



Giornata di Studio
“LA VALUTAZIONE DELLA PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA
NELLE DISCIPLINE IDRAULICHE ED IL FINANZIAMENTO DELLA RICERCA”

Workshop Tematico
“LA VALIDAZIONE DEI MODELLI IDRAULICI E IDROLOGICI”

Tecniche di verifica di previsioni di ensemble fornite da modelli idrologici

Giuseppe Mascaro⁽¹⁾, Roberto Deidda⁽¹⁾, Enrique R. Vivoni⁽²⁾

- 1. Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Università di Cagliari*
- 2. Arizona State University*

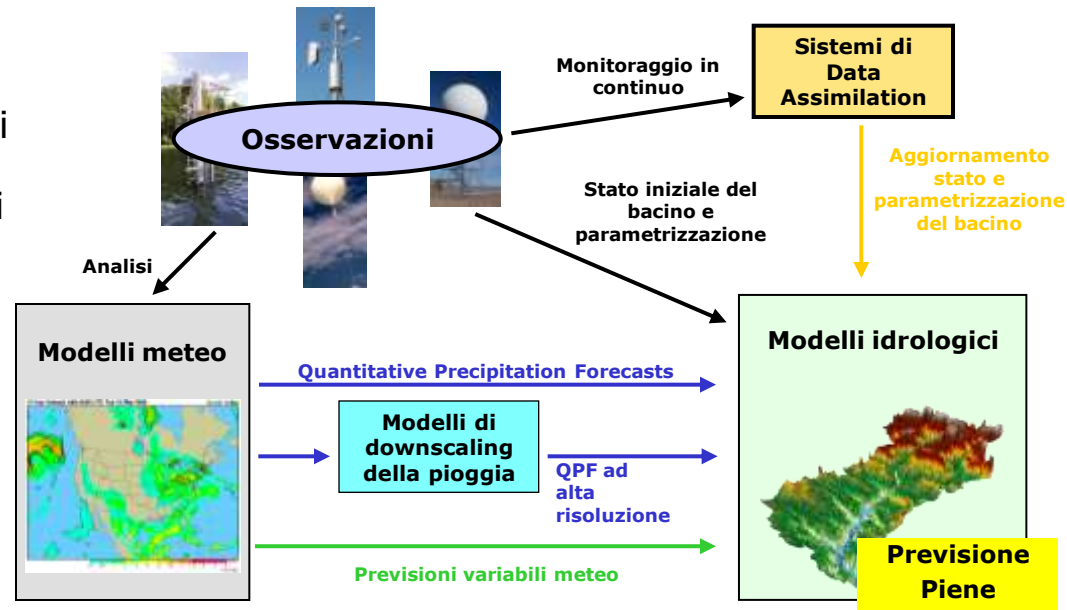
Venerdì, 21 Ottobre 2011



Motivazione

1. I sistemi di previsione ambientale sono caratterizzati da diverse sorgenti d'**incertezza**, che non possono essere messe in conto con tradizionali approcci deterministici.

Esempio: catene idrometeorologiche per la previsione delle piene

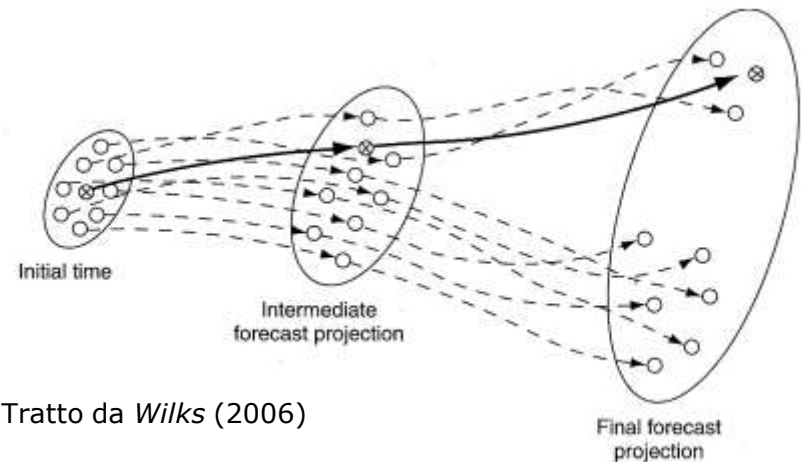


2. Le tecniche di **ensemble forecasting** permettono di mettere in conto le fonti di incertezza attraverso un approccio di tipo Monte-Carlo.

Scopo: costruire la pdf della variabile da predire nel futuro, campionando la pdf dello stato iniziale.



Previsione di tipo probabilistico



Tratto da Wilks (2006)



- 1. Sistema idrometeorologico di previsione di piene di tipo ensemble:**
 - *Modello di downscaling della precipitazione*
 - *Modello idrologico distribuito*
- 2. Tecniche di verifica degli ensemble degli idrogrammi:**
 - *Definizioni e metodi di verifica*
- 3. Esperimenti sintetici.**
- 4. Risultati ed implicazioni.**
- 5. Conclusioni.**



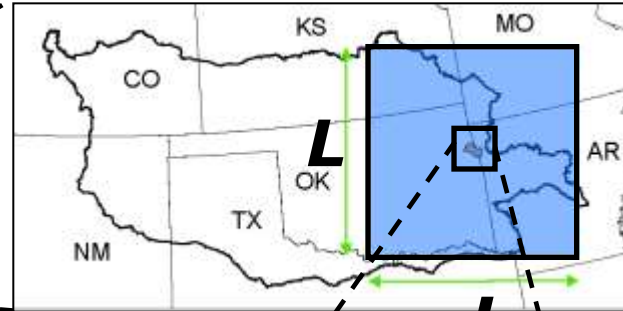
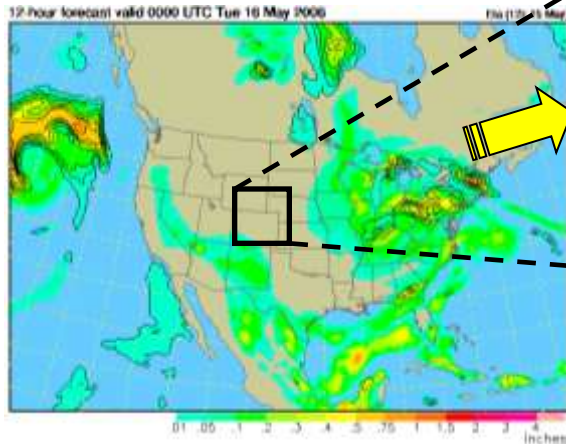
Sommario

- 1. Sistema idrometeorologico di previsione di piene di tipo ensemble:**
 - *Modello di downscaling della precipitazione*
 - *Modello idrologico distribuito*
- 2. Tecniche di verifica degli ensemble degli idrogrammi:**
 - *Definizioni e metodi di verifica*
- 3. Esperimenti sintetici.**
- 4. Risultati ed implicazioni.**
- 5. Conclusioni.**



Sistema di previsione di tipo ensemble

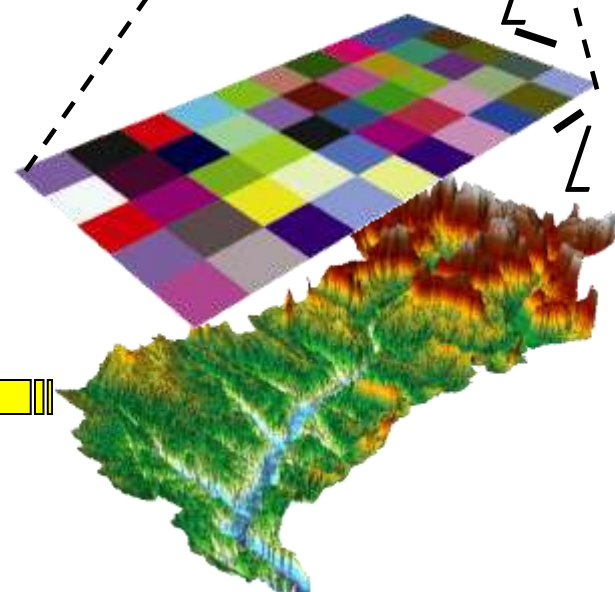
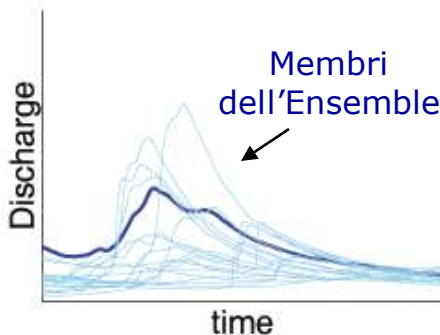
Modello Meteo o Satellite



Grande scala:
modello meteo o satellite forniscono un volume di pioggia a grande scala ($L \times L \times T$).

Modello Idrologico:

Pioggia usata come input del modello che genera un ensemble di idrogrammi



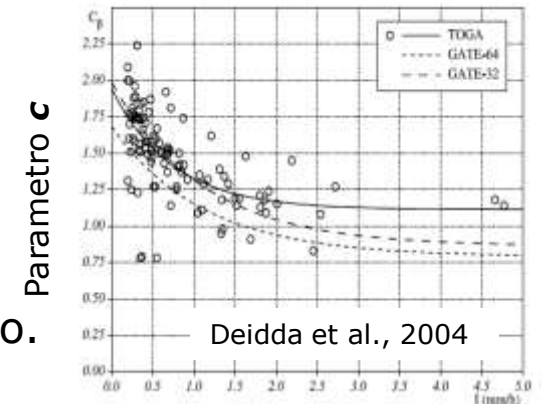
Piccola Scala:
Downscaling usato per generare un ensemble di campi di pioggia alla piccola scala ($L \times L \times h$).



Sistema di previsione di tipo ensemble

• Modello di downscaling: Space Time RAINfall (STRAIN)

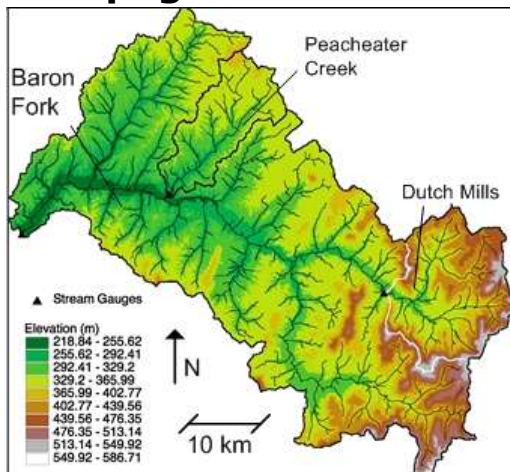
- ✓ Simula campi di pioggia omogenei con cascate multifrattali binarie.
- ✓ 2 parametri c and \mathcal{R} .
- ✓ Richiede scarsa capacità computazionale.
- ✓ Relazioni di calibrazione consentono uso operativo.



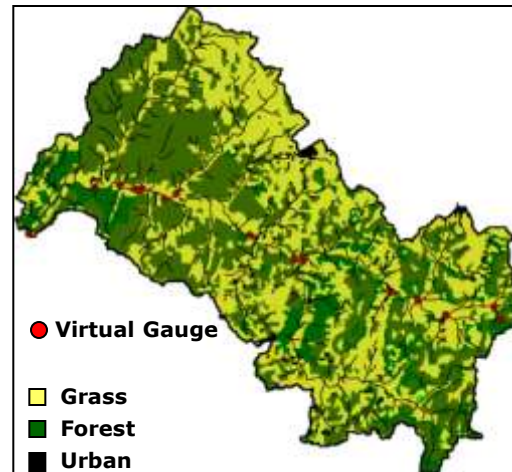
Pioggia alla grande scala [mm/h]

• Modello idrologico distribuito: TIN-Based Real-Time Integrated Basin Simulator (tRIBS) (Ivanov et al. 2004; Vivoni et al., 2005)

Topografia con TIN



Uso Suolo



Portata simulata in sezioni interne





Sommario

- 1. Sistema idrometeorologico di previsione di piene di tipo ensemble:**
 - *Modello di downscaling della precipitazione*
 - *Modello idrologico distribuito*
- 2. Tecniche di verifica degli ensemble degli idrogrammi:**
 - *Definizioni e metodi di verifica*
- 3. Esperimenti sintetici.**
- 4. Risultati ed implicazioni.**
- 5. Conclusioni.**



Definizioni

Per verificare previsioni di tipo ensemble (o ensemble forecast) si può:

- Trasformare la ensemble forecast in "best forecast" e applicare metriche comuni (in continuo o selezionando un gruppo di eventi):

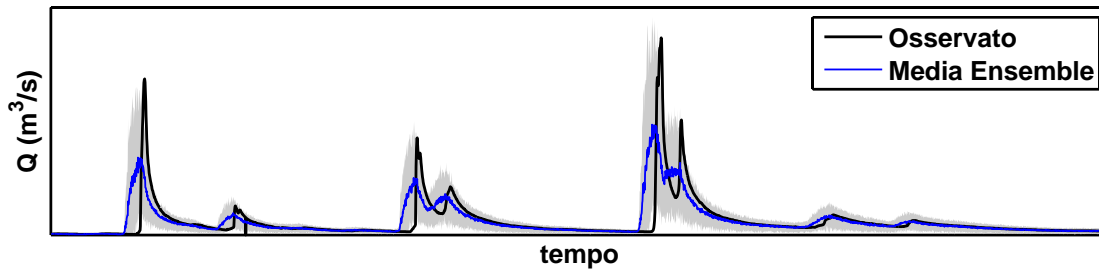
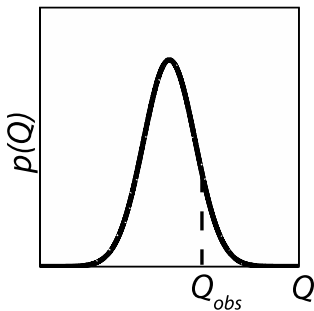


Table 1 Numerical metrics used to evaluate model performance. *Biondi et al. (2011)*

Performance metric	Expression
Mean Absolute Error (MAE)	$F_1 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y_{s,t} - y_{o,t} $
Mean Square Error (MSE)	$F_2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y_{s,t} - y_{o,t} ^2$
Root Mean Square Error (RMSE)	$F_3 = \left[\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y_{s,t} - y_{o,t} ^2 \right]^{1/2}$
Minimax objective function	$F_4 = \frac{1}{N} \max y_{s,t} - y_{o,t} $
Average Absolute Percentage Error (AAPE)	$F_5 = 100 \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{ y_{s,t} - y_{o,t} }{ y_{o,t} }$
Mean Square Relative Error (MSRE)	$F_6 = 100 \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left \frac{y_{s,t} - y_{o,t}}{y_{o,t}} \right ^2$
Coefficient of determination (R^2)	$F_7 = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^N (y_{s,t} - \bar{y}_s)(y_{o,t} - \bar{y}_o)}{\left[\sum_{t=1}^N (y_{s,t} - \bar{y}_s)^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{t=1}^N (y_{o,t} - \bar{y}_o)^2 \right]^{0.5}} \right\}^2$
Index of agreement (D)	$F_8 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (y_{s,t} - y_{o,t})^2}{\sum_{t=1}^N (y_{s,t} - \bar{y}_s + y_{o,t} - \bar{y}_o)^2}$
Nash-Sutcliffe Efficiency coefficient (NSE)	$F_9 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (y_{s,t} - y_{o,t})^2}{\sum_{t=1}^N (y_{o,t} - \bar{y}_o)^2}$

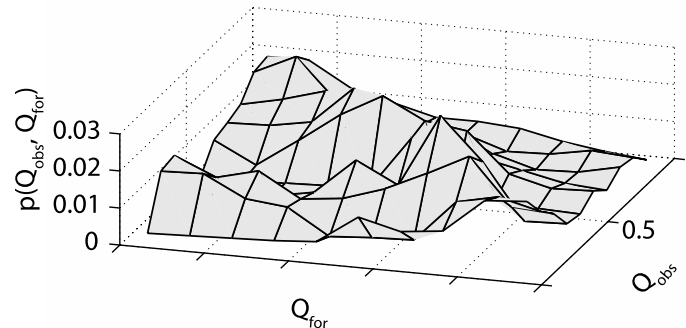
- Applicare tecniche di verifica di previsioni di tipo probabilistico:

1. *E' necessario definire un evento discreto.*



- **Previsione di portata nelle successive T ore.**
- **Estrai i picchi da ciascun membro dell'ensemble e costruisci la pdf.**
- **Il picco osservato è Q_{obs} .**

2. *E' necessario considerare un numero di eventi statisticamente significativo per costruire la pdf congiunta di osservazioni (Q_{obs}) e previsioni (Q_{for}).*



Si valutano gli attributi della qualità della previsione: e.g.: reliability, resolution, bias, underdispersion, overdispersion.

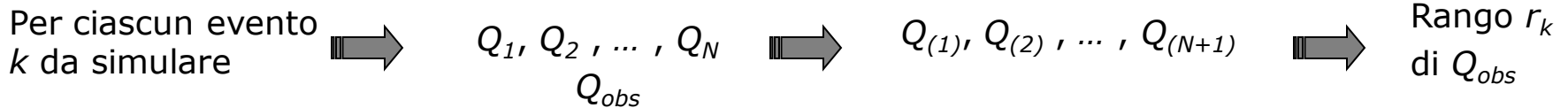
- Applicare tecniche sviluppate appositamente per le previsioni di ensemble (e.g.: VRH, MST).



Metodi di Verifica

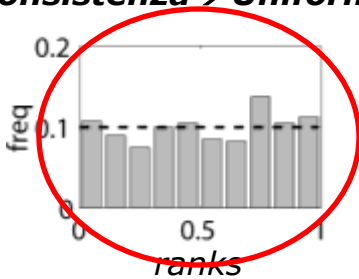
Una proprietà auspicabile per un ensemble forecast è la consistenza (i.e. ensemble ed osservazioni sono campioni di una stessa distribuzione). E' una misura della reliability e si può testare con il **Verification Rank Histogram** (Hamill & Colucci, 1996 - Wilks, 2006).

Se Q è la variabile da predire (e.g. portata al picco):

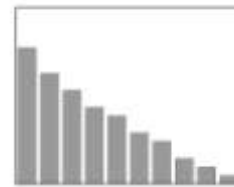


Ripetendo la procedura, si determinano M ranghi r_k per M eventi.

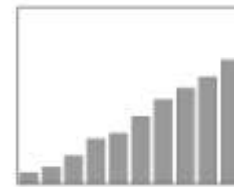
Consistenza \rightarrow Uniformità



Deficienze nella previsione:



Bias Positivo



Bias Negativo

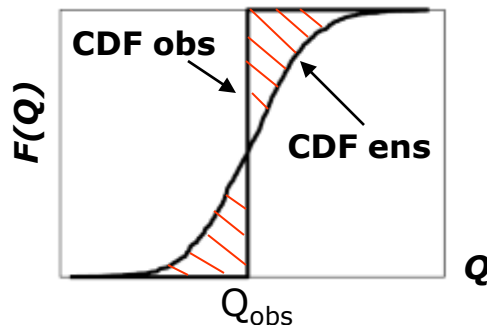


Overdispersion



Underdispersion

Il **Continuous Ranked Probability Score** (Hersbach, 2000) viene usato per testare reliability, resolution e uncertainty:



$$CRPS = \int [F(Q) - F_{obs}(Q)]^2 dQ$$

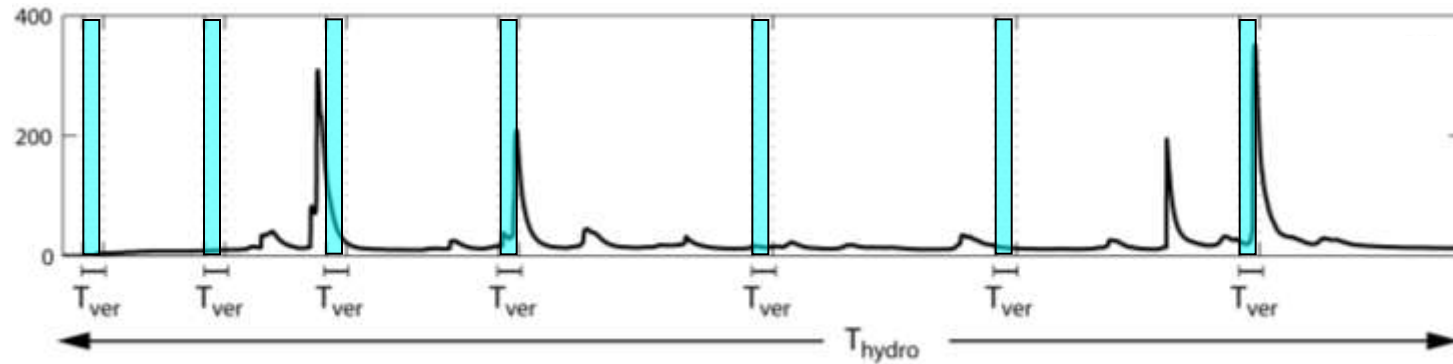
Il CRPS medio tra M eventi può essere scomposto in:

$$\overline{CRPS} = \overline{Reli} + \overline{U} - \overline{Reso}$$

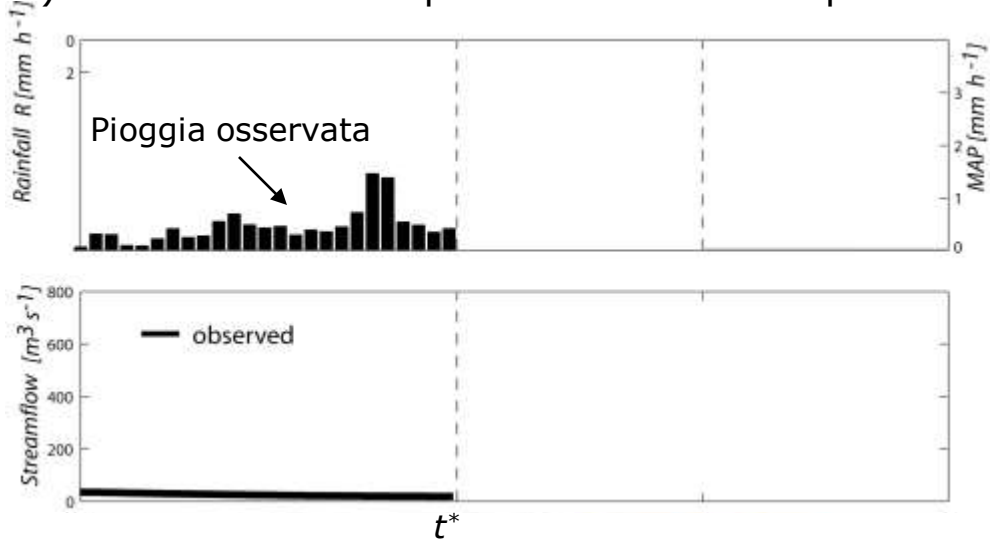


Metodi di Verifica

a) Serie temporale di portate.



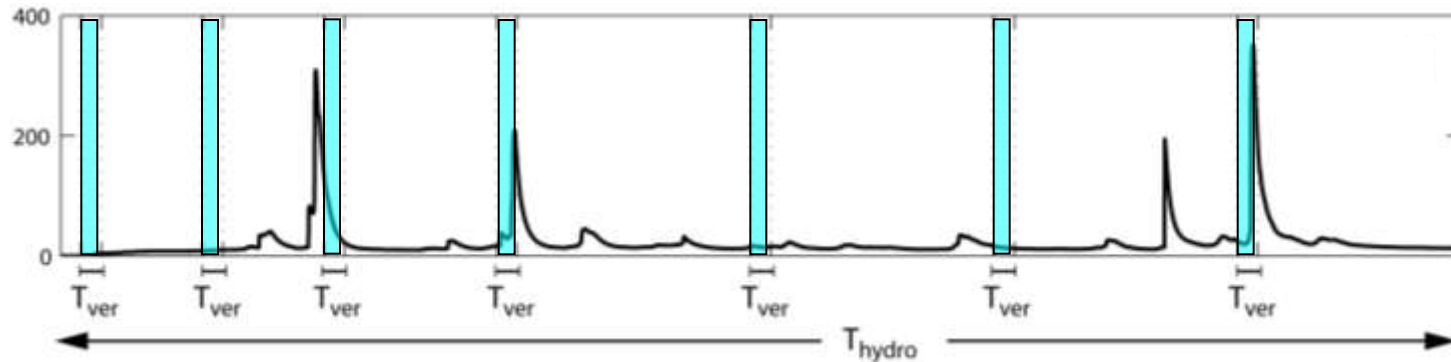
b) Generico evento k per cui viene fatta la previsione:



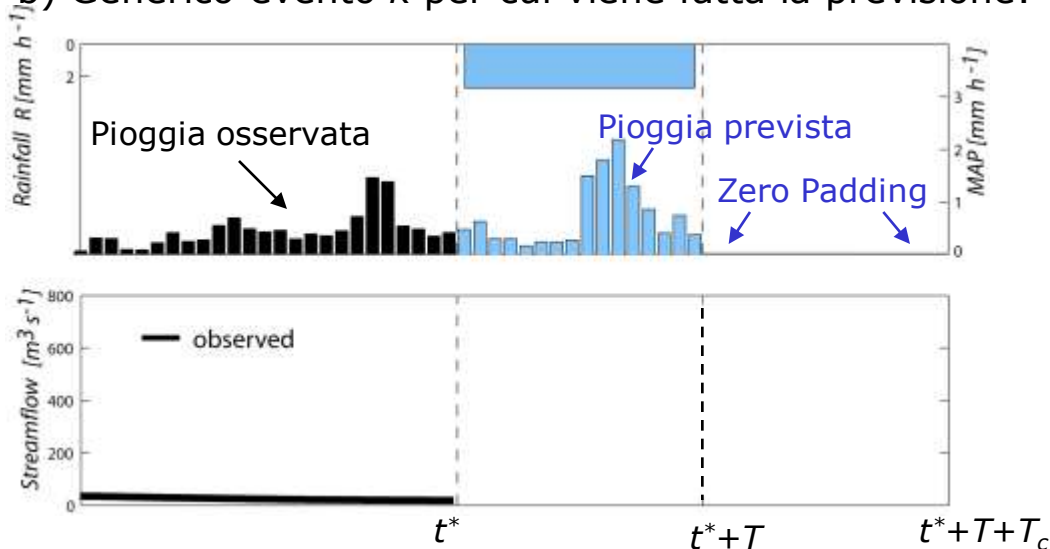


Metodi di Verifica

a) Serie temporale di portate.



b) Generico evento k per cui viene fatta la previsione:



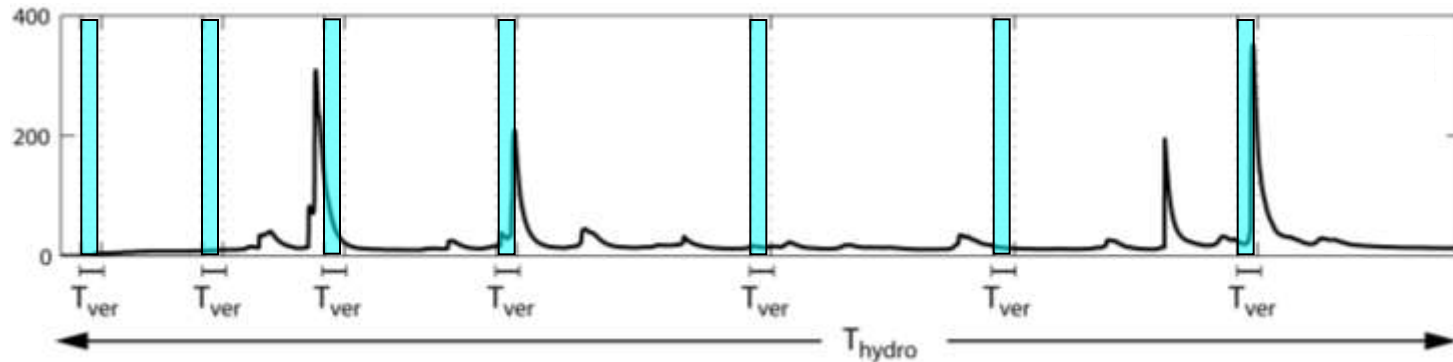
Un modello meteo fornisce una previsione di grande scala per le successive T ore

Forecast Lead Time T Tempo di risposta T_c

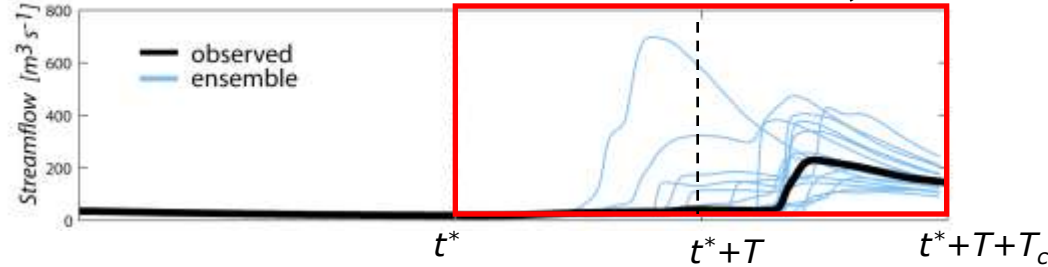
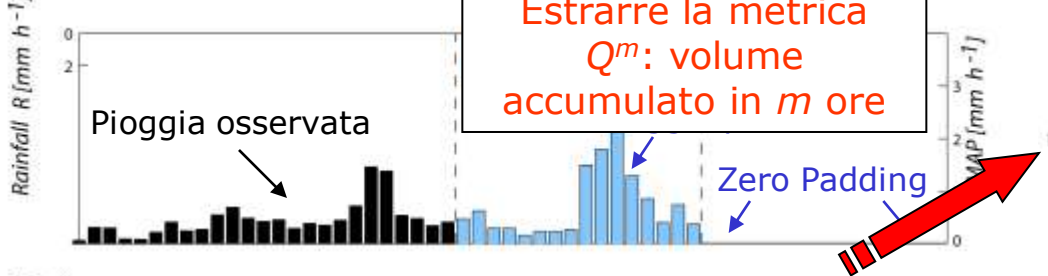


Metodi di Verifica

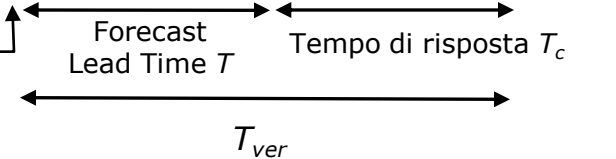
a) Serie temporale di portate.



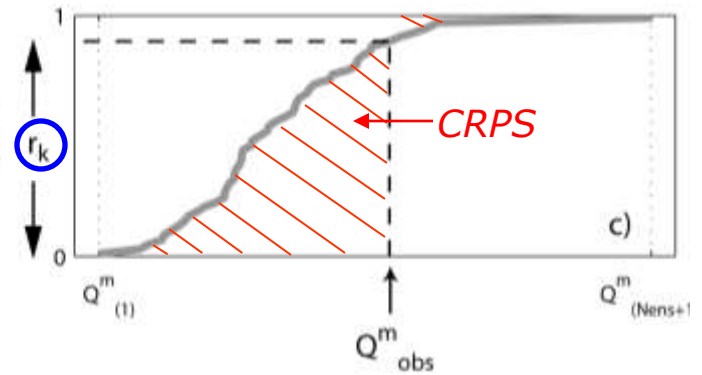
b) Generico evento k per cui viene fatta la previsione:



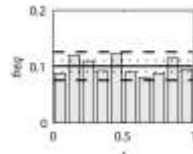
Un modello meteo fornisce una previsione di grande scala per le successive T ore



c) CDF della metrica Q^m



d) Ripetendo i punti b) e c), otteniamo M ranghi r_k e possiamo costruire il **VRH** e calcolare il **CRPS medio** e i termini della decomposizione.



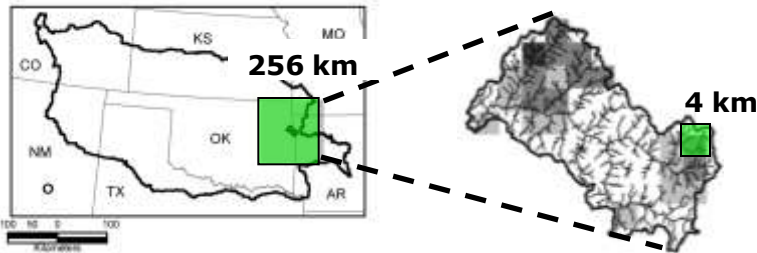


- 1. Sistema idrometeorologico di previsione di piene di tipo ensemble:**
 - *Modello di downscaling della precipitazione*
 - *Modello idrologico distribuito*
- 2. Tecniche di verifica degli ensemble degli idrogrammi:**
 - *Definizioni e metodi di verifica*
- 3. Esperimenti sintetici.**
- 4. Risultati ed implicazioni.**
- 5. Conclusioni.**

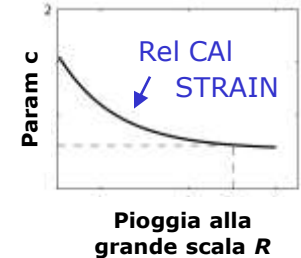


Esperimenti sintetici

Area di studio: Baron Fork (OK), $A = 808 \text{ km}^2$ - Estate 1997-2005



Ipotesi di invarianza di scala tra 256km-16h e 4km-15min ed esistenza di una relazione di calibrazione $c = c(R)$.



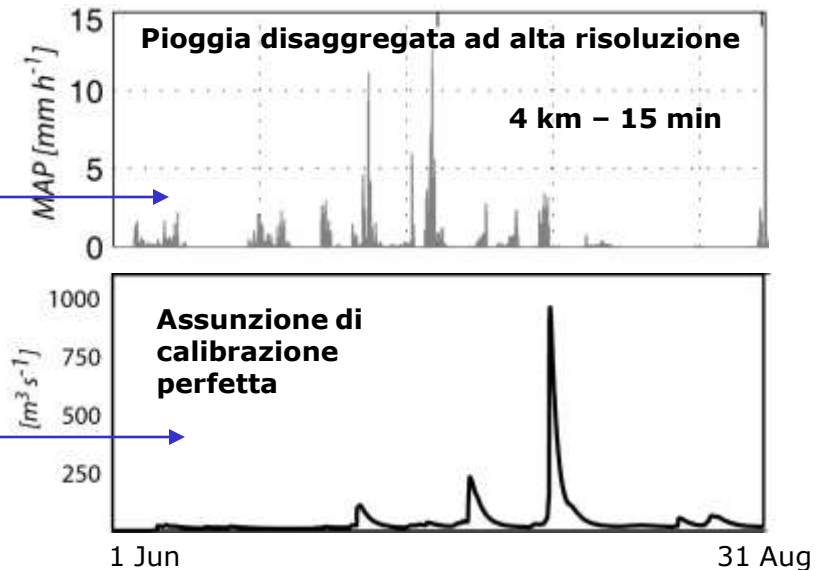
1. Generazione di piogge e idrogrammi sintetici di caratteristiche note, assunti come "osservazioni":

- Uso di **STRAIN** per disaggregare la pioggia di grande scala.

Pioggia ad alta risoluzione "osservata" di con caratteristiche statistiche note.

- Simulazioni idrologiche con **trIBS** usando la pioggia "osservata".

Idrogrammi "osservati"

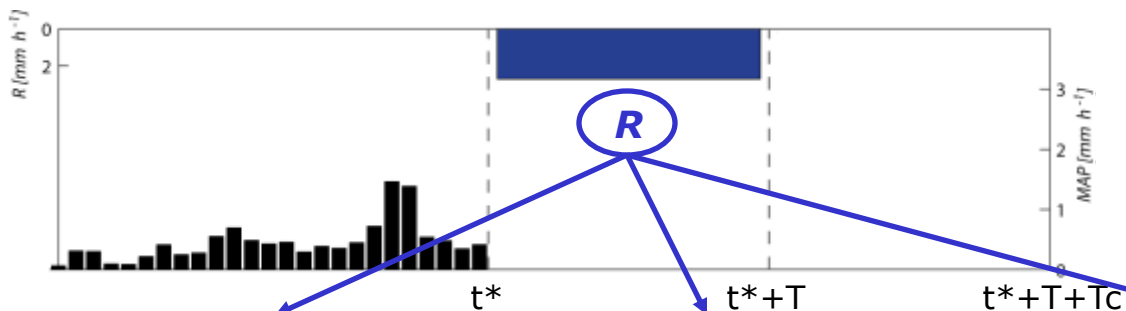


Database di 9 estati (Giugno-Agosto) usato per condurre previsioni idrometeorologiche.

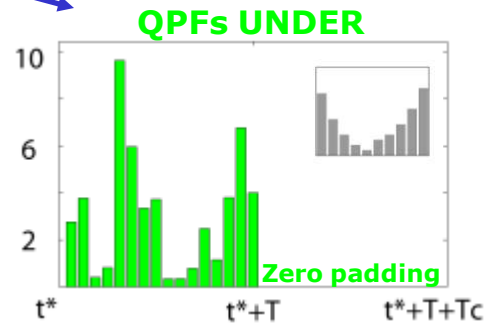
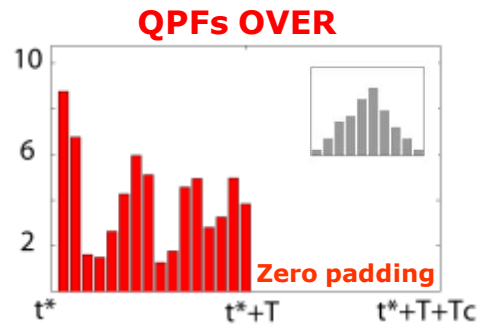
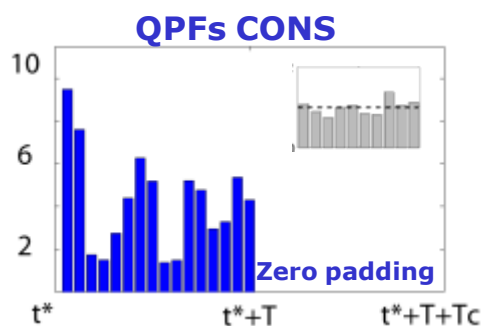


Esperimenti sintetici

2. Selezione in modo casuale di 100 eventi idrometeorologici dal database sintetico e, per ogni evento, simulazione di tre scenari.



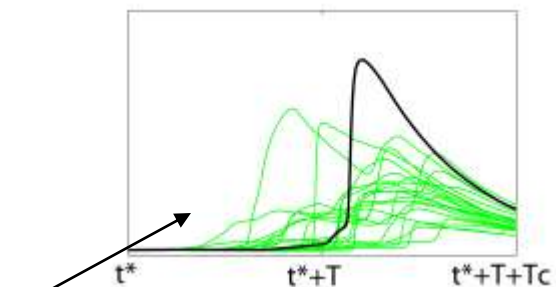
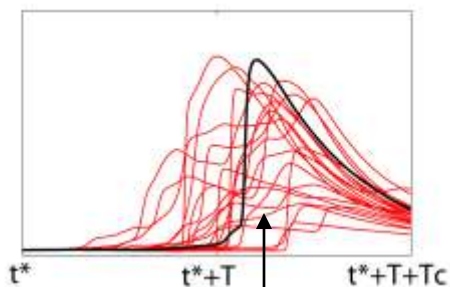
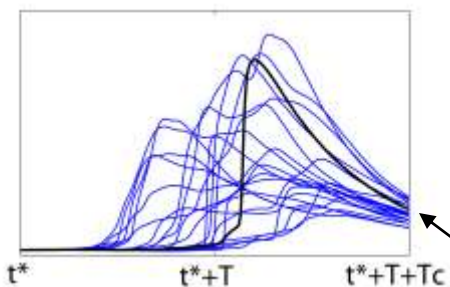
Uso di **STRAIN** con diverse relazioni di calibrazione per generare ensemble di QPFs di tipo **consistente**, **overdispersed** e **underdispersed** (Mascaro et al. 2008).



tRIBS ↓

tRIBS ↓

tRIBS ↓



Calcolo del rango e del CRPS



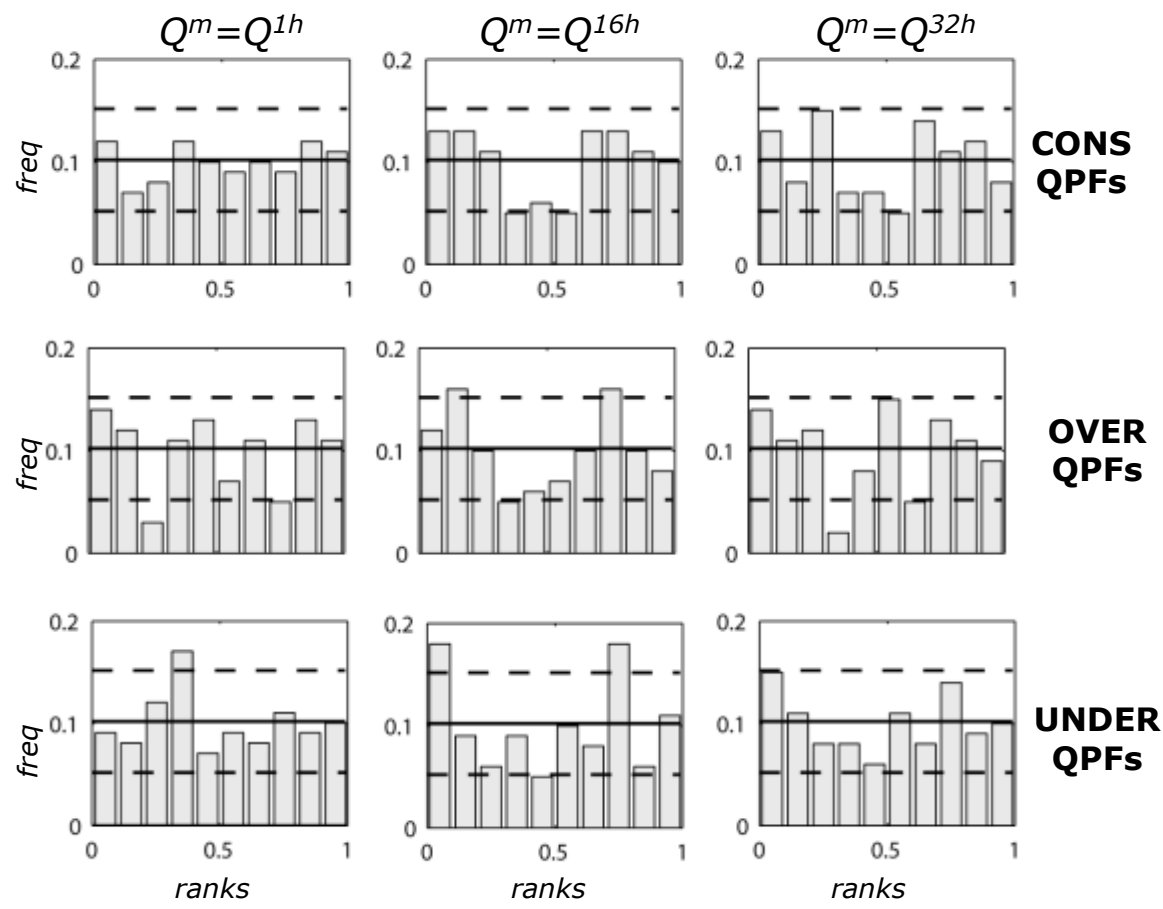
- 1. Sistema idrometeorologico di previsione di piene di tipo ensemble:**
 - *Modello di downscaling della precipitazione*
 - *Modello idrologico distribuito*
- 2. Tecniche di verifica degli ensemble degli idrogrammi:**
 - *Definizioni e metodi di verifica*
- 3. Esperimenti sintetici.**
- 4. Risultati ed implicazioni.**
- 5. Conclusioni.**



Risultati: VRH e CRPS

VRH degli ensemble di idrogrammi

Metriche Q^{1h} , Q^{16h} and $Q^{T_{ver}h}$: massimo volume di deflusso accumulato in 1, 16 e T_{ver} ore



VRH uniformi in tutti i casi:

- Risultato atteso nel caso CONS.
- Spiegazioni in merito ai casi OVER e UNDER nelle slide successive.

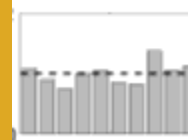
CRPS per completare l'esame della qualità delle previsioni

	\overline{CRPS}	\overline{Reli}	\overline{Reso}	\overline{U}
CONS	343	17	737	1063
UNDER	394	65	733	1063
OVER	344	18	737	1063

Il caso CONS è il più accurato (il termine *Reli* è il più basso → maggiore reliability)



Risultati: QPF consistenti



Come prevedibile, i VRH degli ensemble degli idrogrammi con QPF consistenti sono uniformi (metriche Q_{1h} , Q_{16h} , Q_{32h}).

Implicazione sulla selezione degli eventi da verificare:

Costruiamo due insiemi di eventi ordinando i valori osservati di Q^{1h} e disegniamo il VRH con i ranghi corrispondenti:

$$Q_{(1)}^{1h}, Q_{(2)}^{1h}, \dots, Q_{(50)}^{1h}$$

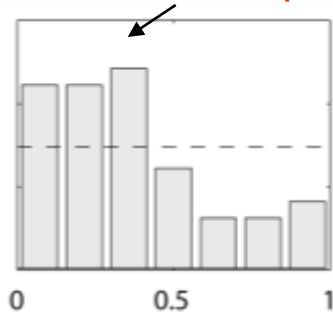
Eventi osservati
meno critici

$$Q_{(51)}^{1h}, Q_{(52)}^{1h}, \dots, Q_{(100)}^{1h}$$

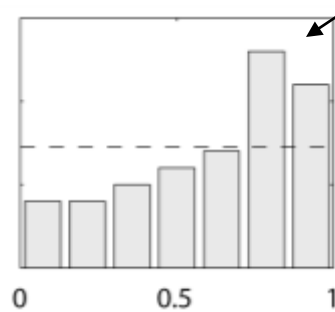
Eventi osservati
più critici

Sebbene l'ensemble sia consistente, se si considerano solo gli eventi più (meno) critici, otteniamo ensemble con **bias negativi (positivi)**!

Bias positivo



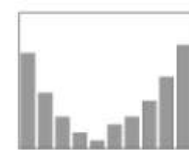
Bias Negativo



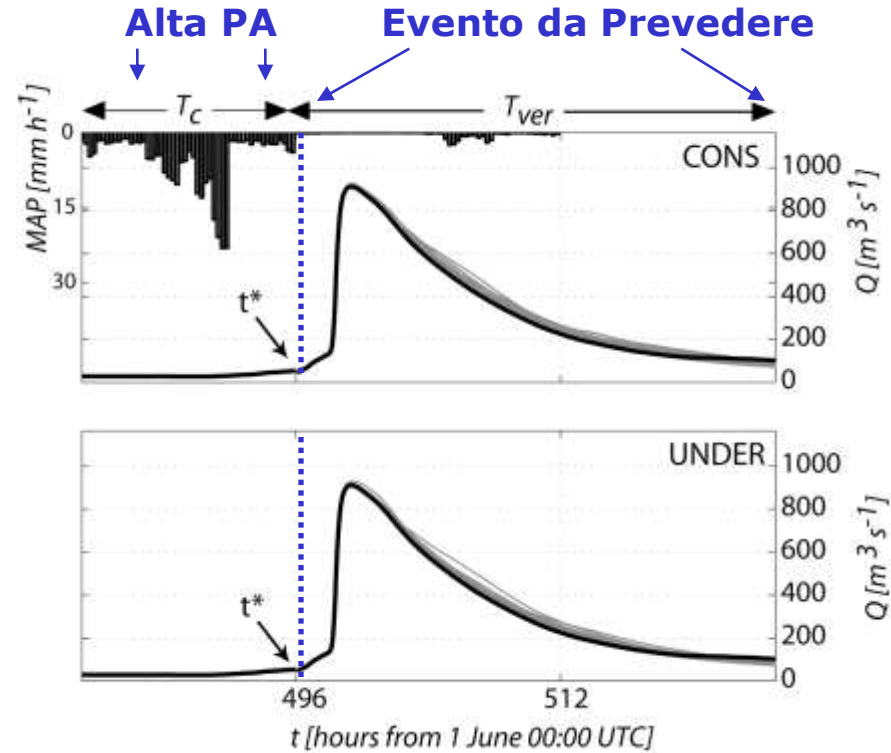
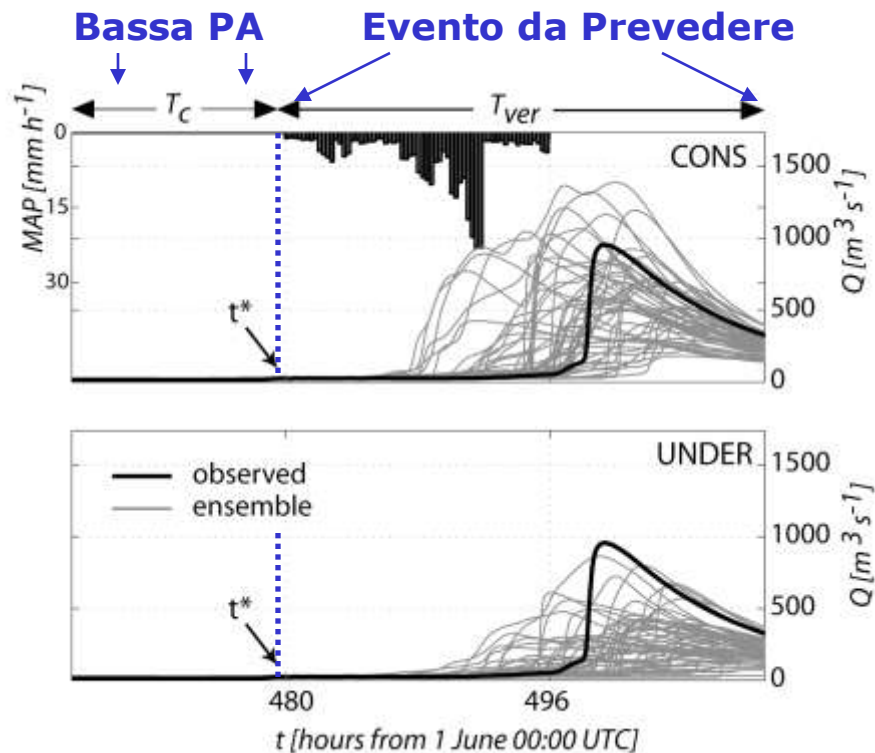
Gli eventi devono essere selezionati in modo casuale per evitare errate interpretazioni della qualità delle previsioni di ensemble!



Risultati: QPF underdispersed



Possibile spiegazione: le condizioni iniziali del bacino possono introdurre un effetto di casualità nel calcolo dei ranghi, che è stato quantificato con la Pioggia Antecedente (PA) caduta nelle T_c ore antecedenti la previsione.



- CONS cattura l'osservato meglio di UNDER.
- Nel caso UNDER, membri dell'ensemble e osservato non sembrano appartenere alla stessa distribuzione.

- In entrambi i casi, ciascun membro dell'ensemble tiene memoria dello stato antecedente e raggiunge lo stesso picco.
- In entrambi i casi il rango è estratto in modo casuale in $[0,1]$.



Sommario

- 1. Sistema idrometeorologico di previsione di piene di tipo ensemble:**
 - *Modello di downscaling della precipitazione*
 - *Modello idrologico distribuito*
- 2. Tecniche di verifica degli ensemble degli idrogrammi:**
 - *Definizioni e metodi di verifica*
- 3. Esperimenti sintetici.**
- 4. Risultati ed implicazioni.**
- 5. Conclusioni.**



Conclusioni

- Sono state applicate tecniche di verifica di previsioni di ensemble ad output di modelli idrologici.
- L'applicazione si è basata su esperimenti sintetici in un sistema di previsione idrometeorologico.
- Sono stati messi in evidenza alcuni aspetti critici che, riteniamo, devono essere messi in conto quando si interpretano i risultati di ogni verifica di sistemi di previsione basata su approcci statistici:
 - ✓ E' necessario selezionare un numero significativo di eventi.
 - ✓ E' necessario che gli eventi siano selezionati in modo casuale senza basarsi sul valore osservato (quindi non focalizzarsi solo su piene).
 - ✓ Lo stato iniziale del bacino può influenzare la valutazione delle performance del modello.