



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale**

---

**Dottorato di ricerca in Ingegneria Idraulica**  
**XXIII Ciclo**

**Regionalization of flow duration curves in flow  
regimes of intermittent streams**

**Tutor: Prof. Ing. Lucio Ubertini**  
**Co-tutor: Prof. Ing. Francesco Napolitano**

**Dottoranda:**  
**Ing. Maura Rianna**

---



Lo studio delle portate minime è fondamentale in diversi campi:

Gestione della risorsa idrica

- Valutazione della quantità di risorsa idrica disponibile per i fabbisogni idropotabili e per l'irrigazione

Mantenimento di condizioni adeguate per la fauna e la flora dei corsi d'acqua

- Concetto del deflusso minimo vitale

Ambientale

- Smaltimento di acque inquinate nei corsi d'acqua  
(Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 , Norme in materia ambientale )





Visto l'art. 124, comma 9 del D. Lgs. 152/06

*“9. Per gli scarichi in un corso d'acqua nel quale sia accertata una portata naturale nulla per oltre 120 giorni annui, oppure in un corpo idrico non significativo, l'autorizzazione tiene conto del periodo di portata nulla e della capacità di diluizione del corpo idrico negli altri periodi”*

## Problematiche

- ❑ Lo scarico di un depuratore in un fosso temporaneamente asciutto è considerato come uno scarico sul suolo
- ❑ Dal punto di vista tecnico l'individuazione dei corsi d'acqua con portata nulla per oltre 120 giorni/anno non è mai suffragata da:
  - misure esistenti e quindi è soggettiva
  - non esistono metodi di letteratura che permettono di valutare quando un fosso è secco



# Processi che causano le portate minime



- ❑ Fattori climatici
  - periodo secco prolungato
  - periodo esteso di basse temperature
- ❑ Processi di bacino e accumulo dell'acqua nel sottosuolo
- ❑ Dimensione del bacino

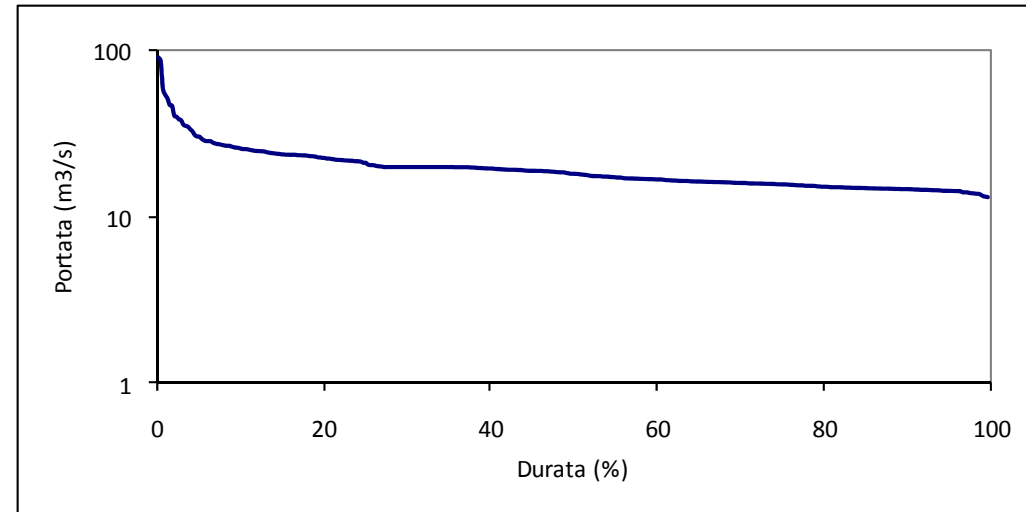
Indici statistici	Analisi di frequenza delle portate minime Statistiche delle portate minime <b>Curva di durata delle portate</b>
Analisi deterministica	Analisi della curva di recessione Baseflow index



# Curve di durata delle portate



- ❑ Curva di frequenza cumulata che mostra la percentuale di tempo in cui una determinata portata è uguagliata o superata



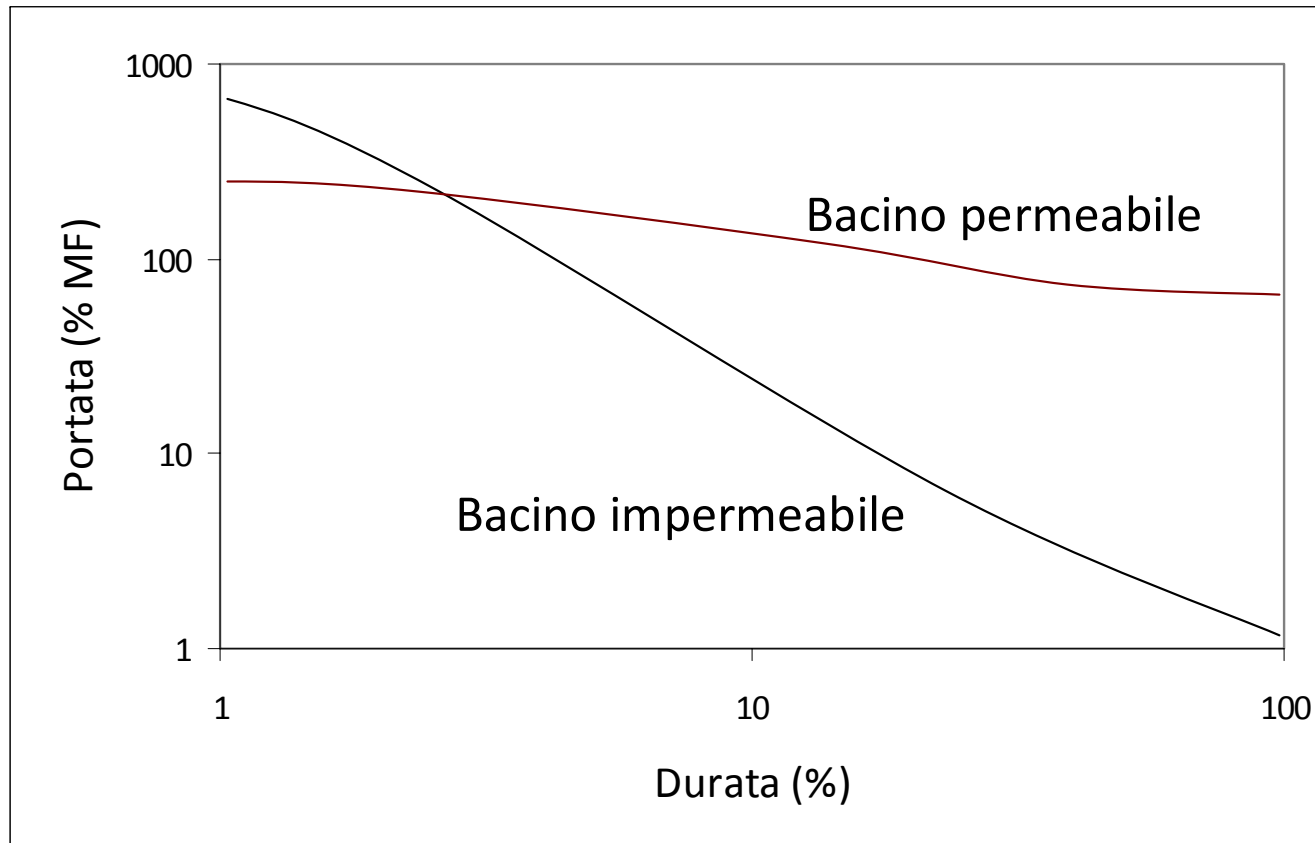
- ❑ La curva di durata riassume in una curva tutto il range delle portate di un corso d'acqua e non considera la sequenza con cui queste si sono verificate
- ❑ E' possibile utilizzare differenti scale temporali:
  - Scala giornaliera
  - Scala settimanale
  - Scala mensile



# Curve di durata delle portate



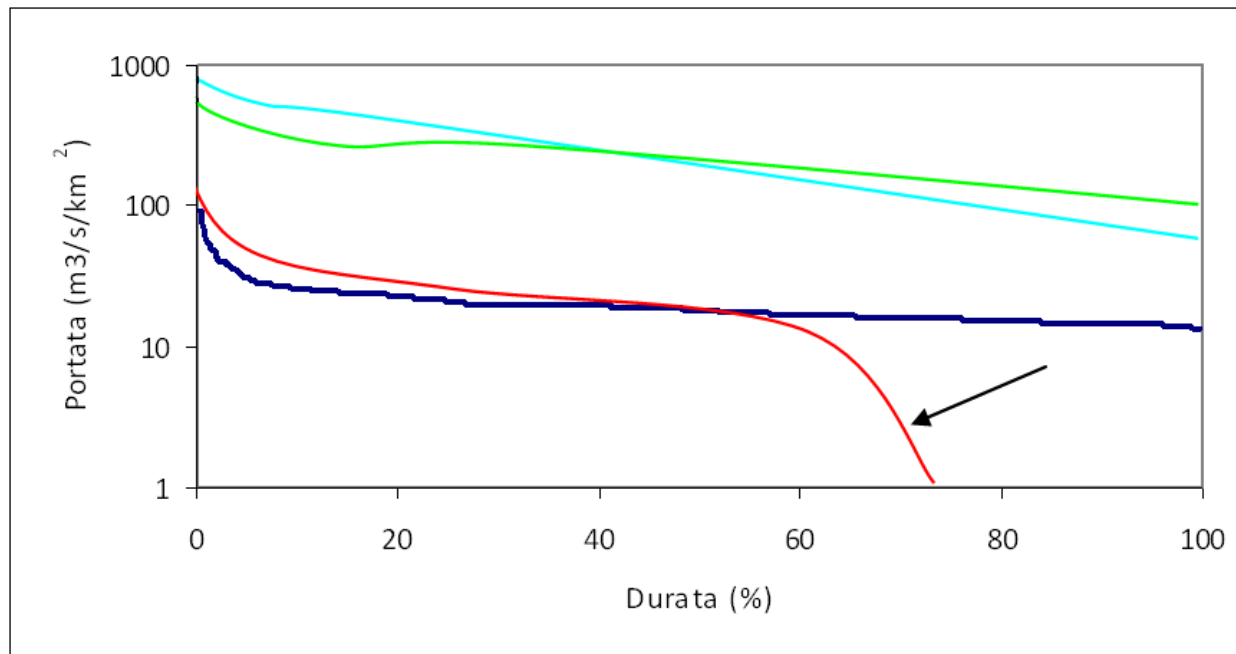
- La forma della curva di durata e la sua pendenza danno un'indicazione delle caratteristiche geologiche del bacino



# Curve di durata delle portate



- La forma della curva di durata e la sua pendenza danno un'indicazione delle caratteristiche del regime del bacino



## Bacini caratterizzati da regime intermittente

Bacini in cui durante la stagione secca si alternano periodi caratterizzati da deflusso a periodi in cui il deflusso è subalveo in conseguenza delle oscillazioni del livello della falda





- Curva di durata basata sull'intero periodo di registrazione (FDC) (Searcy (1960); Vogel & Fennessey (1994))
  - Permette di interpolare dati mancanti nelle serie temporali
  - Permette di estrapolare e di estendere la serie di portate giornaliere
  - **Non** rappresenta la distribuzione delle portate annuali



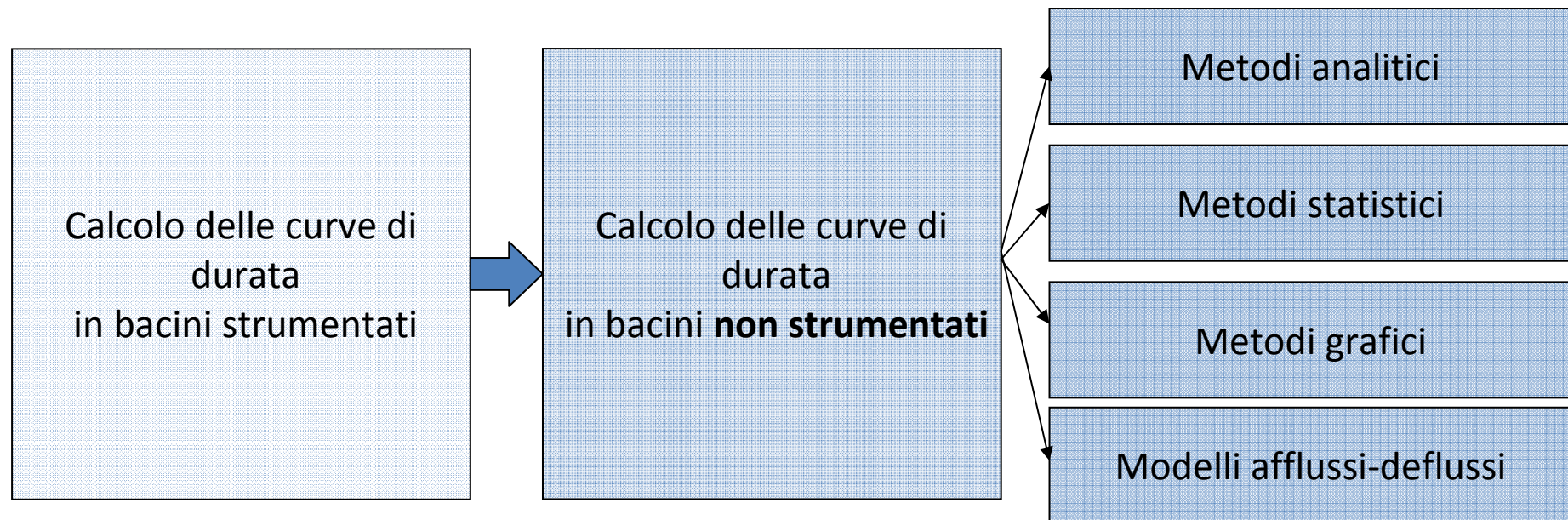
Il quantile  $Q_p$  calcolato usando la procedura della FDC, è la portata che è stata superata il  $p$  percento del tempo nell'intero periodo di misurazione

- Curva di durata annuale (AFDC) (Saville & Watson (1933); Barrows (1943); LeBoutillier & Waylen (1993); Vogel & Fennessey (1994))
  - E' utile per fare assunzioni probabilistiche su anni medi asciutti e umidi
  - E' utile per calcolare gli intervalli di confidenza associati alla AFDC che rappresenta le condizioni idrologiche medie
  - Permette di assegnare un tempo di ritorno alle curve di durata





# Curve di durata in bacini non strumentati- Metodi esistenti





- ❑ Searcy (1959) e Vogel & Fennessey (1994) hanno riassunto le **molteplici applicazioni ingegneristiche** e studi sulle curve di durata
  - Piano di rilascio ottimale delle acque dei serbatoi
  - Caratteristiche geologiche dei bacini, energia idroelettrica e utilizzi legati alla qualità delle acque
  - Fase di progetto del piano di trattamento delle acque (Good & Jacobs 2001)
- ❑ Hughes & Smakhtin (1996) utilizzando un approccio di interpolazione spaziale non lineare basato sulle FDC per **estendere** e per **generare le serie temporali giornaliere** in bacini non strumentati
- ❑ **Regionalizzazione delle curve di durata** per il calcolo in bacini non strumentati (Quimpo et al. (1983); Mimikou & Kaemaki (1984); Ganora et al. 2009, Croker et al. 2003)
- ❑ **Utilizzo delle curve di durata come strumento per la calibrazione di un modello A-D** (Gustard & Wesselink (1993), Lanen et al. (1997) e Smakhtin et al. (1998a))
- ❑ **Analisi dell'incertezza** delle curve di durata (Yu et al. 2002)
- ❑ **Sviluppo di un modello stocastico** per le curve di durata (Cigizoglu & Bayazit 2000, Vogel & Fennessey 1994, Castellarin et al. 2004)





- ❑ Introduzione
- ❑ Portate minime, curve di durata come strumento per la caratterizzazione del regime del corso d'acqua
- ❑ Analisi preliminari e definizione di aree omogenee
- ❑ Valutazione dell'affidabilità dei modelli di regionalizzazione delle curve di durata esistenti
- ❑ Creazione di un modello per il calcolo delle curve di durata in bacini intermittenti e regionalizzazione del modello in un bacino annidato

- ❑ Analisi dei risultati

Effettuato presso la National Technical University di Atene con la collaborazione del gruppo del Prof. Koutsoyiannis



# 1. Analisi preliminari - Ipotesi alla base dell'analisi di frequenza regionale



- ❑ **Nel caso di:**
  - Campioni estratti dalla stessa popolazione
  - Campioni indipendenti

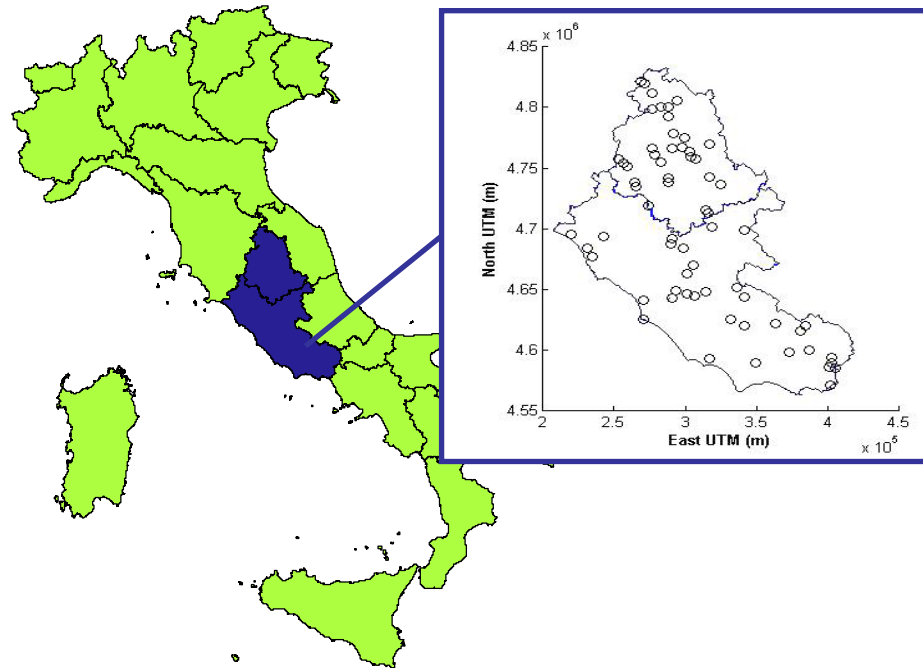


Curva di frequenza dei dati di tutte le sezioni strumentate **più efficiente** rispetto a quella ottenuta dall'analisi locale

- ❑ I vari siti non hanno la stessa distribuzione di frequenza dei dati idrometrici
  - Differenza nelle caratteristiche del bacino
  - Componente casuale dovuta all'aleatorietà del campionamento
- ❑ Difficile separare queste componenti e trovare la relazione che lega le curve di frequenza alle caratteristiche del bacino
- ❑ **Assunzione fondamentale: I siti formano una regione omogenea dal punto di vista statistico.**



# 1. Analisi preliminari



N° stations	Anni registrati
54	25

- Sono state utilizzate le stazioni caratterizzate da almeno 6 anni di dati
- Ogni stazione è stata considerata come un bacino a se stante

	A (km <sup>2</sup> )	H <sub>min</sub> (m)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>media</sub> (m)	ΔH (m)	F <sub>D</sub> (%)	PMA (mm)
Minimo	31.08	2.00	389.00	32.30	31.30	0.00	650.00
Medio	400.05	106.40	1414.60	479.70	396.50	6.53	1066.15
Massimo	981.23	368.00	2200.00	2031.00	2012.00	65.26	1350.00



# 1. Analisi preliminari



Analisi della correlazione tra i quantili specifici delle portate e le caratteristiche geomorfologiche dei bacini considerati

□ Le **variabili esplicative** utilizzate sono:

A	Area	km <sup>2</sup>
H <sub>mean</sub>	Altitudine media	m
PMA	Precipitazione media annua	mm
CV	Coefficiente di variazione della precipitazione	%
F <sub>A</sub>	Substrato calcareo	%
F <sub>D</sub>	Substrato impermeabile	%
G <sub>A</sub>	Aree agricole	%
G <sub>B</sub>	Aree forestate	%



# 1. Analisi preliminari



Analisi della correlazione tra i quantili specifici delle portate e le caratteristiche geomorfologiche dei bacini considerati

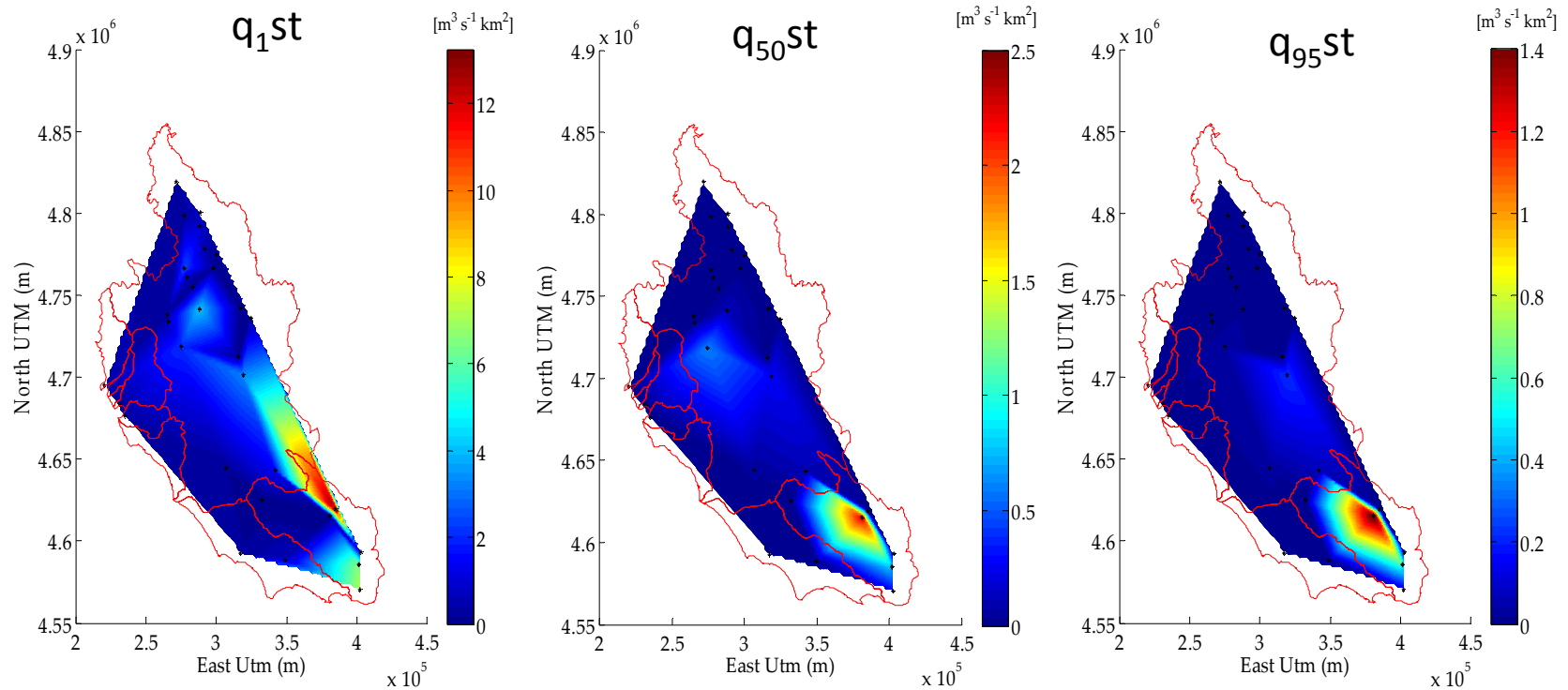
	$q_1$	$q_{50}$	$q_{95}$	A	H	PMA	CV	$F_A$	$F_D$	$G_A$	$G_B$
$q_1$											
$q_{50}$	0.86										
$q_{95}$	-0.41	-0.23									
A	-0.41	-0.48	-0.49								
H	0.41	0.33	0.31	-0.08							
PMA	0.35	0.01	0.05	0	0.13						
CV	-0.14	-0.13	0.02	0.19	0.33	0.12					
$F_A$	0.53	0.08	0.44	0.11	-0.17	-0.29	0.04				
$F_D$	0.21	0.13	-0.44	0.32	-0.11	-0.62	-0.19	0.42			
$G_A$	0.23	0.54	0.16	0.22	0.02	0.41	0.52	-0.04	0.22		
$G_B$	-0.31	-0.26	0.12	-0.32	-0.29	0.12	-0.23	-0.42	0.16	0.02	



# 1. Analisi preliminari



## Rappresentazione geografica dei quantili delle portate

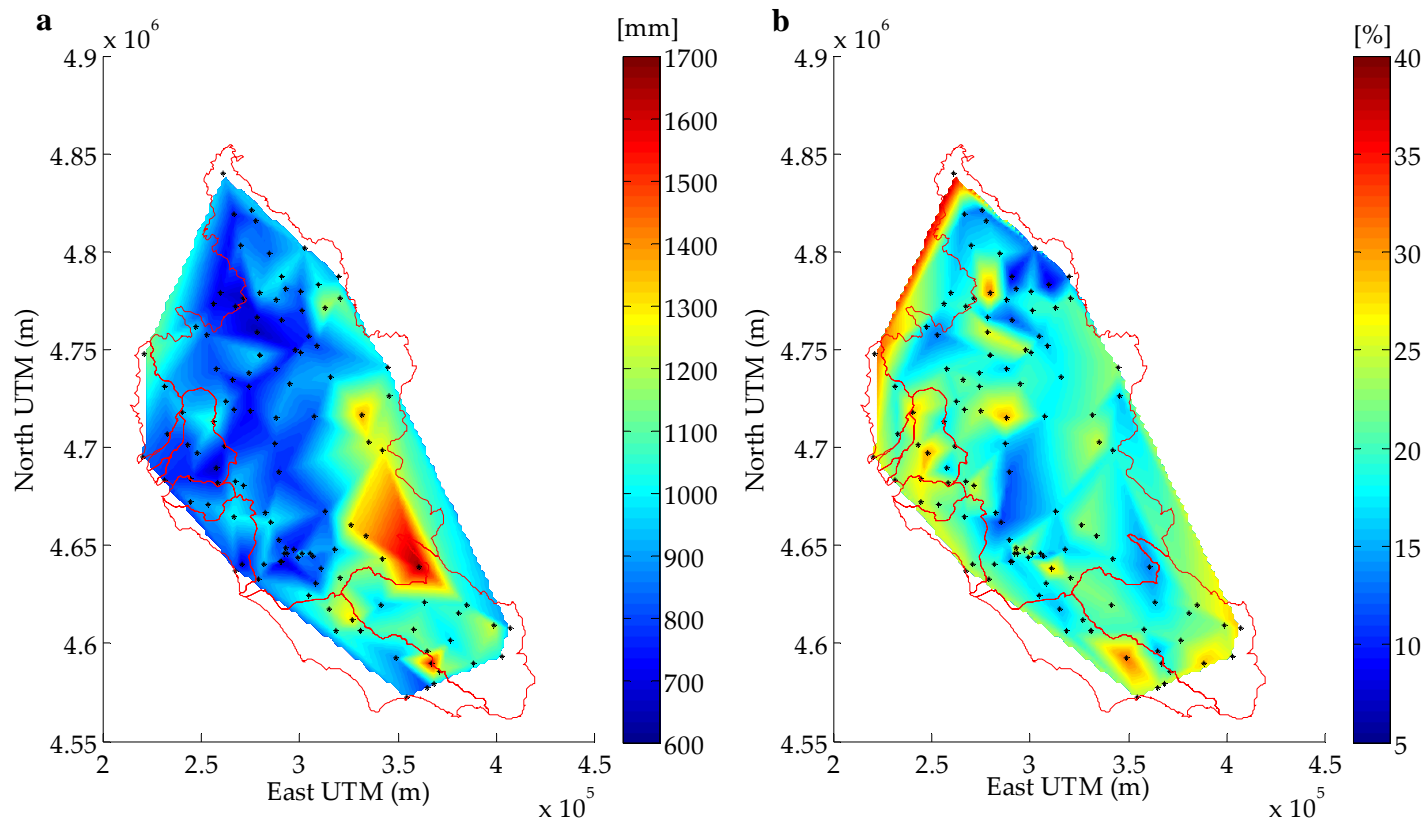




# 1. Analisi preliminari



Rappresentazione geografica della precipitazione media annua (a) e del coefficiente di variazione della precipitazione (b)



# 1. Analisi preliminari



- Cluster analysis con l' algoritmo di Ward → Aggregare bacini caratterizzati da caratteristiche comuni
- Test di omogeneità di Hosking e Wallis → Valutare se i dati osservati nei diversi siti si possano considerare appartenenti alla stessa regione omogenea

## Procedura di test iterativa

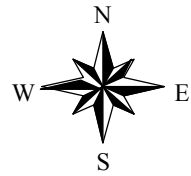
Se il test non viene superato si deve rivedere l'appartenenza alla regione omogenea.


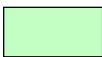


$\theta_{HV} < 1$	Accettabilmente omogenea
$1 < \theta_{HV} < 2$	Possibilmente eterogenea
$\theta_{HV} > 2$	Sicuramente eterogenea

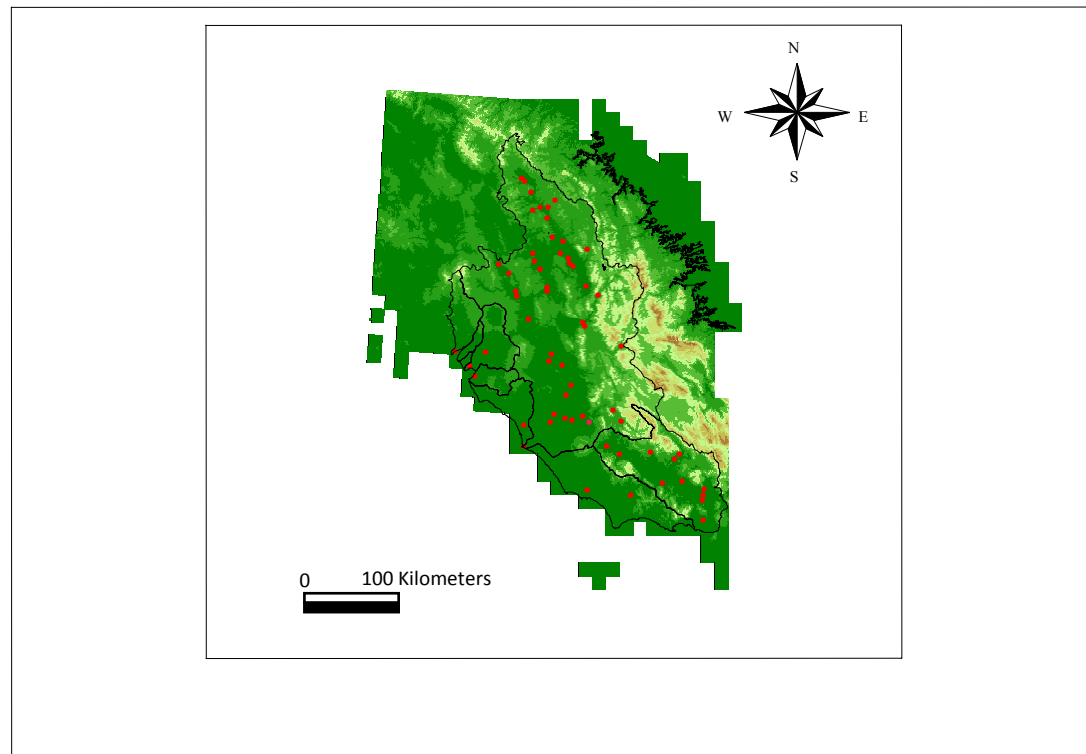
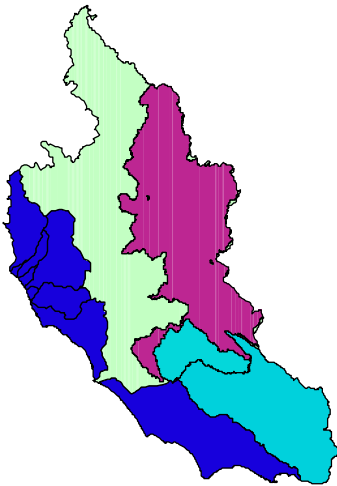
	$\theta_{HV1}$	$\theta_{HV2}$
Tevere Carbonatic Q0	1.316	0.542
Tevere Carbonatic Q50	2.632	1.239
Tevere Carbonatic Q95	1.842	0.812
Tevere Volcanic Q0	0.231	0.672
Tevere Volcanic Q50	0.764	0.512
Tevere Volcanic Q95	1.314	0.981
Appenninic Q0	0.141	0.056
Appenninic Q50	3.003	0.395
Appenninic Q95	3.313	1.178



# 1. Analisi preliminari



-  Region 1 (Coastal basins)
-  Region 2 (Tevere River, right bank basins)
-  Region 3 (Tevere River, left bank basins)
-  Region 4 (Apenninic basins)



## 2. Confronto tra modelli di regionalizzazione delle curve di durata



### ❑ Metodo statistico

- Si sceglie la distribuzione che meglio si adatta alla curva di durata delle portate
- Si stimano i parametri nelle stazioni strumentate
- Si definiscono dei modelli regionali per il calcolo dei parametri in stazioni non strumentate

### ❑ Metodo parametrico

- Si sceglie la funzione analitica che meglio si adatta alla curva di durata delle portate
- Si stimano i parametri nelle stazioni strumentate
- Si definiscono dei modelli regionali per il calcolo dei parametri in stazioni non strumentate

### ❑ Metodo grafico

- Si procede con la standardizzazione della curva di durata, tramite divisione della portata per una portata indice
- Viene determinata una curva di durata regionale, calcolando la media delle curve di durata standardizzate nelle varie stazioni
- La curva di durata viene trovata moltiplicando una stima della portata indice per la curva di durata regionale



## 2. Confronto tra modelli di regionalizzazione delle curve di durata



### Valutazione della consistenza

Per valutare la consistenza dei diversi metodi è stato adottato il metodo di validazione jack-knife:

- ❑ Si hanno a disposizione  $N$  stazioni strumentate;
- ❑ Una di queste stazioni, la stazione  $s$  viene rimossa dal set di stazioni;
- ❑ L'identificazione del modello regionale viene effettuata considerando i dati di portata e le caratteristiche geomorfologiche delle  $N-1$  stazioni.
- ❑ Utilizzando il modello regionale definito nel punto precedente si stima la curva di durata per la stazione  $s$ .
- ❑ La procedura è ripetuta altre  $N-1$  volte.



## 2. Confronto tra modelli di regionalizzazione delle curve di durata



### Indici di consistenza dei modelli

Il confronto tra curve di durata osservate e ottenute tramite la metodologia jack knife si ottiene tramite diversi indici di consistenza:

Errore relativo



$$\varepsilon_{s,j} = \frac{\hat{q}_{s,j} - q_{s,j}}{q_{s,j}}$$

$\hat{q}_{s,j}$  e  $q_{s,j}$  indicano la portata empirica e ottenuta con la metodologia jack knife associate ad una durata  $j$ .

Inoltre si possono calcolare:

Media dell'errore relativo per le stazioni



$$\bar{\varepsilon}_s = \frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^{N^*} \varepsilon_{s,j}$$

Deviazione standard dell'errore relativo per le stazioni



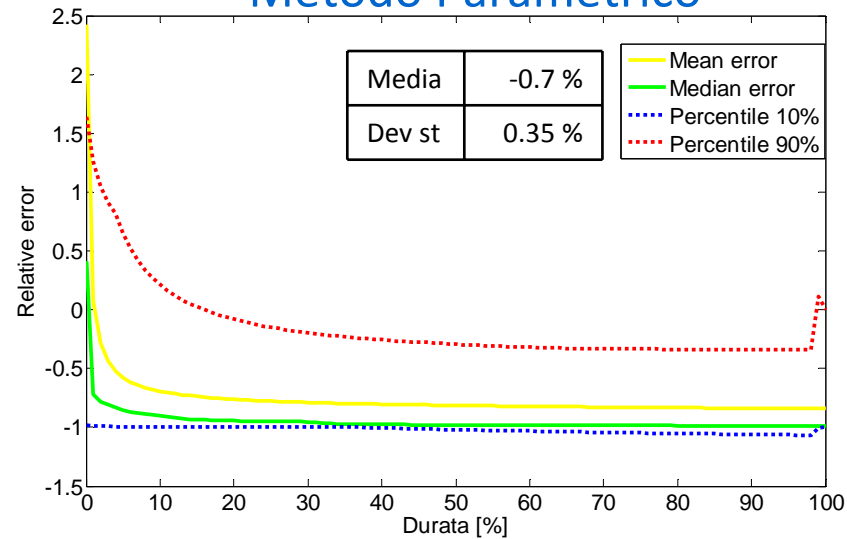
$$\sigma_{\varepsilon,s} = \sqrt{\frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^{N^*} (\varepsilon_{s,j} - \bar{\varepsilon}_s)^2}$$



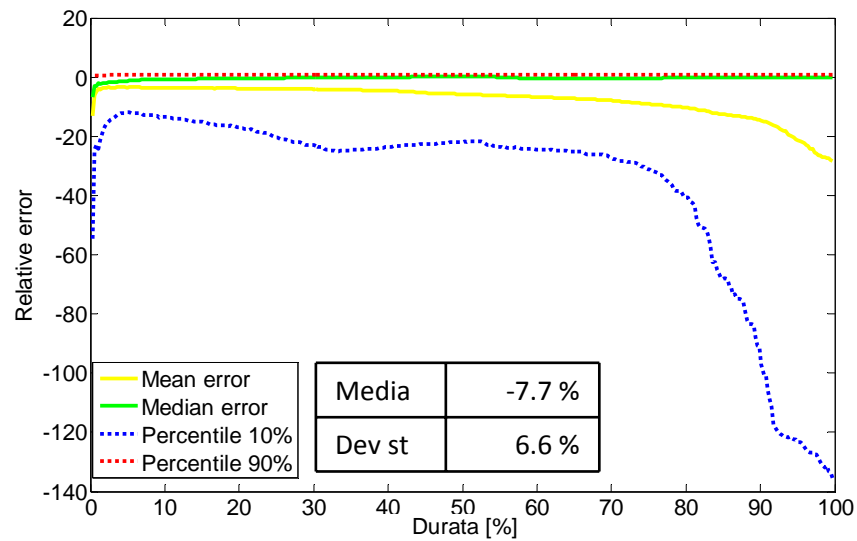
## 2. Indici di consistenza – Errore relativo



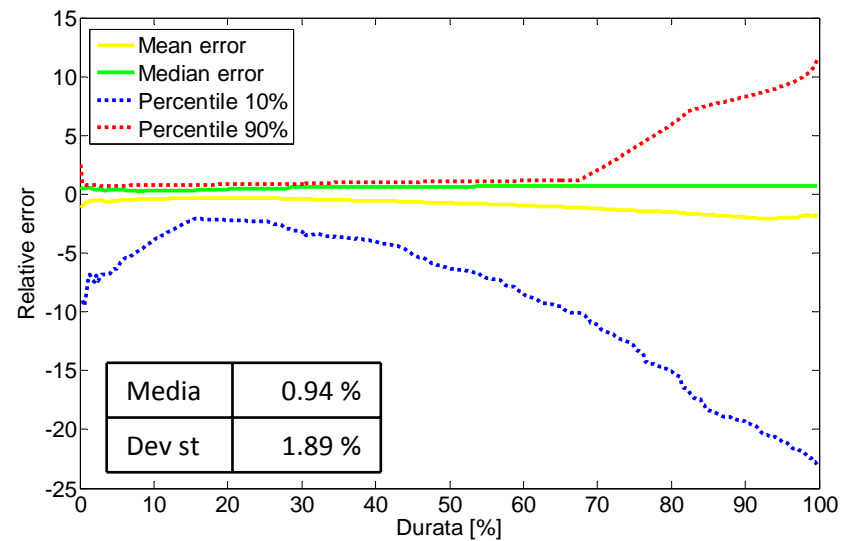
### Metodo Parametrico



### Metodo Grafico



### Metodo Statistico

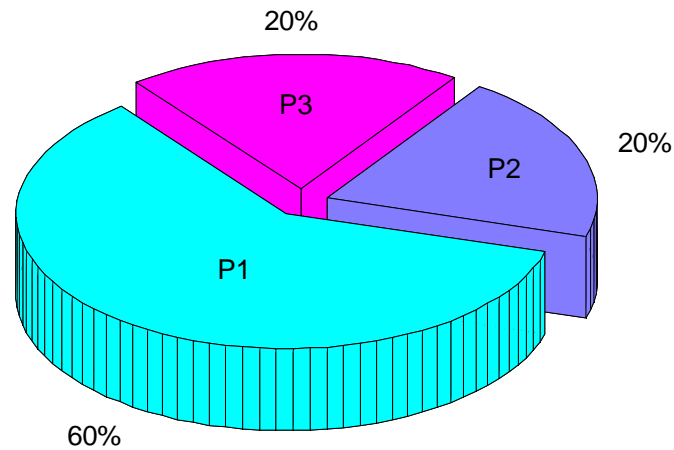


## 2. Indici di consistenza – Nash-Sutcliffe

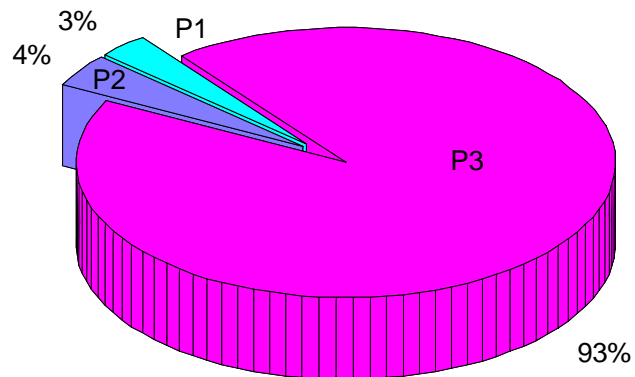


P1=  $N-S > 0.75$   
P2=  $0.5 < N-S < 0.75$   
P3=  $N-S < 0.5$

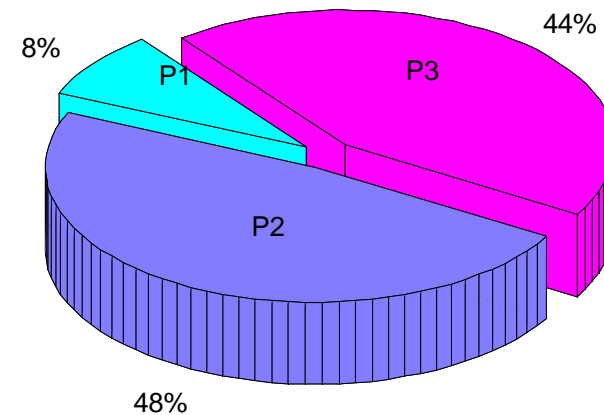
### Metodo Parametrico



### Metodo Grafico



### Metodo Statistico





### 3. Modello per il calcolo delle curve di durata in bacini intermittenti



In bacini intermittenti il flusso diventa subalveo per significativi periodi di tempo



L'accadimento di eventi pari a zero può essere espresso tramite la teoria delle probabilità ponendo un valore di probabilità di massa diverso da zero dove si ha un valore pari a zero. Questo crea una discontinuità nella funzione densità di probabilità con discontinuità nei valori zero.

#### Metodi utilizzati in letteratura in presenza di zeri

- Aggiungere un valore costante ai dati (Subcommittee on Hydrology, (1966))
- Ignorare gli zeri
- Utilizzare il teorema delle probabilità totali (Haan 1977)

#### Creazione di un nuovo metodo

**Il lavoro combina la teoria dello Stochastic Index (Castellarin et al., 2004), che permette di calcolare tramite un unico modello FDC e AFDC con il teorema di Bayes, per calcolare la curva di durata in bacini caratterizzati da regime intermittente.**



### 3. Teoria dello Stochastic Index per il calcolo delle FDC



#### Ipotesi di base

$$X = AF \cdot X'$$

AF = portata media annua, descrive il regime climatico di lungo periodo per un dato bacino;

X' = portata giornaliera adimensionale. La pdf di X' è invece legato alle caratteristiche geologiche del bacino.

L'FDC basata sul periodo completo di registrazione è il complemento della funzione di ripartizione (cdf) di X,  $F_X$  data da:

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} = \int_{xl}^x f_x(u) du = P\{AF \cdot X' \leq x\} = \int_{\Omega_{X'}} \int_{af'}^{x/z} f_{AF, X'}(v, z) dv dz$$

Se AF e X' sono indipendenti è possibile semplificare la relazione di prima

$$F_x(X) = \int_{\Omega_{X'}} f_{X'}(z) \cdot F_{AF}(x/z) dz$$



### 3. Teoria dello Stochastic index per il calcolo delle FDC – Annual FDC



Chiamiamo  $X_j$  la portata giornaliera per un dato anno con  $j = 1, 2, \dots, n$ , con  $n=365$   
Per costruire la AFDC le  $n$  portate devono essere ordinate in senso crescente:

$$X(1) < X(2) < \dots < X(n)$$

Dove  $X(r)$ , con rango  $r=1, 2, \dots, n$ , è la  $r$ -esima statistica d'ordine della variabile casuale  $X_j$ .

$X(r)$  si ottiene come prodotto di due variabili:

$$X_{(r)} = AF \cdot X'_{(r)}$$



$$E[X_{(r)}] = E[AF] \cdot E[X'_{(r)}]$$

Dove:

$$f_{X'_{(r)}} = r \left( \frac{n}{r} \right) [F_{X'}(x)]^{r-1} [1 - F_{X'}(x)]^{n-r} \frac{d}{dx} F_{X'(x)}$$

In questo modo è possibile anche ottenere la variabilità interannuale  $\sigma$ .



### 3. Teorema di Bayes



$$\text{prob}(X > x) = \text{prob}(X > x | X = 0)\text{prob}(X = 0) + \text{prob}(X > x | X \neq 0)\text{prob}(X \neq 0)$$

Visto che  $\text{prob}(X > x | X = 0)$  è zero l'equazione si riduce a:

$$\text{prob}(X > x) = \text{prob}(X > x | X \neq 0)\text{prob}(X \neq 0)$$



$$\text{prob}(X > x) = \text{prob}(X > x | X \neq 0) \cdot k$$

$$k = \text{prob}(X \neq 0)$$

La relazione può essere scritta in forma di distribuzione cumulata di probabilità:

$$1 - P_x(x) = [1 - P_x^*(x)] k$$

Che a sua volta si può scrivere come:

$$P_x(x) = 1 - k + k P_x^*(x)$$

dove  $P_x(x)$  è la cdf di tutti gli  $X$  (i.e.  $\text{prob}(X \leq x)$ )

e  $P_x^*(x)$  è la cdf dei valori  $X$  non zero.



### 3. Modello generalizzato dello Stochastic Index - FDC



Sapendo che:

$$P_X^*(X) = \int_{\Omega_{X'}} f_{X_{nz}'}(z) \cdot F_{AF_{nz}}(x/z) dz$$

Si può dire:

$$F(X)_{\text{mod}} = 1 - k + kP_X^*(x)$$

□ Per applicare il modello è necessario:

- Calcolare  $k$ , (*i.e.*  $\text{prob}(X \neq 0)$ ).  $\Rightarrow$  Si ottiene tramite la Weibull Plotting position
- Calcolare  $AF_{nz}$  and  $X'_{nz}$  utilizzando solo i valori diversi da zero

Trovare la nuova distribuzione generatrice di  $AF_{nz}$  e  $X'_{nz}$ , calcolando la distribuzione empirica tramite la Weibull Plotting Position, **utilizzando solo i valori non zero.**

**Algoritmo sviluppato in Matlab<sup>®</sup> per l'implementazione del modello**



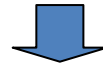
### 3. Modello generalizzato dello Stochastic Index – AFDC e St. Deviation



Calcolo dell'AFDC in presenza di zeri

Visto che:

$$E[X] = E[X | X > 0] \cdot k + 0 \cdot (1 - k)$$



$$E[X_{(r)}] = E[AF_{nz}] \cdot E[X'_{nz}(r)] \cdot k$$

Per calcolare la variabilità interannuale in presenza di zeri:

E' necessario calcolare:

$$E[X^2] = E[X^2 | X > 0] \cdot k + 0 \cdot (1 - k)$$

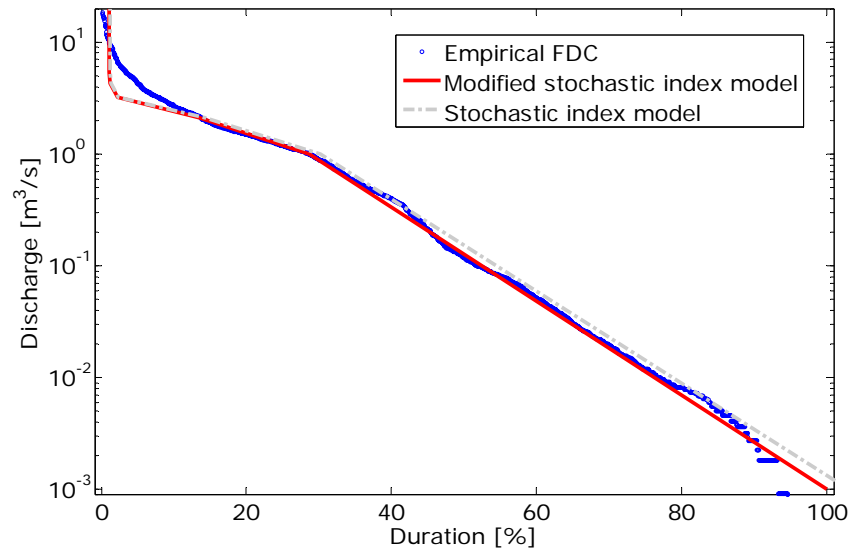
Da cui:

$$E[X^2] = E[AF_{nz}^2] \cdot E[X'^2_{nz}(r)] \cdot k$$

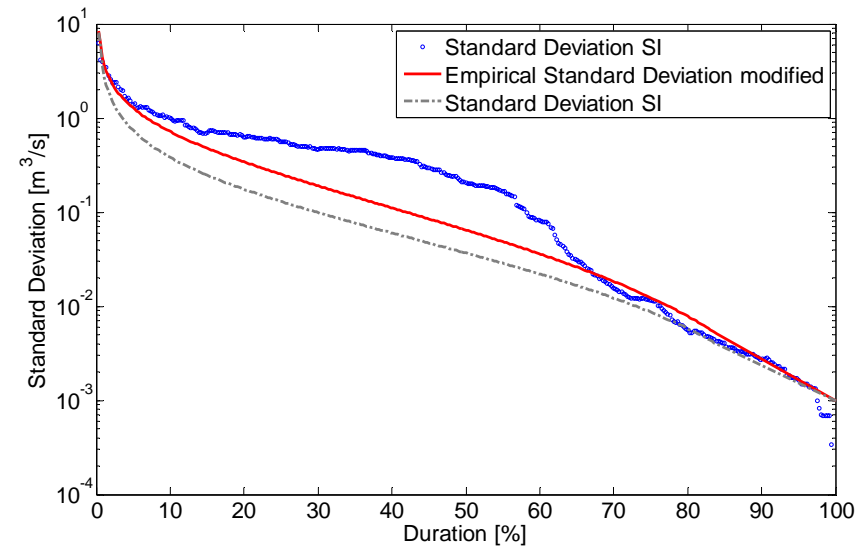
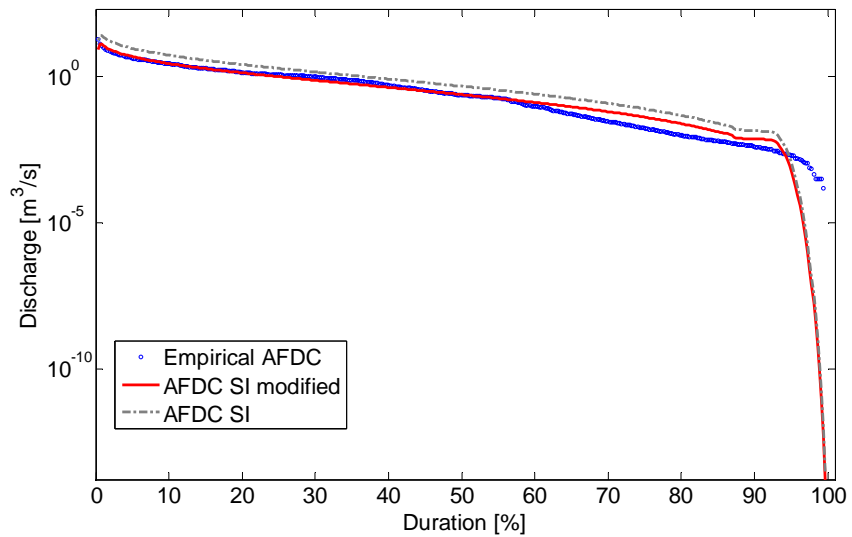
$$\sigma[X]_{(r)} = \sqrt{E[X^2] - \{E[X]\}^2} = \sqrt{E[AF_{nz}^2]E[X'^2_{nz}(r)]k - E^2[AF_{nz}]E^2[X'_{nz}(r)]k^2}$$



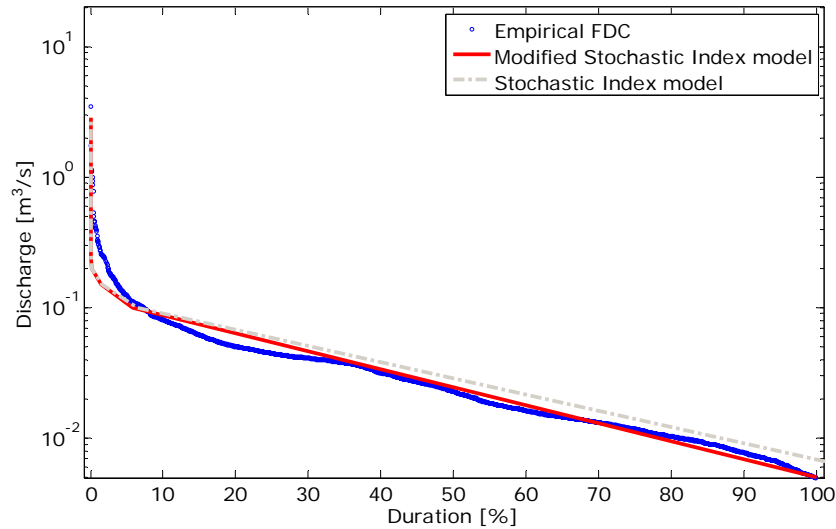
### 3. Caso di studio: Stazione di Roccasecca (regime intermittente)



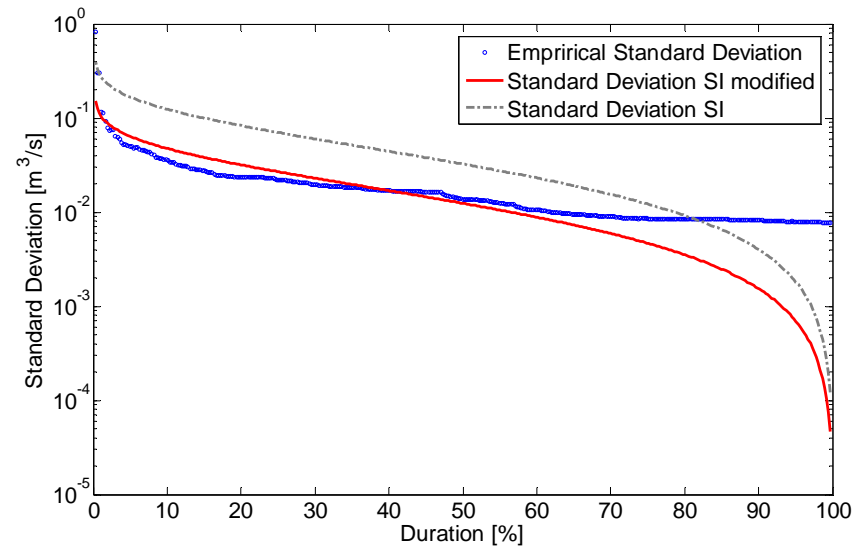
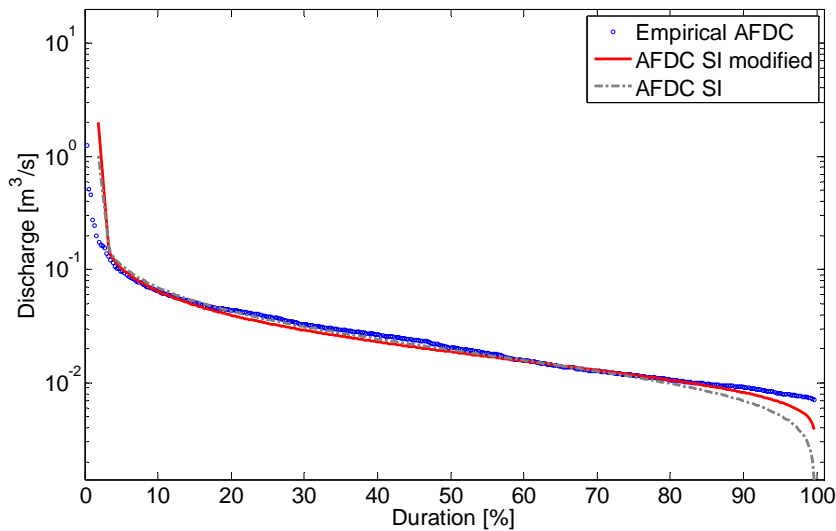
Site	RMSE SI [m³/s]	RMSE SI modified [m³/s]	N-S Efficiency SI	N-S Efficiency SI modified
FDC	6.10	5.20	0.94	0.95
AFDC	4.13	1.04	0.63	0.75
sigma	0.75	0.58	0.43	0.68



### 3. Caso di studio: Stazione di Colferro (regime intermittente)

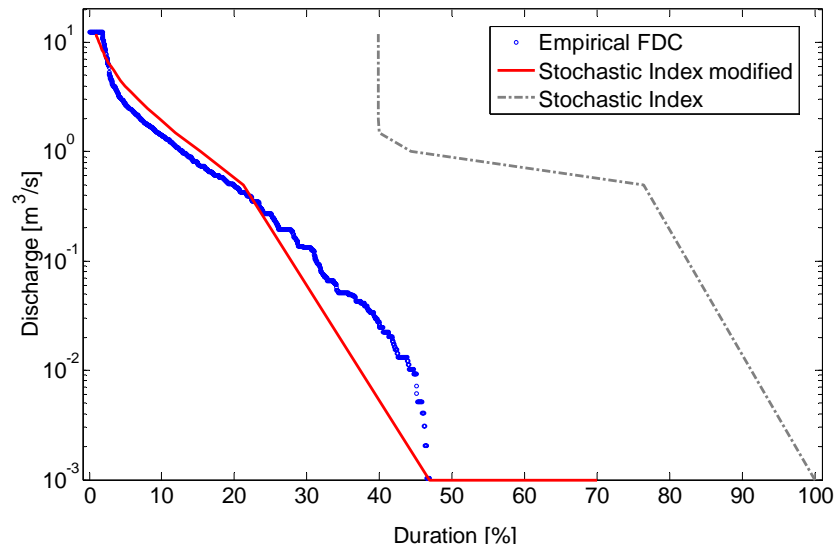


Site	RMSE SI [m³/s]	RMSE SI modified [m³/s]	N-S Efficiency SI	N-S Efficiency SI modified
FDC	5.70	7.00	0.96	0.94
AFDC	3.53	1.89	0.93	0.97
sigma	0.46	0.44	-1.55	-1.36

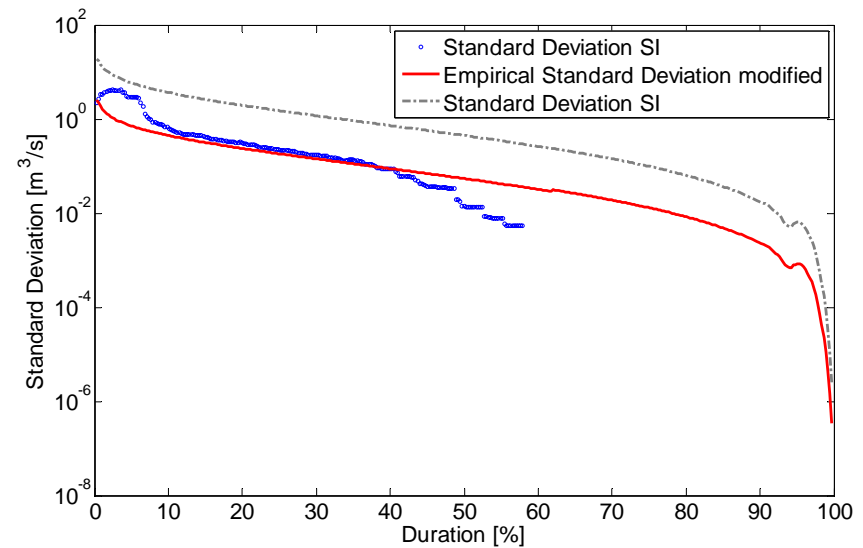
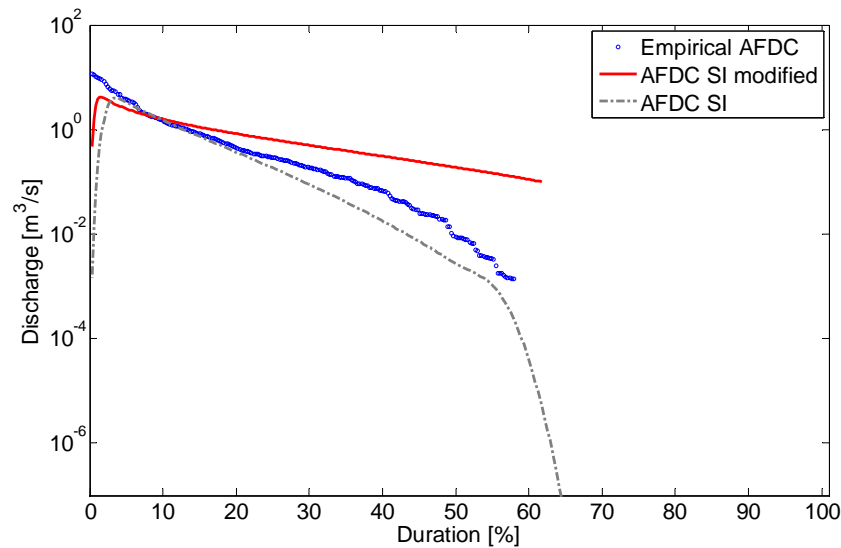




### 3. Caso di studio: Stazione di Aposelemis (Grecia (regime intermittente))



Site	RMSE SI [m³/s]	RMSE SI modified [m³/s]	N-S Efficiency SI	N-S Efficiency SI modified
FDC	30.30	7.22	- 4.89	0.98
AFDC	6.25	7.30	0.84	0.73
sigma	10.12	2.12	0.12	0.89



## 4. Regionalizzazione del modello statistico - Ipotesi

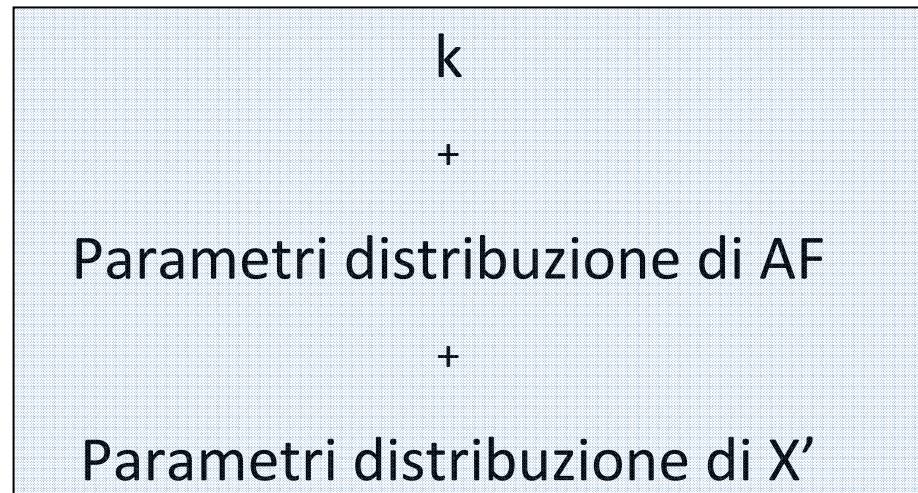


Regionalizzazione di un **bacino annidato** e con un **numero limitato di stazioni**

$$P_X^*(X) = \int_{\Omega_{X'}} f_{X|z'}(z) \cdot F_{AF|z}(x/z) dz$$

$$F(X)_{\text{mod}} = 1 - k + kP_X^*(x)$$

Parametri da regionalizzare tramite regressione:



## 4. Regionalizzazione del modello statistico – Caso di studio



Scelta della distribuzione migliore per AF e X'



AF Distribuzione normale

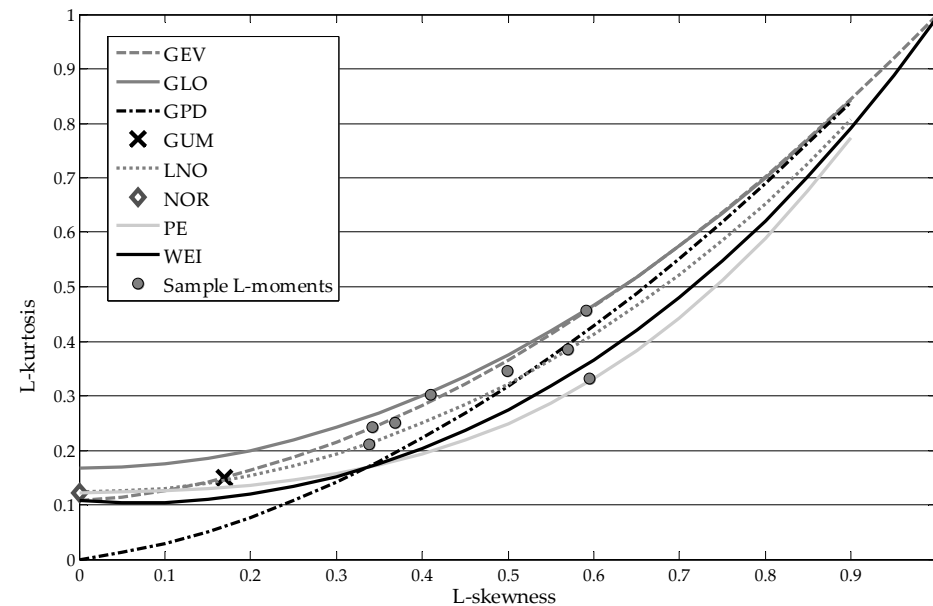
X' Distribuzione GEV

$$\lambda_1 = \xi + \lambda \{1 - \Gamma(1+k)\} / k$$

Dove  $\Gamma(\cdot)$  rappresenta la funzione Gamma

$$\kappa = 7.8590 \cdot c + 2.9455 \cdot c^2$$

$$\alpha = \frac{\lambda_2 \cdot \kappa}{(1 - 2^{-\kappa}) \Gamma(1 + \kappa)}$$





## 4. Regressione del modello

Analisi di regressione basata su una procedura stepwise si effettua per tutte le stazioni nella regione.

Per questo tipo di modello, l'ordine di ingresso delle variabili predittrici si basa su un F-test.

$$\hat{g} = A_0 + A_1 \omega_1 + A_2 \omega_2 + A_n \omega_n + \mathcal{G}$$

$$\hat{g} = A_0 \cdot \omega_1^{A_1} \cdot \omega_2^{A_2} \cdot \omega_n^{A_n} + \mathcal{G}'$$

$$\hat{g} = A_0 + \ln(A_1 \cdot \omega_1) + \ln(A_2 \cdot \omega_2) + \ln(A_n \omega_n) + \mathcal{G}''$$



$$\mu = A_0 \cdot (A^{A_1}) \cdot (F_A^{A_2})$$

$$\sigma = A_3 \cdot (A^{A_4})$$

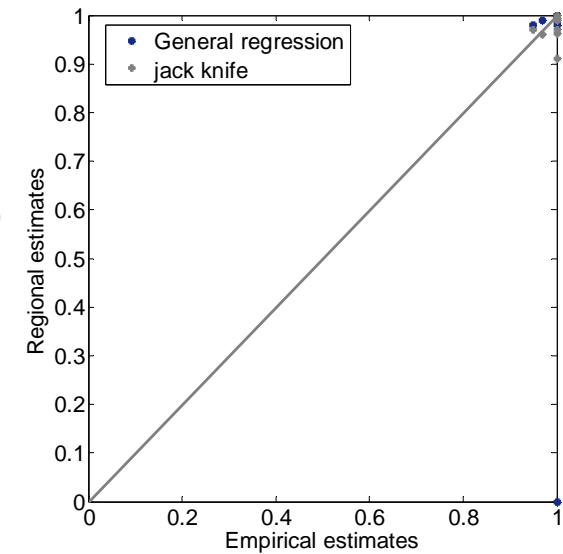
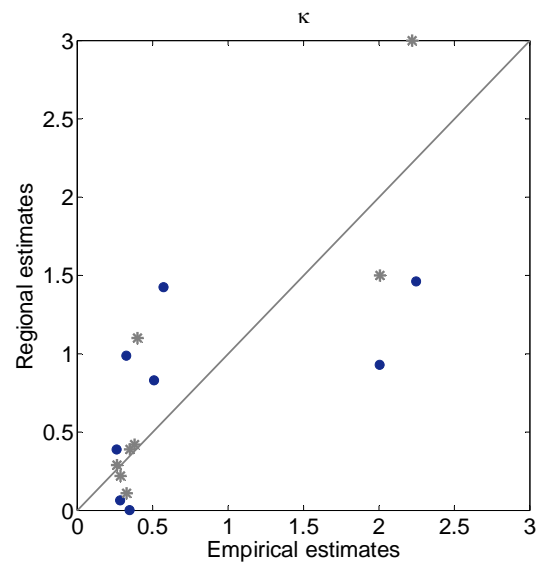
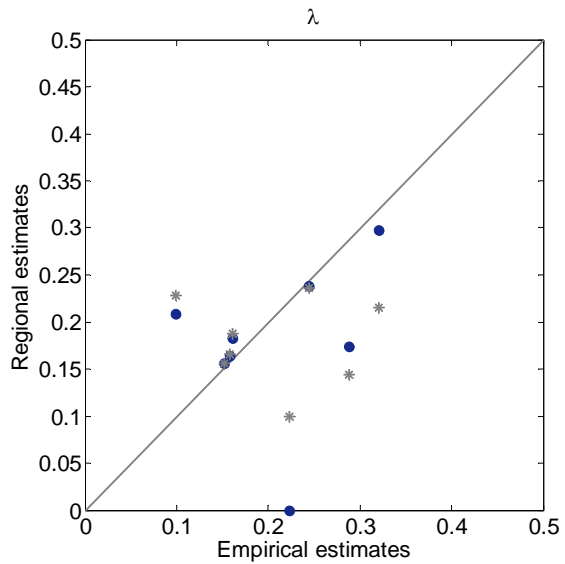
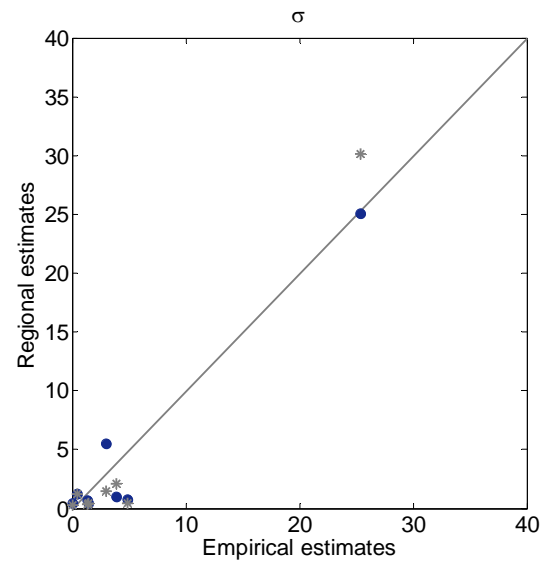
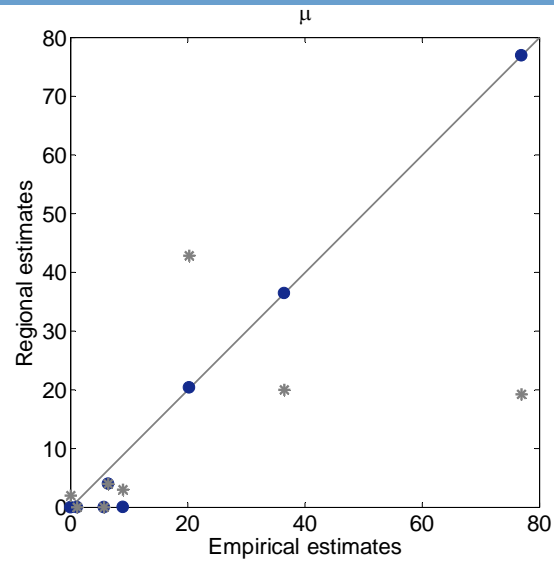
$$\kappa = A_5 \cdot (F_D^{A_6}) \cdot (H^{A_7})$$

$$\lambda = A_8 \cdot (A^{A_9})$$

$$p_{nz} = A_{10} \cdot (F_D^{A_{11}}) \cdot (A^{A_{12}})$$



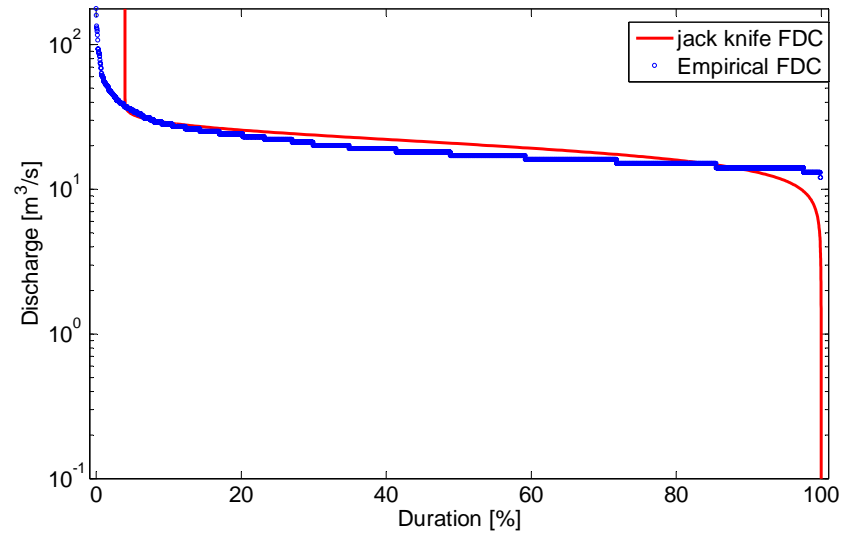
# 4. Regressione del modello - Risultati



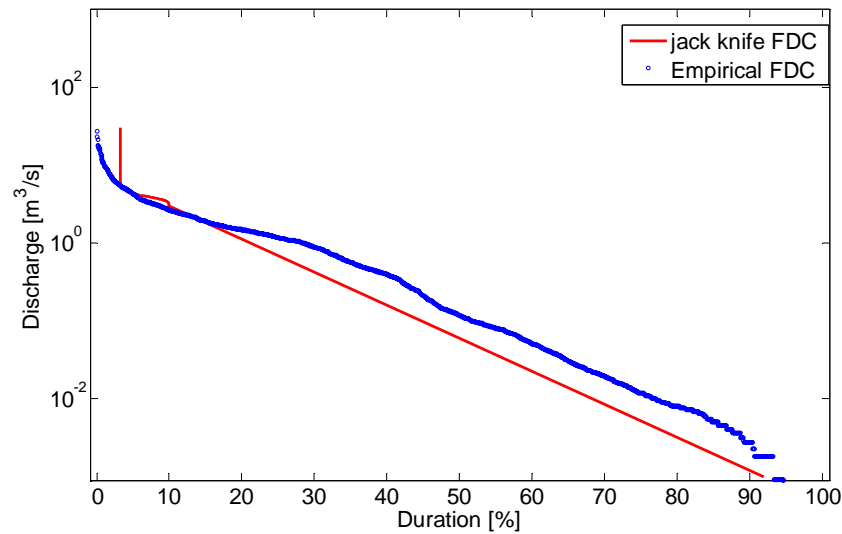
# 4. Regressione del modello - Risultati



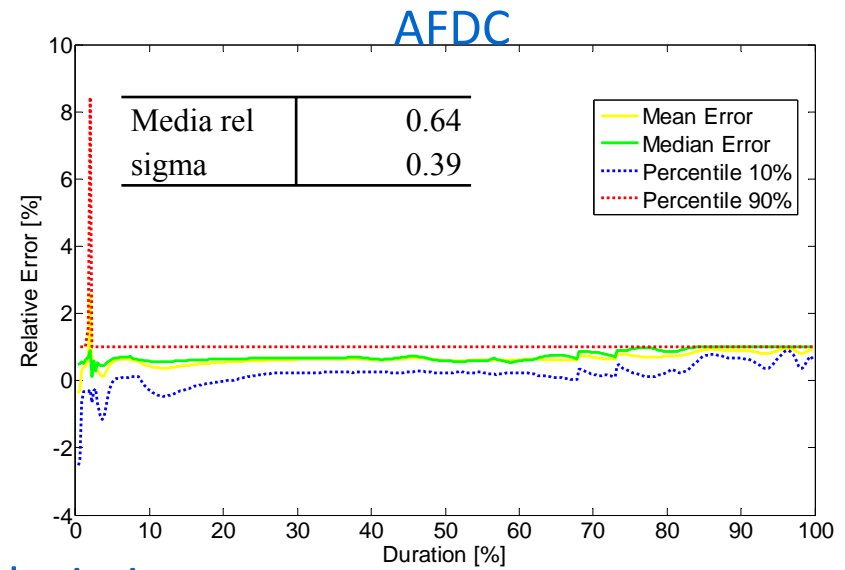
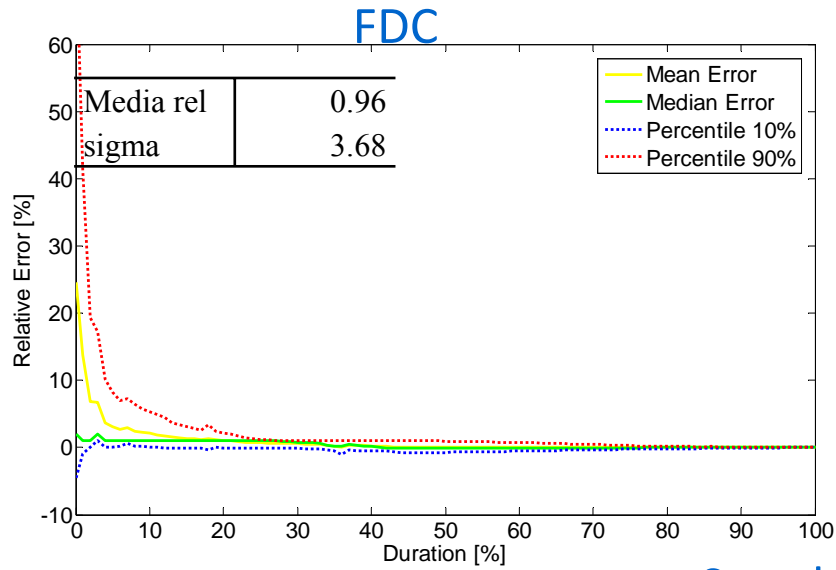
Stazione di  
Lunghezza



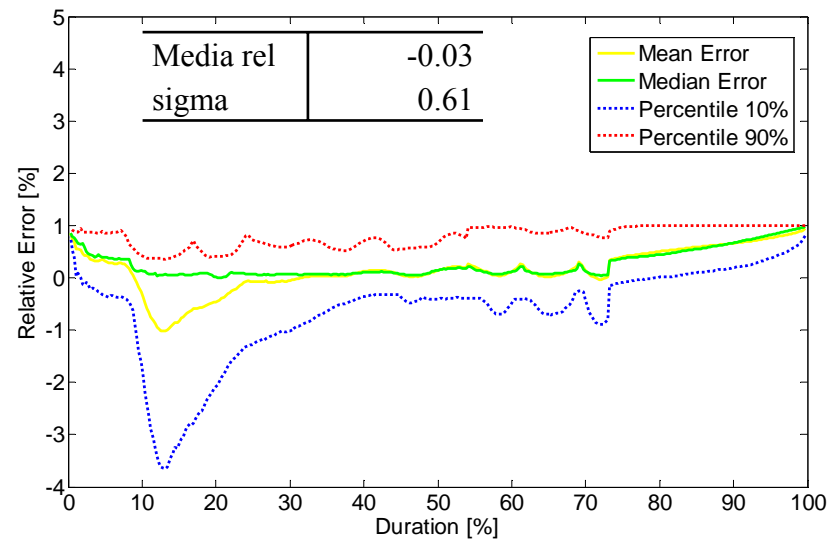
Stazione di  
Roccasecca



# 4. Regressione del modello - Risultati



## Standard deviation

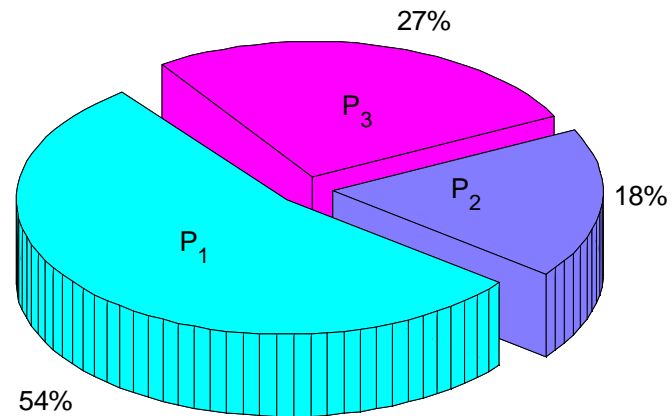


## 4. Regressione del modello - Risultati

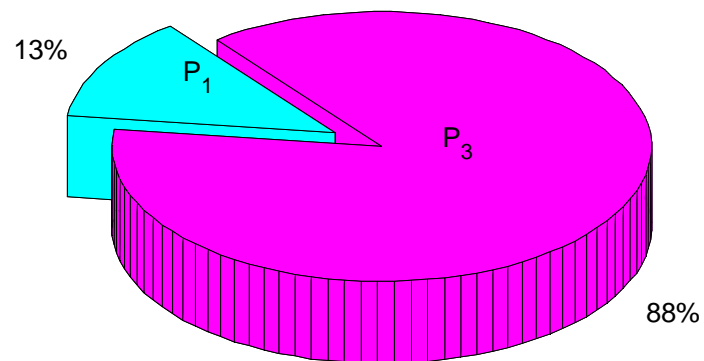


P1=  $N-S > 0.75$   
P2=  $0.5 < N-S < 0.75$   
P3=  $N-S < 0.5$

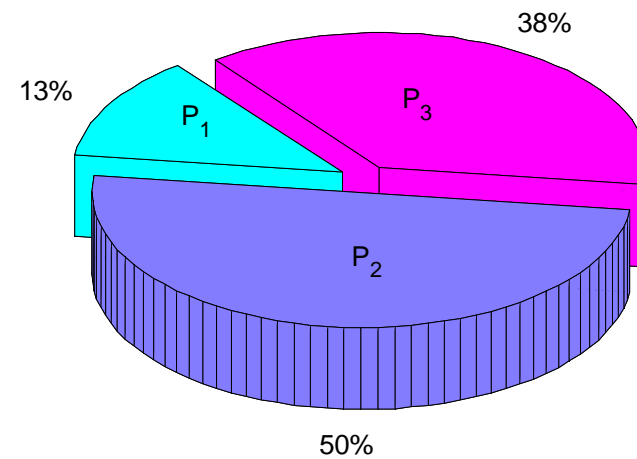
### FDC



### AFDC



### Standard Deviation







## 5. Conclusioni

- Il lavoro si è concentrato sul calcolo delle curve di durata in bacini caratterizzati da regime intermittente e nel trasferimento dell'informazione idrologica in siti non strumentati
  
- Le analisi preliminari hanno messo in luce:
  - L'importanza dell'orografia come fattore influenzante le caratteristiche idrologiche del bacino
  - La presenza di 4 regioni omogenee nell'area studiata
  
- Il confronto tra i metodi di regionalizzazione delle curve di durata ha mostrato che
  - il metodo grafico è quello che da risultati peggiori
  - le altre due metodologie danno risultati comparabili a causa del numero di parametri in gioco
  - In ogni area è necessario testare la validità dei metodi di regionalizzazione utilizzati



## 5. Conclusioni

- ❑ E' stato implementato un modello per il calcolo delle curve di durata in bacini caratterizzati da regime intermittente (dovuto a cause diverse) che permette di calcolare FDC, AFDC e variabilità con un unico modello



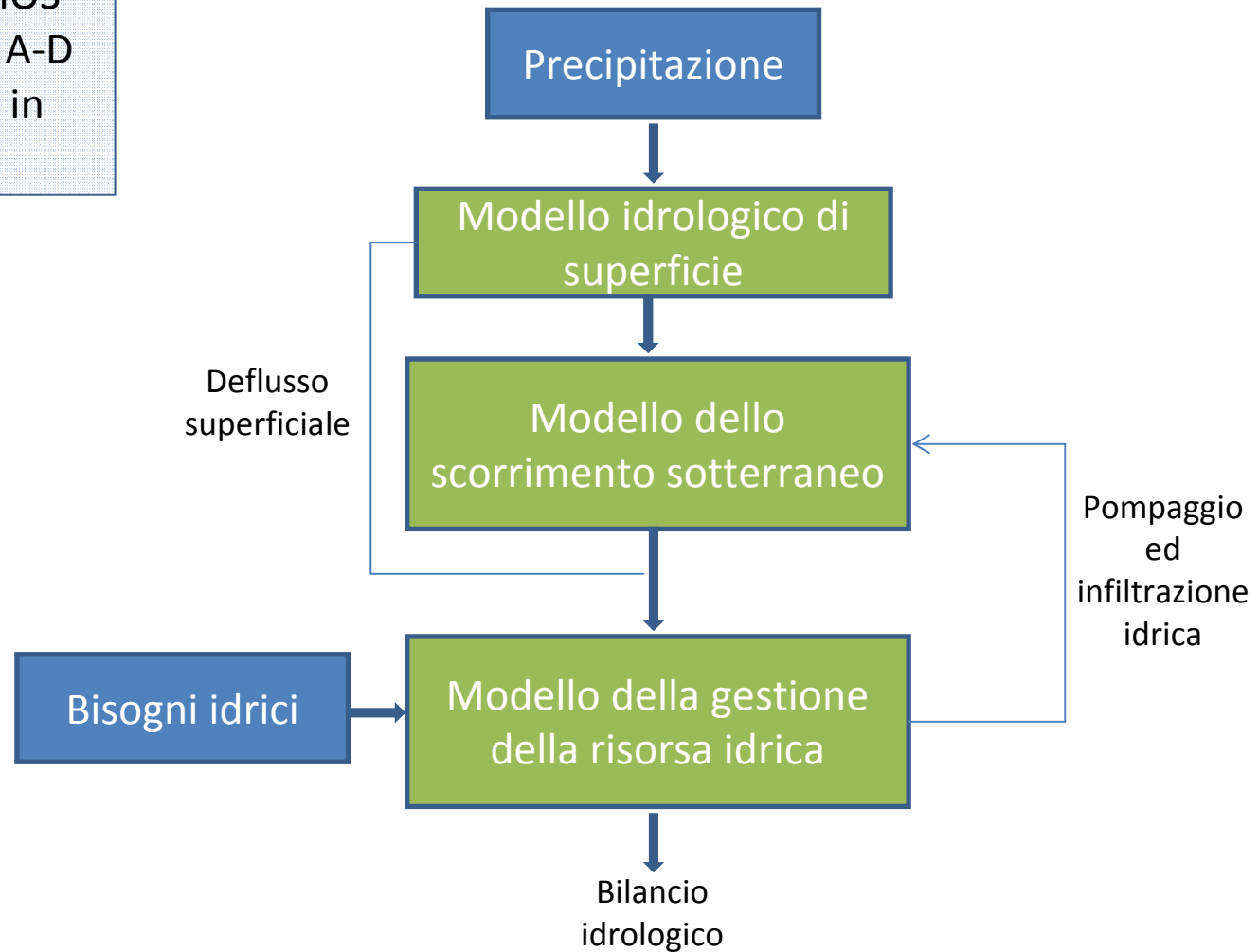
Articolo in Press su NHESS (Rianna M., Russo F., Napolitano F.,  
"Stochastic index model for intermittent regimes: from preliminary analysis to regionalisation")

- ❑ Il modello applicato in diversi siti strumentati mostra risultati molto buoni in termini di efficienza sia in termini di FDC che di AFDC e standard deviation
- ❑ E' necessario testare il modello in un numero di stazioni maggiore
- ❑ E' stato inoltre definito un modello parsimonioso per la regionalizzazione delle curve di durata, in bacini annidati e caratterizzati da un numero limitato di stazioni
- ❑ I risultati mostrano dei buoni risultati degli indici di consistenza del modello nonostante il numero limitato di stazioni utilizzato

# Lavori in corso/futuri: Uso del mod. A-D per il calcolo delle FDC



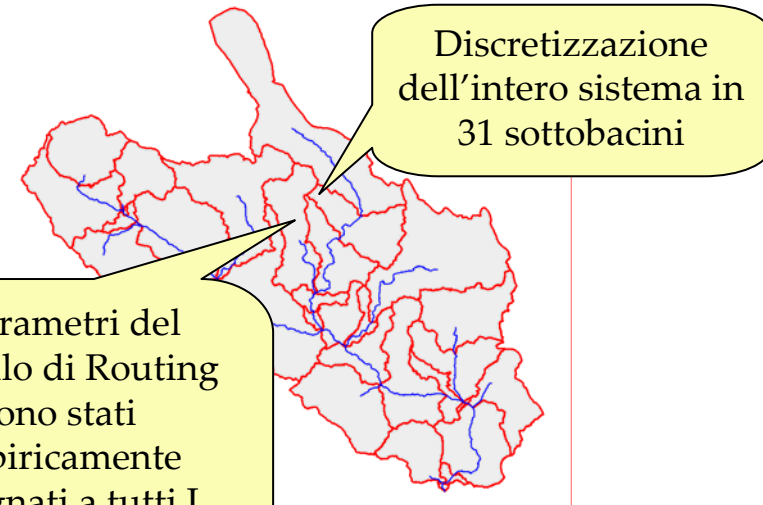
Utilizzo di HYDROGEIOS  
(ITIA-NTUA) Modello A-D  
con funzionamento in  
continuo



## 4 Livelli di schematizzazione e parametrizzazione

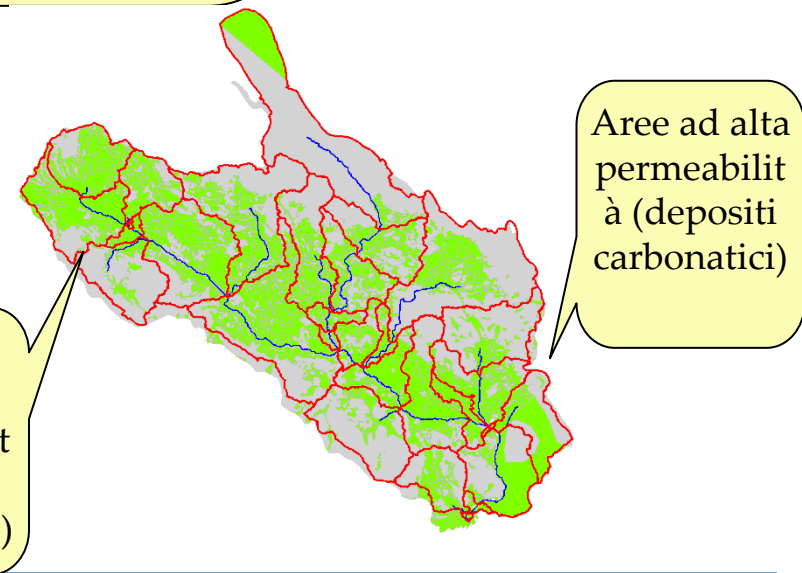


Livello A: Approccio semi concentrato, con diversi dati di input (precipitazione e Evapotrasp) per sottobacino, stessi valori dei parametri per l'intero sistema (7 parametri)



I parametri del modello di Routing sono stati empiricamente assegnati a tutti i segmenti fluviali.

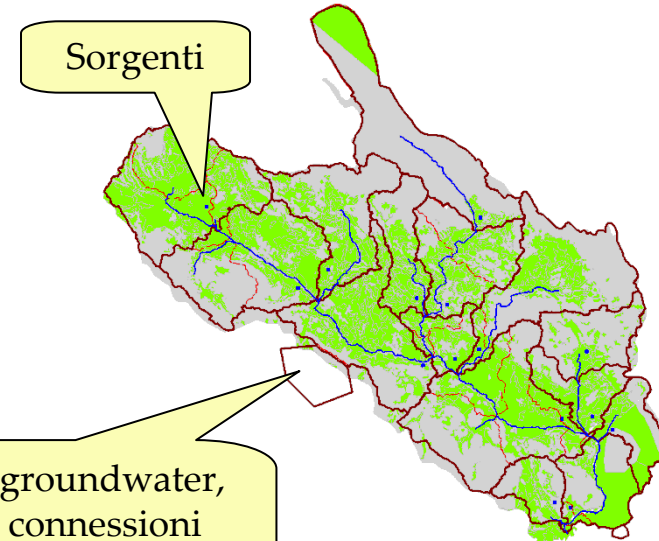
Livello B: Approccio semi-distribuito, con formulazione delle HRU sulla base 2 classi di permeabilità alle quali sono assegnati diversi valori dei parametri ( $7 \times 2 = 14$  parametri)



## 4 Livelli di schematizzazione e parametrizzazione

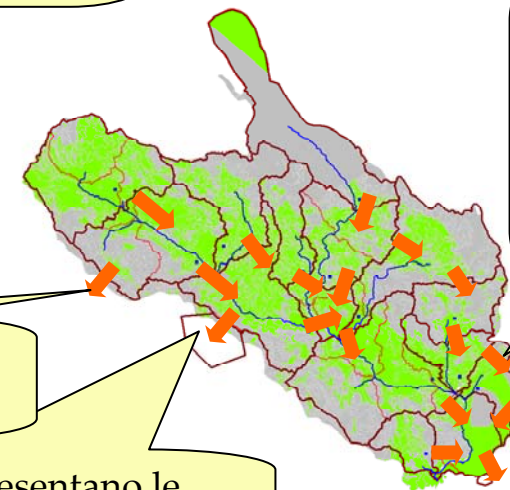


Livello C: Definizione di 15 isolate celle di groundwater in ogni sottobacino, che ricevono la percolazione delle aree sovrastanti e producono baseflow (14 + 15 = 29 parametri)



Celle del groundwater, prive di connessioni idrauliche

Livello D: Formulazione di una rete di celle interconnesse per rappresentare il sottosuolo, incluse 3 celle virtuali che modellano le perdite nel sottosuolo (29 + 2 × 15 + 3 = 62 parametri)



Condotte virtuali che rappresentano i percorsi sotterranei dell'acqua

Livelli delle celle (iniziali) assegnati sulla base della topografia

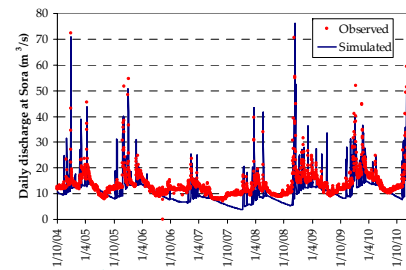
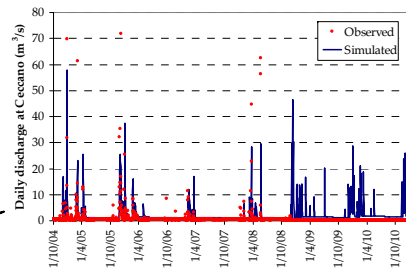
Celle virtuali che rappresentano le fuoriscite d'acqua dal sottosuolo



# Performance del modello per diversi livelli di complessità



Parte del bacino con deflusso di base molto basso



Parte del bacino con deflusso di base significativo

Deflusso di base quasi costante

