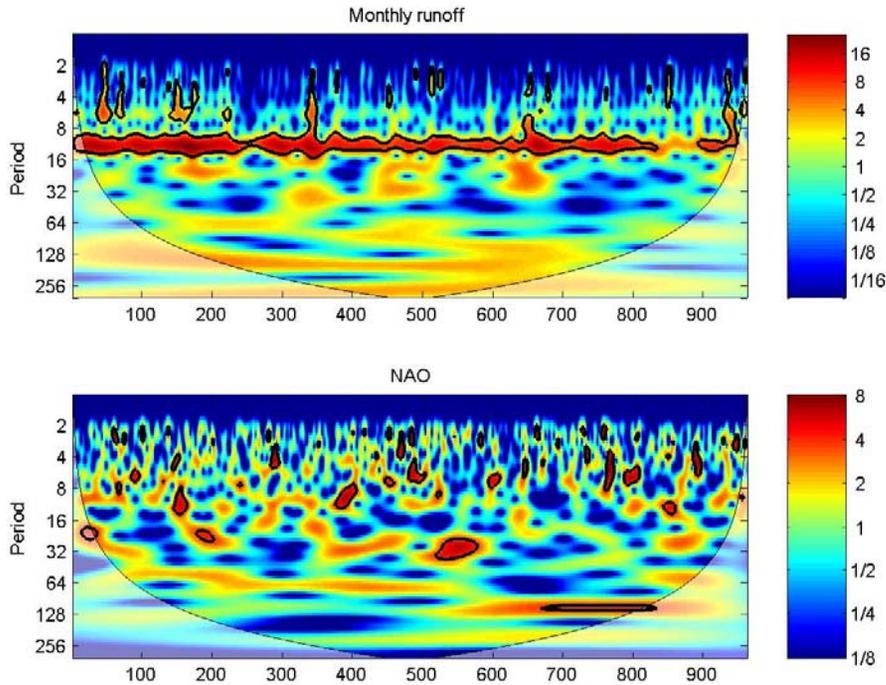
Wavelets: precipitazioni mensili



Incremento dell'energia associata alle variazioni annuali



Coerenza fra il deflusso mensile e l'indice NAO



Deflusso mensile



UNIVERSITY OF
TRENTO

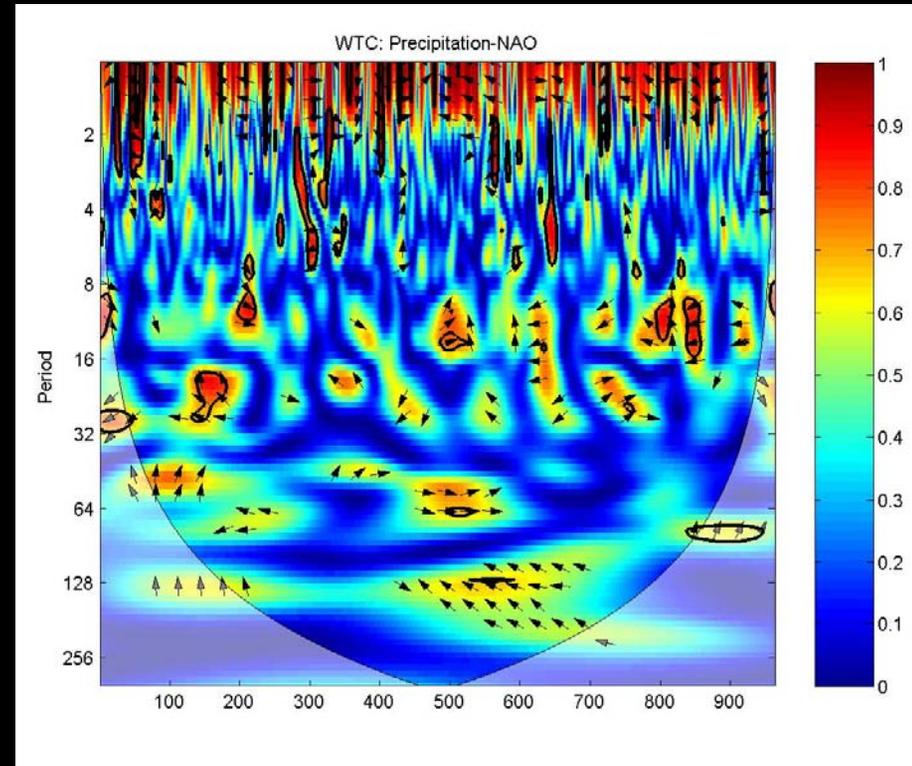
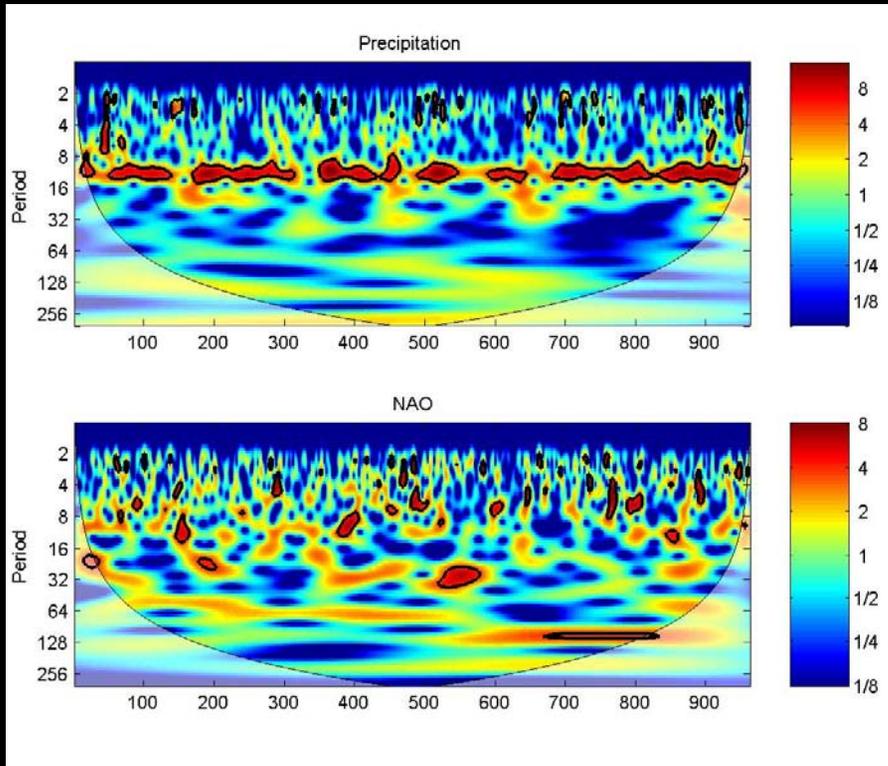


TRENTINO CLIMA 2008



Alberto.Bellin@unitn.it

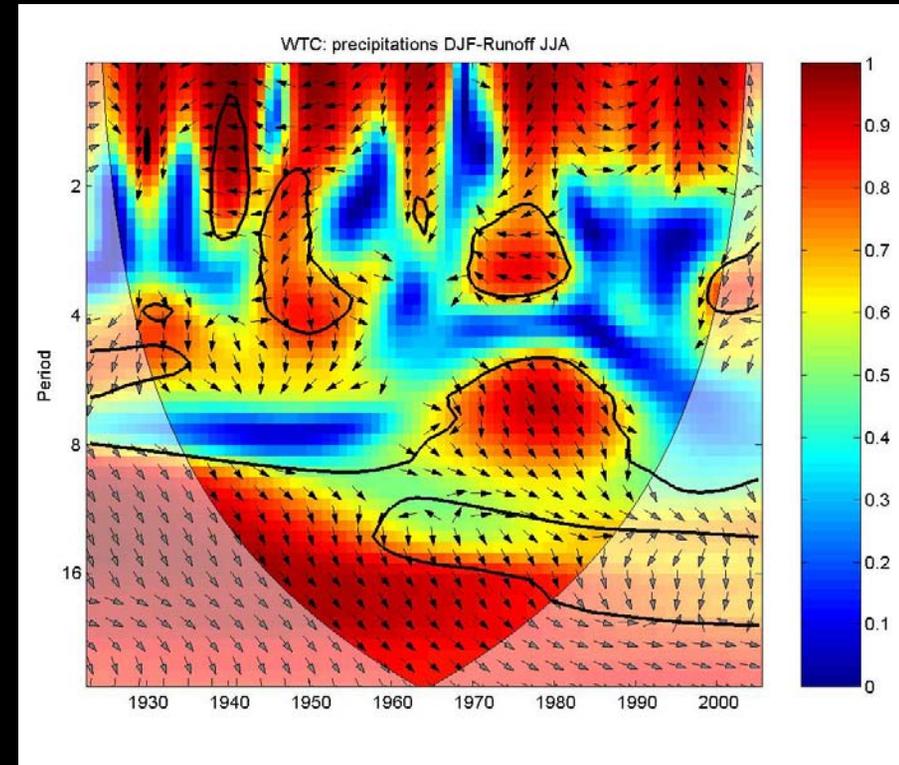
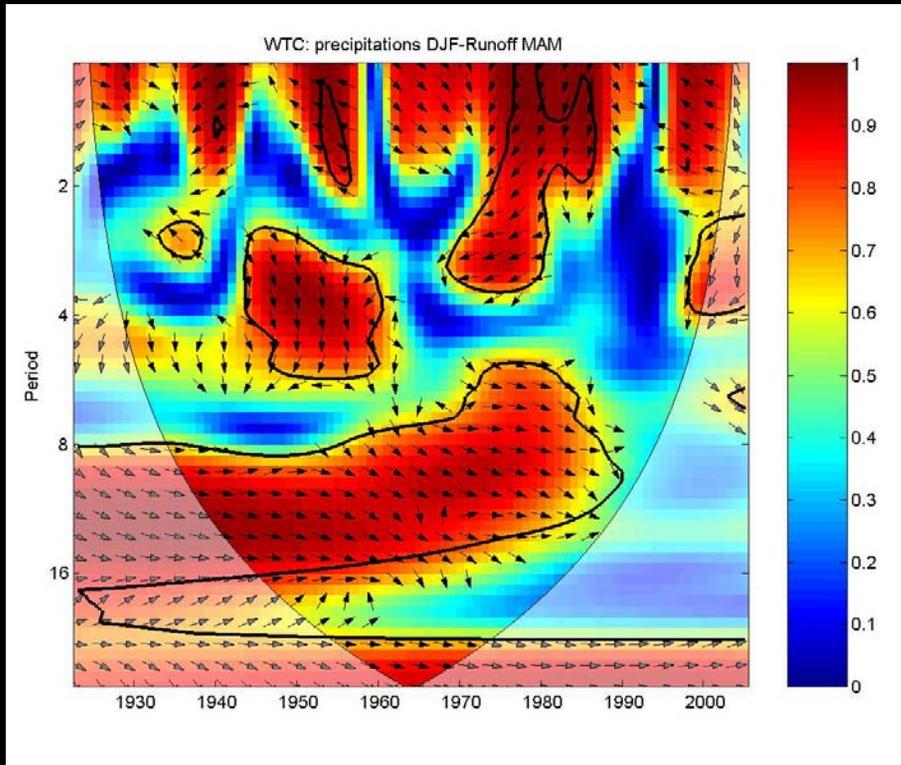
Coerenza fra le precipitazioni mensili e l'indice NAO



Precipitazioni mensili



Precipitazioni invernali e deflussi

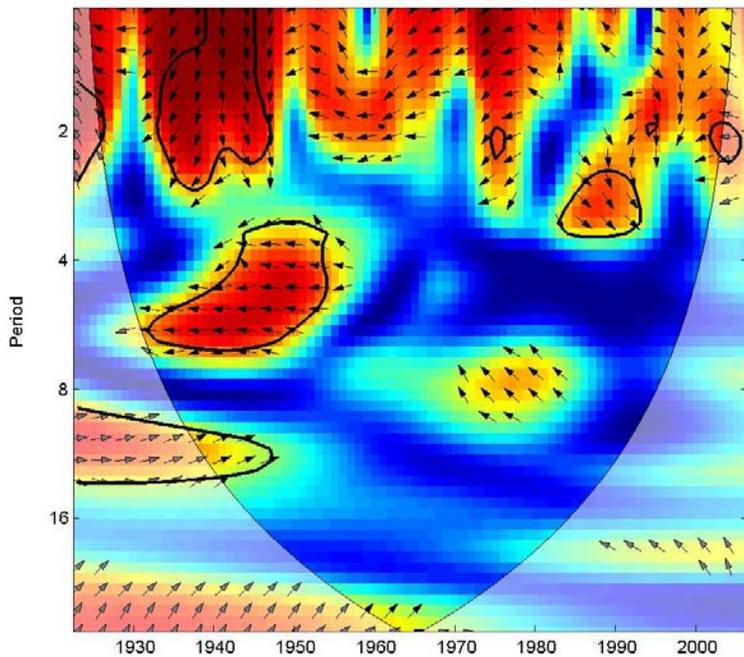


Coerenza fra le precipitazioni invernali (DJF) e il deflusso primaverile (MAM)

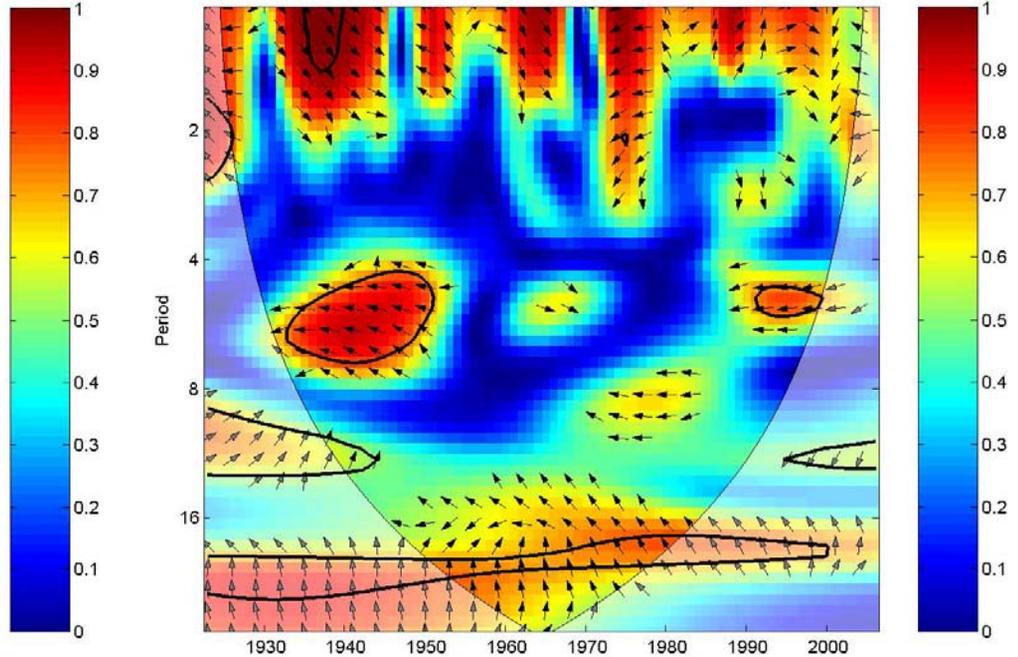
Coerenza fra le precipitazioni invernali (DJF) e il deflusso estivo (JJA)



Deflussi stagionali e indice NAO



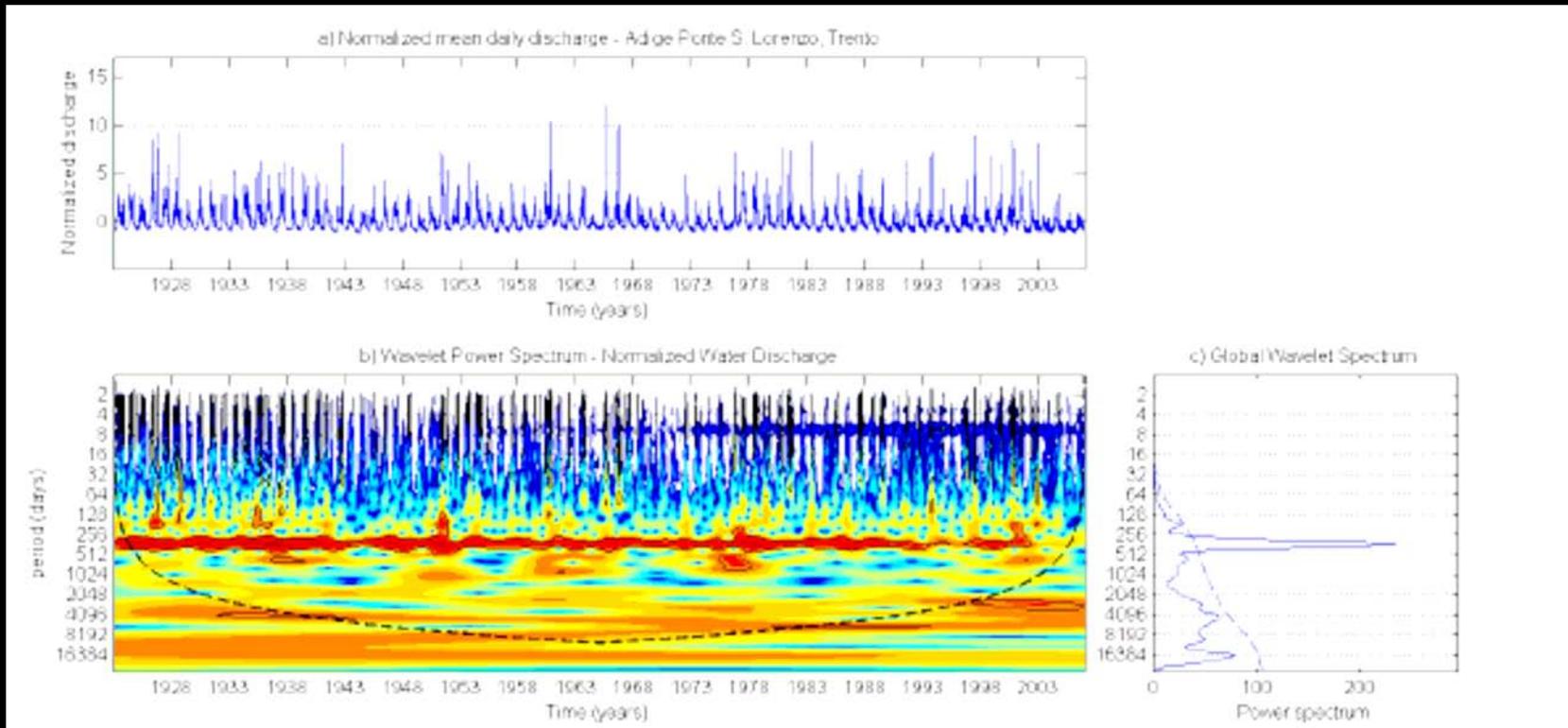
Coerenza fra I deflussi primaverili (MAM) e l'indice NAO invernale



Coerenza fra I deflussi estivi (JJA) e l'indice NAO invernale



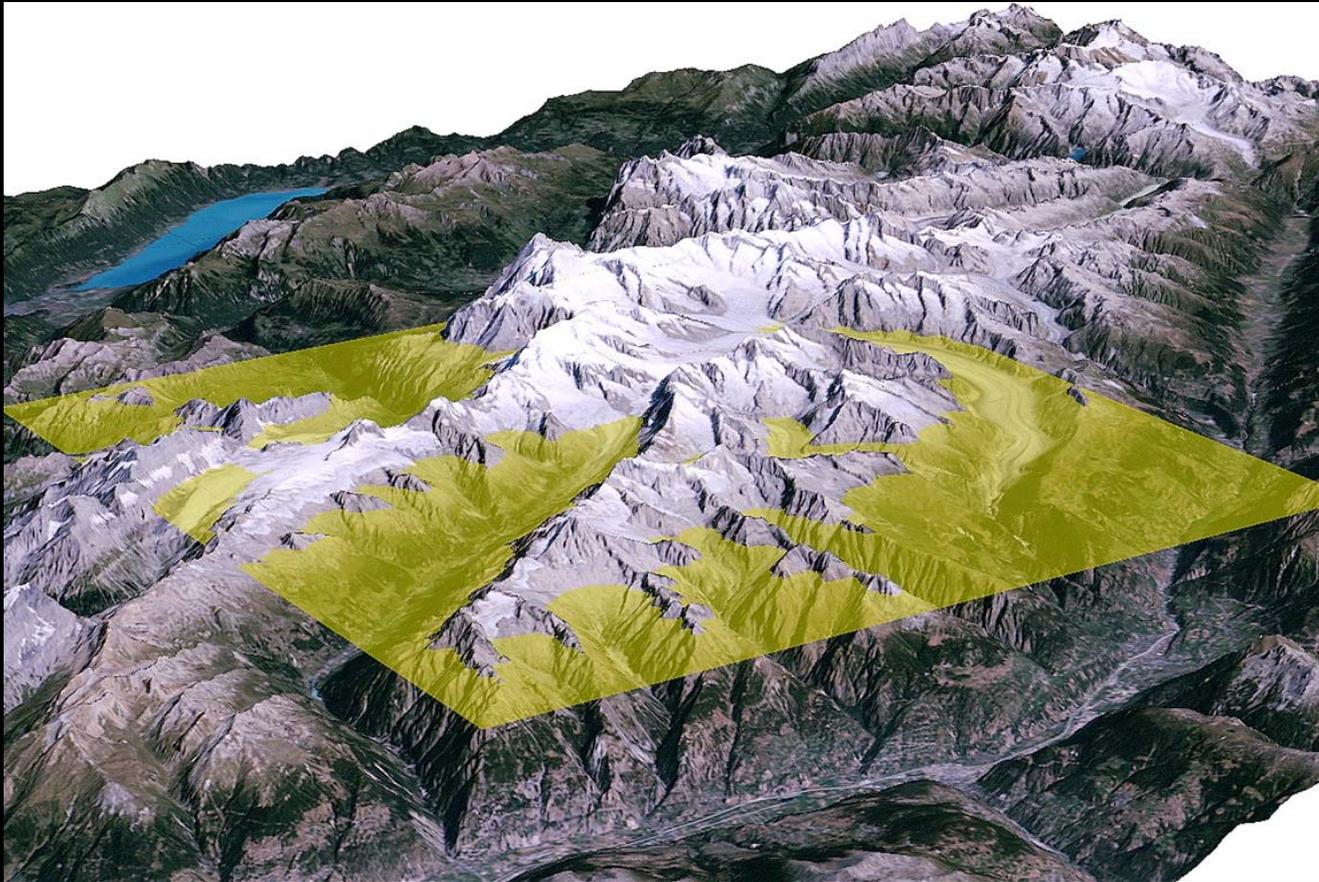
Effetti delle derivazioni



Guido Zolezzi, Alberto Bellin , Maria Cristina Bruno, Bruno Maiolini, Annunziato Siviglia,
Integrating standard and novel approaches to assess hydrological alterations at multiple temporal scales,
Water resources Research (in preparazione)



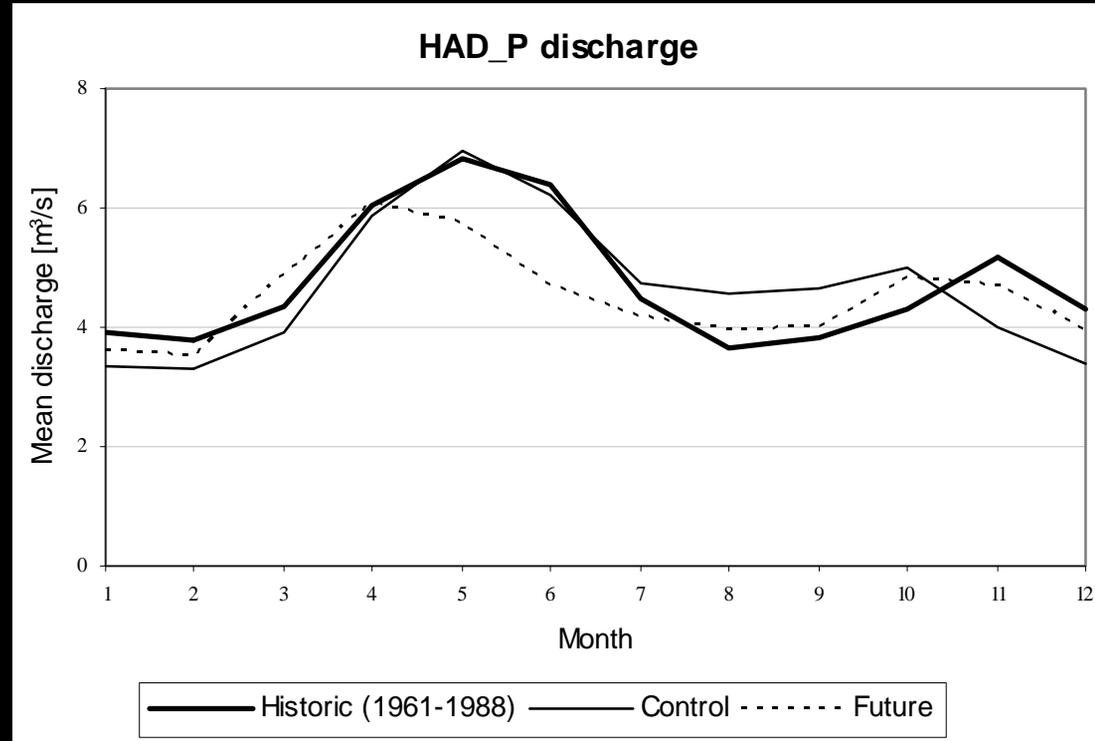
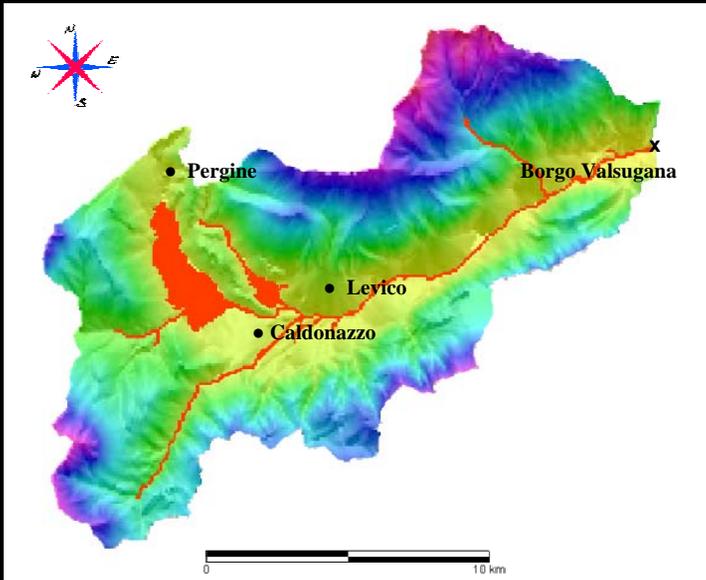
Accoppiamento fra i modelli climatici ed i modelli idrologici



Cella di 25 km di lato proiettata sulle Alpi Svizzere (Stephan Grueber, Università di Zurigo)



Esempio di applicazione



HAD_P: modello climatico
GEOtop: modello idrologico
distribuito

Risultati preliminari di uno studio condotto da
L. Forlin, H. Fowler, S. Blekinsop, R. Rigon



UNIVERSITY OF
TRENTO

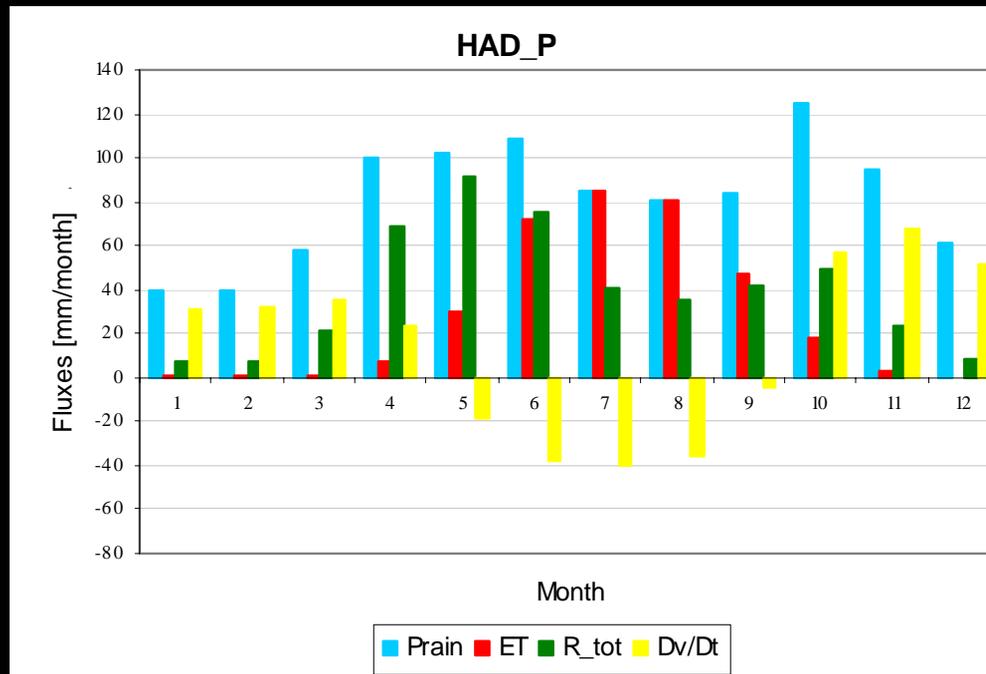


TRENTINO CLIMA 2008



Alberto.Bellin@unitn.it

Esempio d'applicazione (continua)



Bilancio Idrologico

$$\frac{dV}{dt} = P - R - ET$$



Conclusioni

- I dati idrologici mostrano per il periodo 1990-2006 una significativa riduzione delle precipitazioni invernali e primaverili accompagnate da un incremento di quelle autunnali;
- queste variazioni della principale forzante climatica, assieme alla temperatura, causano la riduzione dei deflussi primaverili e l'incremento dei deflussi autunnali;
- le precedenti due conclusioni sono confermate dall'analisi dei trend;
- L'analisi mediante ondate mostra una riduzione delle variazioni intra-annuali dei deflussi (dovuta principalmente alla riduzione dei deflussi primaverili ed estivi) e all'opposto una maggiore disuniformità nella distribuzione stagionale delle precipitazioni (minori precipitazioni invernali e maggiori precipitazioni annuali);
- Proiezioni future richiedono un attento accoppiamento fra i modelli climatici (a scala globale e regionale) ed i modelli idrologici, nonché un'attenta definizione degli scenari di emissione e di utilizzo delle risorse idriche;
- Contenuto d'acqua nel suolo: gli osservatori idrologici giocheranno un ruolo fondamentale nel monitoraggio degli effetti delle variazioni climatiche sul ciclo idrologico in tutto l'arco alpino;
- Molto lavoro deve ancora essere fatto l'accoppiamento dei modelli climatologici ai modelli idrologici per trasferire a scala di bacino i risultati dei modelli climatici globali e regionali.



Ringraziamenti

- MeteoTrentino, Incarico Speciale Sicurezza Idraulica della Provincia Autonoma di Trento, Autorità di Bacino dell'Adige, Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano



Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento al gruppo di idrologi dell'Università di Trento

Riccardo Rigon
Bruno Majone

Andrea Bertagnoli, Giacomo Bertoldi
Oscar Cainelli, Marta Castagna
Emanuele Cordano, Matteo Dall'Amico
Stefano Endrizzi, Lorenzo Forlin
Alessandra Marzadri, Simonetta Rubol
Silvia Simoni, Christian Tiso
Daniele Tonina, Mauricio Zambrano
Fabrizio Zanotti

Hydrologis



UNIVERSITY OF
TRENTO

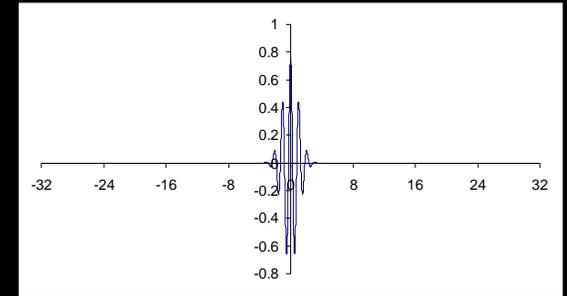
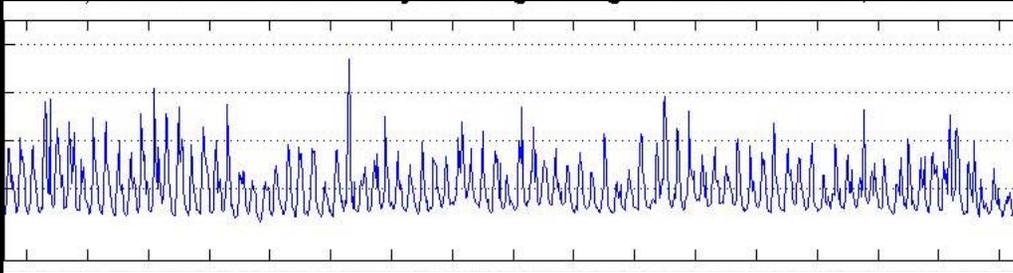


TRENTINO CLIMA 2008

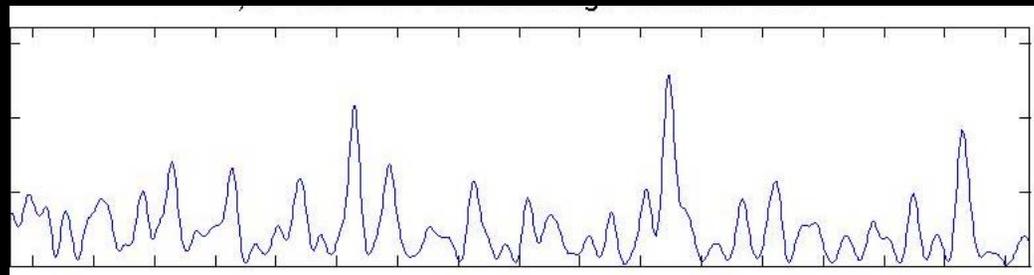


Alberto.Bellin@unitn.it

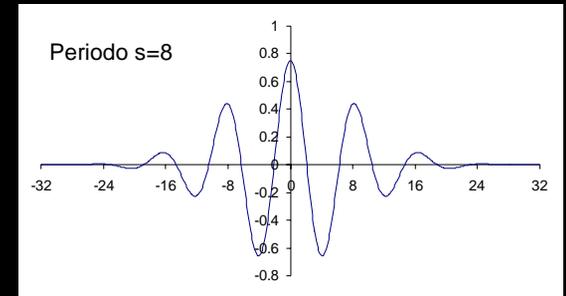
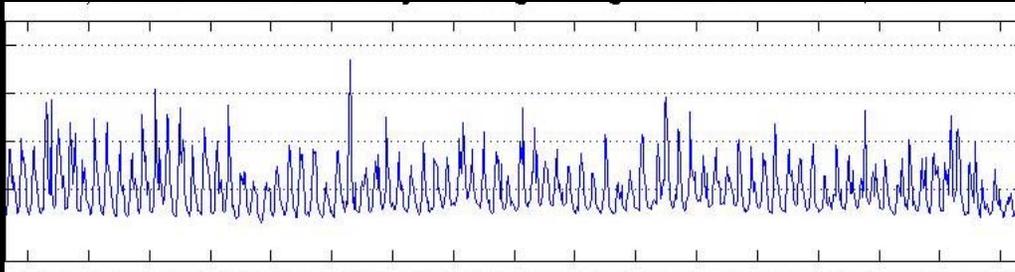
Wavelets (continua)



=



Wavelets (continua)



=

