



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DICEA

Dipartimento di Ingegneria
Civile e Ambientale

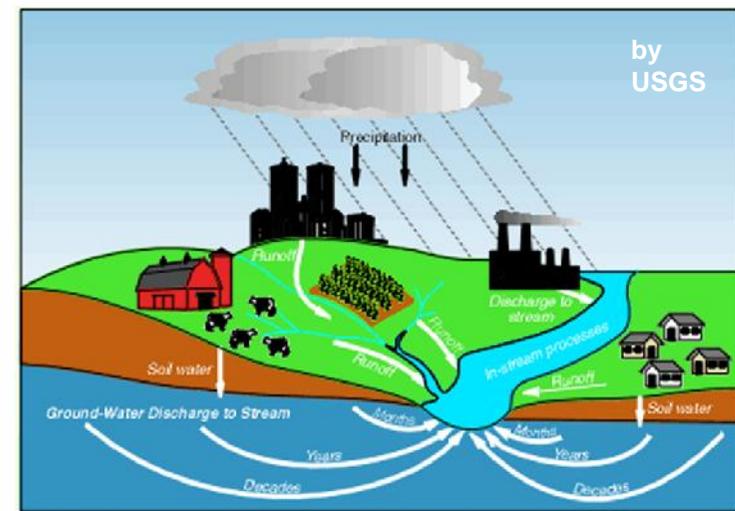
Modellazione distribuita di bilanci idrici e trasporto di inquinanti da sorgenti puntuali e diffuse

Prof. Fabio Castelli, Giulia Ercolani

Workshop Nazionale sull'Idrologia Operativa,
"Bilanci idrologici e idrici. Stato dell'arte e prospettive future"
ISPRA, Roma, 09 Dicembre 2015

Contesto

- La gestione del territorio ha impatto sia su quantità che qualità delle acque
- Necessità di un approccio integrato quantità-qualità per la corretta valutazione dell'impatto di scenari futuri sulle risorse idriche





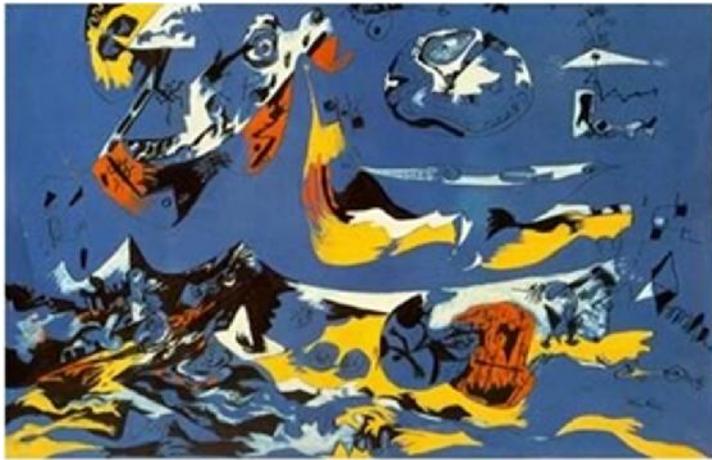
AGNPS, DWSM, HSPF, SWAT

Motivazione

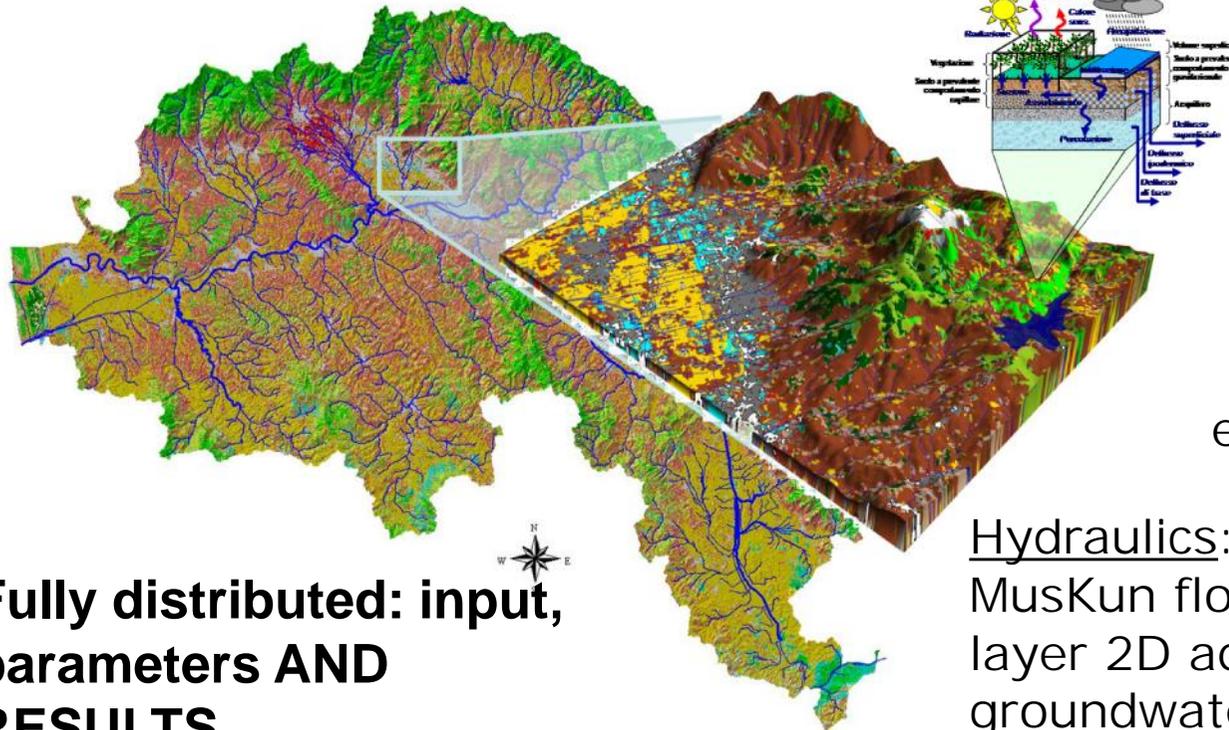
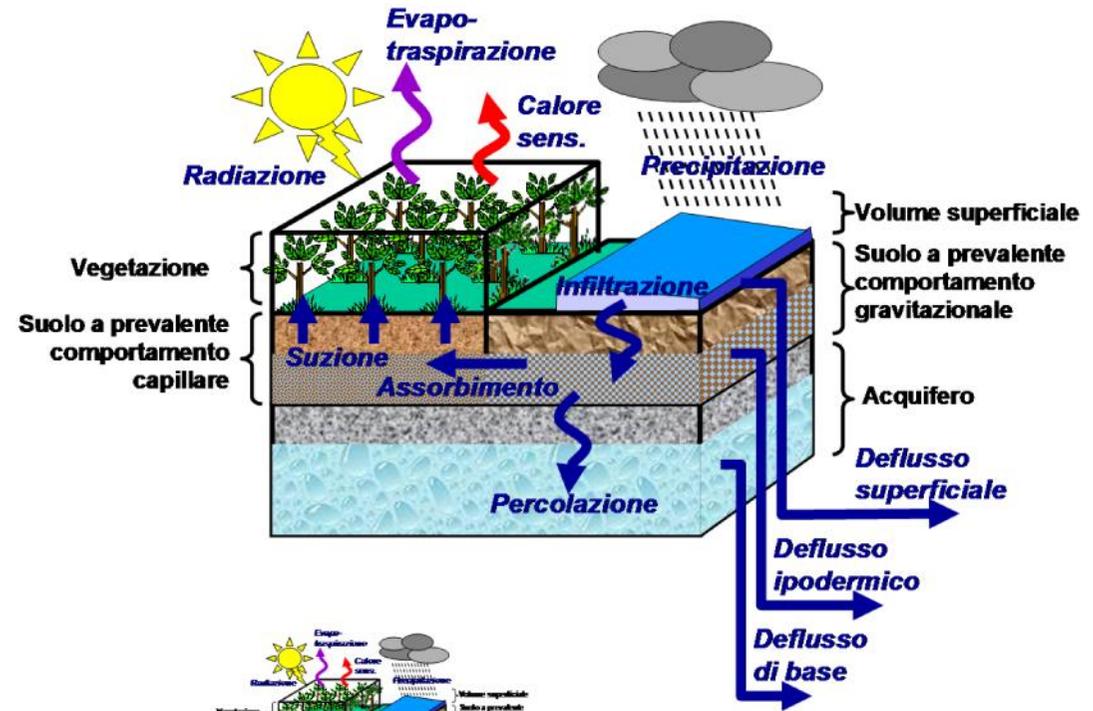
- Multi-processo vs. Specializzazione
- Accuratezza vs. Sovraparametrizzazione

Risultati attesi

- Scenari di quantità e qualità
 - Sensitività rispetto ai fattori incerti (carichi, cinetica, modulazione idrologica)



MOBIDIC
MOdello **B**ilancio Idrologico
Distribuito e **C**ontinuo



**Fully distributed: input,
 parameters AND
 RESULTS**

Campo et al., HP, 2006
Castelli et al., IAHS, 2009
Yang et al., HESS, 2014
Castillo et al., HESS, 2015

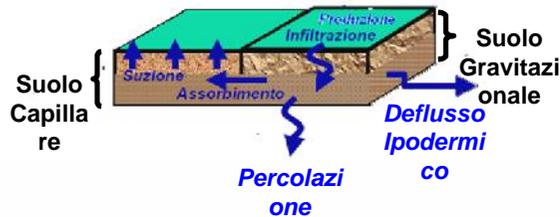
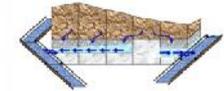
SVAT hydrology:
 Coupled mass and
 energy balance with heat
 diffusion into the soil

Hydraulics:
 MusKun flood routing; multi-
 layer 2D aquifers; explicit
 groundwater-surface exchanges



Dispersione nel suolo: percorsi idrologici

Mass balance in soil
and groundwater



- θ, τ = parametri di ritardo per percolazione e deflusso ipodermico
- S_{as} = assorbimento idrico da grav. a capillare
- F_{dup} = flusso di tr. in ingr. per deflusso ipodermico
- F_{prod} = flusso di tr. in ingr. per produzione locale

- s = costante di invaso per il deflusso superficiale di versante
- F_{ups} = flusso di tr. in ingr. Per deflusso superficiale
- R_{dun} = produzione di deflusso superficiale

- Large-pores component
(G_g = massa di contaminante nel suolo gravitazionale)
- Small-pores component
(G_c = massa di contaminante nel suolo capillare)

$$\frac{dG_g}{dt} = -G_g + F_{dup} + (1 - F_{ch})F_{ups} + F_{prod}$$

$$s = \frac{S_{as} + R_{dun}}{W_g}$$

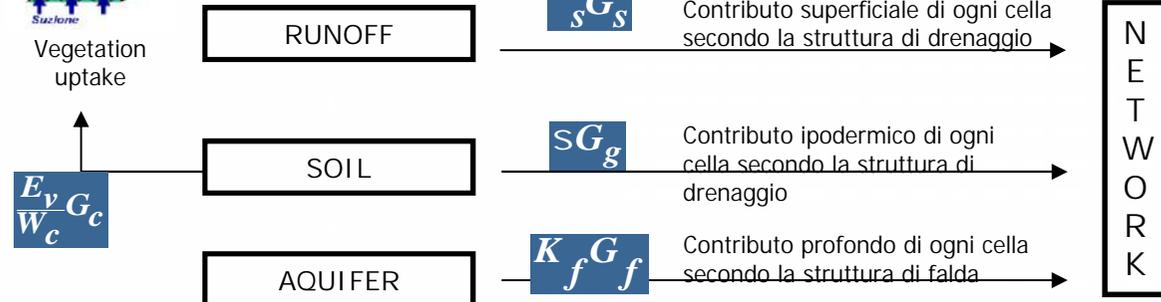
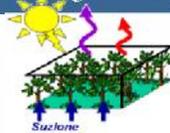
- Runoff

$$\frac{dG_s}{dt} = -sG_s + \frac{R_{dun}}{W_g}G_g + F_{ch}F_{ups}$$

- Aquifer

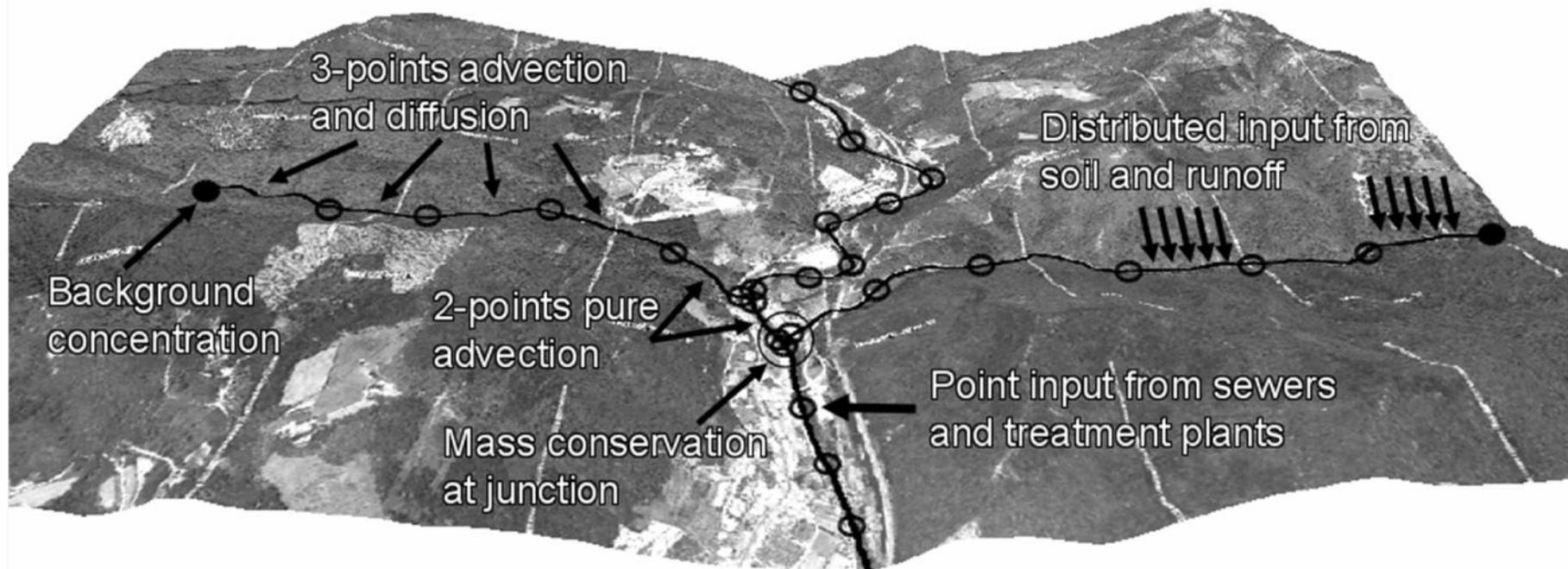
$$\frac{dG_f}{dt} = -G_g - K_f G_f$$

$$\frac{dG_c}{dt} = -\frac{E_v}{W_c}G_c + \frac{S_{as}}{W_g}G_g$$



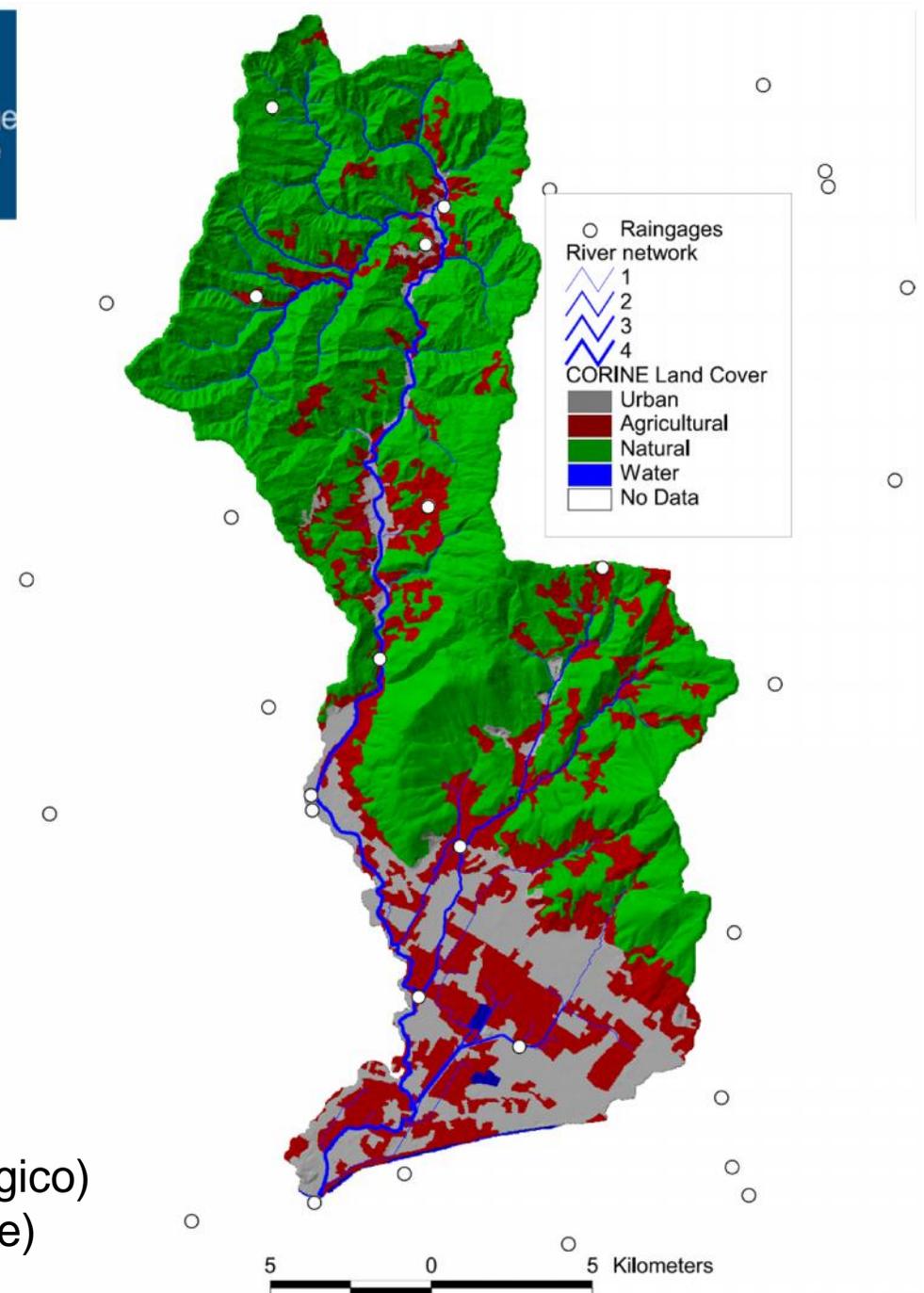


Diffusione-dispersione lungo il reticolo idrografico: ottimizzazione numerica



Caso di studio: Fosforo totale, bacino del Bisenzio (Arno)

A = 320 km²
T = 2000-2006
X = 100m
t = 1giorno (idrologico)
t = 10' (dispersione)



Determinazione dei carichi distribuiti (*agricoltura e zootecnia*)

ARPAT + ISTAT

SPECIE DI BESTIAME	COEFF. CARICO TROFICO [kg/capo/anno]
Bovini	7.40
Equini	8.70
Ovo - Caprini	0.80
Suini	3.80
Pollame	0.17

CATEGORIA SUOLO	COEFF. CARICO TROFICO [kg/ha/anno]	CLASSI CORINE
Suolo Coltivato (SAU)	2.00	Seminativi 211 - 213 Colture e Pascoli 221 - 244
Suolo Incolto	0.10	Verde artificiale 141 - 142 Boschi 311 - 313 Prati e suolo nudo 321-334

CLASSI DI USO DEL SUOLO CORINE									
	Seminativi (211-212)	Colture permanenti (221-223)	Prati stabili (231)	Colture annuali e permanenti (241)	Sistemi complessi (242)	Colture e spazi naturali (243)	Aree agroforestali (244)	Pascolo naturale (321)	
ORIENTAMENTO TECNICO - AGRICOLTURA AZIENDA	Seminativi	1	0	0	0	0	0	0	
	Ortofloricoltura	1	0	0	0	0	0	0	
	Coltivazioni permanenti	0	1	0	0	0	0	0	
	Erbivori	0.3	0.3	1	0	0	0	0.3	0.3
	Granivori	0	0	0.3	0	0.3	1	1	1
	Policoltura	0.3	0.3	0	1	0	0	0	0
	Poliallevamento	0	0	0.3	0	1	1	0	0
	Coltivazioni - Allevamenti	0	0	0	0.3	1	1	0.3	0



	Seminativi (211-212)	Colture permanenti (221-223)	Prati stabili (231)	Colture annuali e permanenti (241)	Sistemi complessi (242)	Colture e spazi naturali (243)	Aree agroforestali (244)	Pascolo naturale (321)
COEFF. di PRODUZIONE [kg/ha/anno]	1.25	1.78	1.90	0.84	0.90	0.92	0.81	0.58

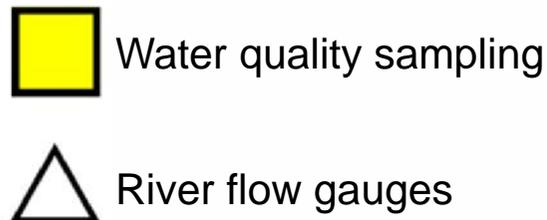


Determinazione dei carichi puntuali (*scarichi civili e industriali*)

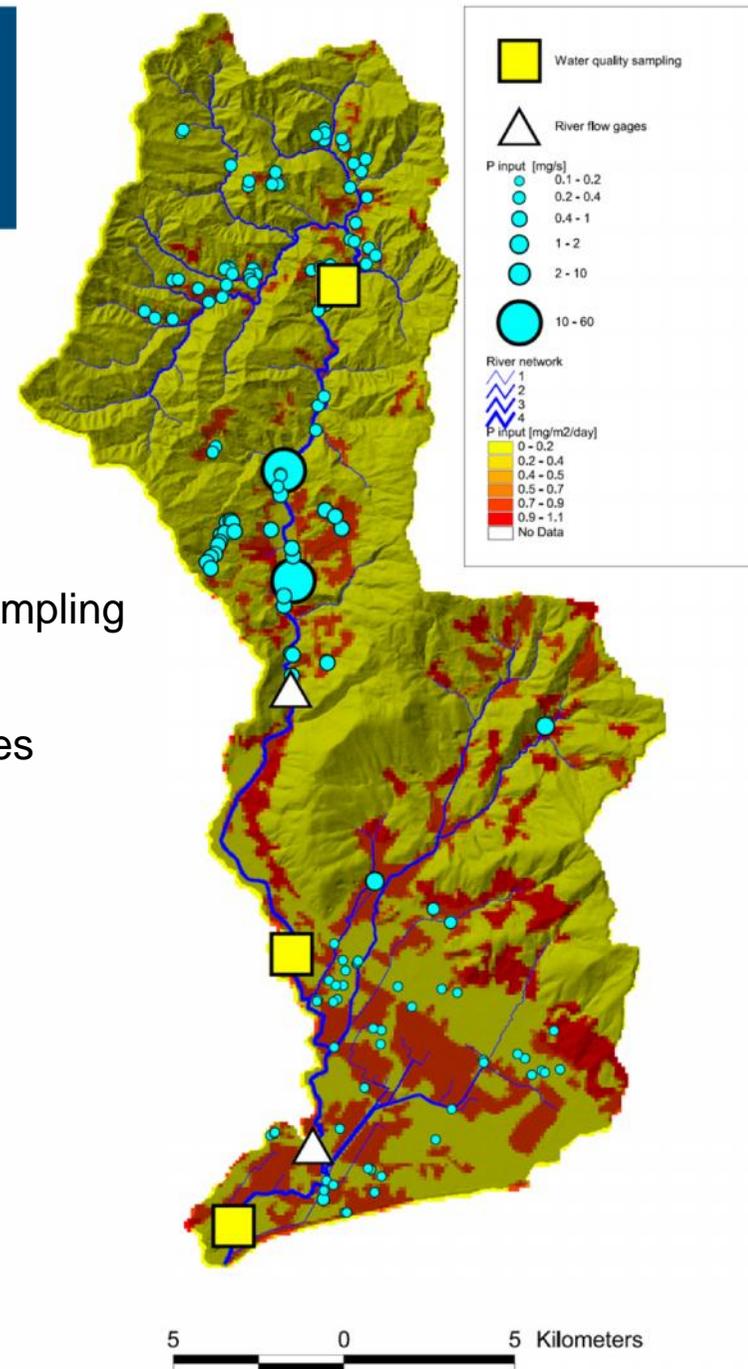
- Scarichi non collettati agli impianti di depurazione dalle immissioni (l/s) censite dall' AdB Arno per le quali è stata supposta una concentrazione media di fosforo di **3 mg/l** (scarico debole).
- Scarichi degli impianti di depurazione di Vernio, Cantagallo e Vaiano da misure mensili ARPAT per l'anno 2006



Sorgenti distribuite e puntuali

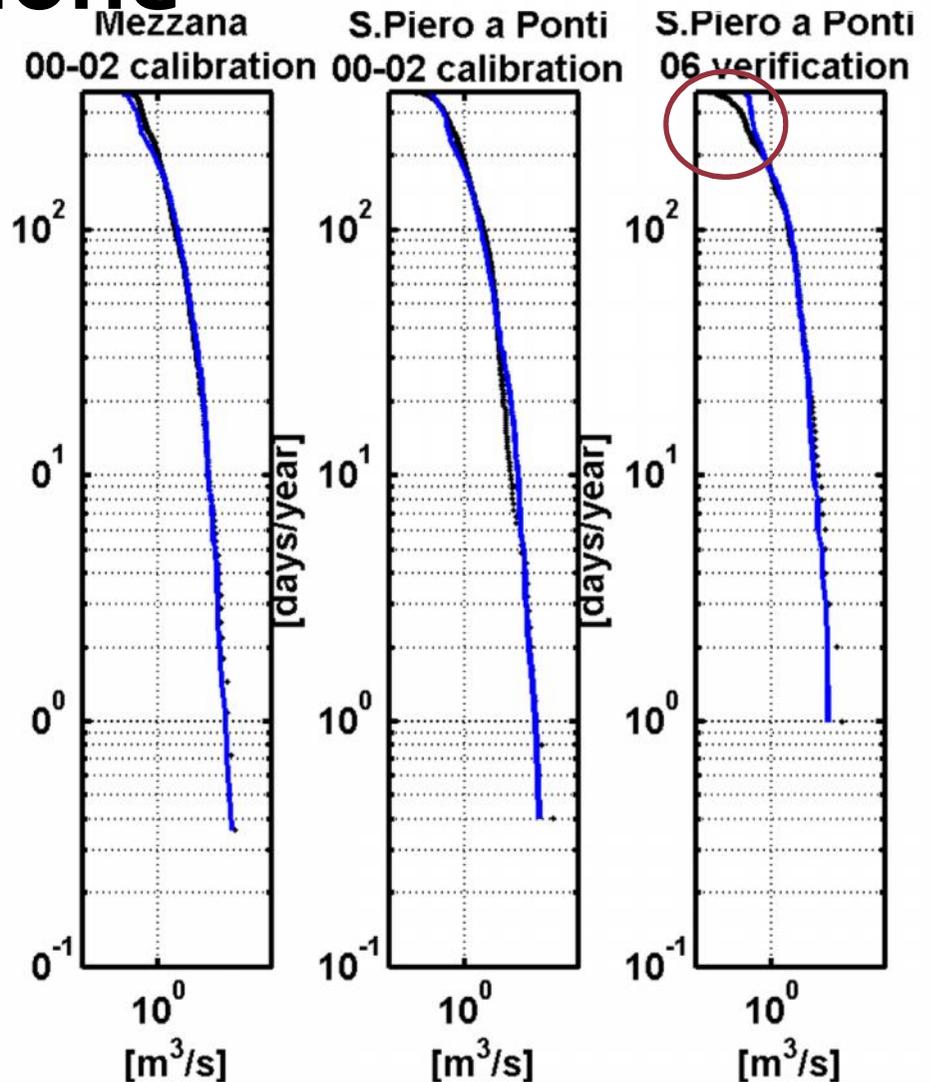
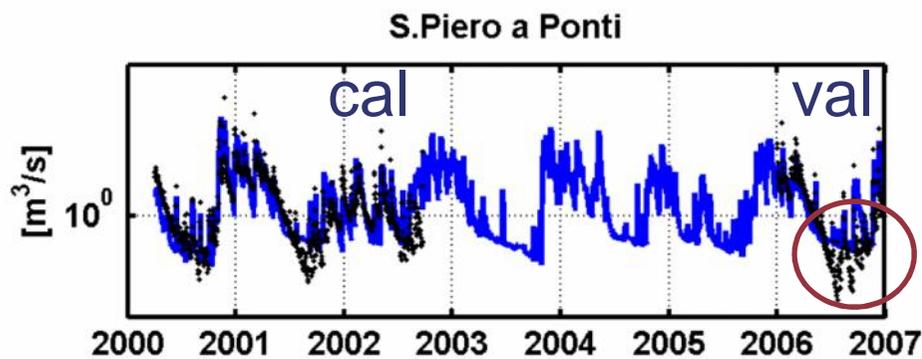
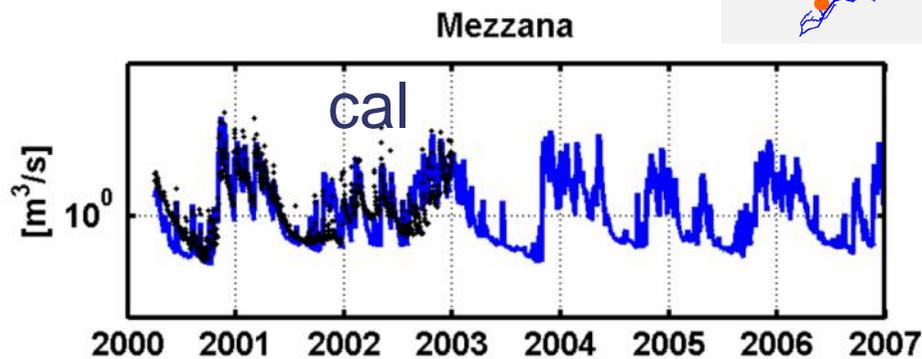
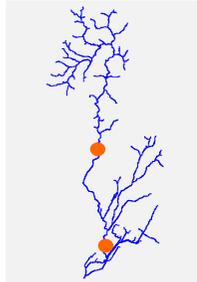


TIPOLOGIA	CARICO [ton/anno]
carico da suolo	17.3
carico da zootecnia	10.0
carichi concentrati	3.5





Calibrazione/validazione idrologica



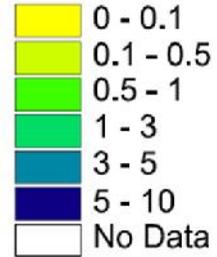
Risultati

Base

Average P concentration [g/m³]



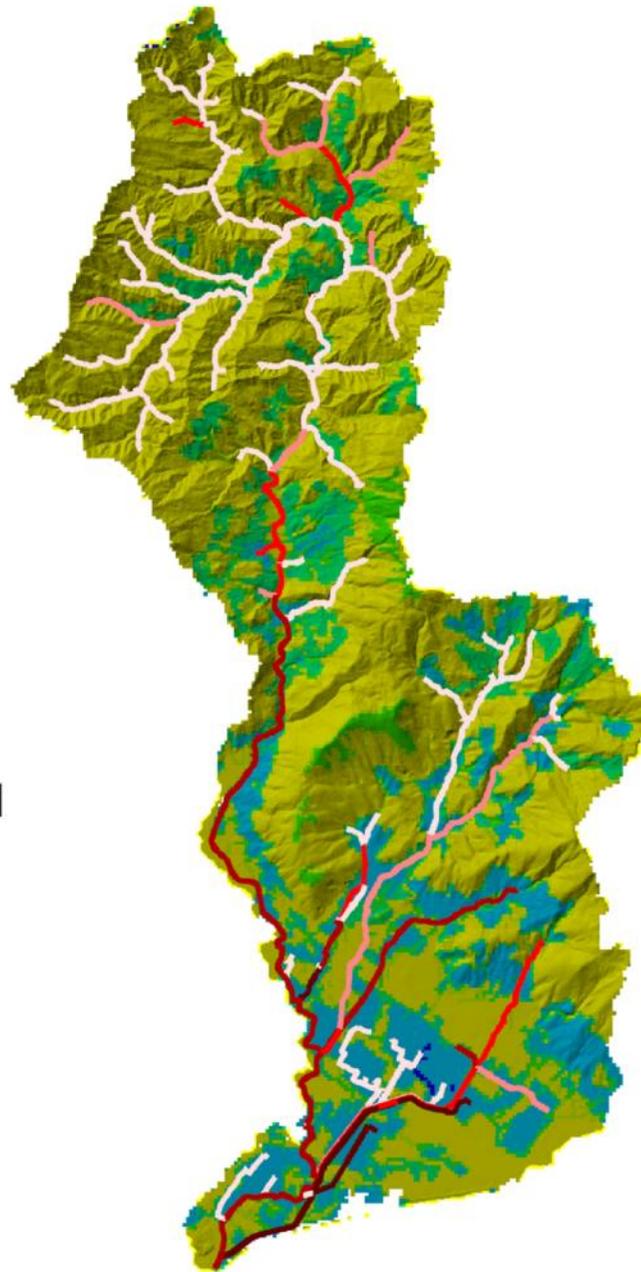
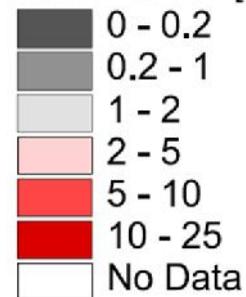
Average P in soil [mg/m²]



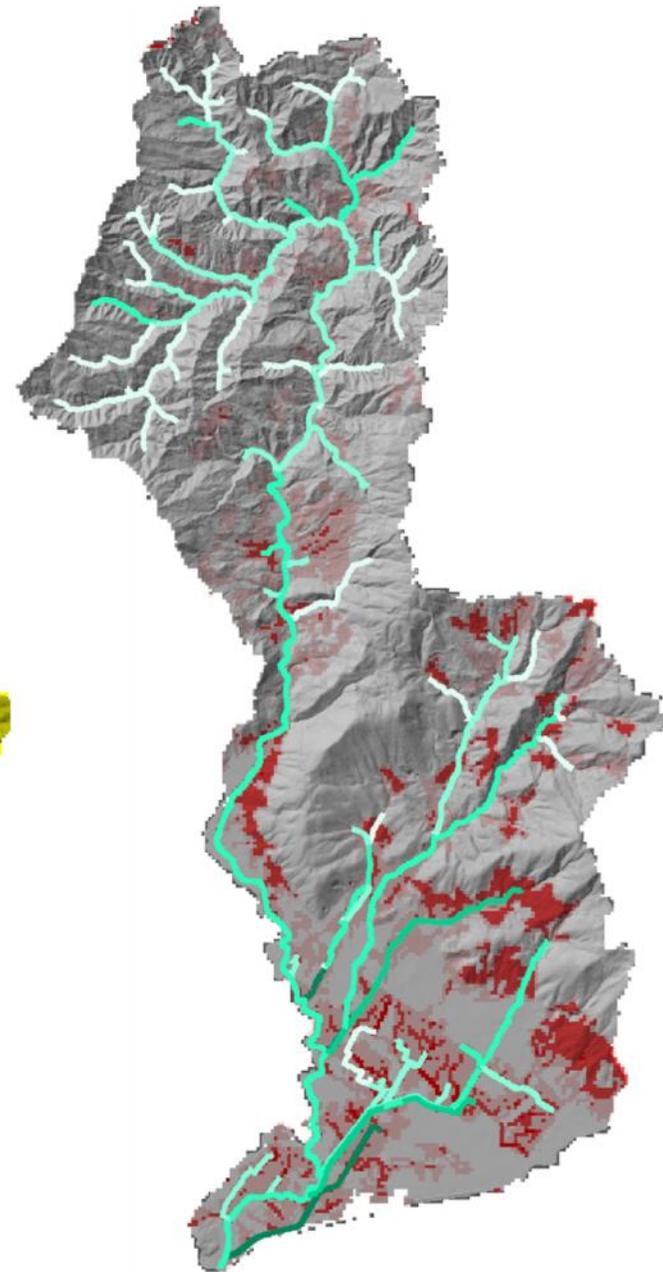
Max P concentration [g/m³]



Max P in soli [mg/m²]



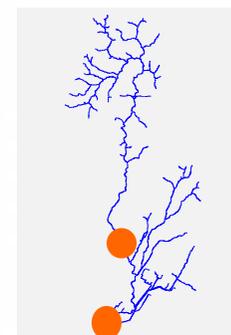
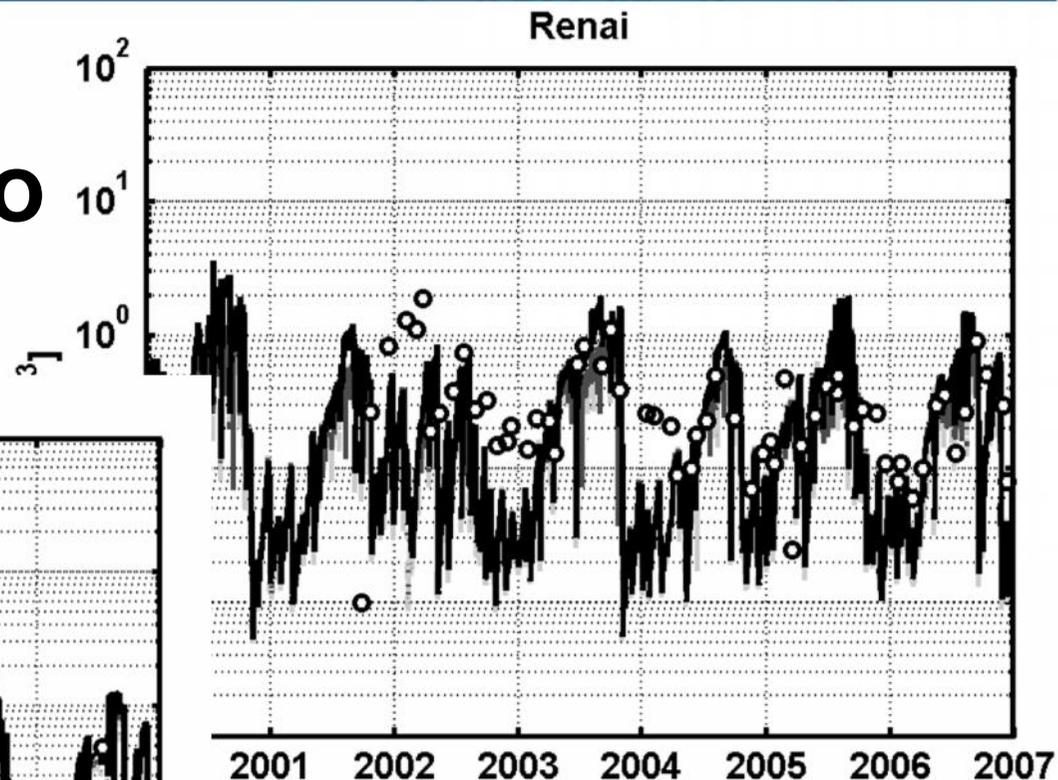
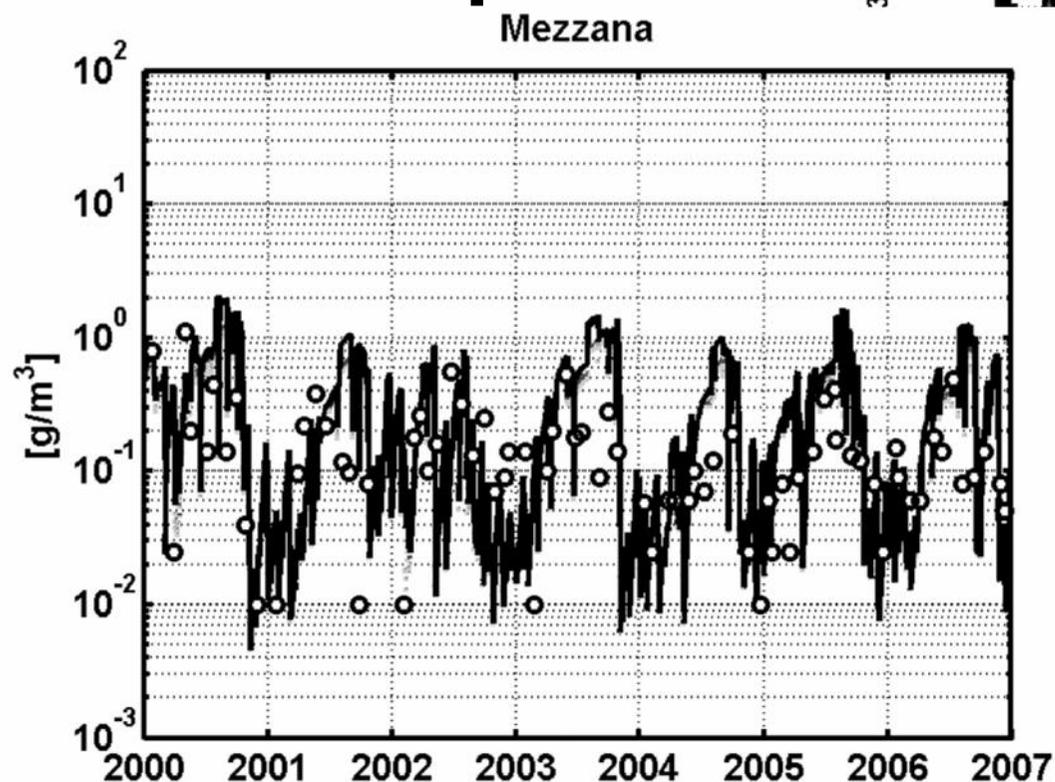
5 0 5 Kilometers



5 0 5 Kilometers



Confronto con campioni di fosforo totale sospeso





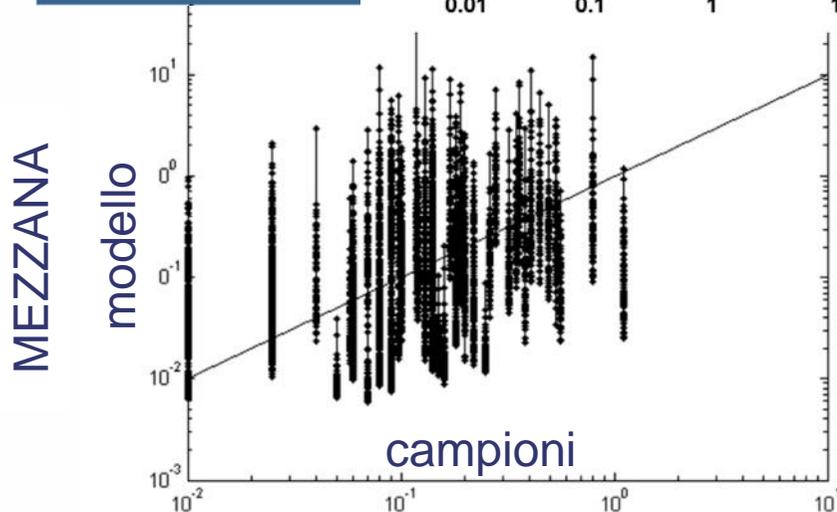
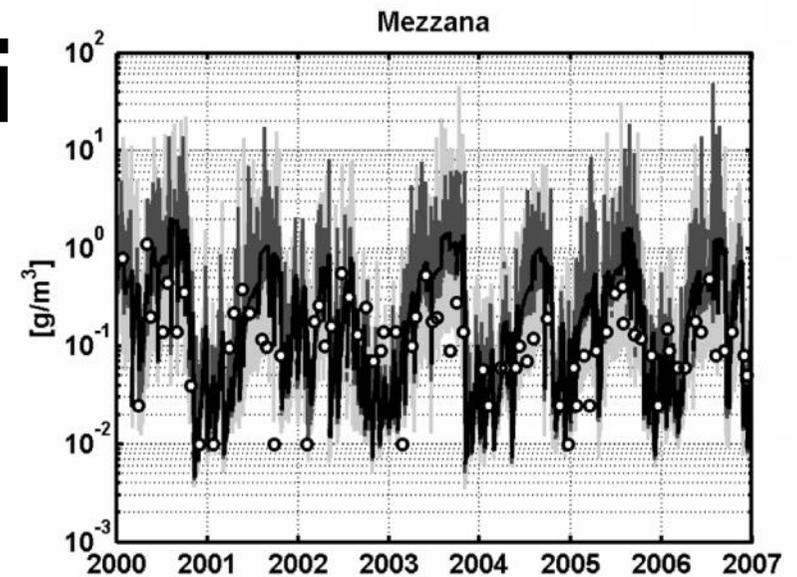
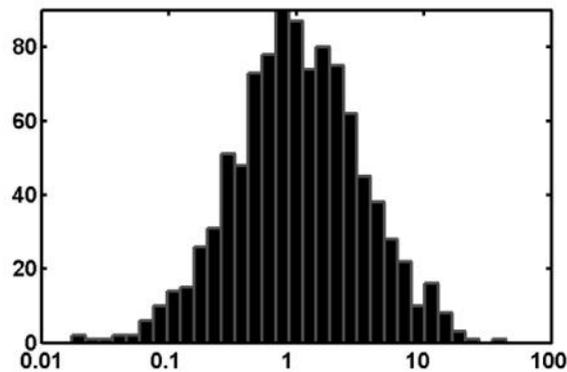
Simulazioni Montecarlo

- Errore di modello (e.g. cinetica)
- Incertezza sulle precipitazioni (spazializzazione)
- Incertezza sui carichi (variazioni giornaliere)



Esempio: variabilità dei carichi concentrati giornalieri

$$\frac{I_{day}}{\langle I \rangle_{year}}$$



% Simulazioni	% Inviluppo campioni
50	43
75	58
95	73



Elasticità come misura di sensitività relativa

- Elasticità, definizione:

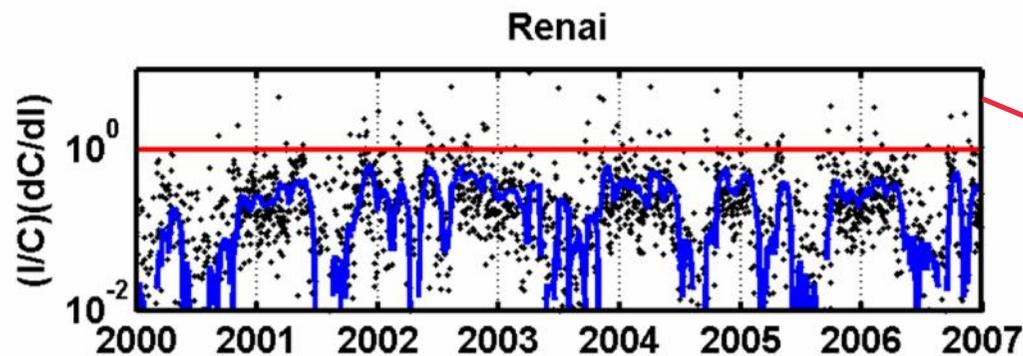
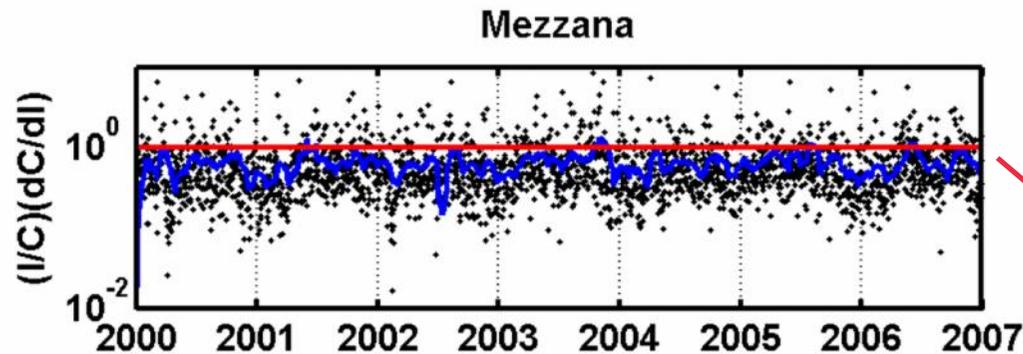
$$\varepsilon_X = \frac{F(X) - F(X_0)}{X - X_0} \cdot \frac{X_0}{F(X_0) - F(0)}$$

- Per un modello lineare, l'elasticità è unitaria:

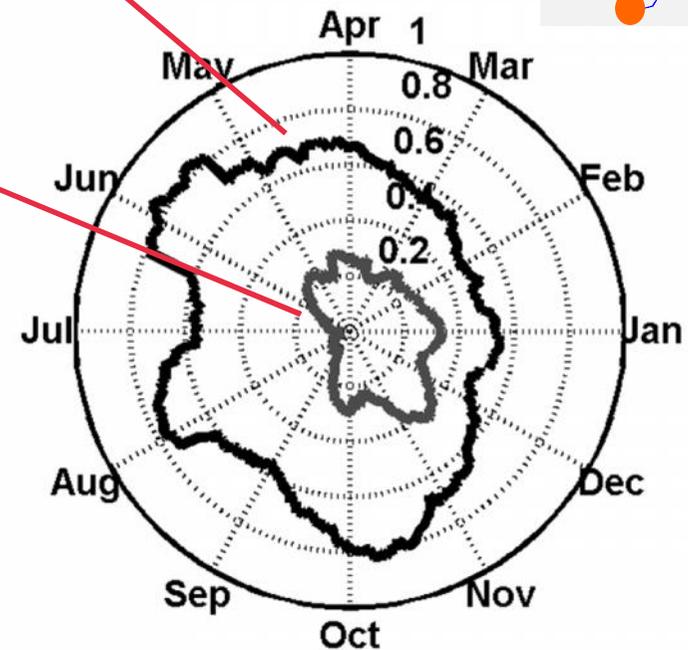
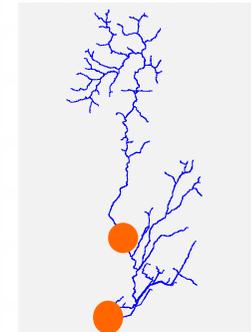
$$F(X) = AX + B$$

$$\varepsilon_X = \frac{AX + B - AX_0 - B}{X - X_0} \cdot \frac{X_0}{AX_0 + B - B} = 1$$

Elasticità rispetto agli ingressi puntuali

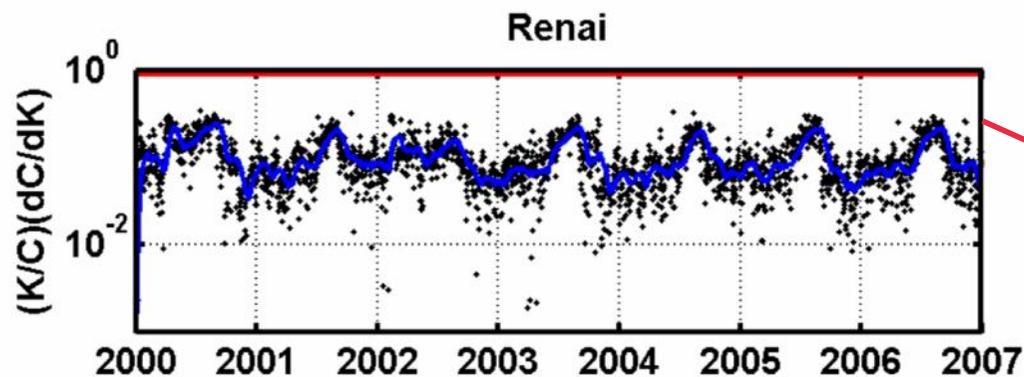
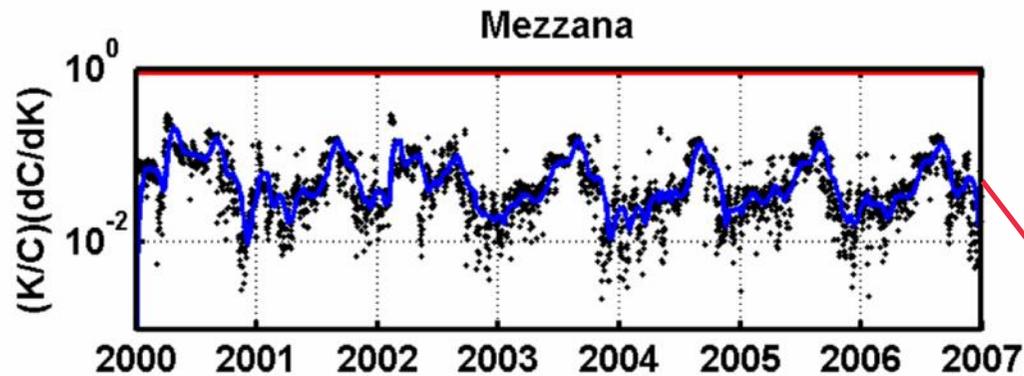


$$\varepsilon_I < 1$$

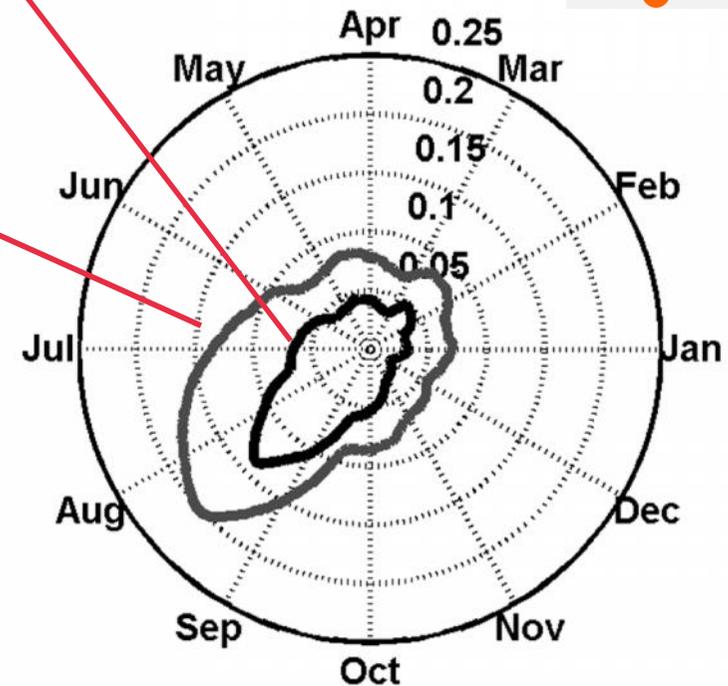
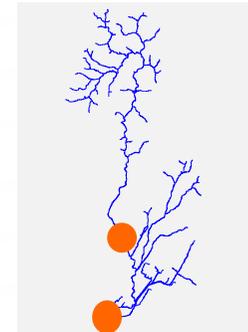


- Scarsa stagionalità
- Elasticità diminuisce sensibilmente verso valle

Elasticità rispetto alla cinetica

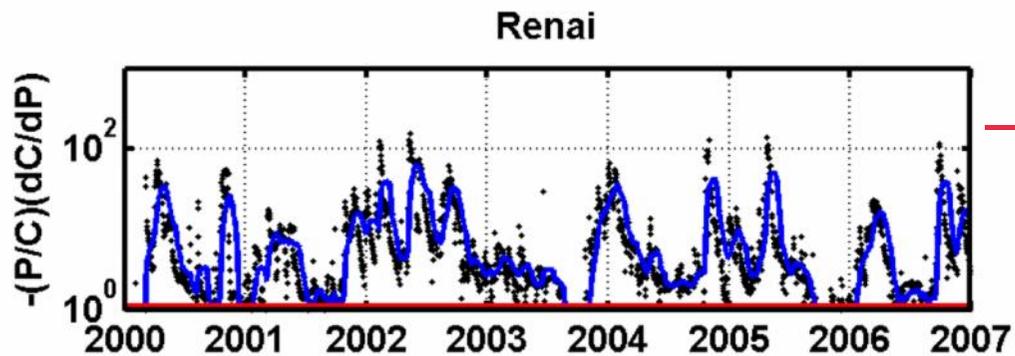
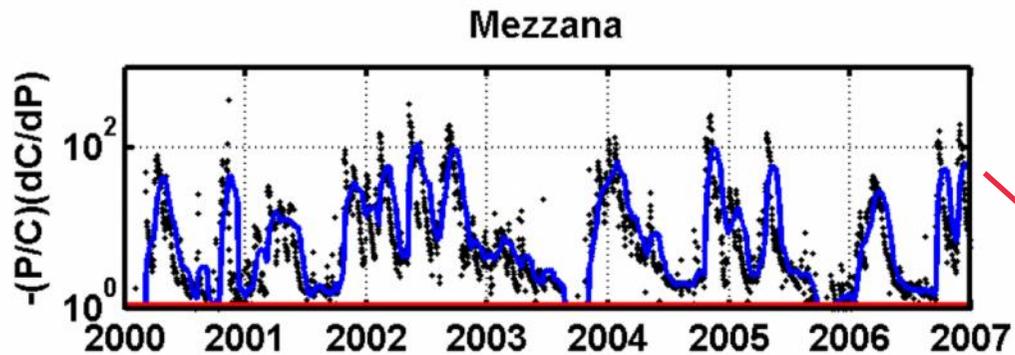


$$\varepsilon_I \ll 1$$

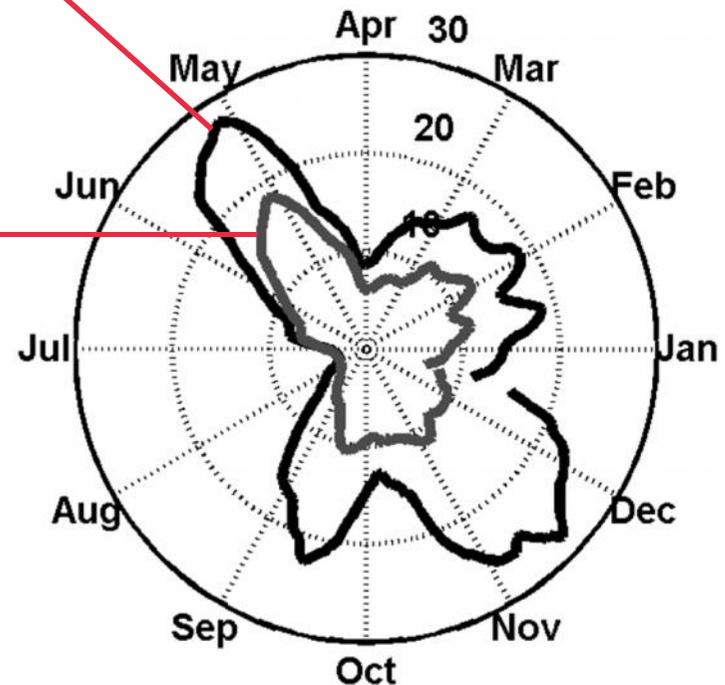
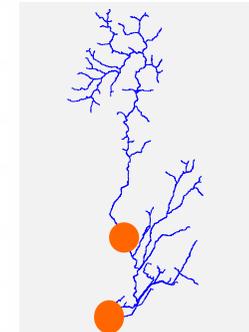


- Stagionalità semplice
- Elasticità aumenta verso valle

Elasticità rispetto alla pioggia



$$\varepsilon_I > 1$$



- Stagionalità multimodale
- Elasticità diminuisce verso valle



Conclusioni specifiche

- Modello efficiente - $O(10')$ per simulazione (7 anni, passo $10'$ per dispersione reticolo, 32,000 celle)
- Accuratezza scarsa sul campione istantaneo, migliora notevolmente su scala stagionale
- Iper-elasticità rispetto al ciclo idrologico (pioggia)
- Ipo-elasticità rispetto al dato più incerto (fluttuazione carichi totali)

In corso di sviluppo

- Accoppiamento con il bilancio sedimentologico



Conclusioni generali

- Necessità di un bilancio idrico accurato per la corretta valutazione di carichi inquinanti a scala di bacino
- Strumento di supporto per una pianificazione integrata della gestione della risorsa idrica (valutazione dell'impatto di strategie di gestione del territorio, tecniche colturali, cambiamento climatico su **quantità & qualità** della risorsa idrica)