



Provincia Autonoma di Trento

TRENTINO
CLIMA
2011

Trento,
5-11 Settembre 2011



Impatti su ciclo idrologico e risorse idriche

Alberto Bellin

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

Impatti, mitigazione e adattamento, una scommessa globale sul clima che verrà

9 SETTEMBRE 2011

Alcune domande

- Che effetto avranno le variazioni climatiche sulla disponibilità futura di risorse idriche?
- Come reagiranno gli ecosistemi acquatici alle variazioni?
- Come cambierà il commercio dell'acqua virtuale?

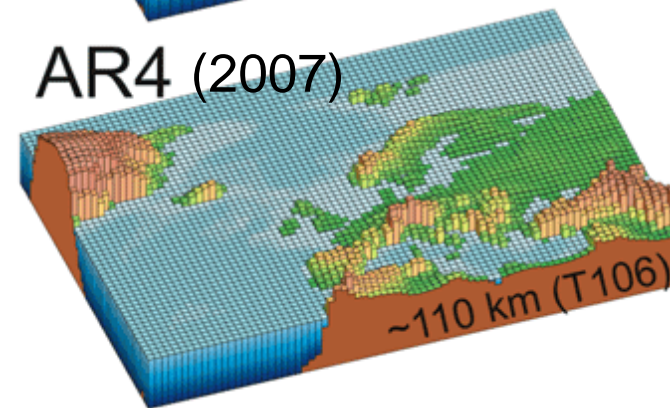
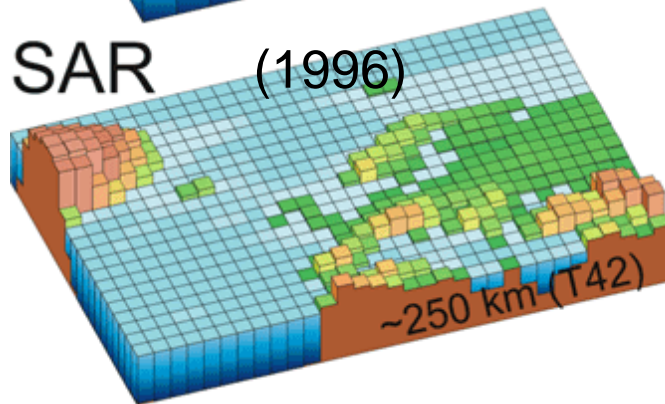
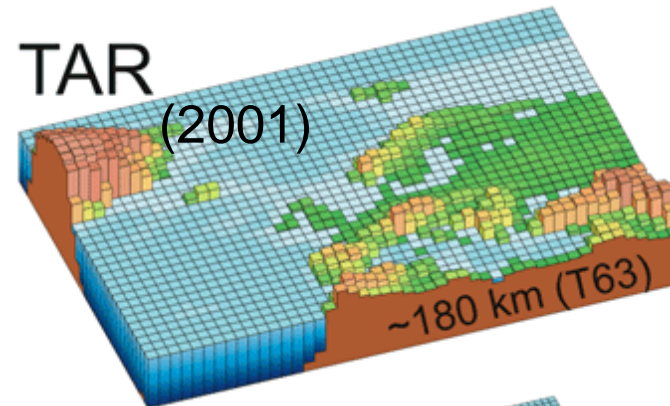
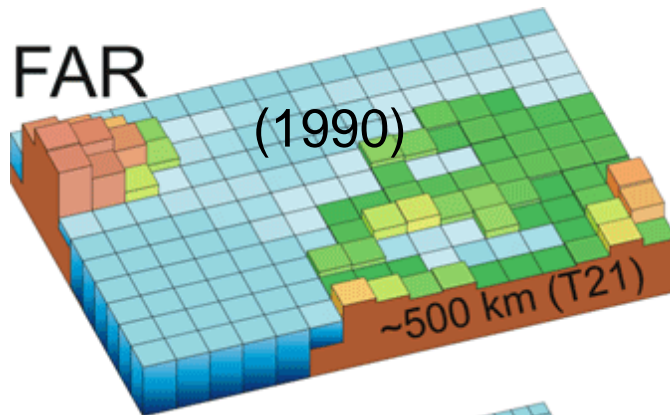


Problematiche aperte

- Identificazione di tendenze in atto:
 - Forzanti esterne: separare la componente naturale da quella antropica
 - Stato del bacino: identificare gli effetti di cambiamenti di stato del bacino di natura antropica (ad esempio deforestazione o forestazione)
- Scenari e proiezioni
 - Fare proiezioni e' difficile
 - Si opera comunemente con scenari (IPCC)
 - Interazione complessa e non lineare fra scale (globale e locale)
 - Le infrastrutture sono pronte a sopportare il cambiamento?



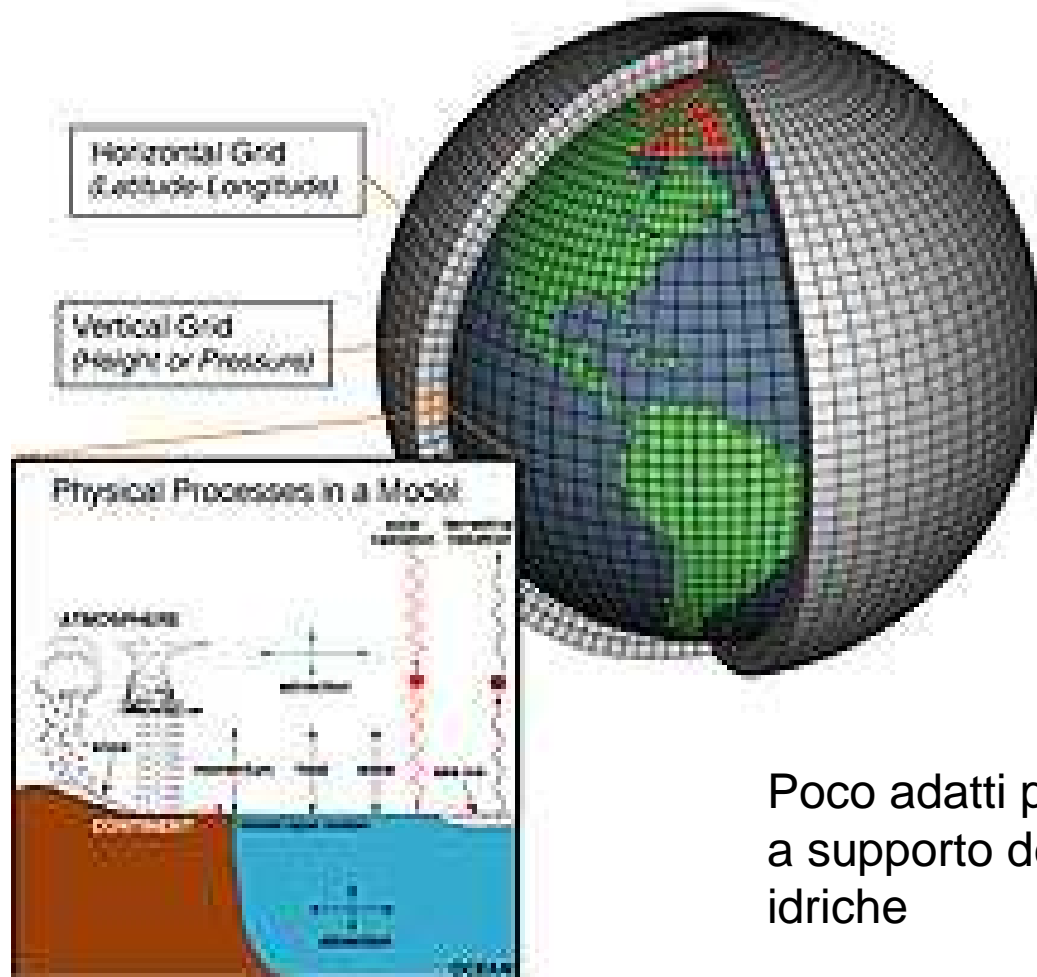
Scale spaziali nei rapporti IPCC



RCM
LAM



Modelli di Circolazione Generale



GCM: griglia $\sim 2^{\circ}$ - 4°

Poco adatti per le applicazioni idrologiche a supporto della gestione delle risorse idriche



Nuova generazione di GCM



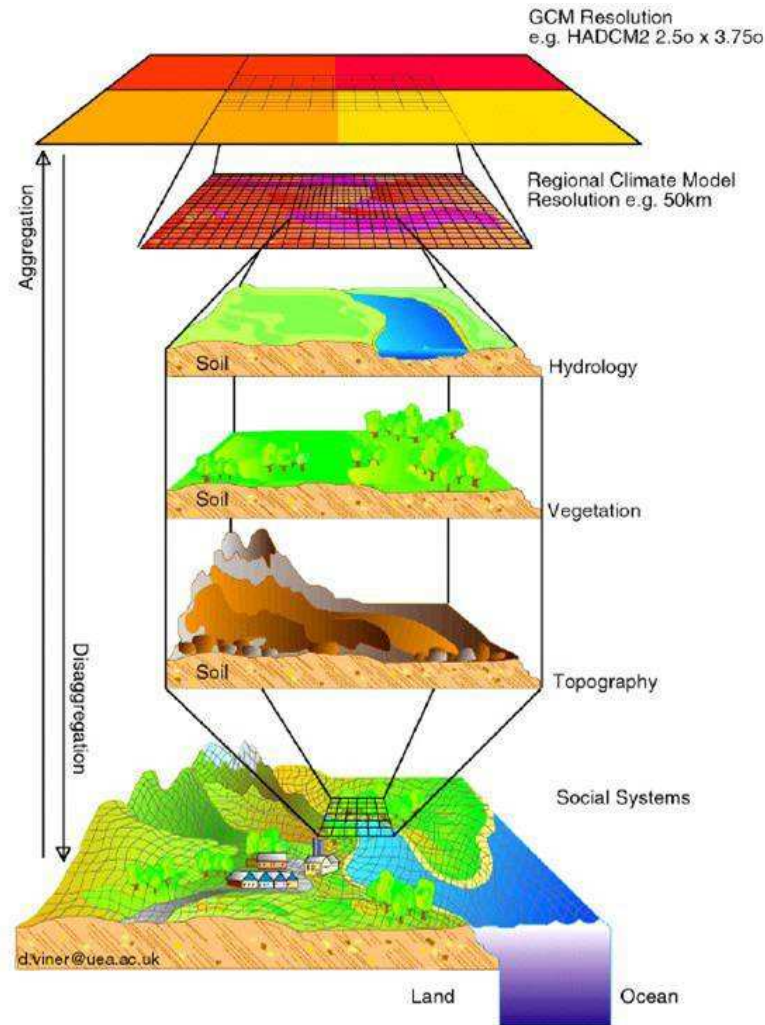
Il modello piu' complesso non e'
necessariamente quello piu' accurato
o utile (migliore)

GCM + Oceanic model
HadGEM2—ES
Centro Hadley in di Exeter UK
Griglia: 1° latitudine (~100 km)
2° longitudine ((~200 km)

In un bacino grande il doppio di
quello dell'Adige a Trento fornisce
un set di parametri meteorologici
(precipitazione, temperatura, ETp)



Riduzione di scala (Downscaling)



Riprodotta da
Canadian Climate Change
Scenarios Network
<http://cccsn.ca/?page=downscaling>



Tipi di Downscaling

- Downscaling spaziale
 - Dinamico: RCM innestati su GCM (griglia 50–25 km²)
 - Statistico
- Downscaling temporale
 - Misto (valori giornalieri estratti dai dati mensili generati con RCM)
 - Downscaling solo statistico da GCM



Downscaling

INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY
Int. J. Climatol. 27: 1547–1578 (2007)
Published online 14 September 2007 in Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1556



Review

Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling

H. J. Fowler,^{a*} S. Blenkinsop^a and C. Tebaldi^b

^a *Water Resource Systems Research Laboratory, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, UK*

^b *Institute for the Study of Society and Environment, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA*

Clim Dyn (2010) 35:685–711
DOI 10.1007/s00382-009-0607-7

Resolution effects on regional climate model simulations of seasonal precipitation over Europe

Sara A. Rauscher · Erika Coppola ·
Claudio Piani · Filippo Giorgi



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

Impatti, mitigazione e adattamento, una scommessa globale sul clima che verrà

9 SETTEMBRE 2011

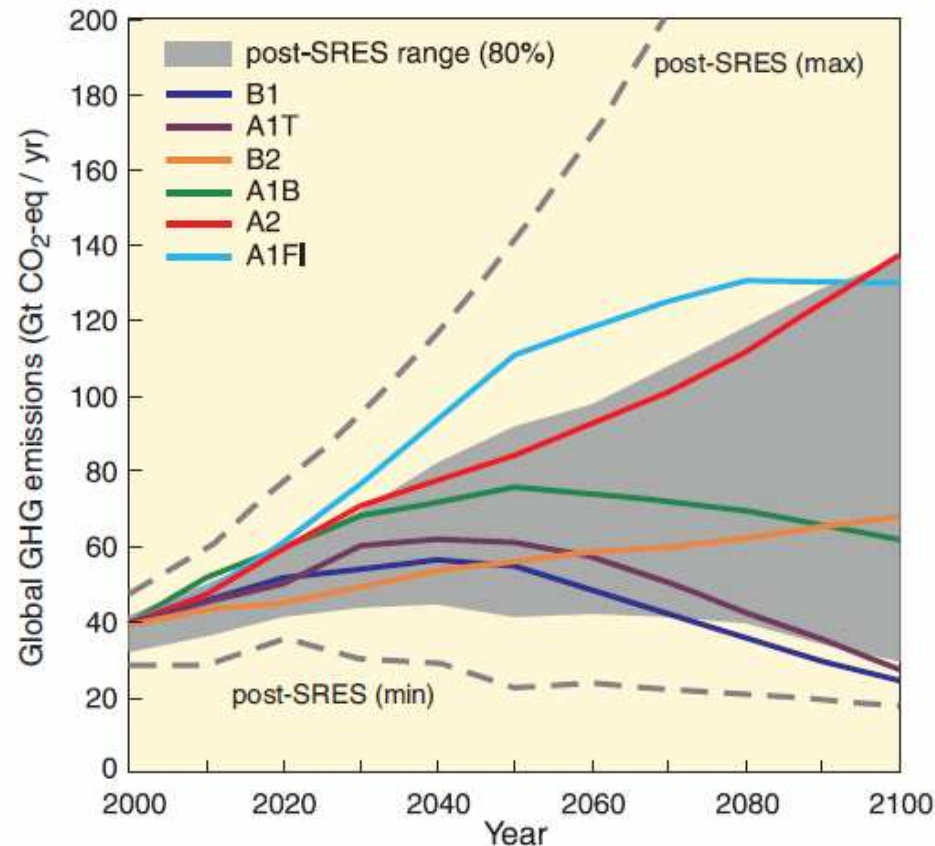
Metodologie di studio

- Analisi dei risultati di modelli climatici (GCM + RCM)
- Analisi di serie temporali misurate (tendenze a breve termine)
- Paleoclima (il clima del passato)
- Analisi combinata di risultati di modelli e di serie temporali



Gli scenari IPCC 2007 (AR4)

Scenarios for GHG emissions from 2000 to 2100 in the absence of additional climate policies



A1: rapida crescita economica; picco della popolazione nel 2050; nuove tecnologie piu' efficienti con. Tre sottoscenari: A1F1 uso intensivo risorse fossili; A1T risorse di energia no fossili; A1B bilanciamento delle risorse energetiche)

A2: Mondo molto eterogeneo con alta crescita della popolazione, lento sviluppo economico, e lento sviluppo tecnologico

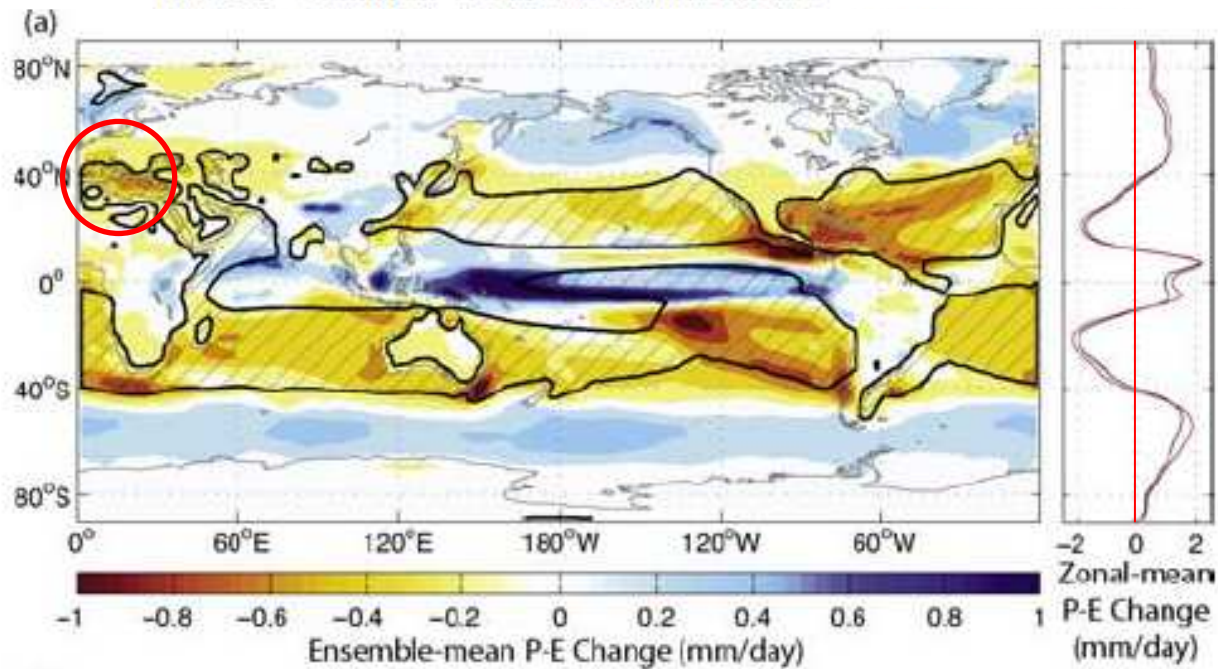


Uno sguardo agli scenari

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L06805, doi:10.1029/2006GL028443, 2007

Expansion of the Hadley cell under global warming

Jian Lu,^{1,2} Gabriel A. Vecchi,³ and Thomas Reichler⁴



Scenario A2

Concentrazione CO₂ a 800 ppm alla fine del 21-esimo secolo

$$R \approx P - E$$

Differenza fra media d'insieme del periodo 2081-2100 ed il periodo 2001-2010



Modelli e misure

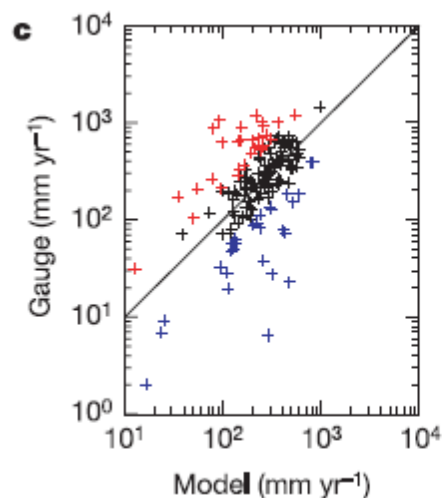
Vol 438 | 17 November 2005 | doi:10.1038/nature04312

nature

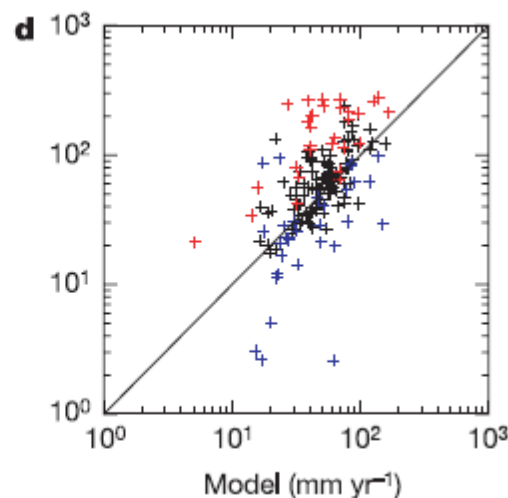
LETTERS

Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate

P. C. D. Milly¹, K. A. Dunne¹ & A. V. Vecchia²



Media



Deviazione standard

12 Modelli climatici
Scenario **A1B**

Deflussi misurati nel periodo 1900-1998 in 165 bacini con superficie maggiore di 50.000 km² (solo stazioni di misura con almeno 28 anni di osservazioni)

Po a Pontelagoscuro: 70000 km²

Media e deviazione standard dei deflussi calcolati variano da circa meta' a circa due volte i valori osservati

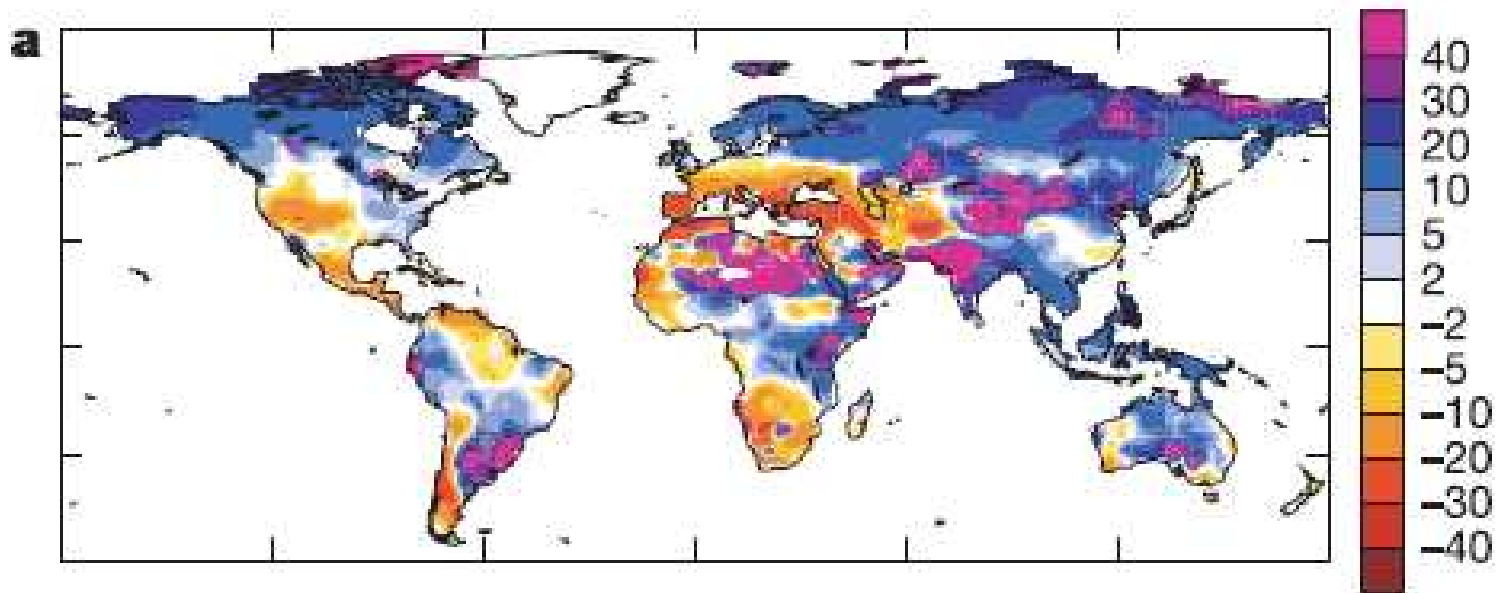


Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

Impatti, mitigazione e adattamento, una scommessa globale sul clima che verrà

9 SETTEMBRE 2011

Modelli e misure (continua..)



Riprodotta da Milly et al., 2005

“Ensemble (arithmetic) mean of relative change (percentage) in runoff for the period 2041–60, computed as 100 times the difference between 2041–60 runoff in the SRESA1B experiments and 1900–70 runoff in the 20C3M experiments, divided by 1900–70 runoff.”



E gli eventi estremi?



PERGAMON

Quaternary Science Reviews 19 (2000) 439–457



QSR

Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change

James C. Knox*

Geography Department, 234 Science Hall 550 North Park Street University of Wisconsin, Madison, WI 53706-1491, USA

Studi paleoclimatici suggeriscono che a piccole variazioni del clima “medio” possono corrispondere grandi cambiamenti negli estremi. Comunque questo tema e’ piuttosto controverso



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

**Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà**

9 SETTEMBRE 2011

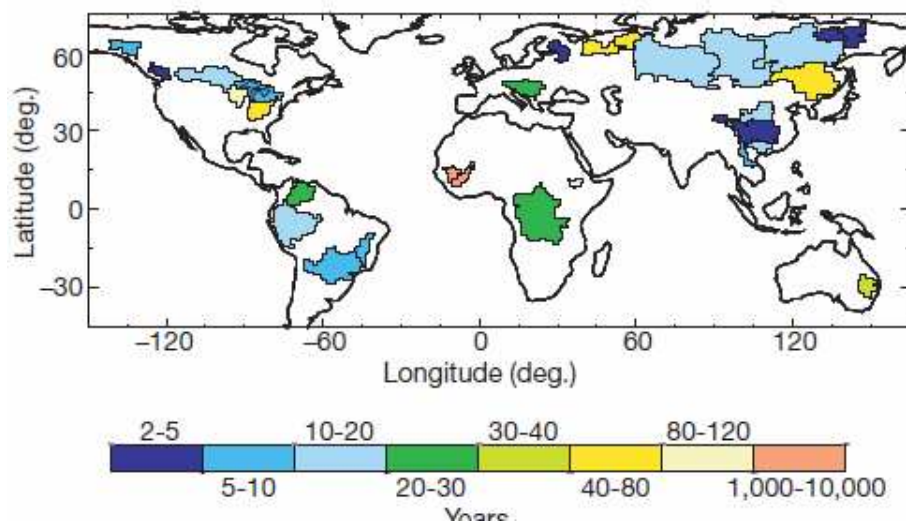
Eventi estremi più frequenti?

NATURE | VOL 415 | 31 JANUARY 2002 | www.nature.com

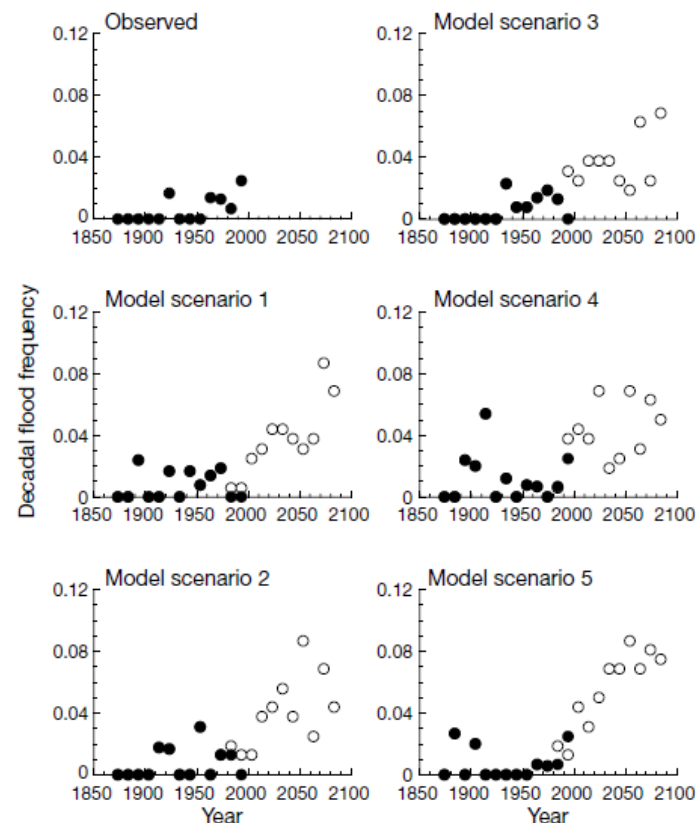
Increasing risk of great floods in a changing climate

P. C. D. Milly*, R. T. Wetherald†, K. A. Dunne* & T. L. Delworth†

* US Geological Survey, GFDL/NOAA; and † Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA, P.O. Box 308, Princeton, New Jersey 08542, USA



29 bacini di dimensioni maggiori di 200.000 km²
con più di 30 anni di osservazioni



5 scenari con la stessa forzante radiativa ma differenti condizioni iniziali



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà

9 SETTEMBRE 2011

I dati mostrano andamenti differenziati



Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques, 50(5) October 2005

797

Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow

ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ^{1,2}, DARIUSZ GRACZYK¹,
THOMAS MAURER³, IWONA PIŃSKWAR¹,
MACIEJ RADZIEJEWSKI¹, CECILIA SVENSSON⁴ &
MALGORZATA SZWED¹

¹ *Research Centre of Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences, Bukowska 19, 60-309 Poznań, Poland*
zkundze@man.poznan.pl

² *Potsdam Institute for Climate Impact Research, D-14412 Potsdam, Germany*

³ *Global Runoff Data Centre, Federal Institute of Hydrology, D-53058 Koblenz, Germany*

⁴ *Centre for Ecology and Hydrology, Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK*

70 serie temporali: 20 mostrano variazioni statisticamente significative (11 aumenti, 9 riduzioni). I massimi storici (dati dal 1960) sono preferenzialmente localizzati nel periodo 1981-2000



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

Impatti, mitigazione e adattamento, una scommessa globale sul clima che verrà

9 SETTEMBRE 2011

Effetti sulla gestione delle RI

WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 44, W03201, doi:10.1029/2007WR006704, 2008

When will Lake Mead go dry?

Tim P. Barnett¹ and David W. Pierce¹

SCIENCE VOL 319 1 FEBRUARY 2008

CLIMATE CHANGE

Stationarity Is Dead: Whither Water Management?

Climate change undermines a basic assumption that historically has facilitated management of water supplies, demands, and risks.

P. C. D. Milly,^{1*} Julio Betancourt,² Malin Falkenmark,³ Robert M. Hirsch,⁴ Zbigniew W. Kundzewicz,⁵ Dennis P. Lettenmaier,⁶ Ronald J. Stouffer⁷



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà

9 SETTEMBRE 2011

E nelle regioni del mediterraneo?

Global and Planetary Change 63 (2008) 90–104



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Global and Planetary Change

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gloplacha



Climate change projections for the Mediterranean region

Filippo Giorgi^{a,*}, Piero Lionello^b

^a Earth System Physics Section, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, P.O. Box 586, (Strada Costiera 11 for courier mail), 34100 Trieste, Italy

^b Università di Lecce, Lecce, Italy

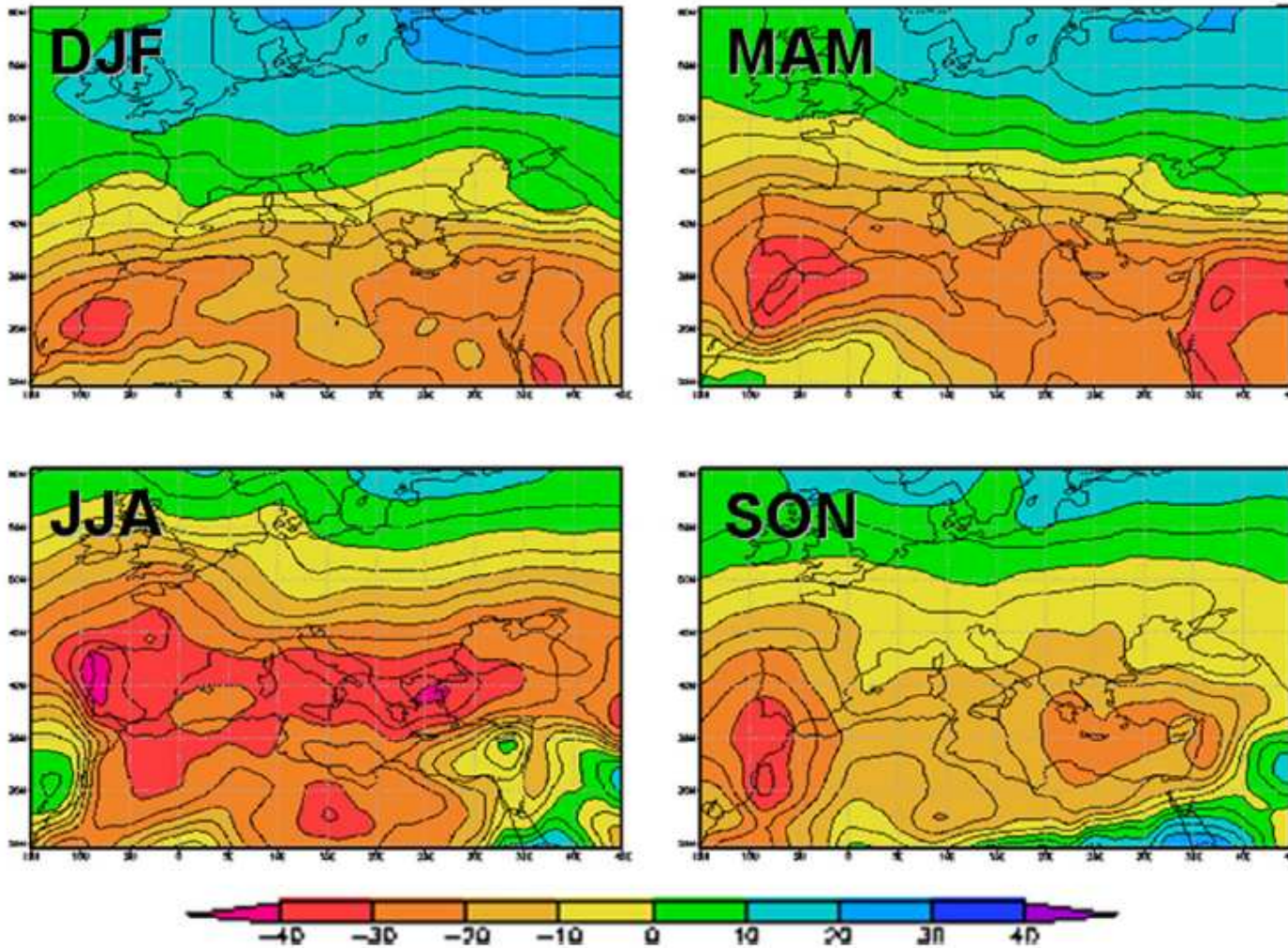


Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

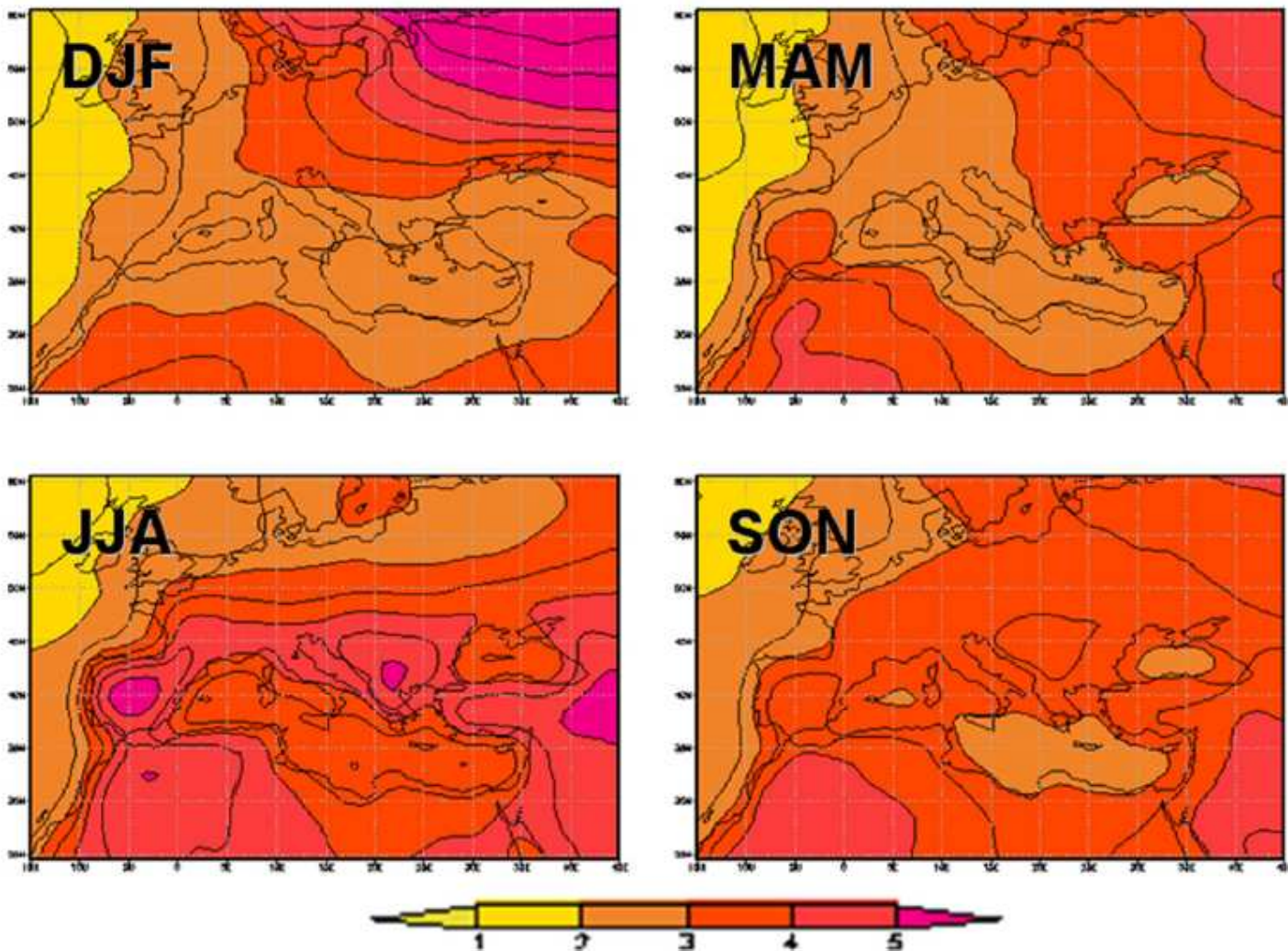
**Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà**

9 SETTEMBRE 2011

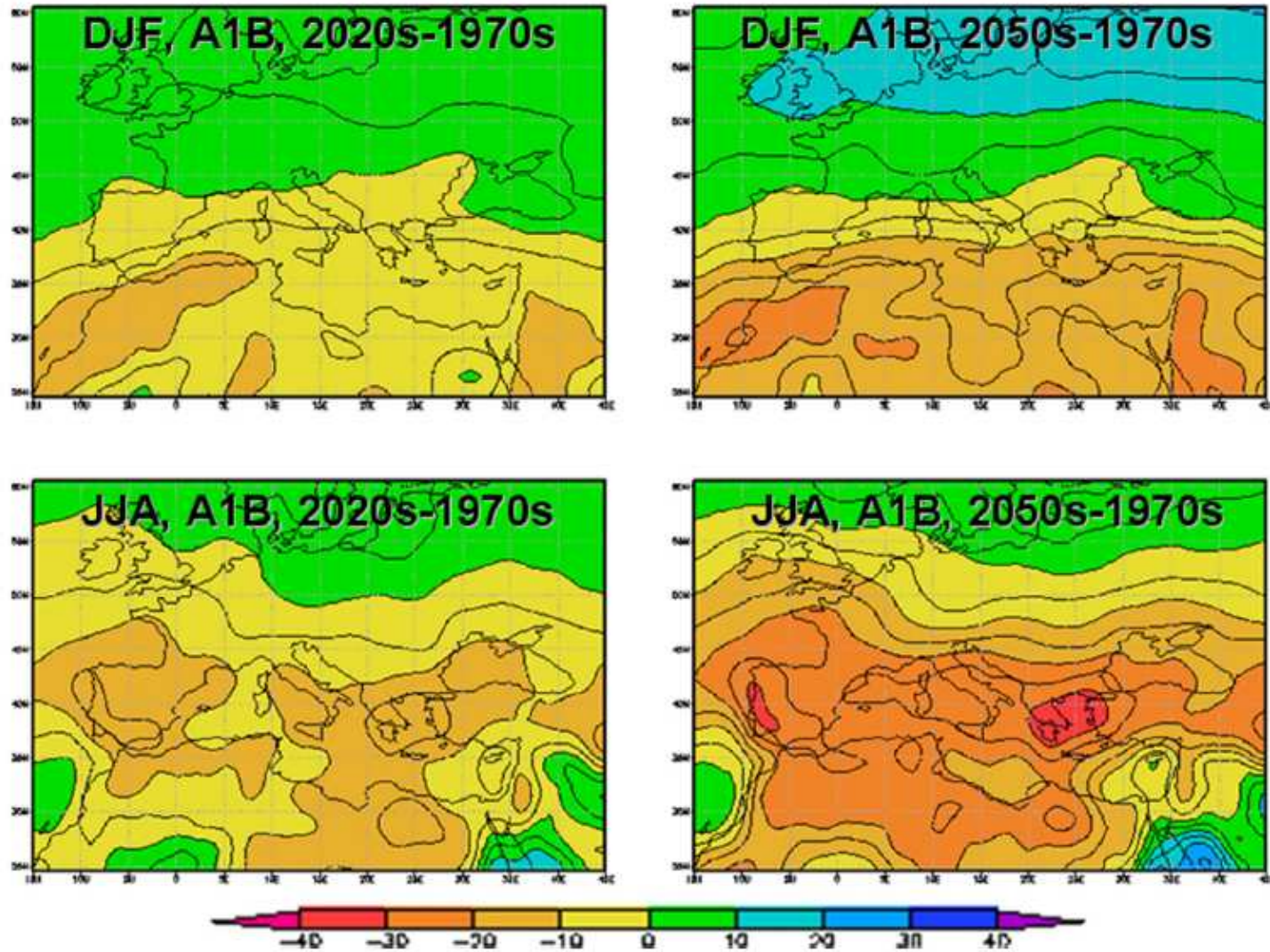
Precipitation change (% , 2071-2100 minus 1961-1990),
MGME ensemble average, A1B scenario



Temperature change (C, 2071-2100 minus 1961-1990), MGME ensemble average, A1B scenario



Precipitation change (%)
MGME ensemble average, A1B scenario



Acqua virtuale

WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 47, W05520, doi:10.1029/2010WR010307, 2011

Water for food: The global virtual water trade network

M. Konar,¹ C. Dalin,¹ S. Suweis,^{1,2} N. Hanasaki,³ A. Rinaldo,^{2,4} and I. Rodriguez-Iturbe¹

Received 6 December 2010; revised 15 February 2011; accepted 24 February 2011; published 17 May 2011.



Carne manzo
15500 l/kg



Carne maiale
4800 l/kg



Formaggio
50000 l/kg



Mela
70 l/frutto
(100 gr)



Frumento
1300 l/kg



Riso
3400 l/kg



vino
120 l/bicchiere



Prodotto industriale
80 l/\$

<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>

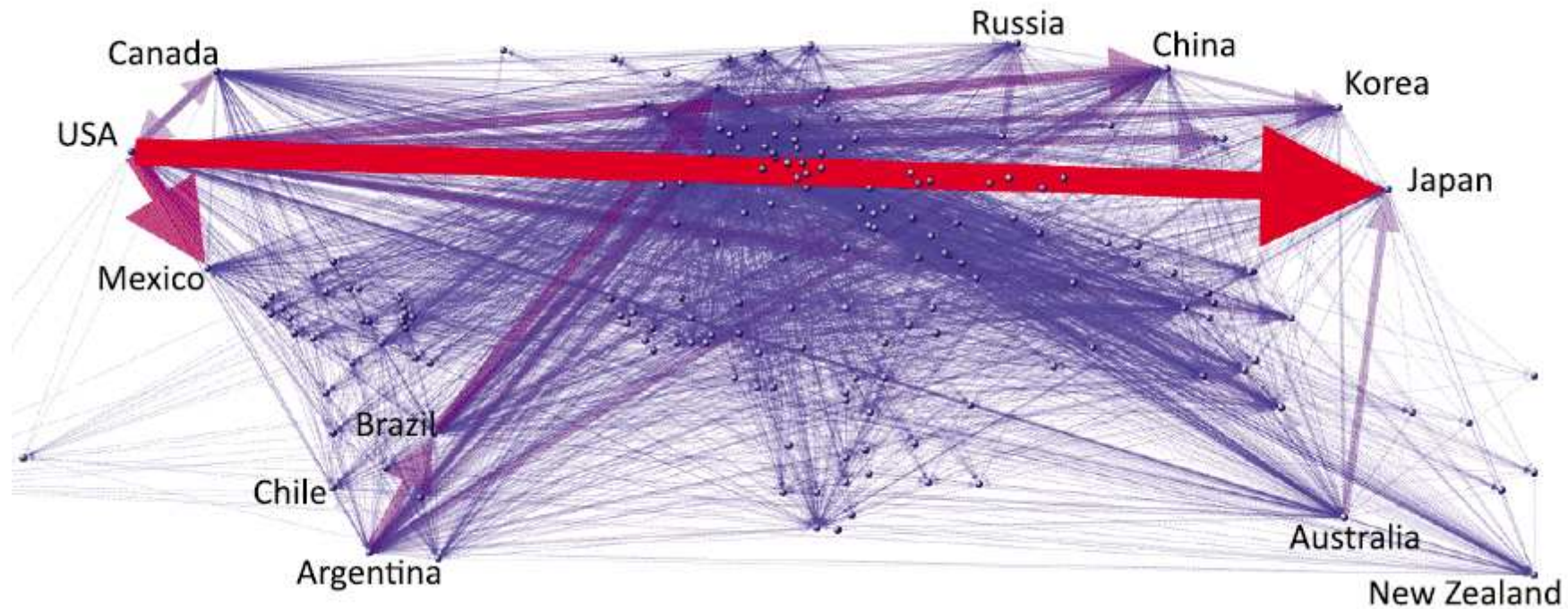


Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

**Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà**

9 SETTEMBRE 2011

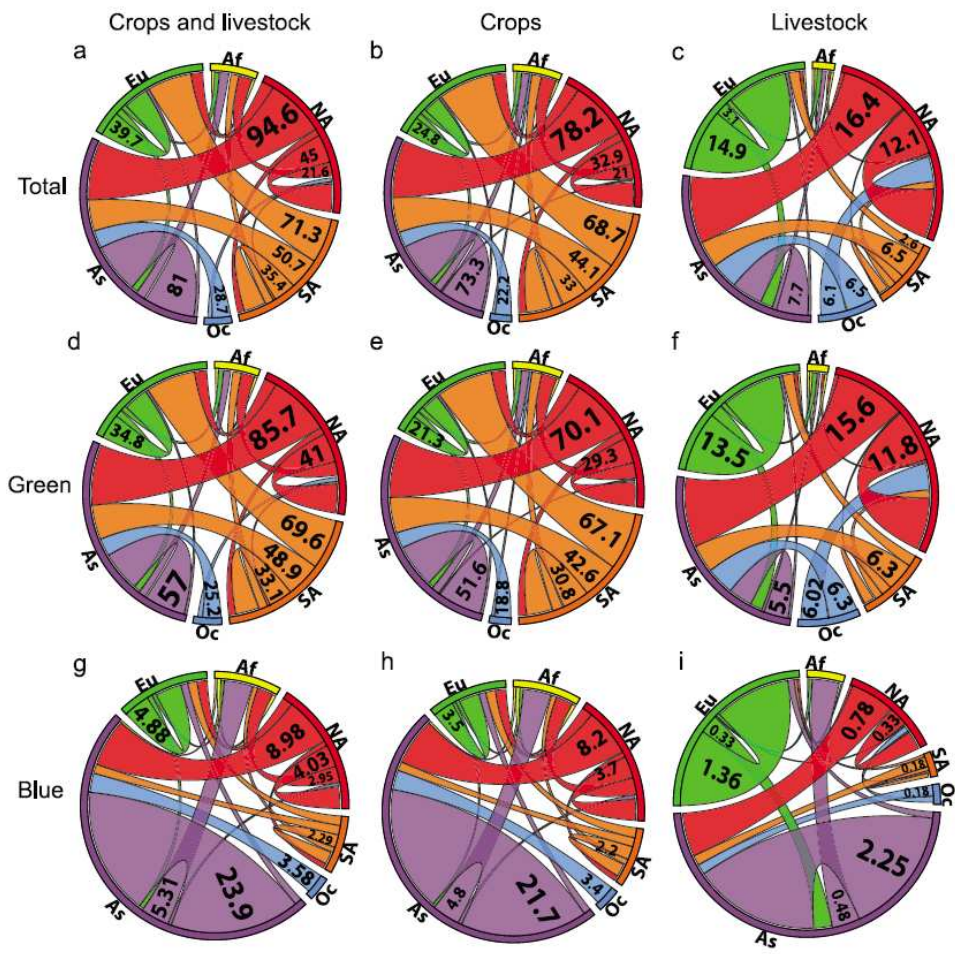
Commercio dell'acqua virtuale



Riprodotta da Konar et al., 2011

29.2 10^9 m³/anno (926 m³/s) di acqua virtuale dagli USA al Giappone





Acqua da precipitazioni

Acqua da irrigazione

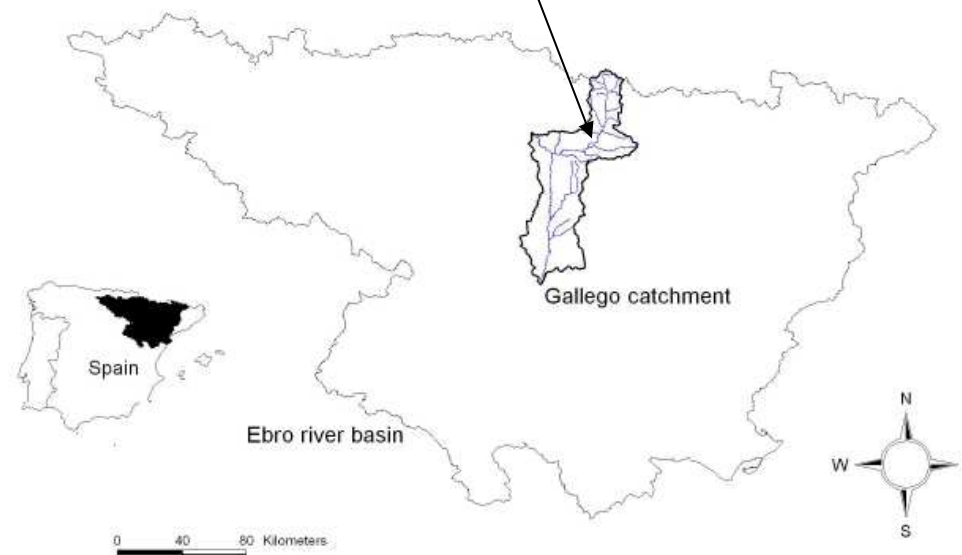
Riprodotta da Konar et al., 2011



Cosa succede a scala di bacino?



IL GALLEGO



Accoppiamento modelli

Water Resources Research, Vol. ?????, XXXX, DOI :xxxx

Modeling the impacts of future climate change on water resources for the Gállego river basin (Spain)

B. Majone¹, C.I. Bovolo², A. Bellin¹, S. Blenkinsop², H.J. Fowler²

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, University of Trento, Via Mesiano 77, I-38123 Trento, Italy.

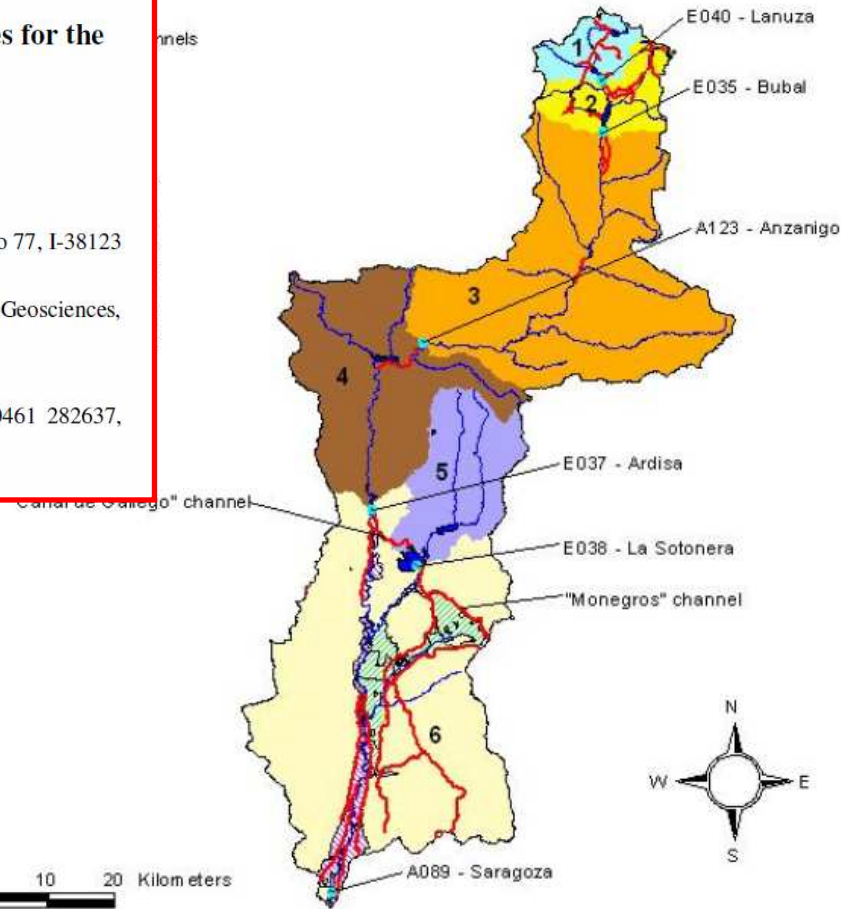
² Water Resource Systems Research Laboratory, School of Civil Engineering and Geosciences, University of Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK.

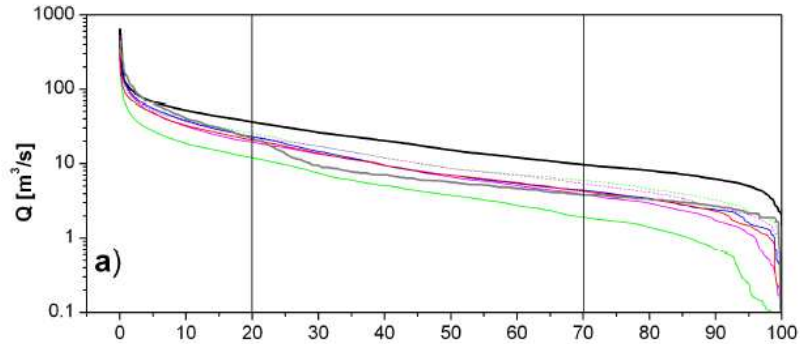
Corresponding author Bruno Majone: email: Bruno.majone@ing.unitn.it; Tel: +39 0461 282637, Fax : +39 0461 282672.

6 Modelli climatici (RCM)

Modello idrologico

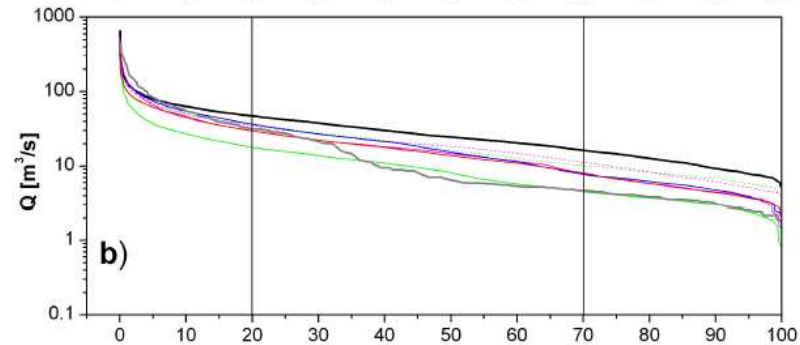
Modello economico





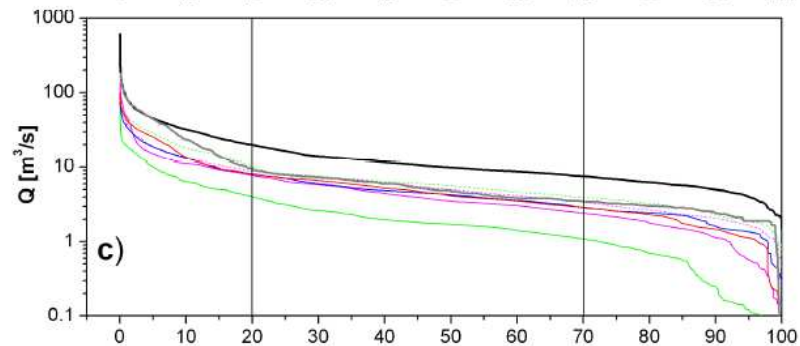
Intero anno

6 modelli RCM
PRUDENCE



Periodo accumulo

Modello idrologico
GEOTRANSF
Calibrato 2000-2005
Verifica 1961-1990



Periodo irriguo

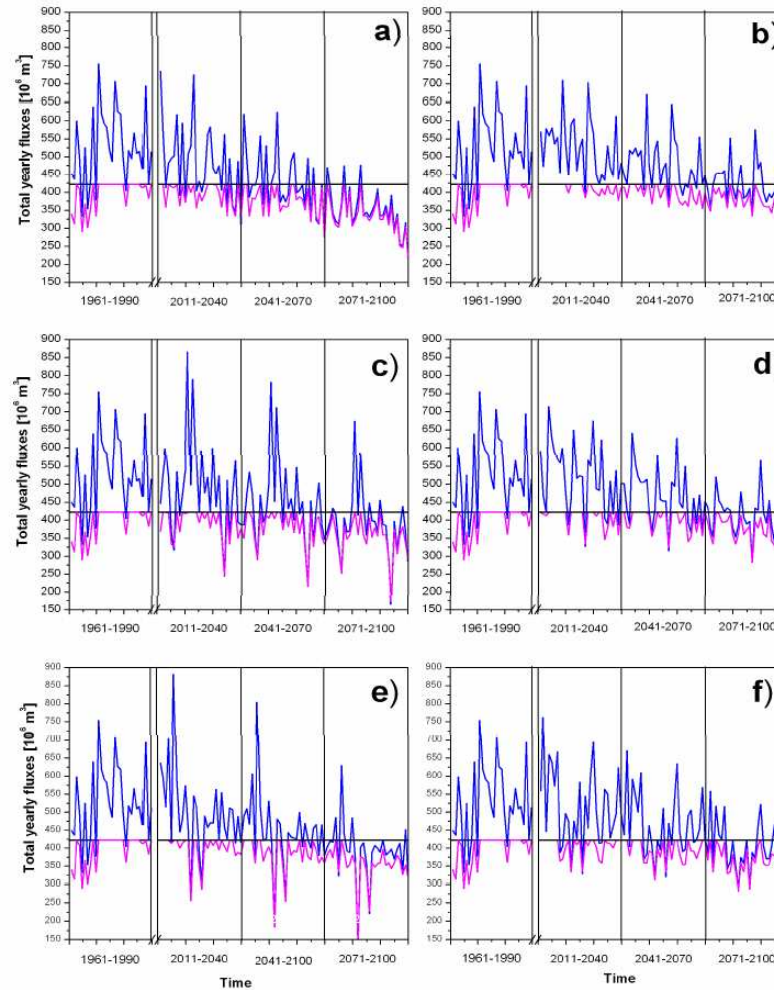
SCENARI
2071-2100

Percentage of time streamflow is equalled or exceeded

— CTRL-Sim (1961-1990)	— CAL-Obs (2001-2005)	— HAD_H
— RCAO_E	— RCAO_H	— HIRHAM_H
— HIRHAM_E		— ARPEGE_H



Effetti sulla gestione delle RI



E nel bacino dell'Adige?



Il progetto CLIMB

CLIMATE INDUCED CHANGES OF HYDROLOGY IN THE MEDITERRANEAN BASINS



<http://www.climb-fp7.eu/home/home.php>



Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

**Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà**

9 SETTEMBRE 2011



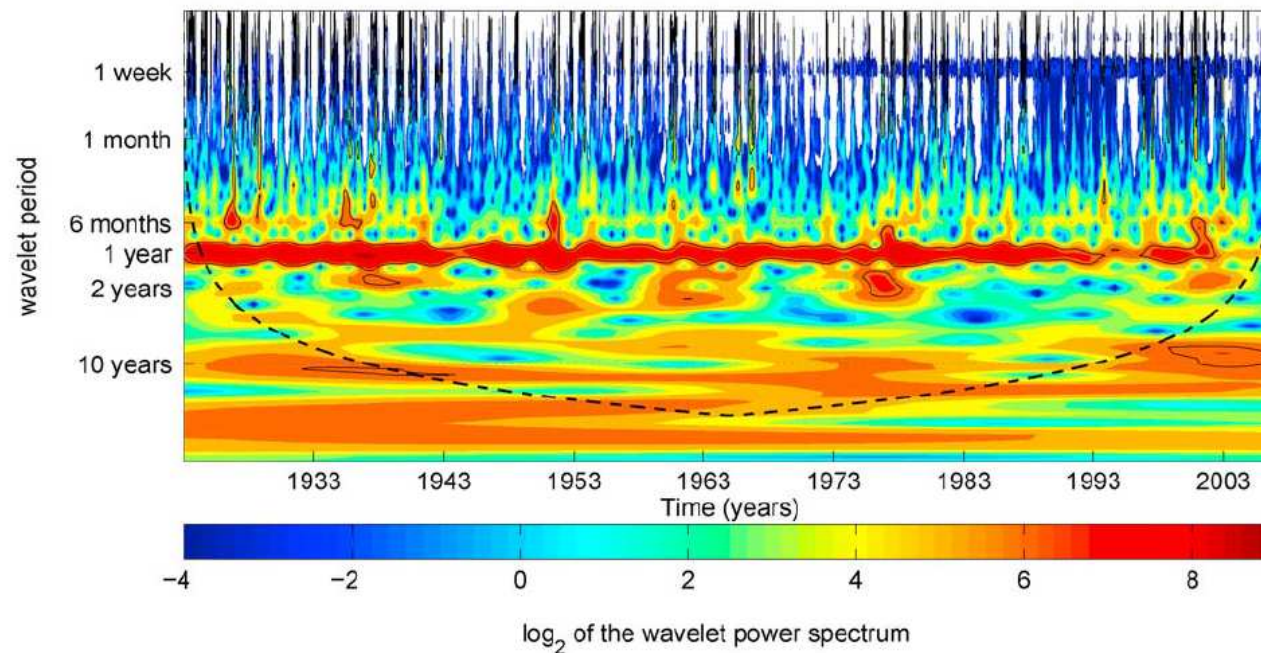
Assessing hydrological alterations at multiple temporal scales: Adige River, Italy

G. Zolezzi,¹ A. Bellin,¹ M. C. Bruno,² B. Maiolini,² and A. Siviglia¹

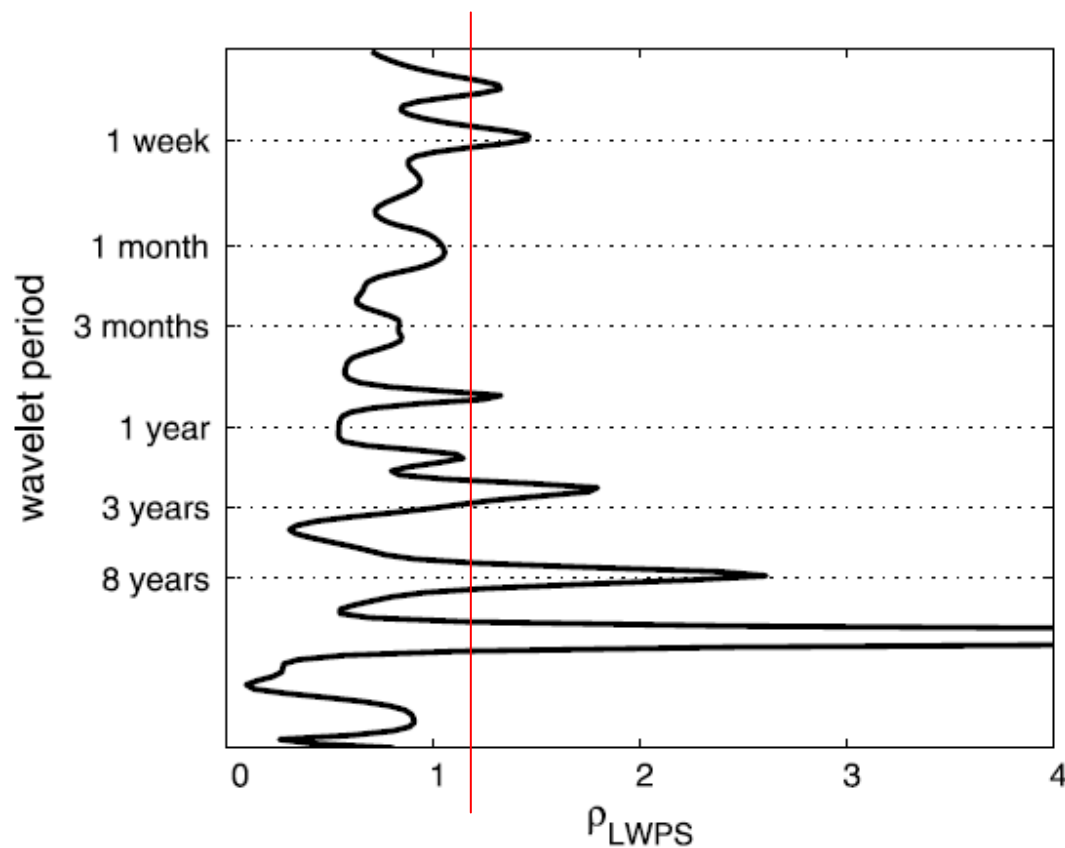
W12421

ZOLEZZI ET AL.: HYDROLOGICAL ALTERATIONS OF THE ADIGE RIVER

W12421

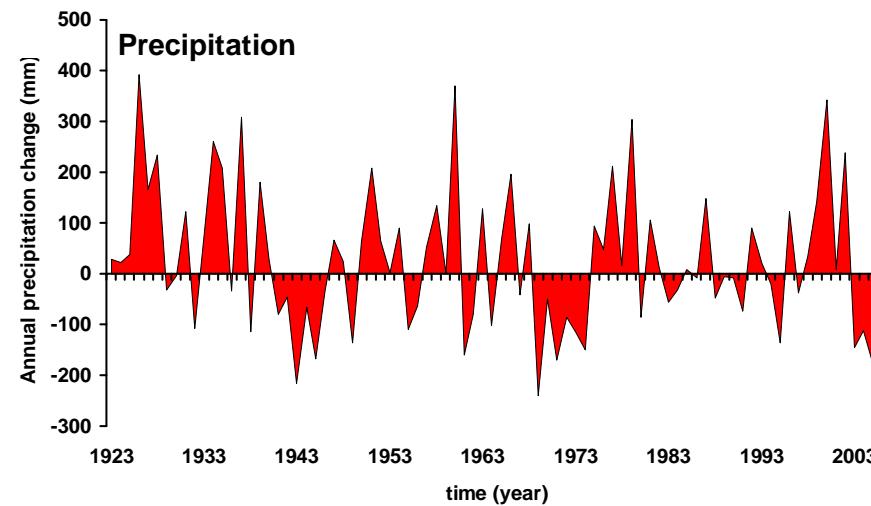
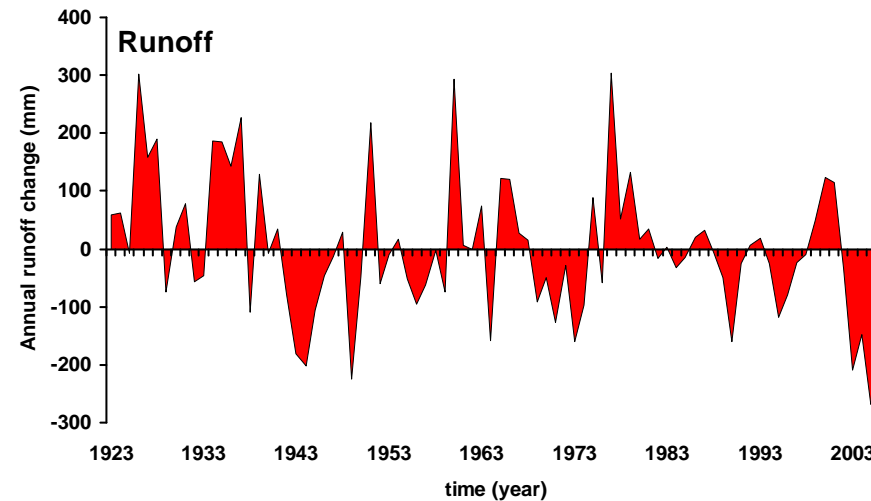


Effetti del cambiamento del clima ed altre alterazioni si sovrappongono



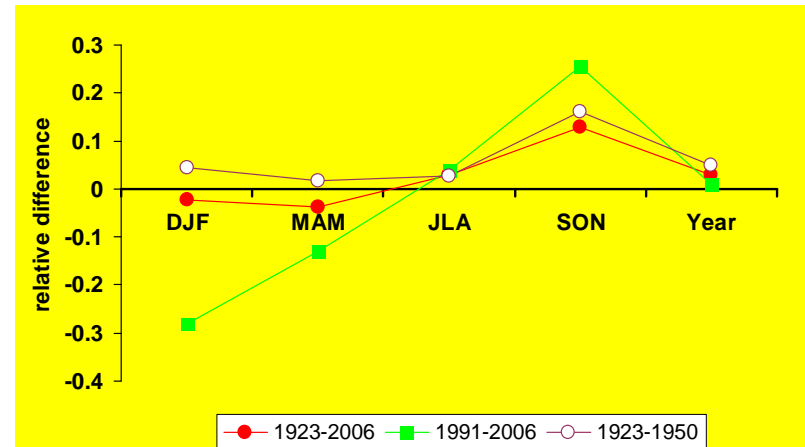
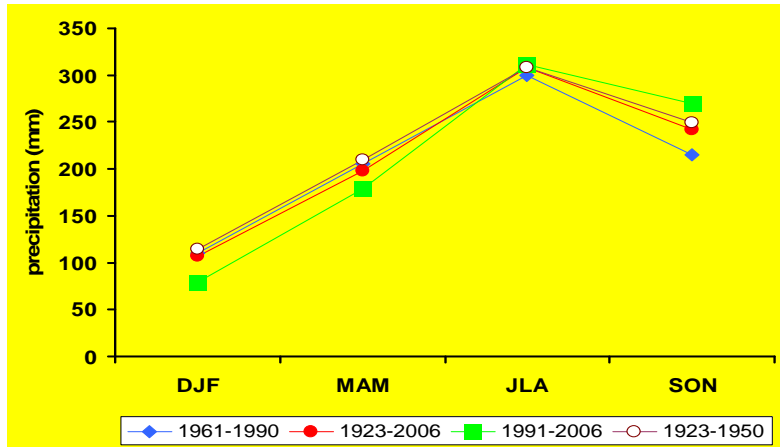
Serie Temporali

- Deviazione dei deflussi mensili dell'Adige misurati a Trento Ponte San Lorenzo dalla media del periodo (1961-1990)
- Deviazione delle precipitazioni medie mensili del bacino dell'Adige dalla media del periodo (1961-1990)

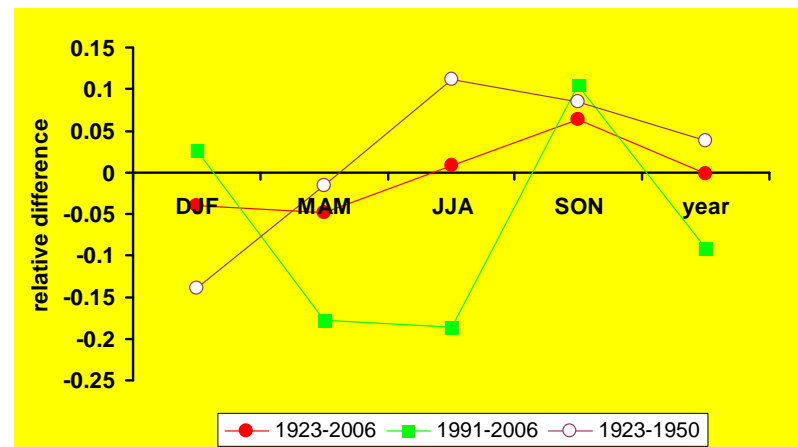
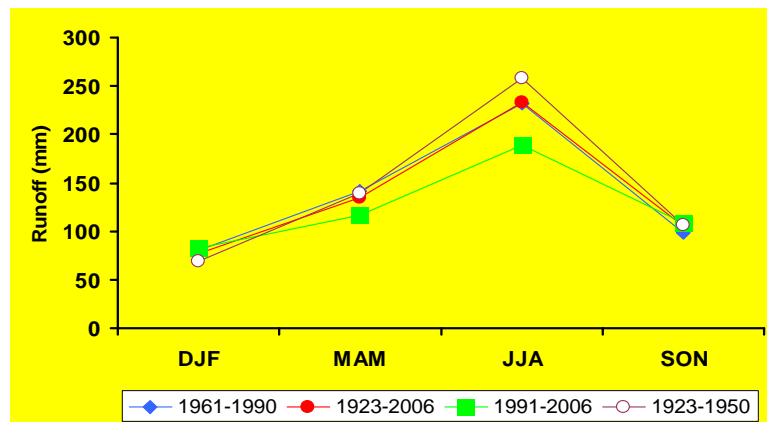


Medie stagionali

Precipitazioni

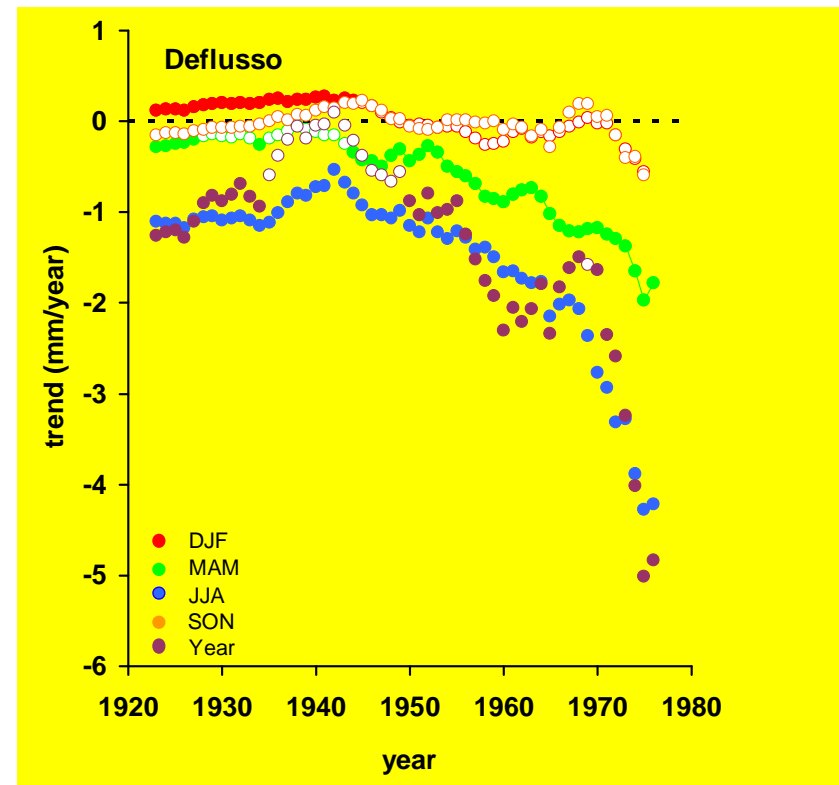
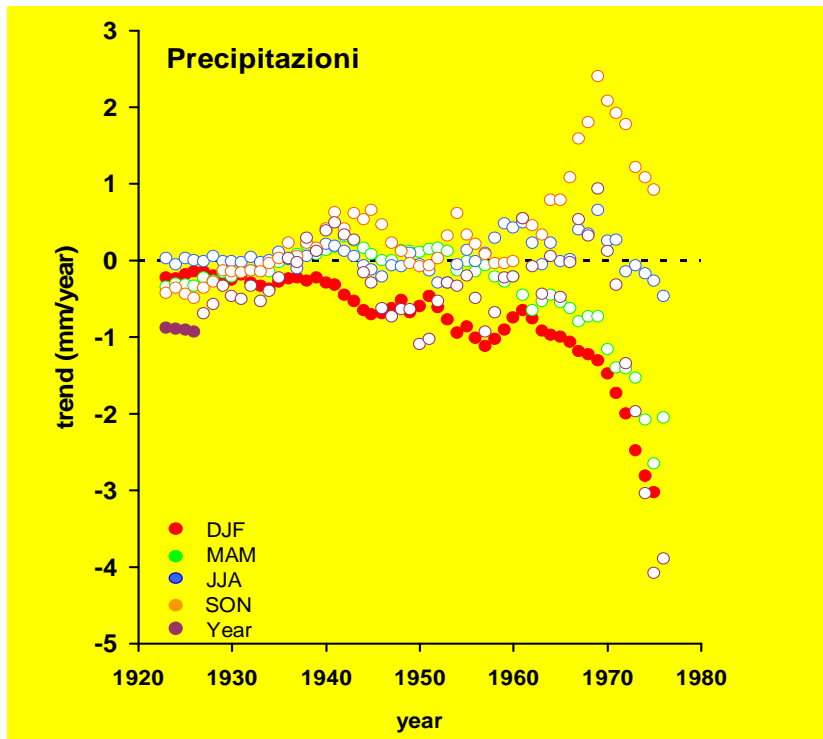


Deflusso

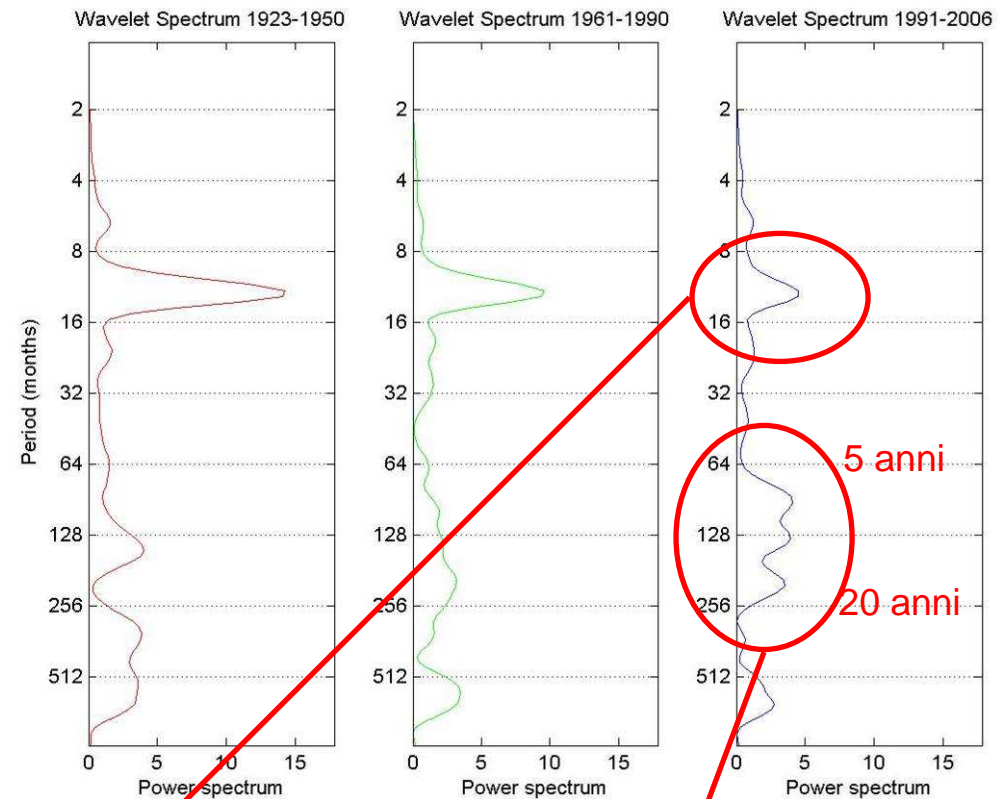
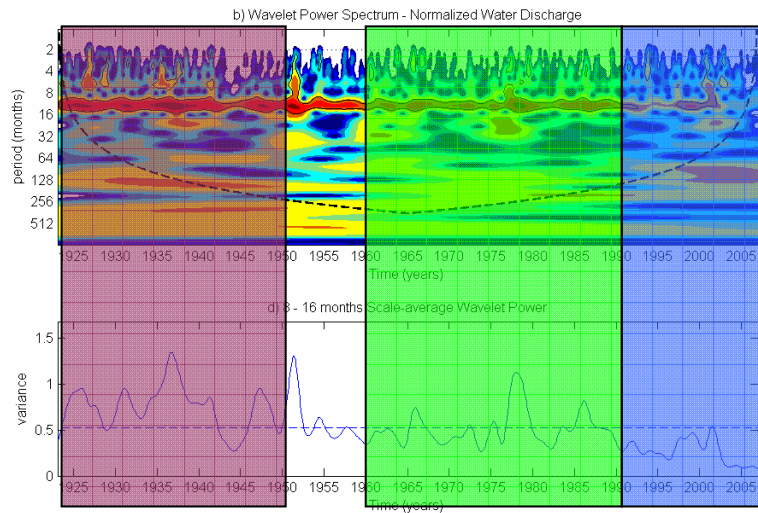


Analisi dei Trend (risultati)

5 mm/anno \longrightarrow 1.7 m³/s anno



Analisi mediante wavelets: risultati



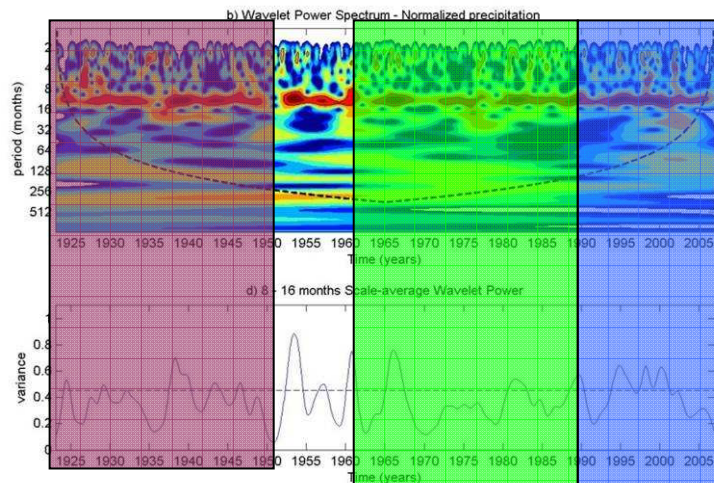
Tre periodi:
 1923-1950 (pre-idroelettrico)
 1961-1990 riferimento IPCC
 1991-2006 odierno

Minore variabilità intra-annuale

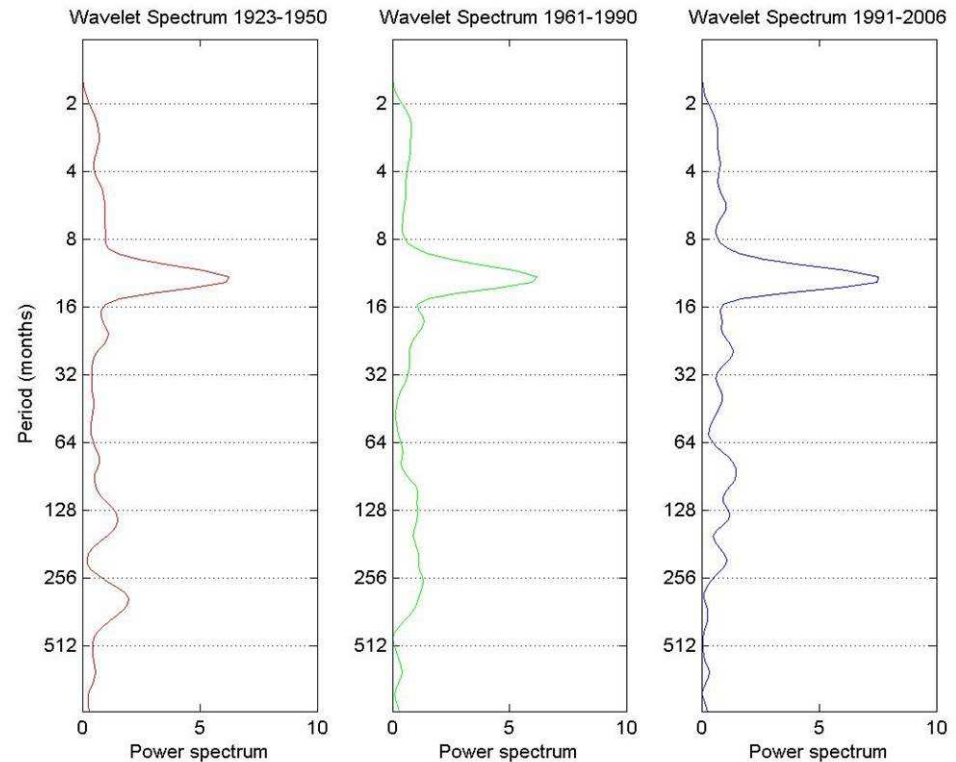
Sono i trend?



Wavelets: precipitazioni mensili



Incremento dell'energia associata alle variazioni annuali



Conclusioni (per l'Adige)

- I dati idrologici mostrano per il periodo 1991-2006 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.



Effetti a scala locale

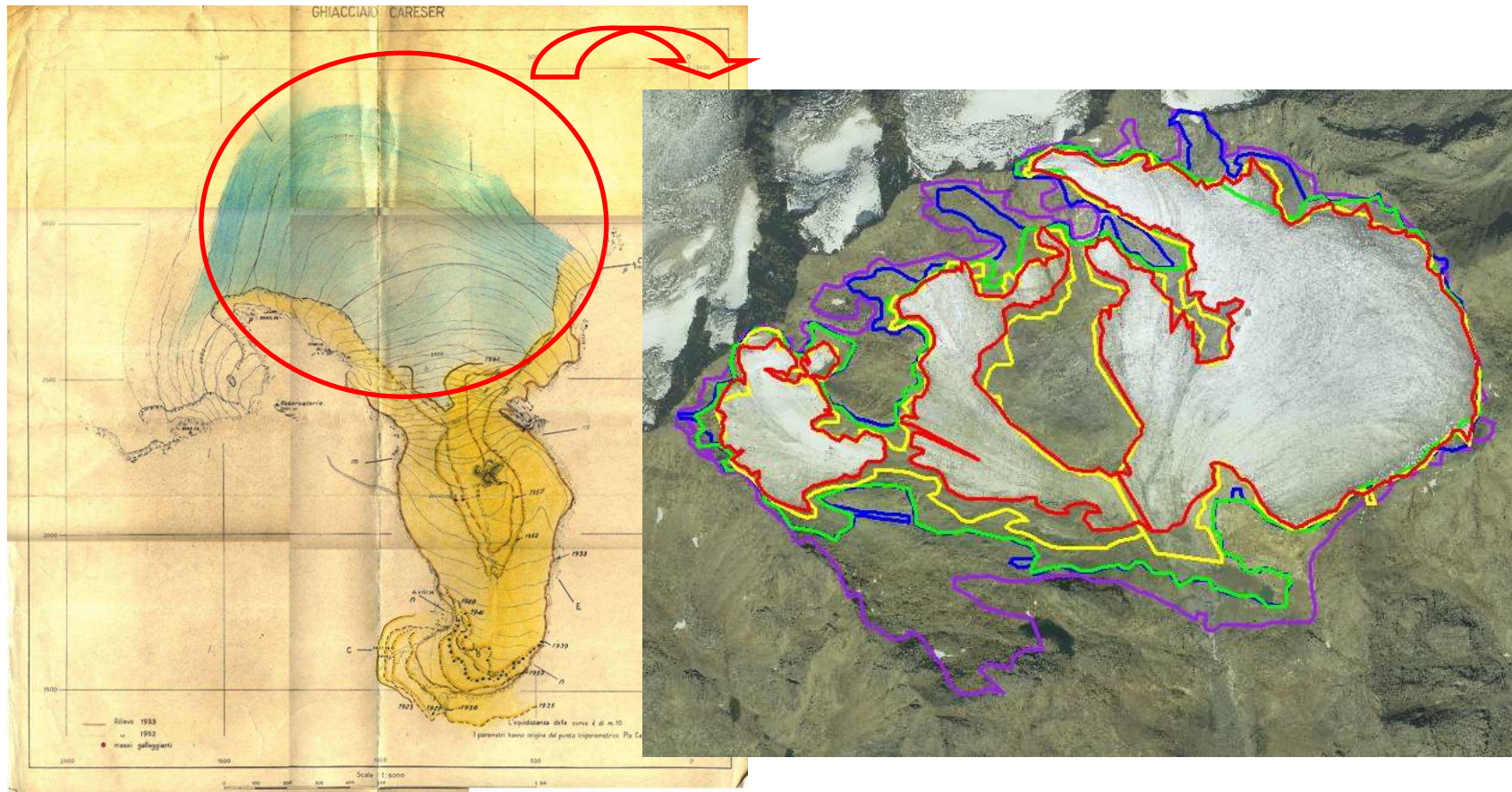
IL GHIACCIAIO DEL CARESER

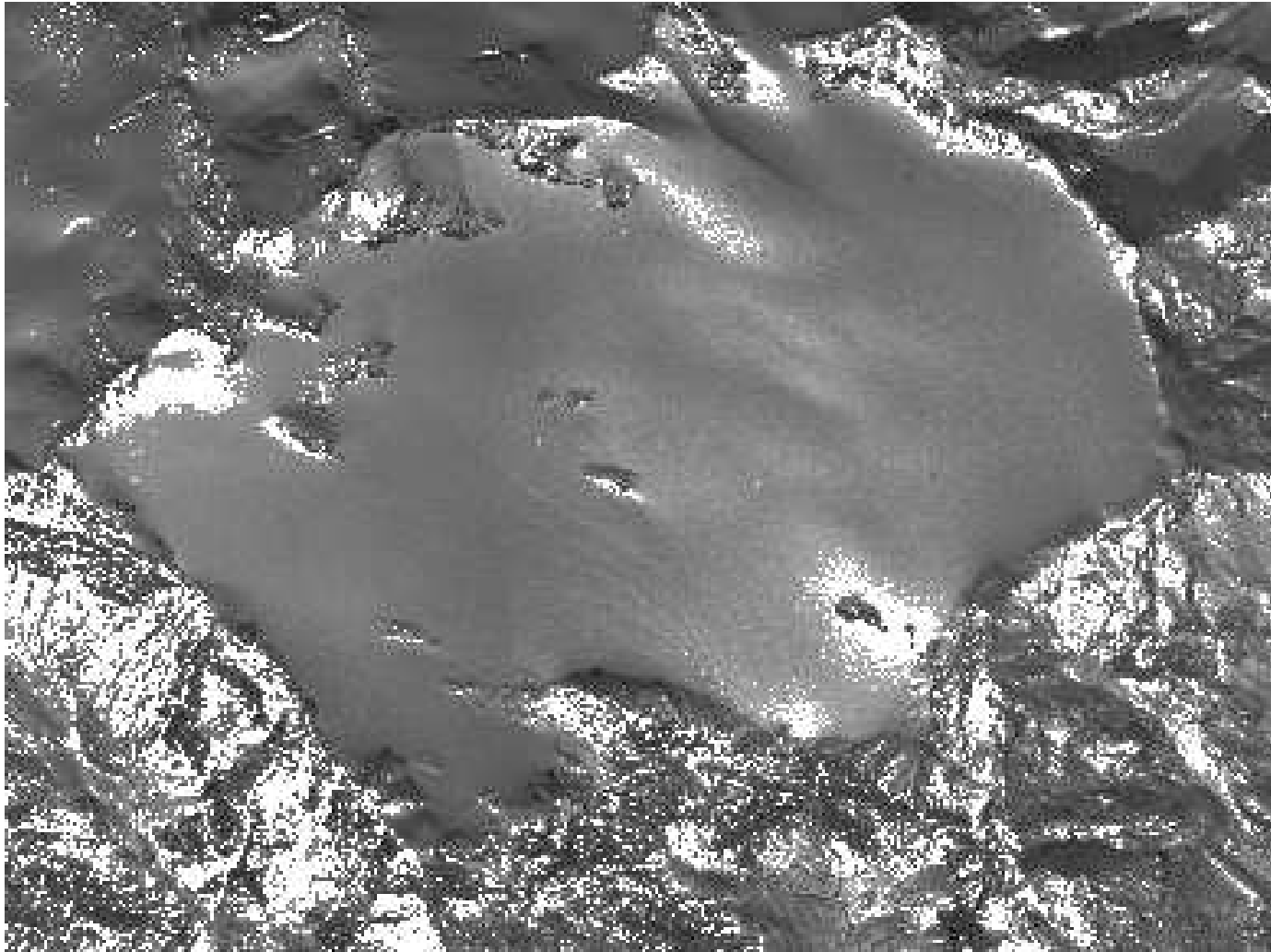
Tiziano Martinelli, Oscar Cainelli, Alberto Bellin,
Trends in the hydrology of the Careser glacier
(In corso di preparazione)



CARATTERISTICHE

Il ghiacciaio del Careser è uno dei più studiati al mondo, le prime misure di portata ed ablazione risalgono al 1933.



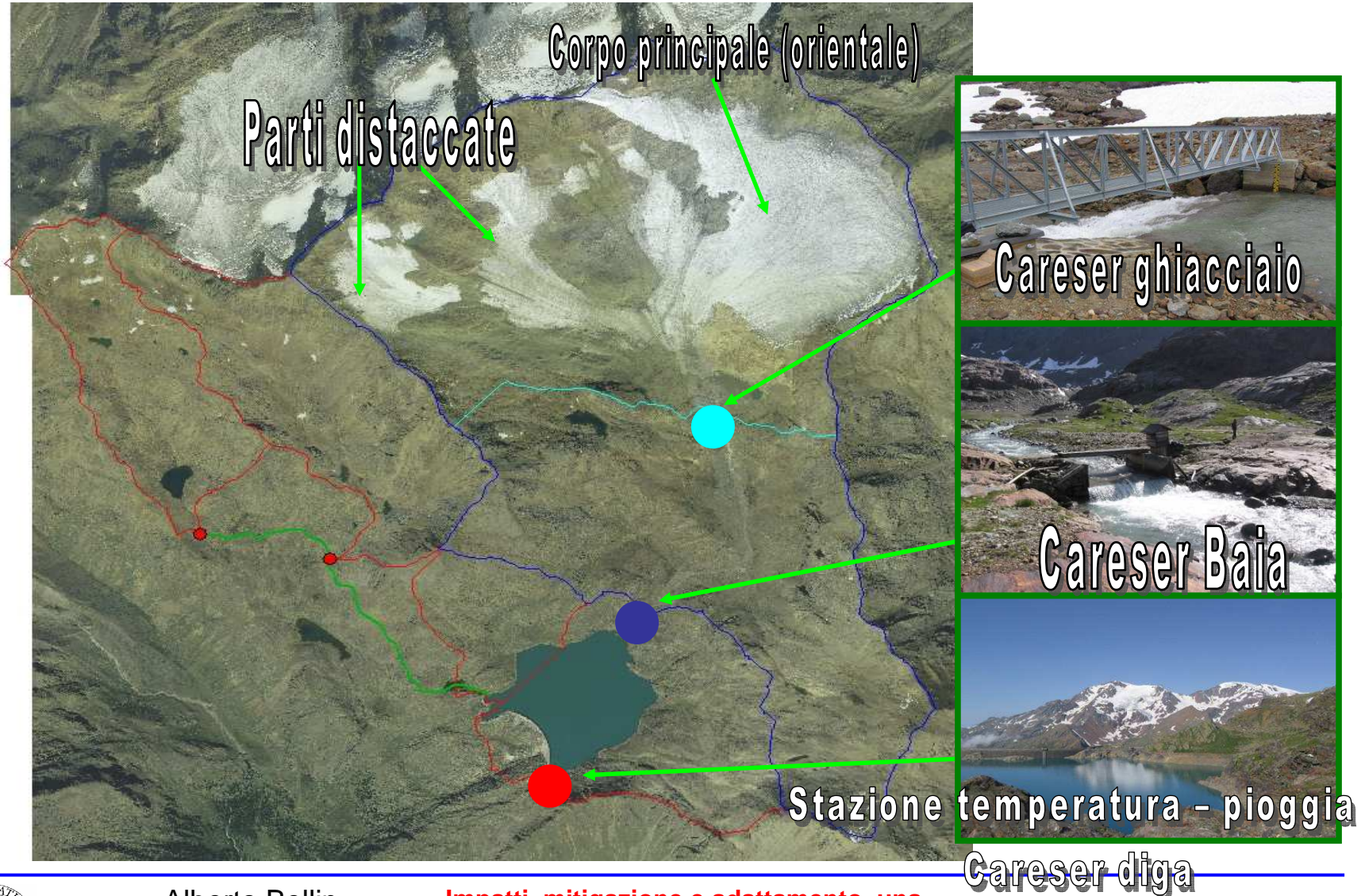


Alberto Bellin
alberto.bellin@unitn.it

**Impatti, mitigazione e adattamento, una
scommessa globale sul clima che verrà**

9 SETTEMBRE 2011

IL GHIACCIAIO DEL CARESER



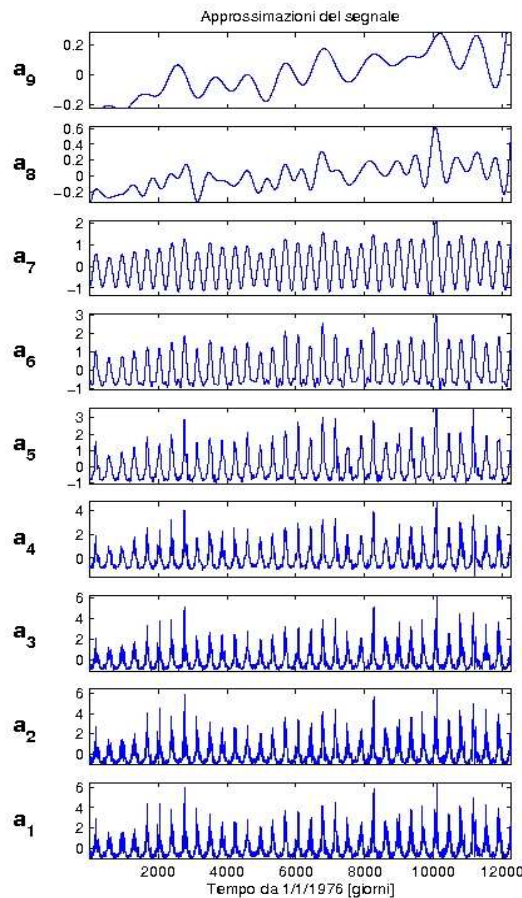
SERIE STORICHE DI PORTATA

3. ANALISI DELLA SERIE RICOSTRUITA

Analisi wavelet discreta:

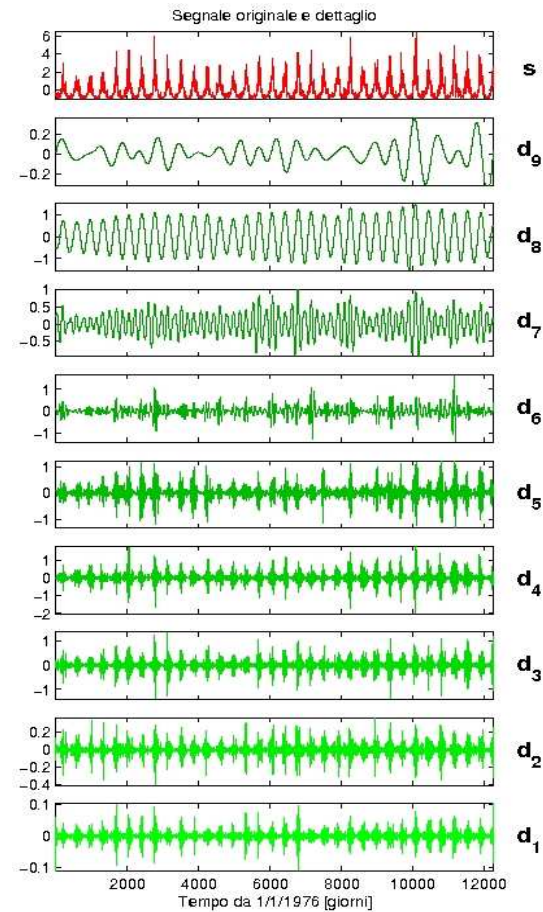
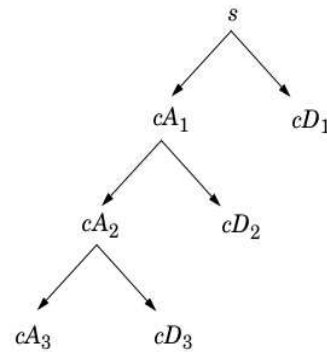
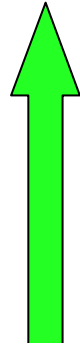
decomposizione segnale \rightarrow approssimazione (basse frequenze)

dettaglio (alte frequenze)



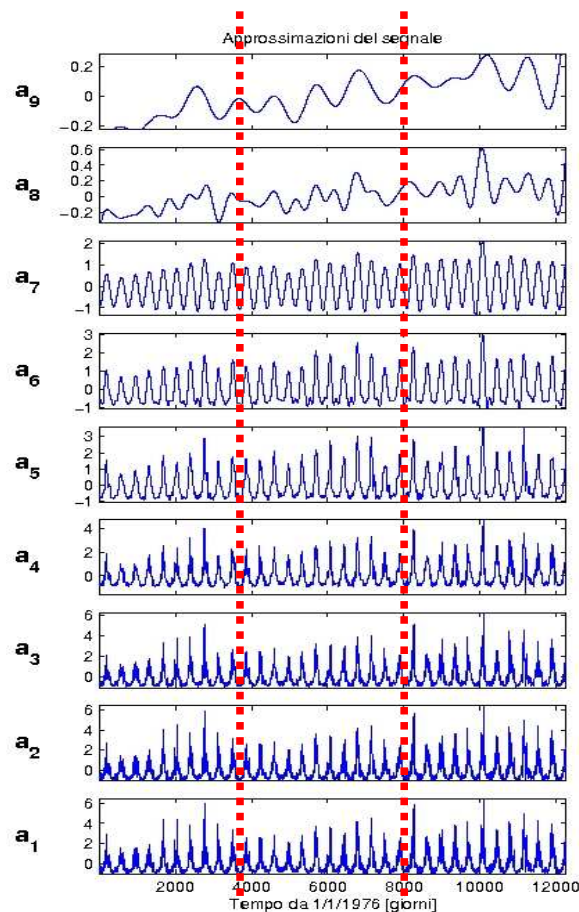
← Segnale a 512 giorni

Decomposizione
segnale crescente

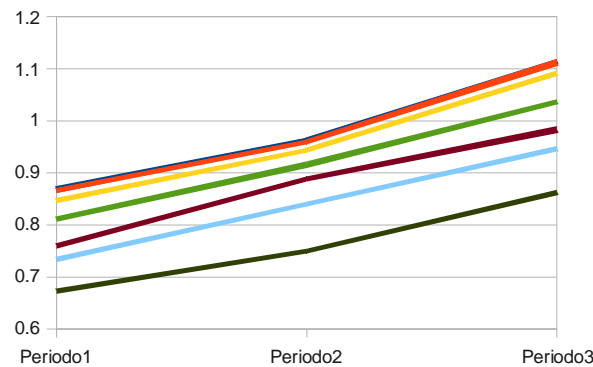
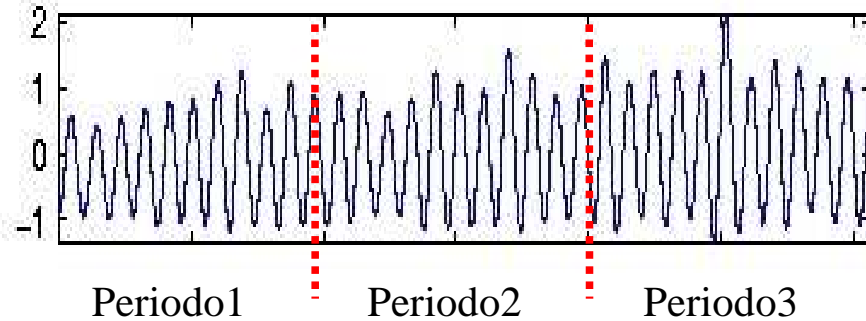


SERIE STORICHE DI PORTATA

3. ANALISI DELLA SERIE RICOSTRUITA



Divisione della serie in 3
periodi: 1976-1986, 1987-
1997, 1998-2009



La deviazione
standard per le prime
7 approssimazioni è
sempre crescente

Ipotesi: riduzione del volume di ghiaccio → diminuzione dell'effetto microclimatico della massa glaciale (+2°C Careser vs 0.59°C trentino) → aumento dell'ampiezza dei picchi di portata (aumento deviaz. Standard)

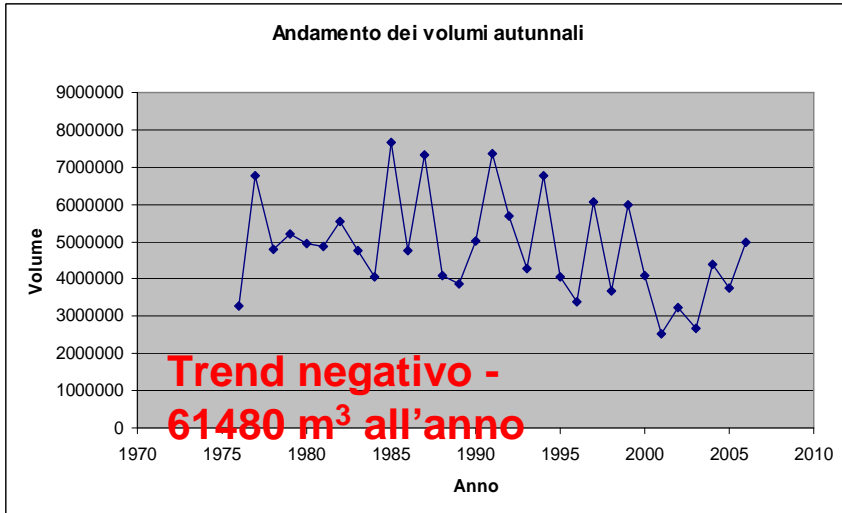
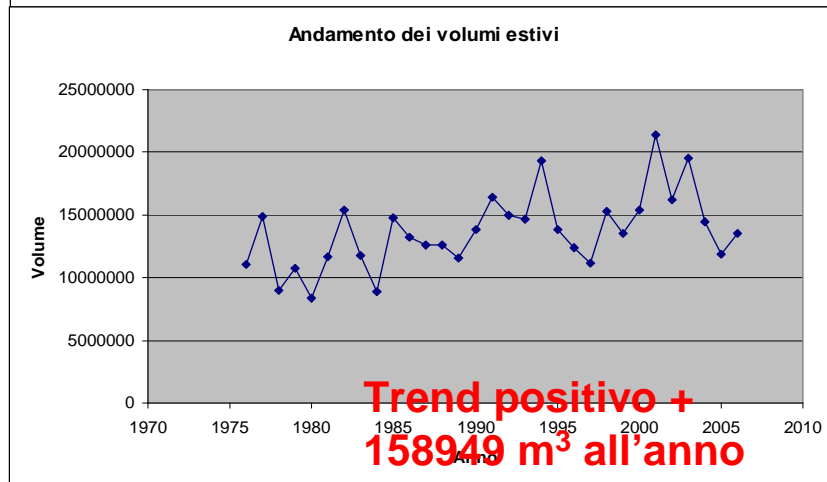
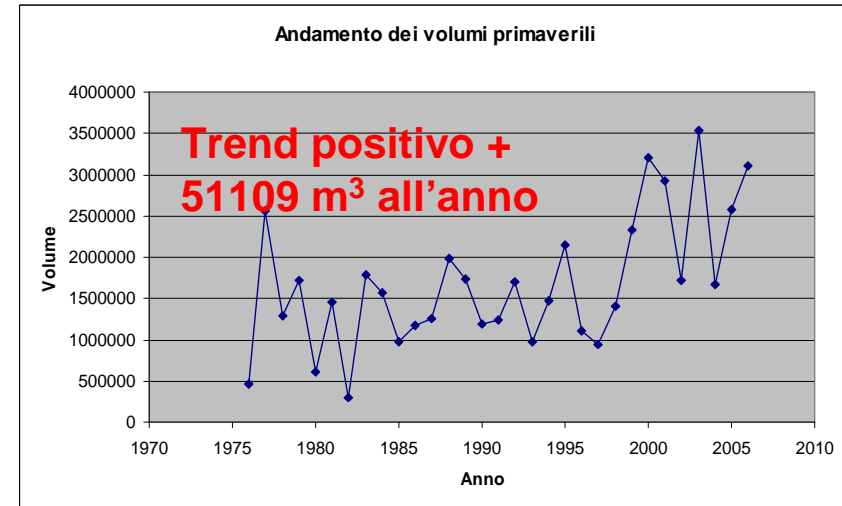
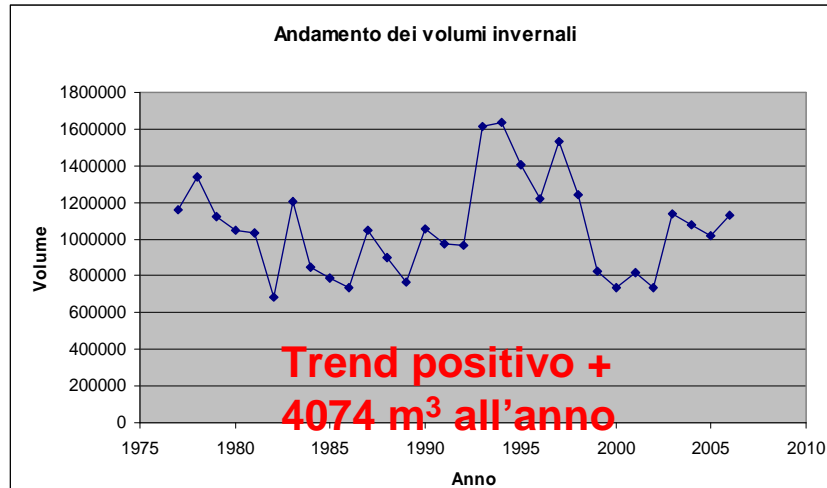
AUMENTO NEL TEMPO DELLA VELOCITÀ DI SCIoglimento



SERIE STORICHE DI PORTATA

3. ANALISI DELLA SERIE RICOSTRUITA

Mann - Kendall trend test



Ringraziamenti

- MeteoTrentino, Ufficio dighe della Provincia Autonoma di Trento, Autorità di Bacino dell'Adige, Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano



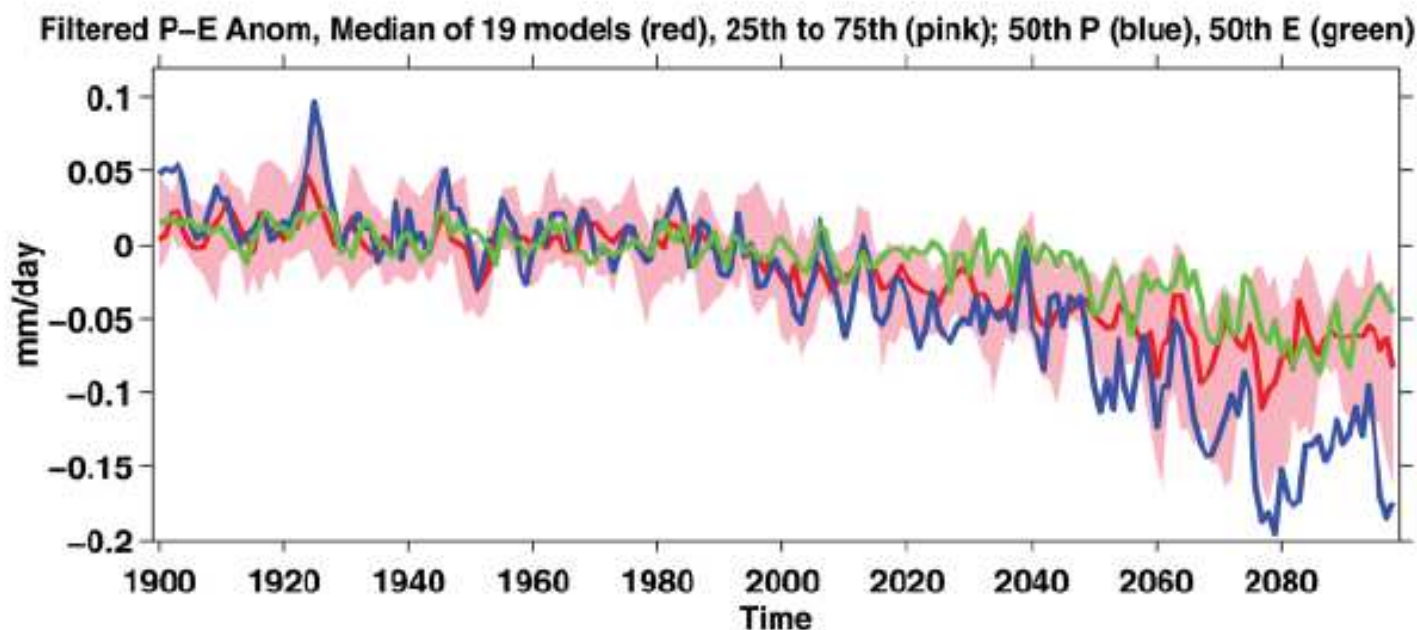
Analisi regionali

SCIENCE VOL 316 25 MAY 2007

Model Projections of an Imminent Transition to a More Arid Climate in Southwestern North America

19 modelli climatici
Scenario AR1

Richard Seager,^{1*} Mingfang Ting,¹ Isaac Held,^{2,3} Yochanan Kushnir,¹ Jian Lu,⁴
Gabriel Vecchi,² Huei-Ping Huang,¹ Nili Harnik,⁵ Ants Leetmaa,² Ngar-Cheung Lau,^{2,3}
Cuihua Li,¹ Jennifer Velez,¹ Naomi Naik¹



Analisi regionali

REPORTS 22 FEBRUARY 2008 VOL 319 SCIENCE

Human-Induced Changes in the Hydrology of the Western United States

Tim P. Barnett,^{1*} David W. Pierce,¹ Hugo G. Hidalgo,¹ Celine Bonfils,²
Benjamin D. Santer,² Tapash Das,¹ Govindasamy Bala,² Andrew W. Wood,³
Toru Nozawa,⁴ Arthur A. Mirin,² Daniel R. Cayan,^{1,5} Michael D. Dettinger^{1,5}

Analisi di grandezze meteo legate
ai deflussi nell'ovest degli USA

Periodo 1950-1999

Analisi combinata di GCM + RCM
con analisi dei dati

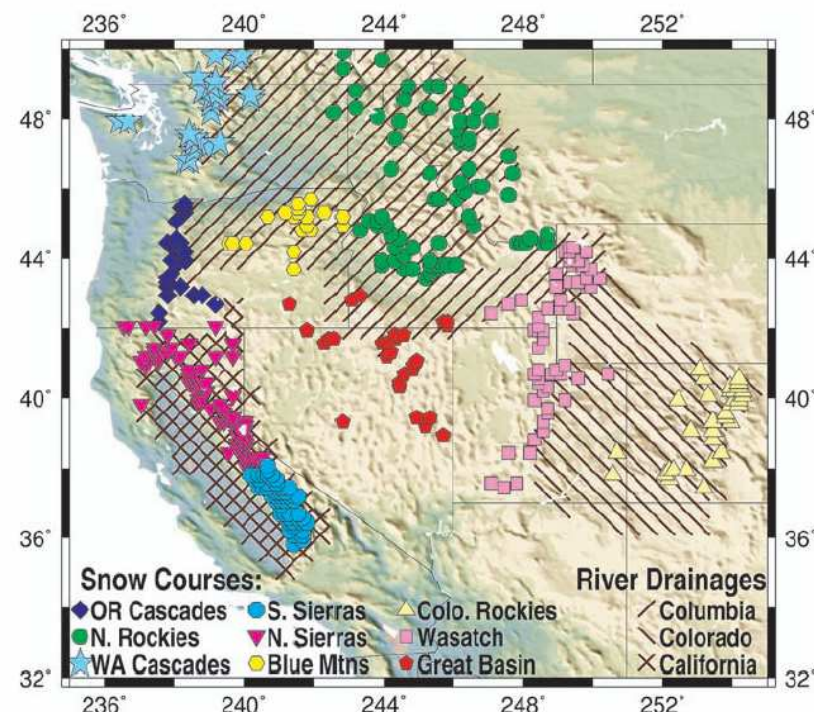


Fig. 1. Map showing averaging regions over which SWE/P and JFM T_{min} were determined. The hatching shows the approximate outline of the three main drainage basins used in this study.



Analisi regionali (continua)

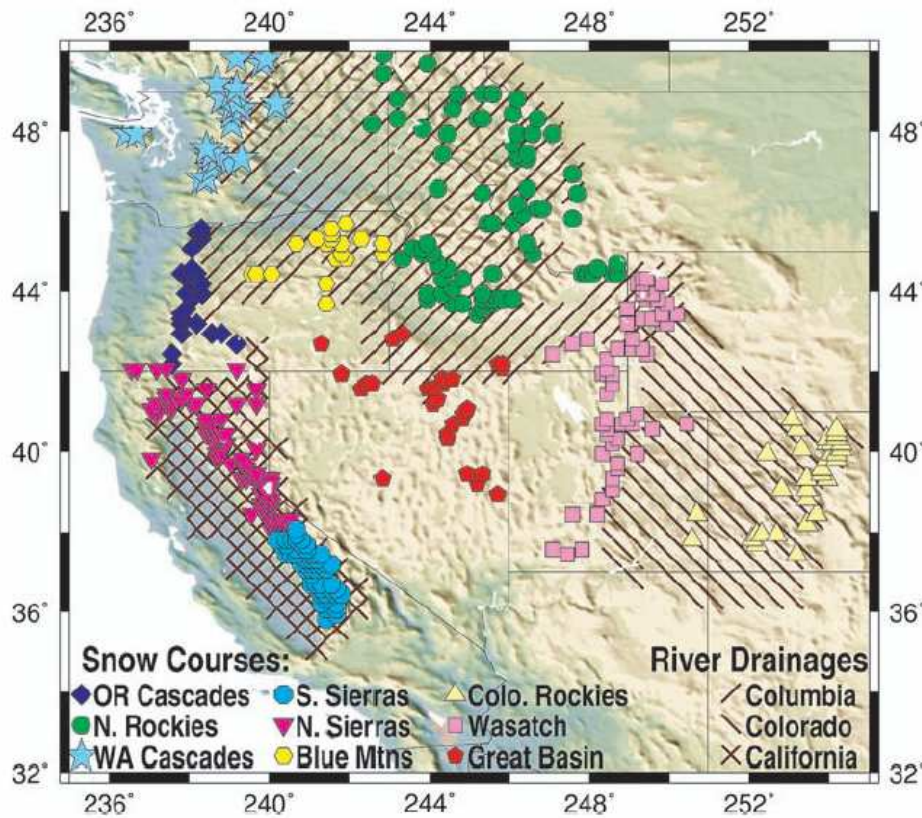
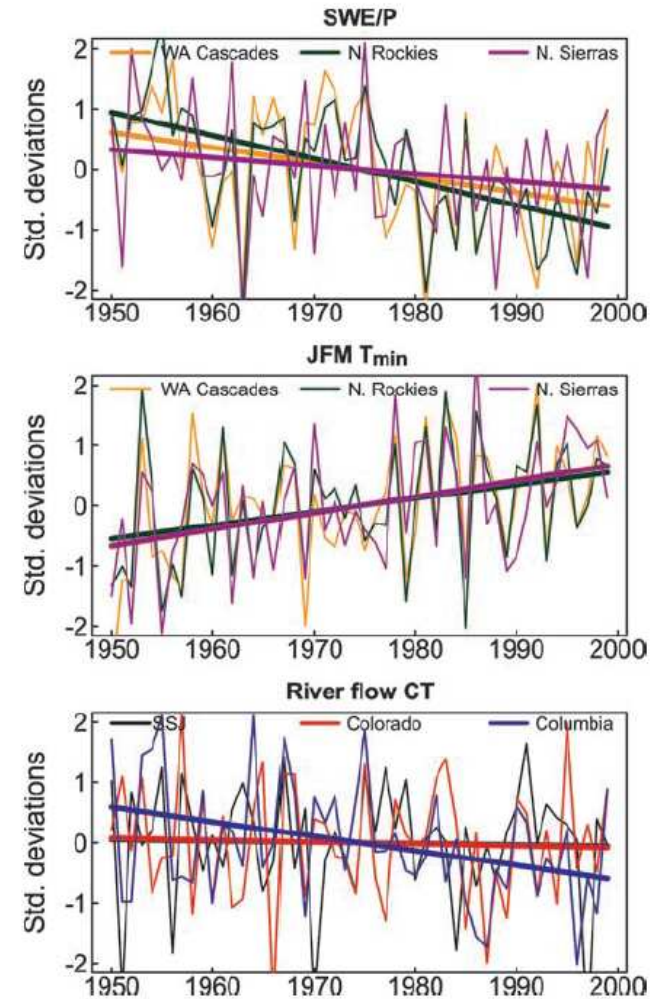
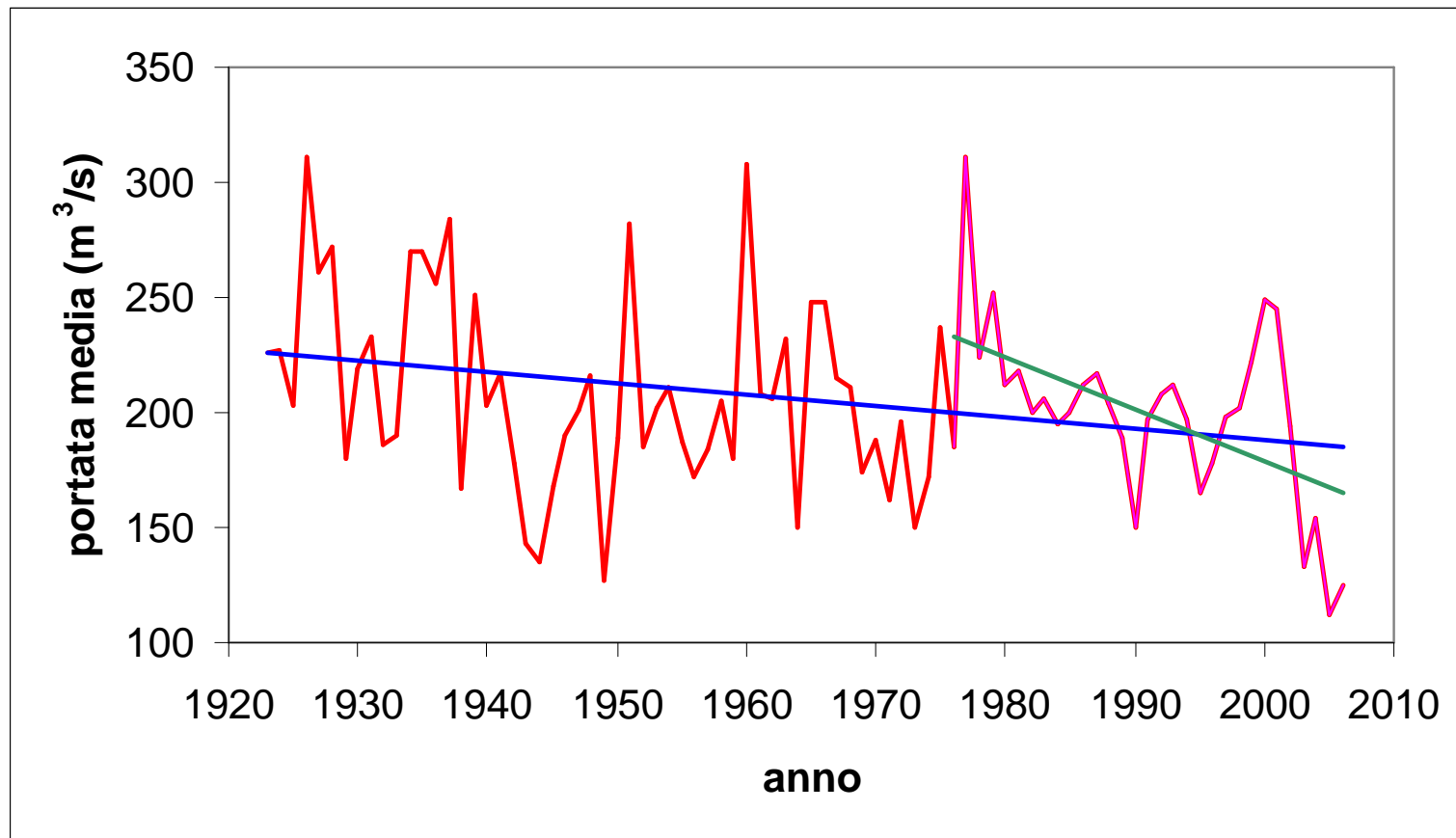


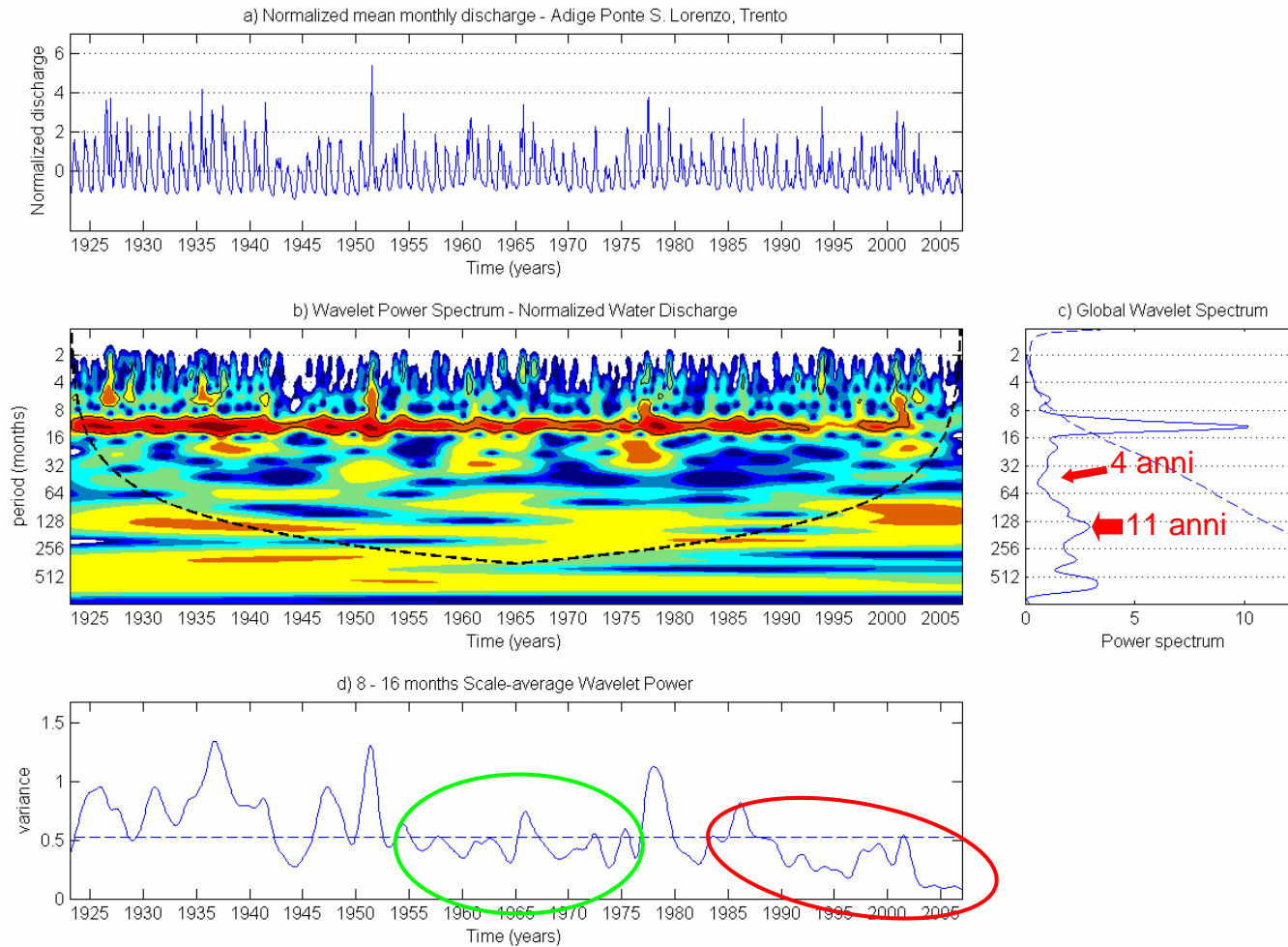
Fig. 1. Map showing averaging regions over which SWE/P and JFM T_{min} were determined. The hatching shows the approximate outline of the three main drainage basins used in this study.



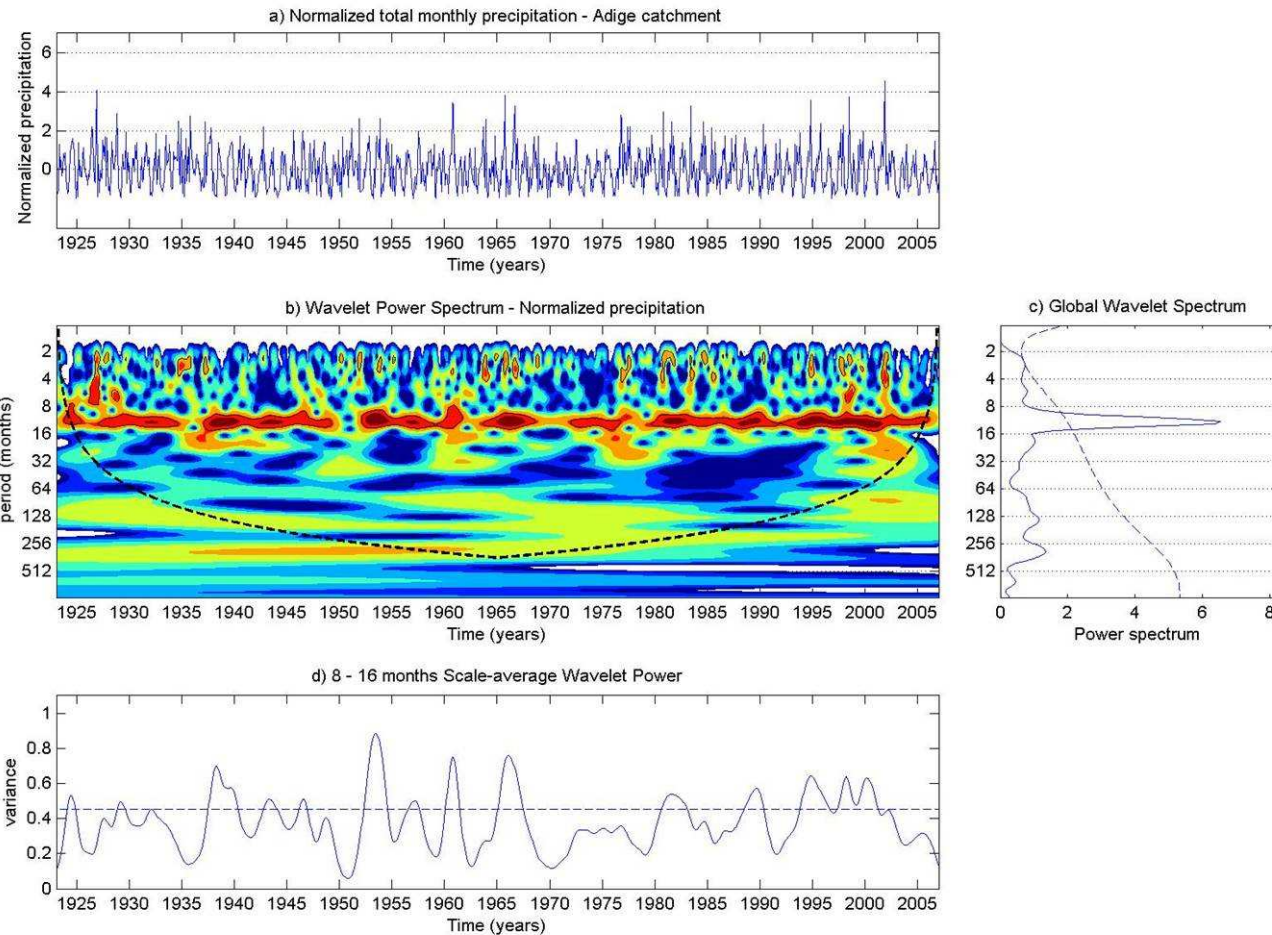
Analisi dei Trend



Wavelets: deflusso medio mensile



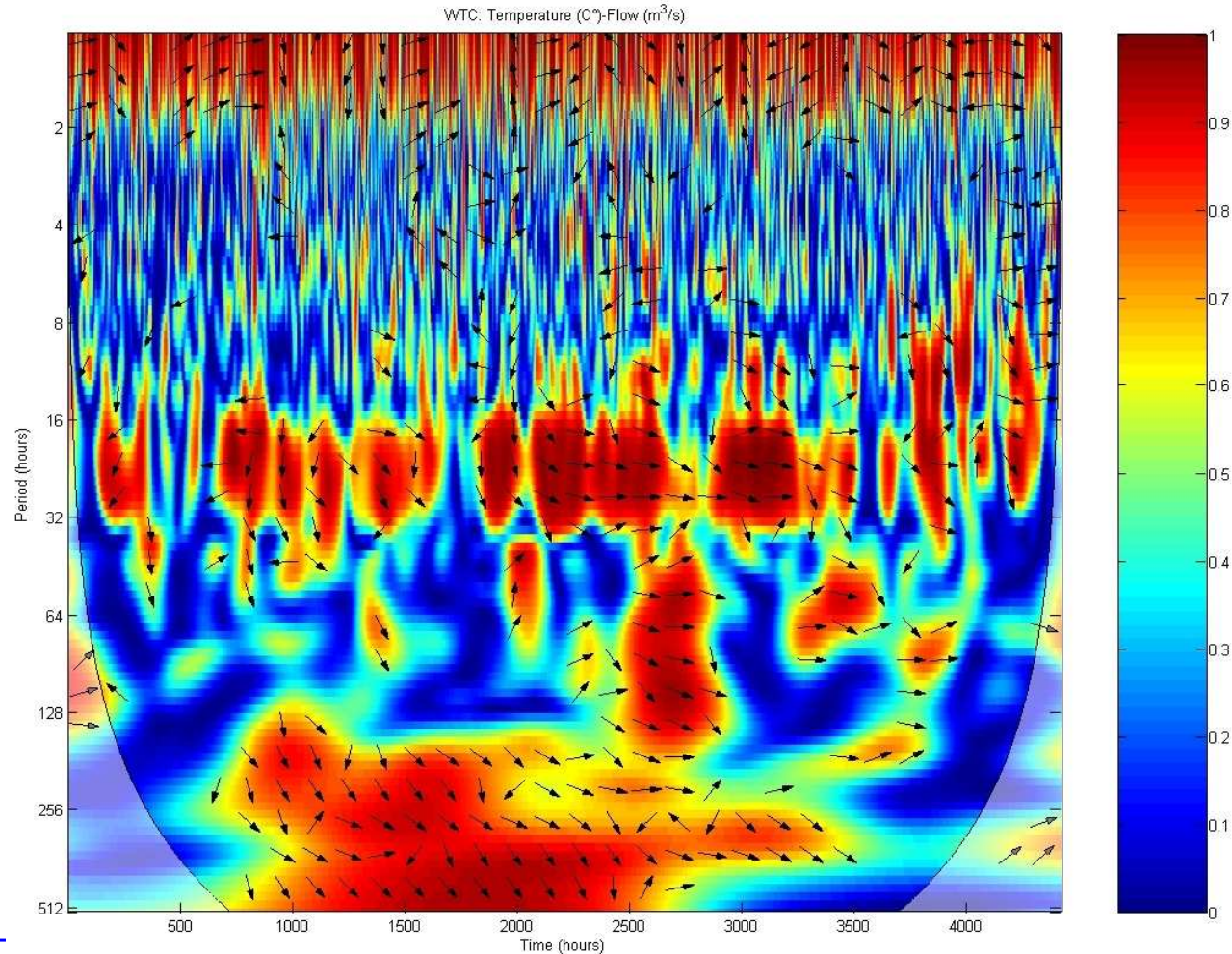
Wavelets: precipitazioni mensili



SERIE STORICHE DI PORTATA

3. ANALISI DELLA SERIE RICOSTRUITA

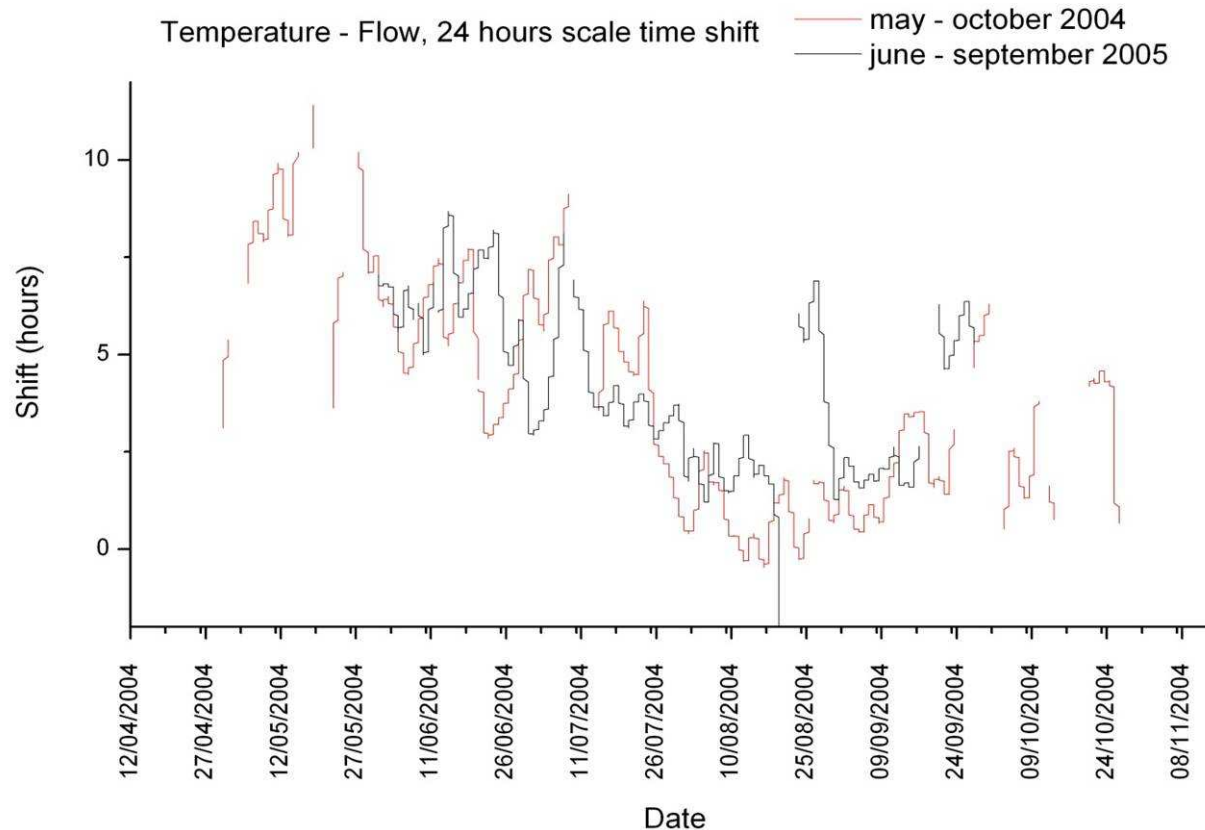
La correlazione fra portata e temperatura (mag-ott 2004) è forte sulle 24 ore; si osserva uno sfasamento temporale variabile



SERIE STORICHE DI PORTATA

3. ANALISI DELLA SERIE RICOSTRUITA

Lo sfasamento temporale fra la serie di temperatura e portata varia durante l'estate, riducendosi da maggio ad ottobre (5 → 1 ore) → Il manto nevoso ritarda e presumibilmente riduce per ricongelamento la percolazione dell'acqua sciolta in superficie, che in estate avanzata invece si raccoglie in bedieres e pozzi e giunge rapidamente alla stazione.



SERIE STORICHE DI PORTATA

3. ANALISI DELLA SERIE RICOSTRUITA

Temperatura e portata → trend crescente, dall'estrapolazione della scala annuale wavelet.

1986 e 2003 → annate in cui si sono raggiunte temperature elevate

