



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# Idrologia operativa WORKSHOP NAZIONALE

Roma, 9 e 10 luglio 2015

**SOLUZIONI ECO-INNOVATIVE  
PER L'IDROLOGIA OPERATIVA**

**Gianluca BOTTER, Università di PADOVA**



## **OBIETTIVO della SESSIONE**

inquadrare (alcune) linee di ricerca che concentrano l'attenzione sulle implicazioni ecologiche / ambientali / sociali di processi naturali in ambito idrologico



**SOLUZIONI ECO-INNOVATIVE  
PER L'IDROLOGIA OPERATIVA**

# IDROLOGIA: UNA VOCAZIONE MULTIDISCIPLINARE

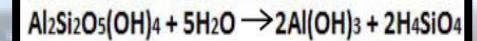
Habitat fluviali



acqua virtuale



weathering of aluminosilicates:



KAOLINITE

GIBBSITE



biogeochimica

Cambiamenti climatici

**IDROLOGIA**

Disturbi antropici

Vegetazione riparia



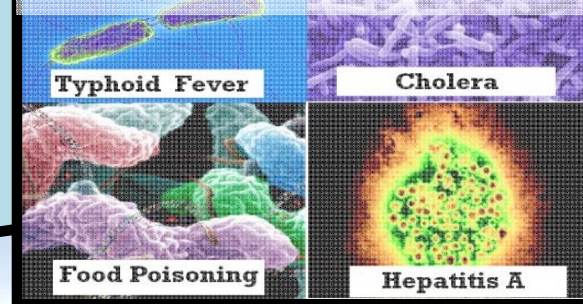
Morfologia fuviale



Catene trofiche



Trasporto di patogeni



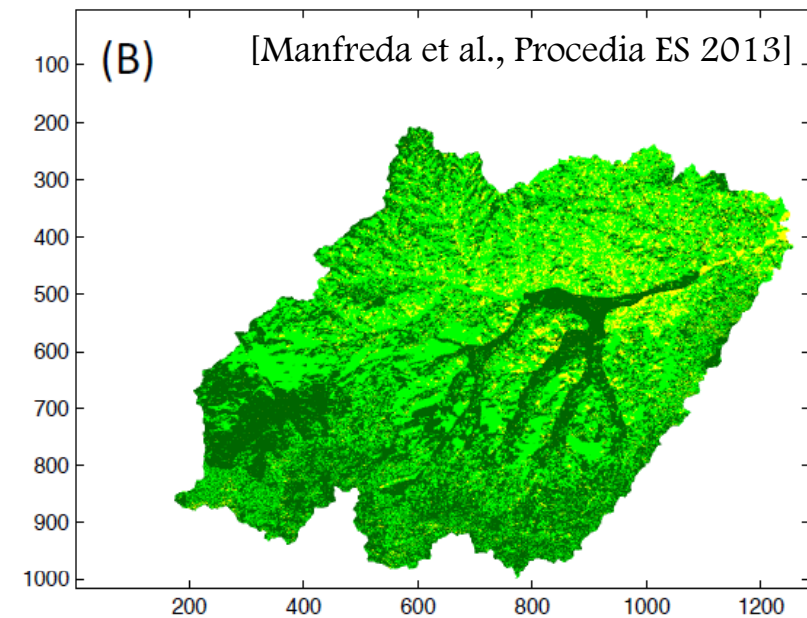
# PROCESSI IDROLOGICI e STRUTTURA DEL PAESAGGIO

L'assetto di un ecosistema come espressione di un processo di ottimizzazione volto allo sfruttamento ottimale delle risorse

“Quello in cui viviamo è il migliore dei mondi possibili”  
Leibniz

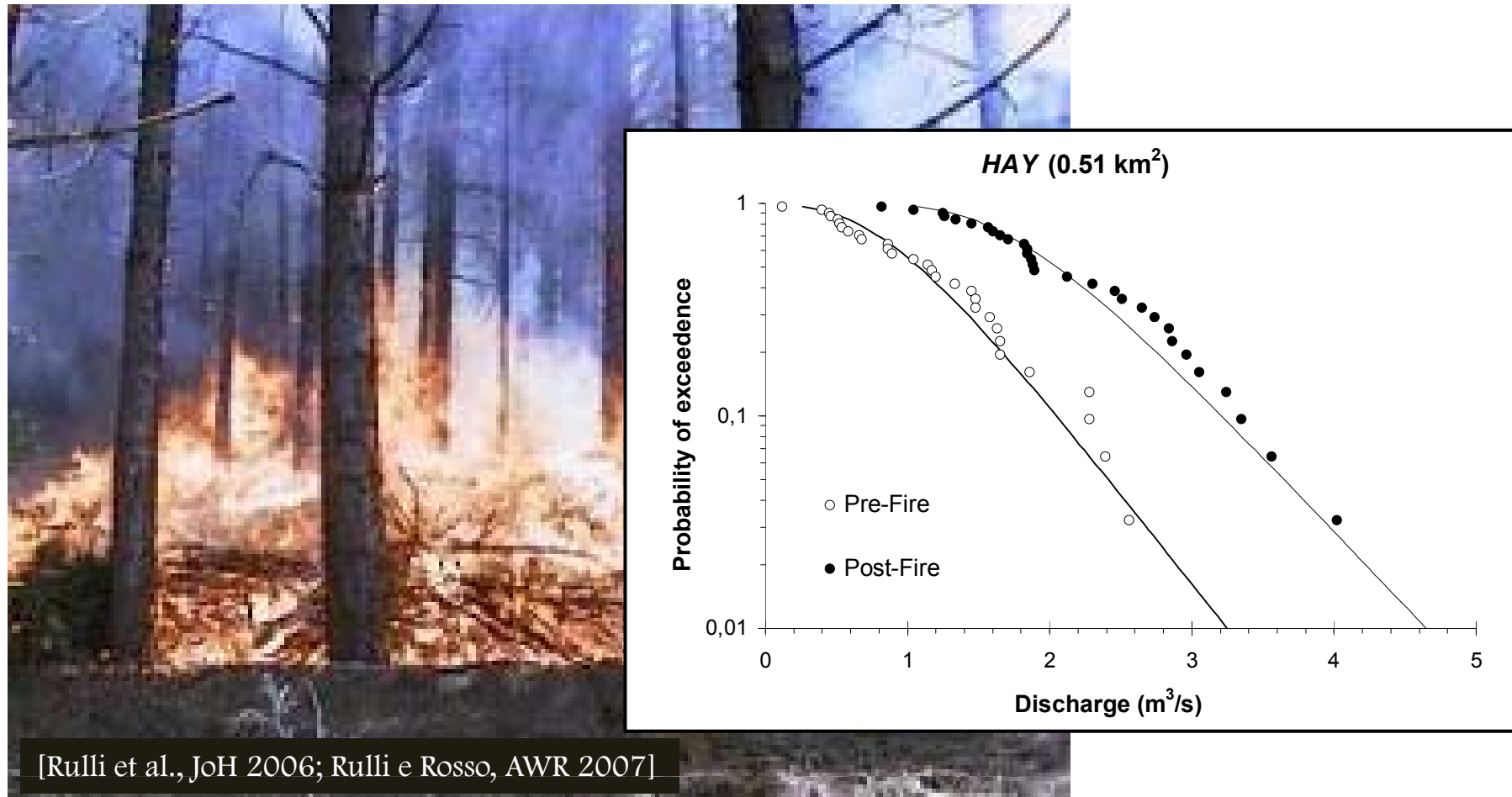


**STOCASTICITA' della  
FORZANTE CLIMATICA**



# PROCESSI IDROLOGICI e STRUTTURA DEL PAESAGGIO

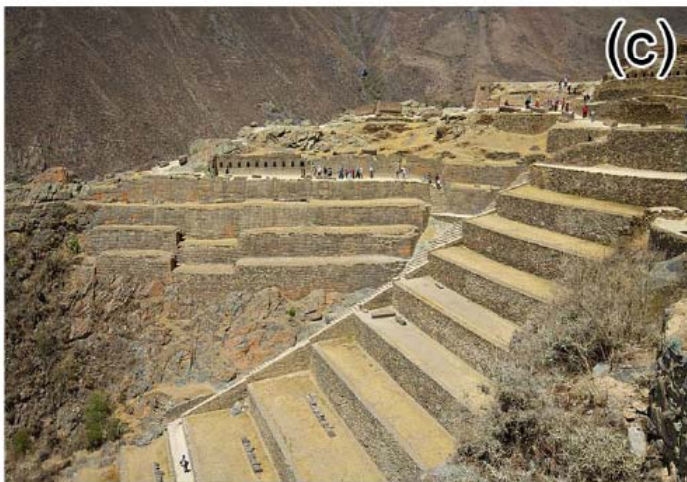
L'impatto del cambio nella struttura del paesaggio in seguito a incendi  
sui processi idrologici e il trasporto di sedimenti



**Sensibile incremento dei deflussi nelle aree bruciate**

# PROCESSI IDROLOGICI e STRUTTURA DEL PAESAGGIO

L'impatto antropico: terrazzamenti, degrado degli ambienti agricoli ed impatto sui processi idrologici e geotecnici (deflusso superficiale, stabilità dei pendii)



[Tarolli, Preti e Romano, Anthropocene 2014]

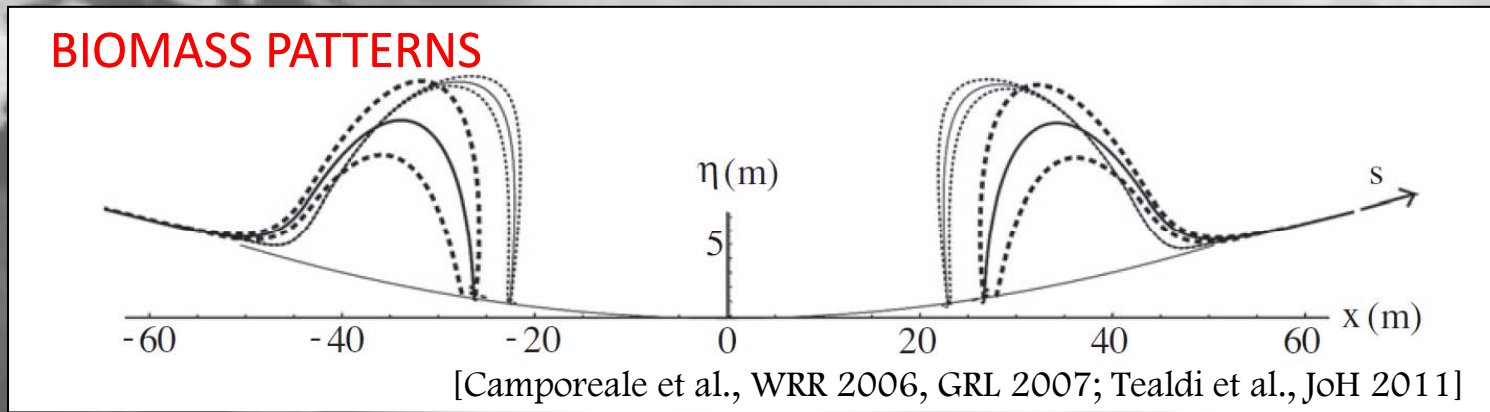
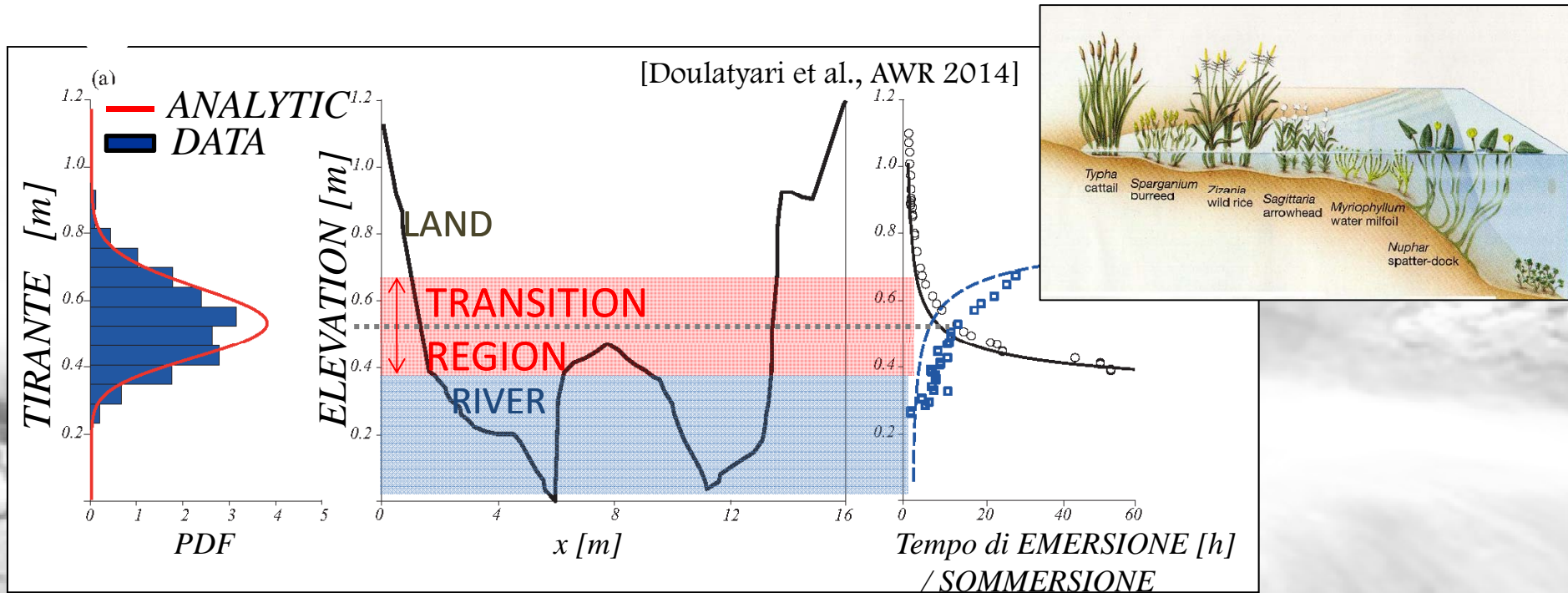
# IMPLICAZIONI ECOLOGICHE DEI REGIMI FLUVIALI

## *IDROLOGIA OPERATIVA ed ECOLOGIA FLUVIALE*

- ✓ *La variabilità dei deflussi **CONTROLLA** in modo dinamico le proprietà degli **HABITAT FLUVIALI** (tirante, velocità, ..) ...e quindi influenza l'**ECOSISTEMA FLUVIALE***



# TRANSIZIONE FRA ACQUA E TERRA: LA VEGETAZIONE RIPARIA



*Range ottimali per diverse specie controllati dalla stocasticità dei periodi di emersione/sommersione*

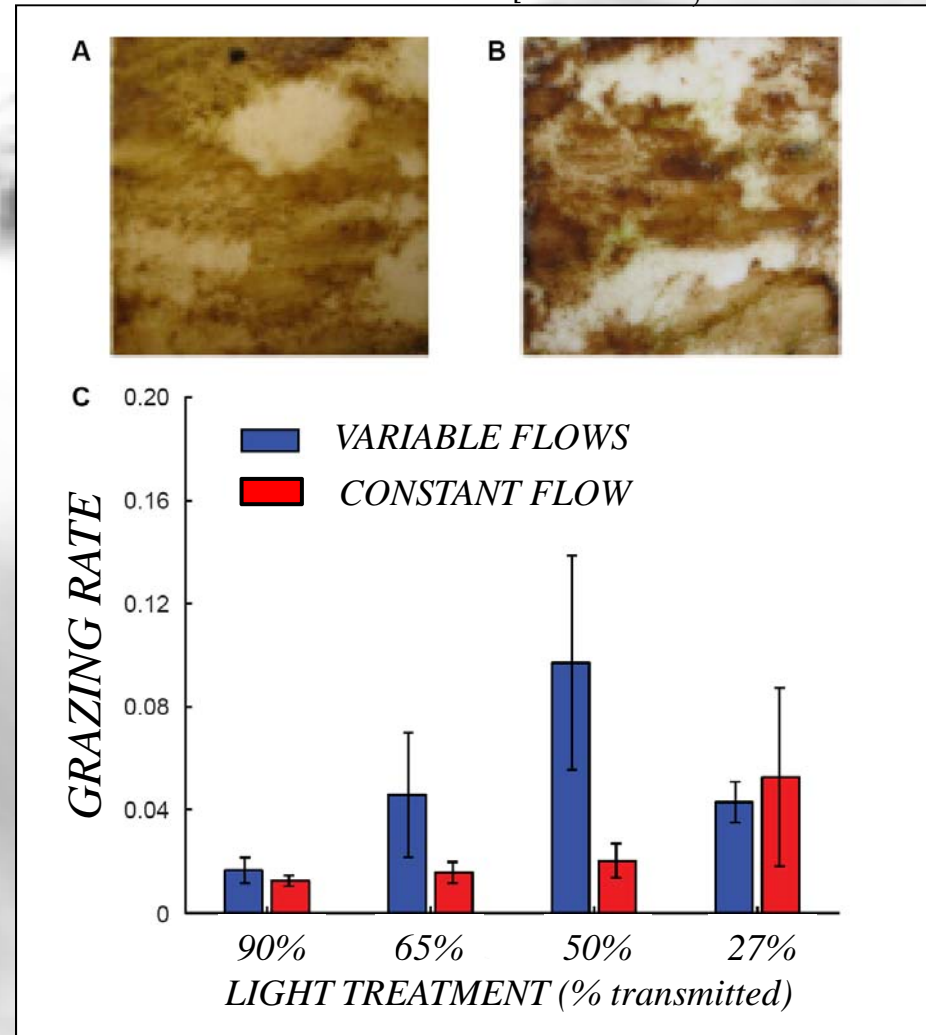


# INTERAZIONI con BIOFILM e MACROINVERTEBRATI

## BIOFILM



[Ceola et al., PlosONE 2013]



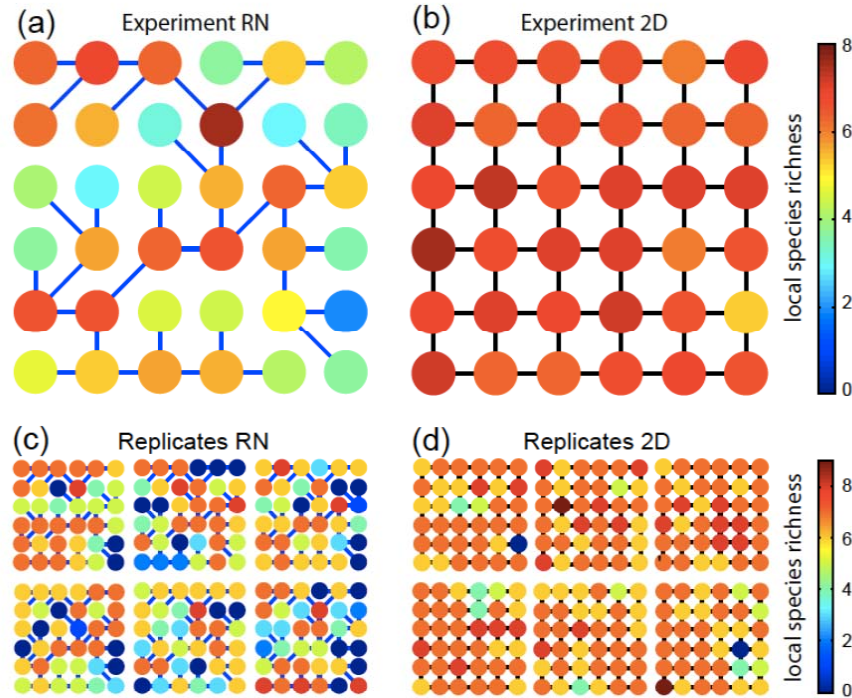
## MACROINVERTEBRATI



*La VARIABILITA' dei deflussi incrementa l'attività di predazione dei macroinvertebrati*

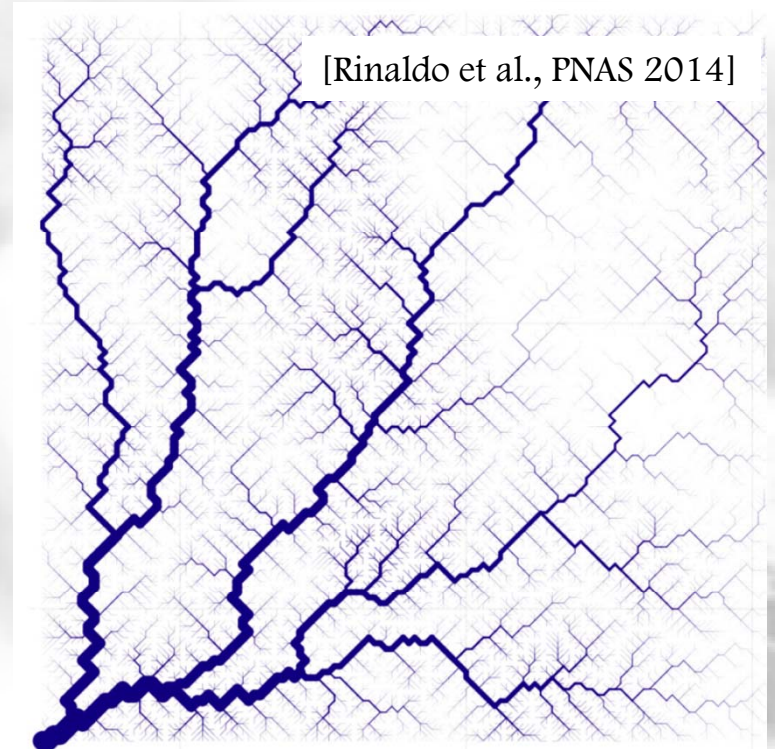
# RETI FLUVIALI COME CORRIDOI ECOLOGICI

[Carrara et al., PNAS 2012]



pattern di BIODIVERSITA'  
indotti dalla struttura della rete

[Rinaldo et al., PNAS 2014]



## QUALITA' DELLE ACQUE E RISORSE IDRICHE

IN MOLTE ZONE DEL PIANETA LA DISPONIBILITA' DI RISORSE  
IDRICHE SI STA RIDUCENDO...



...NON SOLO PER VIA DEI MINORI APPORTI IDRICI,  
MA ANCHE PER VIA DELL'INSUFFICIENTE **QUALITA' DELLE ACQUE**

...perchè è importante  
studiare **la CHIMICA**  
**dei DEFLUSSI?**

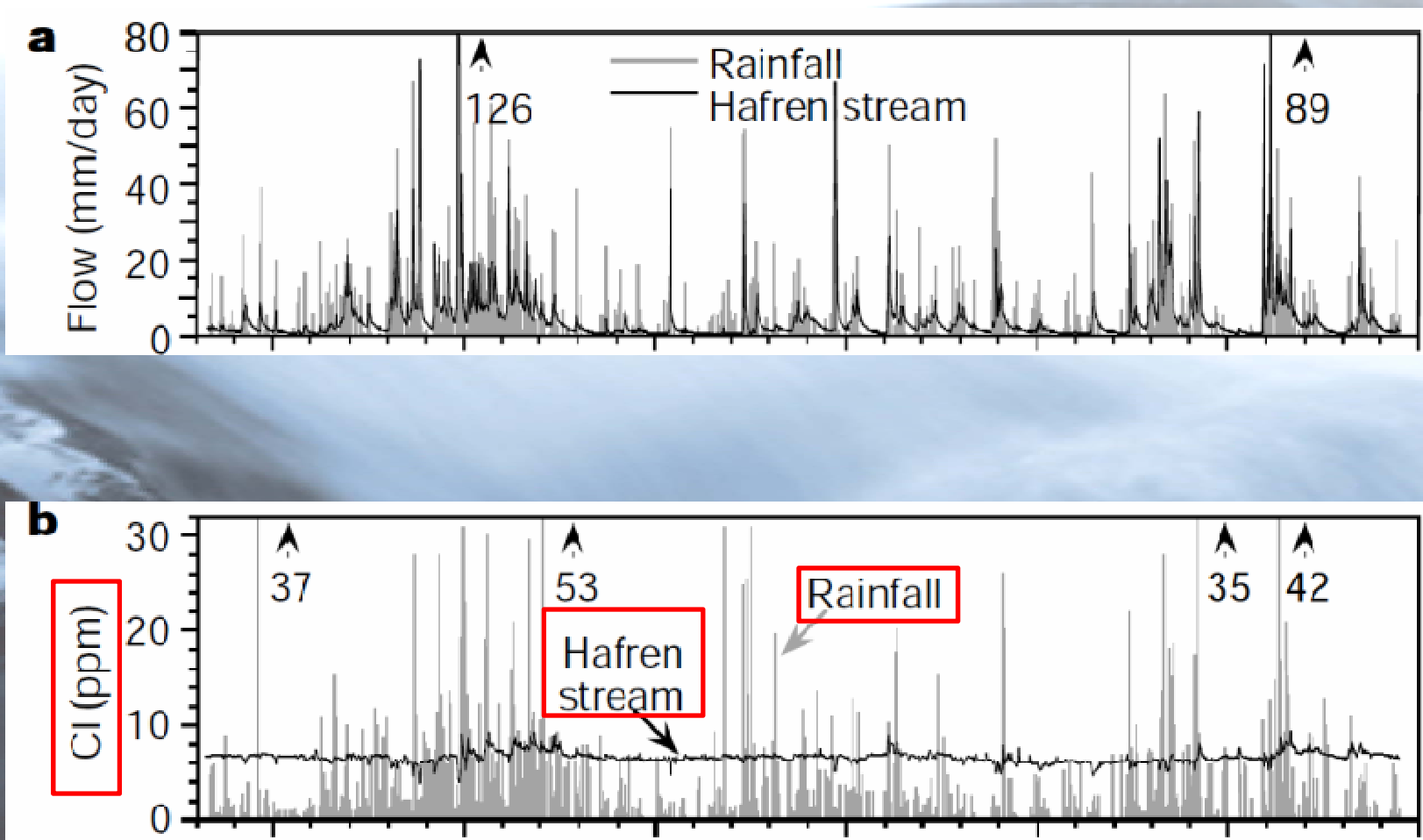


La qualità delle acque ha implicazioni rilevanti per la  
**salute umana** ed i **servizi ecosistemici dei corsi d'acqua**

Studiare i flussi idrici e la loro composizione **consente di**  
**identificare processi** idrologici altrimenti “invisibili”

## RISPOSTA IDROLOGICA vs SEGNALE CHIMICO

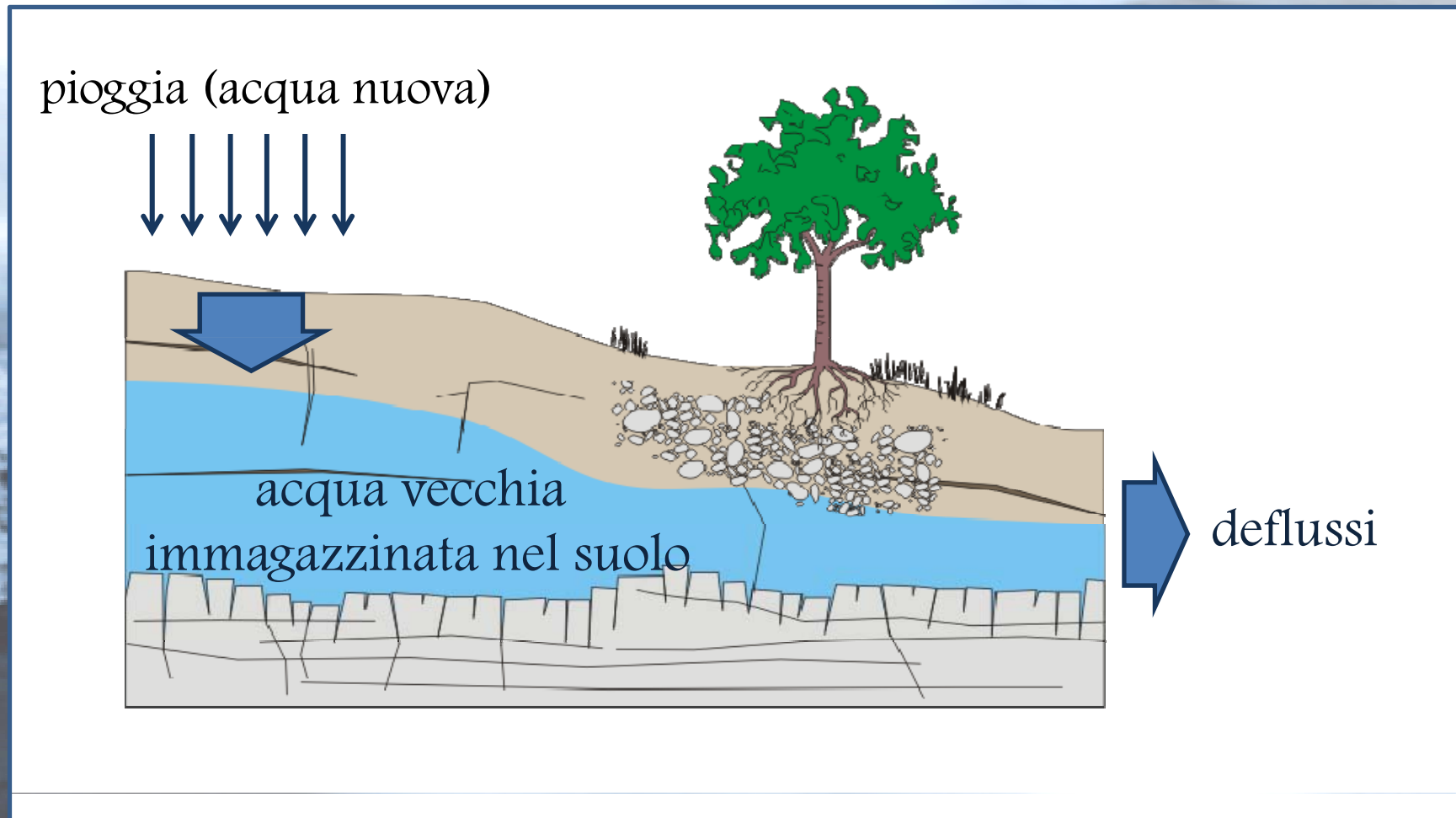
la **risposta chimica (concentrazioni)** è molto più smorzata rispetto alla corrispondente risposta idrologica – processi differenti



[Kirchner et al., Nature 2000]

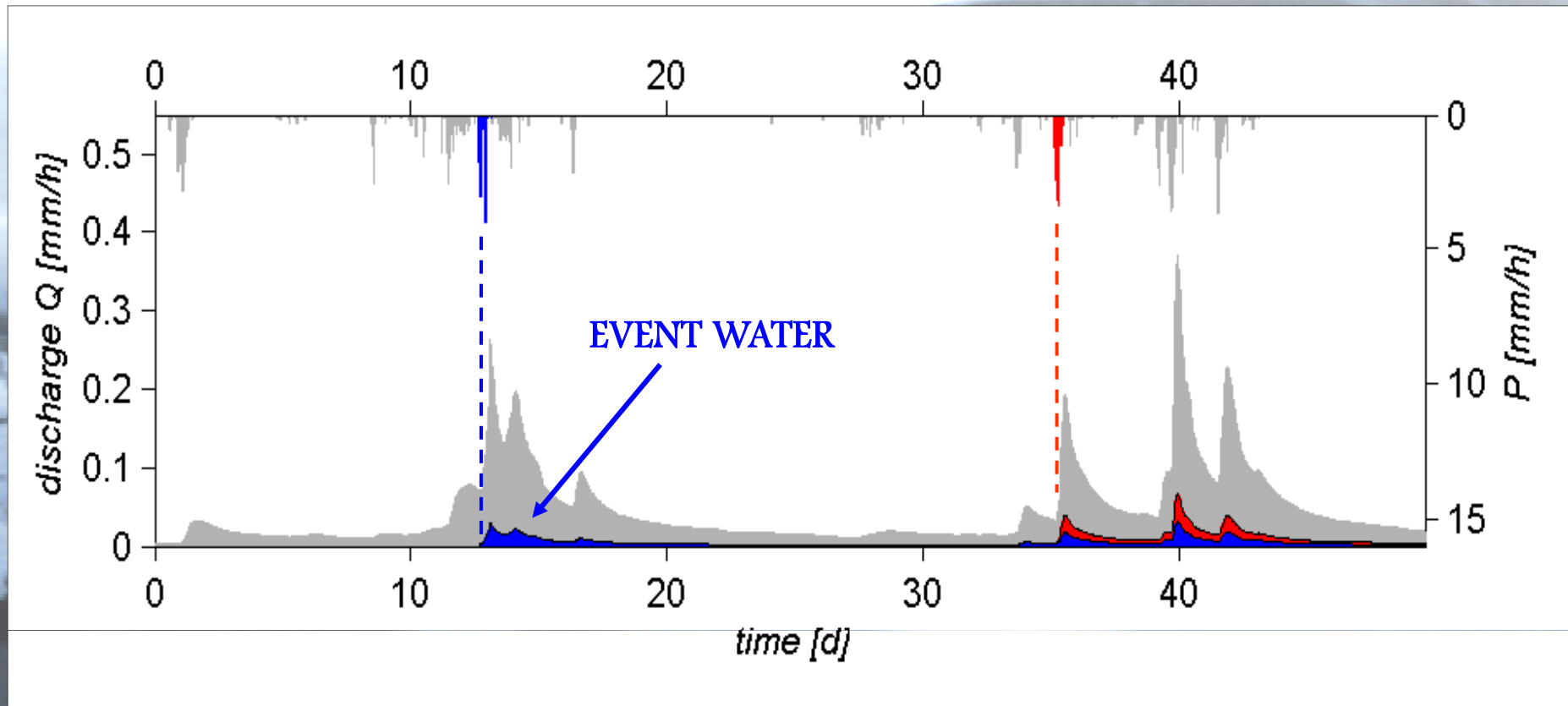
## IL PARADOSSO DELL'ACQUA VECCHIA

La risposta idrologica ad un evento di precipitazione è composta principalmente da particelle già immagazzinate nel suolo (acqua vecchia)



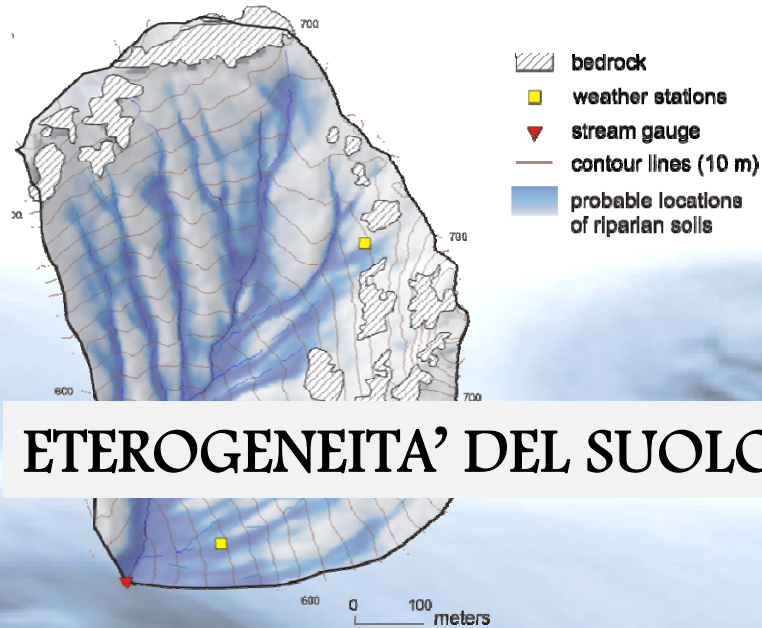
## IL PARADOSSO DELL'ACQUA VECCHIA

La risposta idrologica ad un evento di precipitazione è composta principalmente da particelle già immagazzinate nel suolo (acqua vecchia)



**TRACCE di EVENTI PASSATI sono visibili per MESI/ANNI dopo il loro accadimento (MEMORIA LUNGA)**

# RISPOSTA CHIMICA DI UN BACINO: FATTORI COINVOLTI

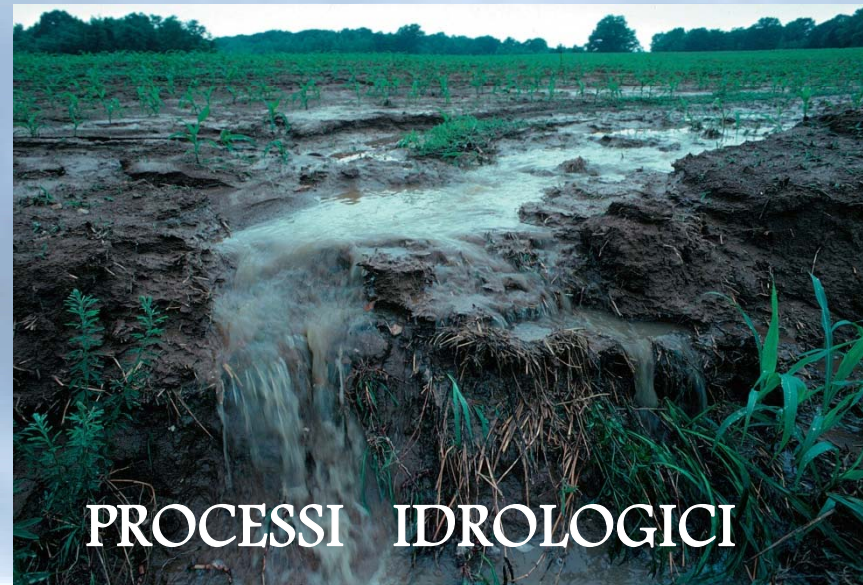


**'ETEROGENEITA' DEL SUOLO**

**VARIABILITA' TEMPORALE  
della FORZANTE CLIMATICA**



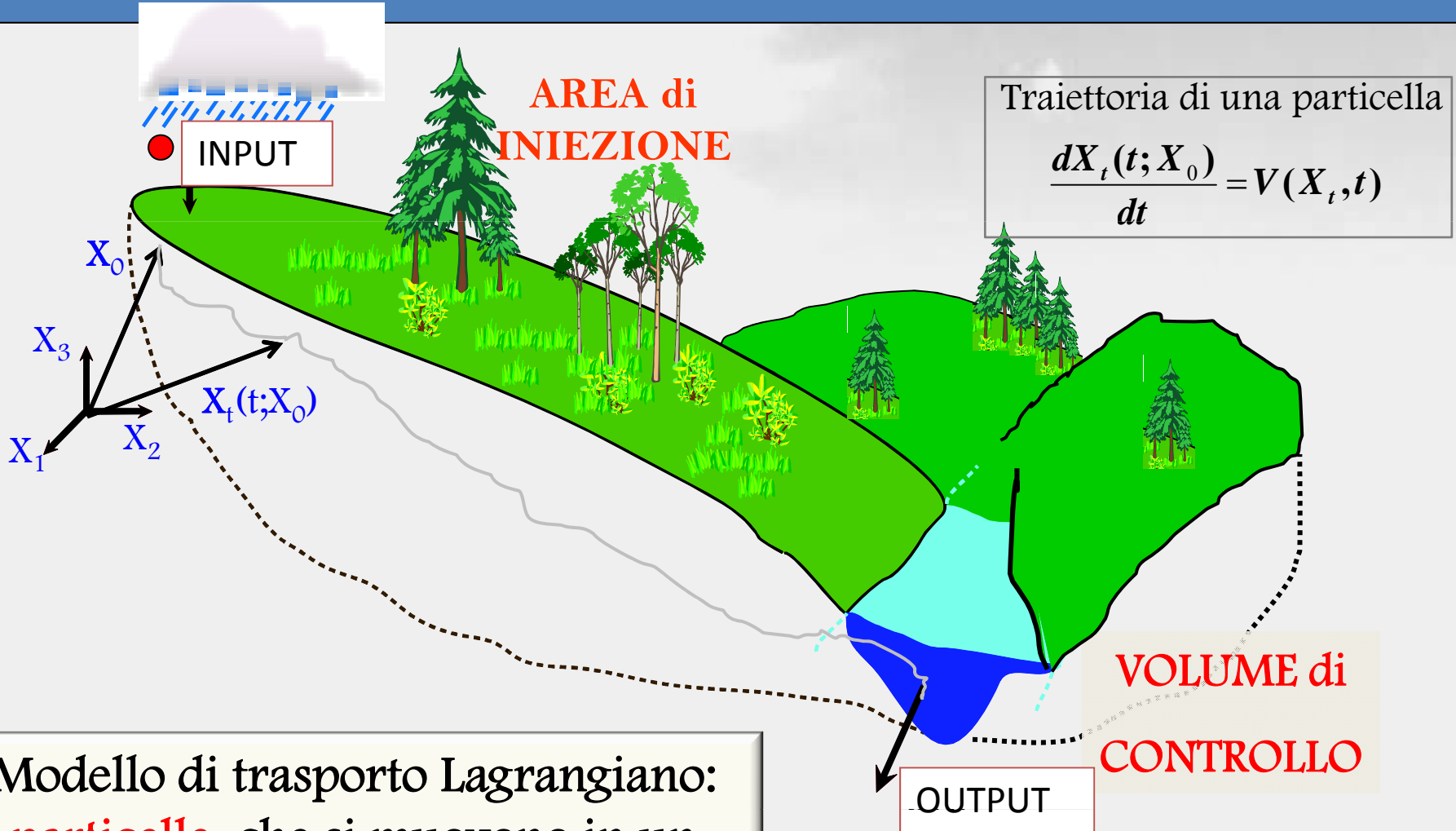
**PATTERN SPAZIOTEMPORALI  
delle sorgenti / input**



**PROCESSI IDROLOGICI**



# FORMULAZIONE MATEMATICA DEL PROBLEMA

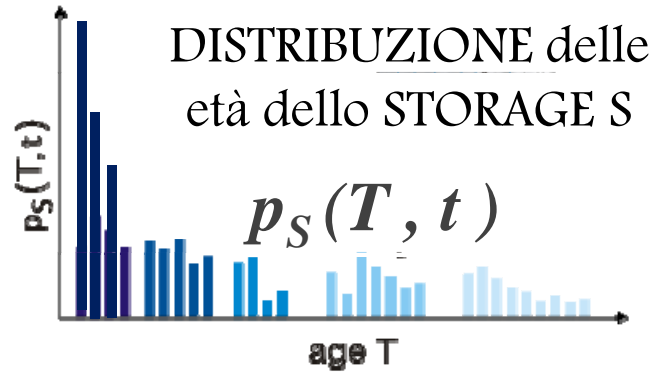


Modello di trasporto Lagrangiano:  
**particelle** che si muovono in un  
**volume di controllo eterogeneo**

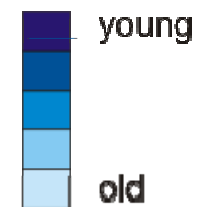
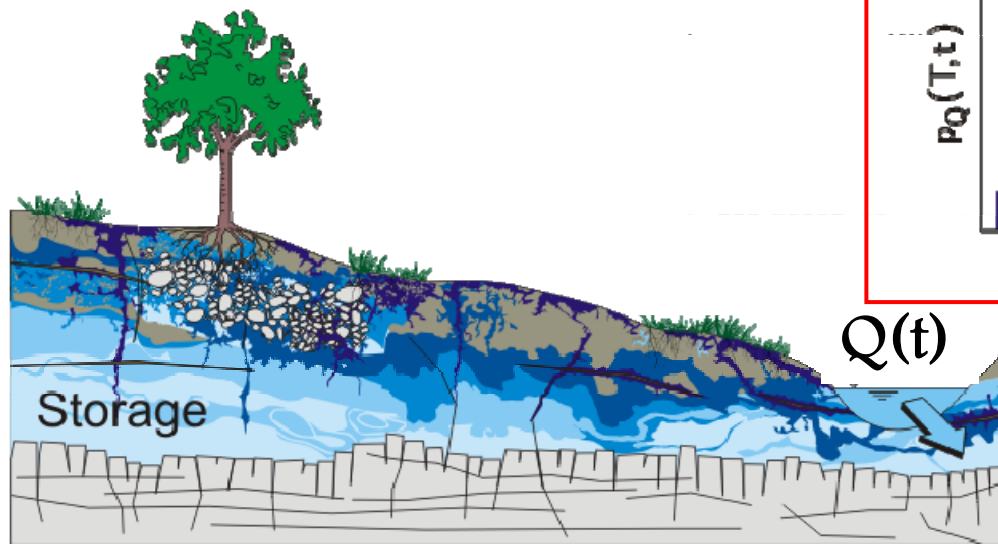
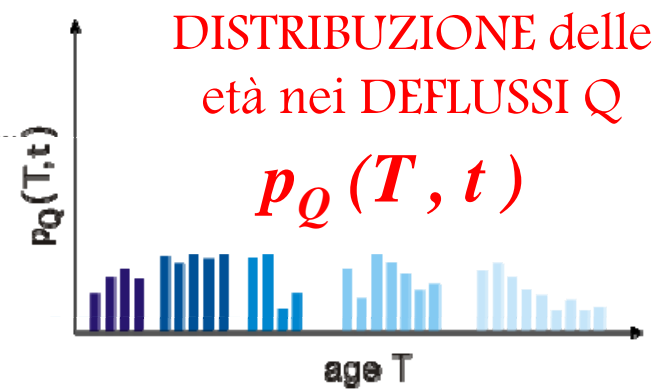
(FOCUS sui PROCESSI di VESANTE)

[e.g. Dagan, 1989; Cvektovic and Dagan, 1994]

# DISTRIBUZIONI DELLE ETA' NEL SISTEMA e nei DEFLUSSI



PDF dei TEMPI DI VIAGGIO  
condizionale al tempo di uscita



# Funzioni di selezione (SAS): il legame fra le distribuzioni delle età

Le particelle che lasciano il sistema sono campionate tra quelle disponibili nello storage, e quindi anche la loro età:

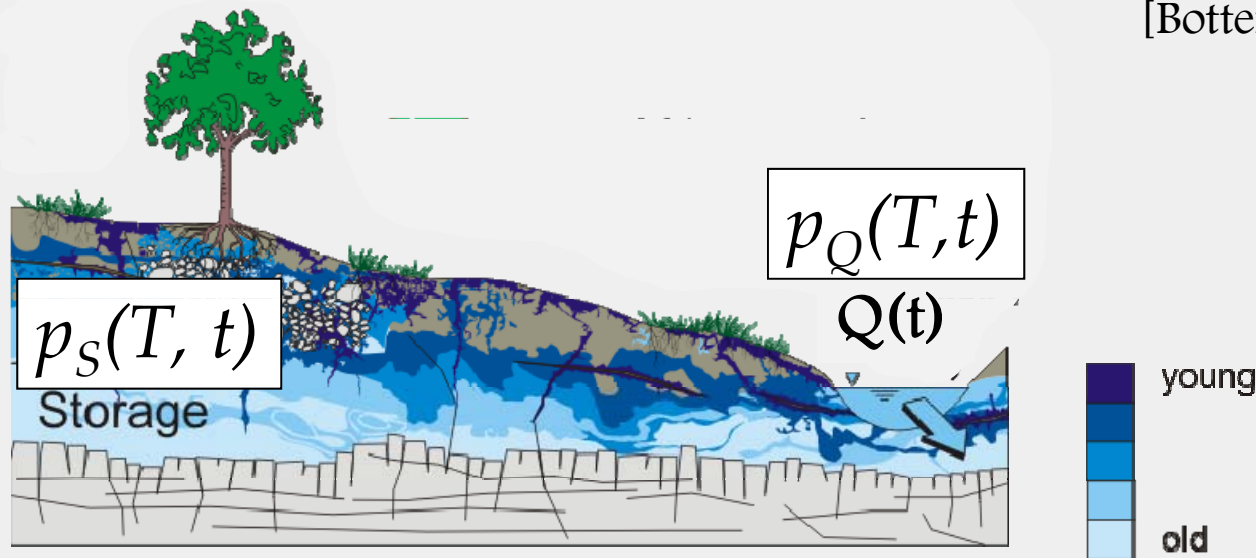
$p_Q(T, t)$  =  
PDF ETA'  
CAMPIONATE

$p_S(T, t)$   
PDF ETA'  
DISPONIBILI

$\omega(T, t)$   
PREFERENZA

**FUNZIONI  
di SELEZIONE  
delle ETA'**

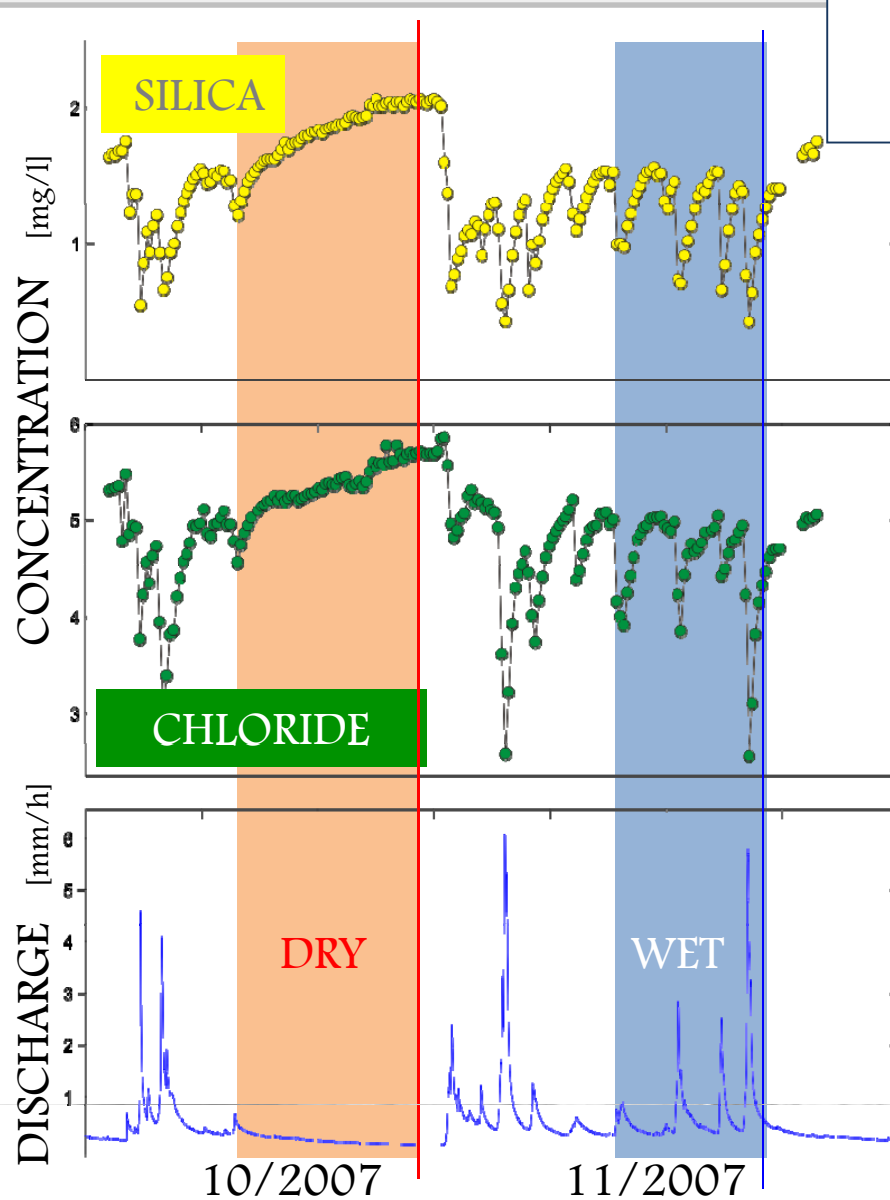
[Botter et al., GRL 2011]



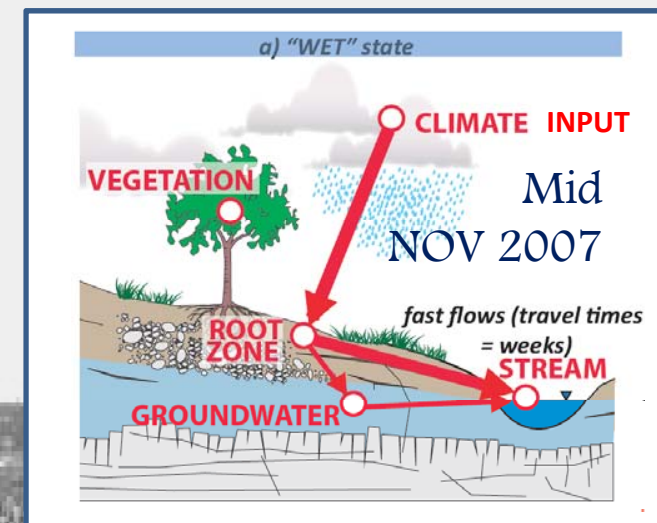
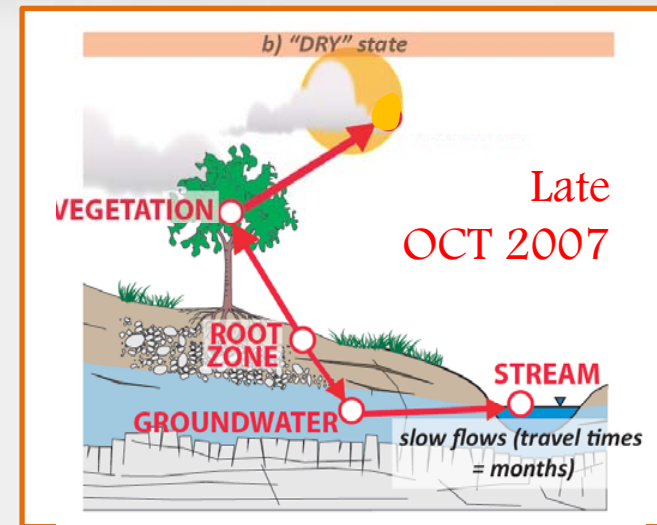
**BASSA DISPONIBILITA' o BASSA PREFERENZA per certe ETA' implica che tali ETA' siano POCO RAPPRESENTATE nei deflussi Q**

# VANTAGGI DELLA FORMULAZIONE PER «FUNZIONE DI SELEZIONE»

INCORPORA la VARIABILITA' dei flussi idrologici (pdf dinamiche delle età)



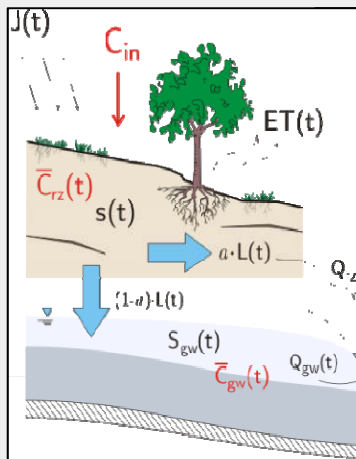
(data from UHF @ Plynlimon, UK)



# VANTAGGI DELLA FORMULAZIONE PER «FUNZIONE DI SELEZIONE»

INCORPORA la VARIABILITA' dei flussi idrologici (pdf dinamiche delle età)

INTEGRAZIONE di MISURE/MODELLI di diversa natura (idrologia/chimica)

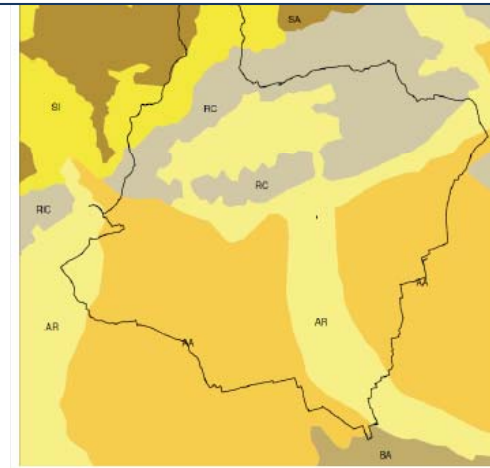
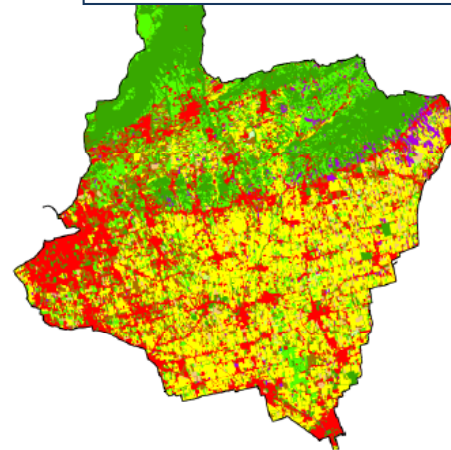
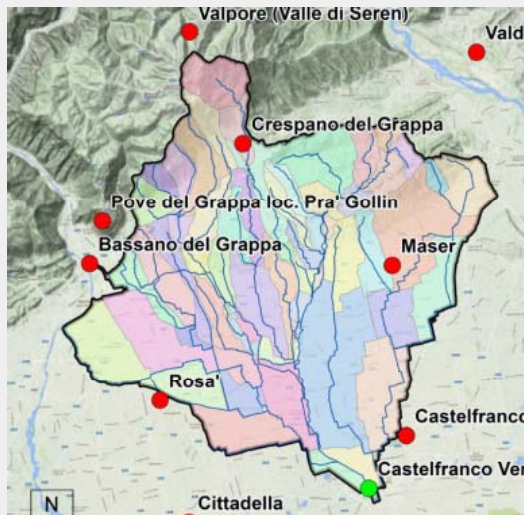


# VANTAGGI DELLA FORMULAZIONE PER «FUNZIONE DI SELEZIONE»

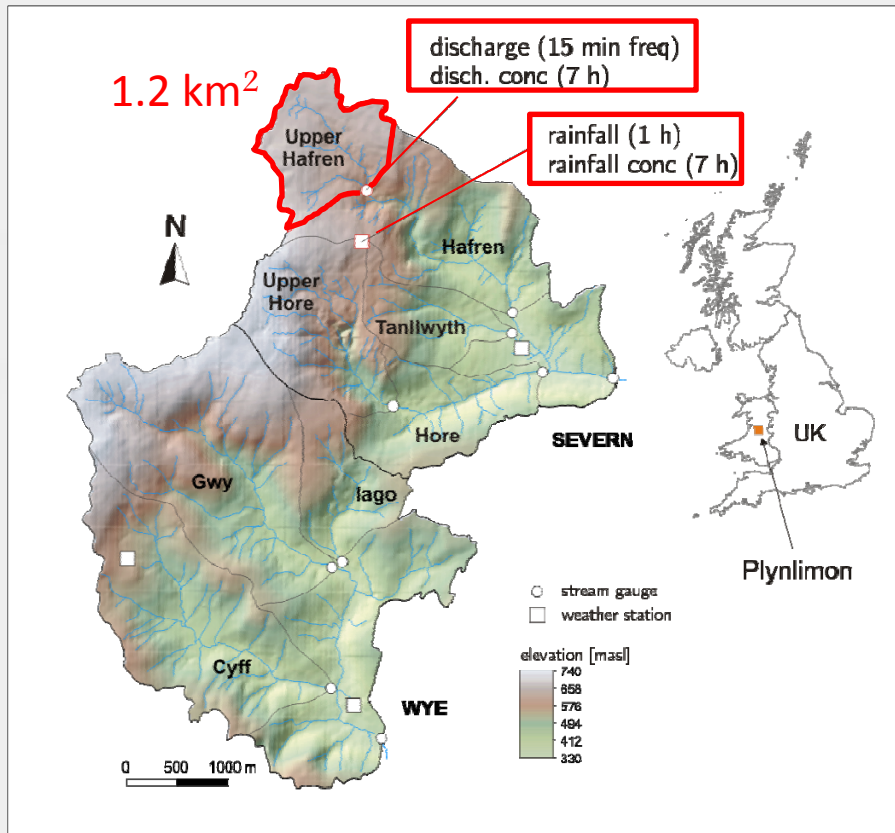
INCORPORA la VARIABILITA' dei flussi  
idrologici (pdf dinamiche delle età)

INTEGRAZIONE di MISURE/MODELLI di diversa natura (idrologia/chimica)

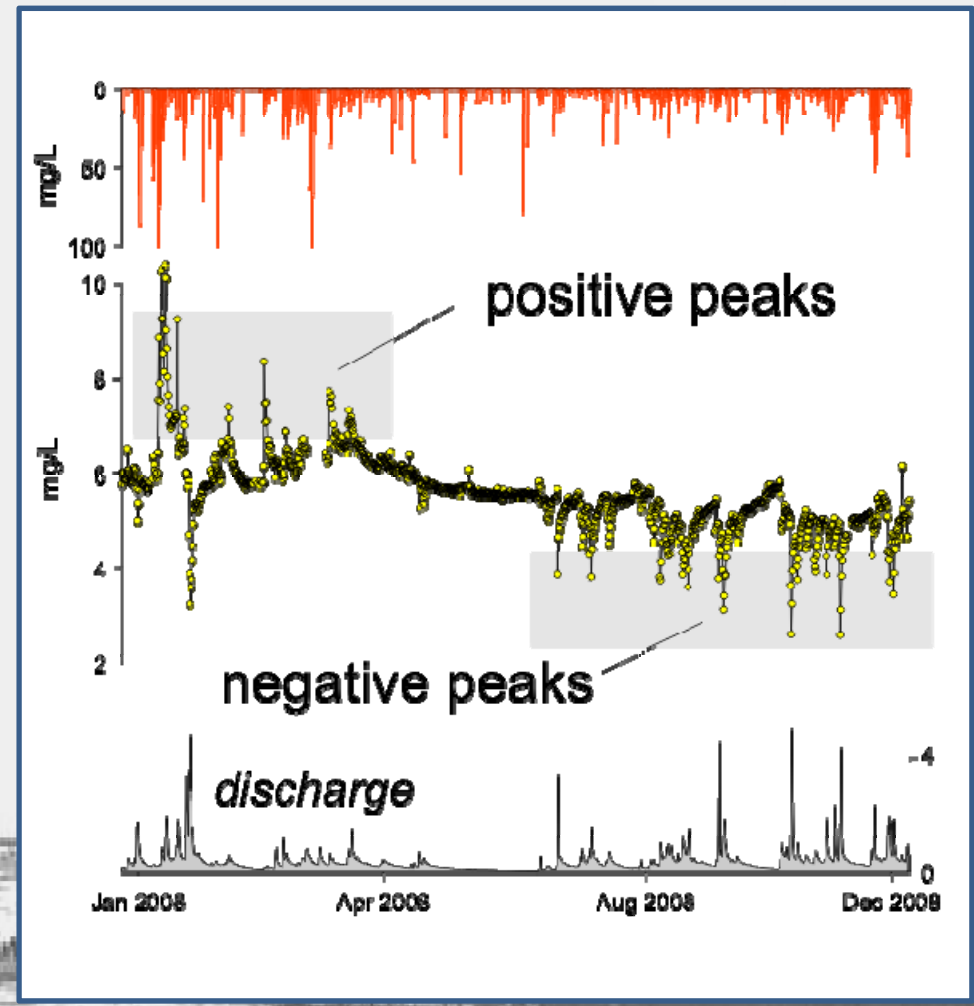
LE ETEROGENEITA' SPAZIALI POSSONO ESSERE  
ESPLICITAMENTE RAPPRESENTATE



# TRASPORTO DI CLORURI @ PLYNLIMON (UK)



**INCREMENTO/DECREMENTO** della conc. di cloruri nei picchi di portata (a seconda della stagione)



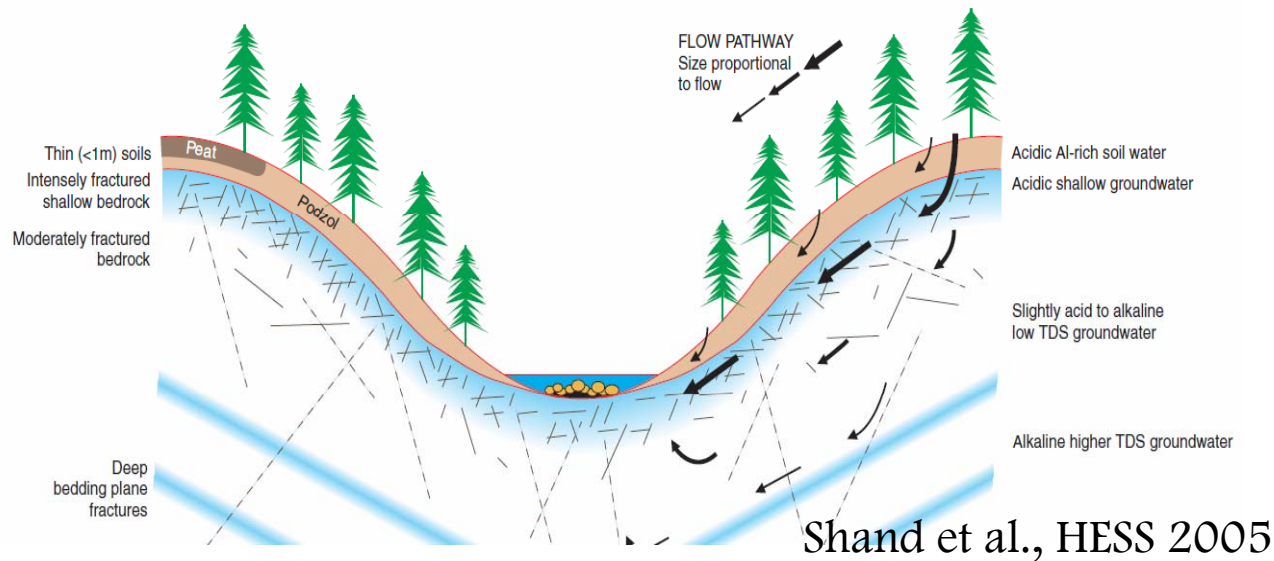
precip. annuale > 2.5 m

ET < 40 cm

Cl di origine marina (aerosol)



# STRUTTURA del MODELLO: ETEROGENEITA' VERTICALE



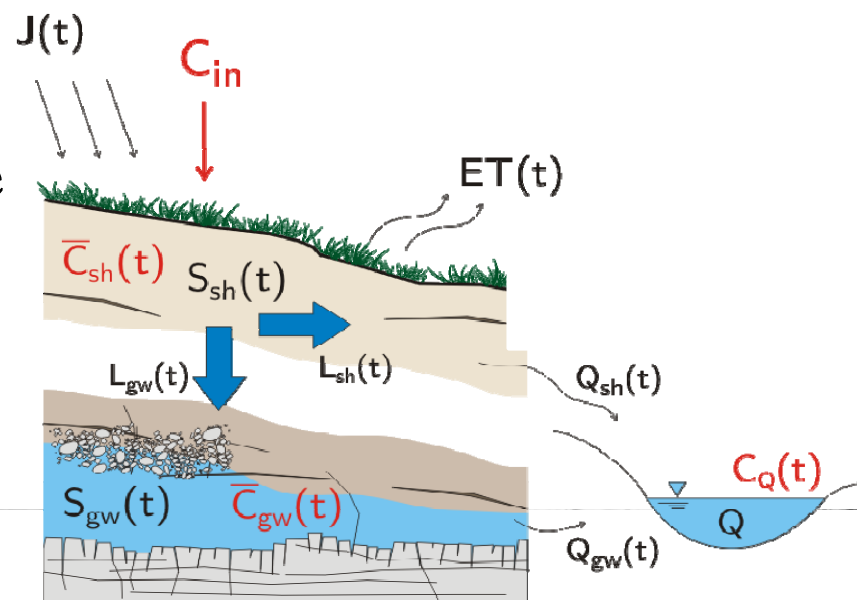
due **unità**  
**idrologiche**  
distinte:

1. Suolo organico  
e zona fratturata

2. Materiale  
roccioso compatto  
e profondo

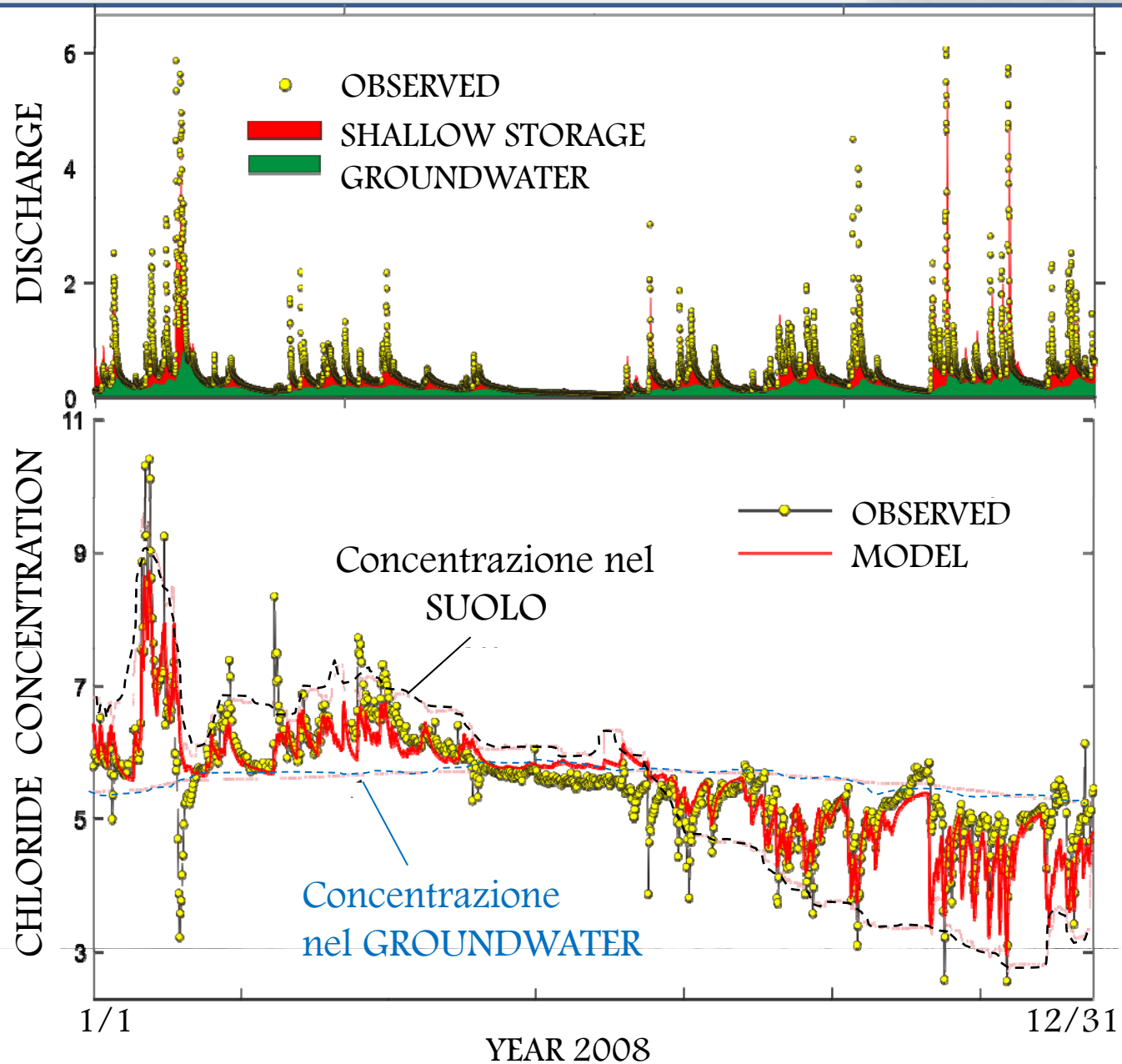
Shallow storage  
(dinamico)

Groundwater  
storage



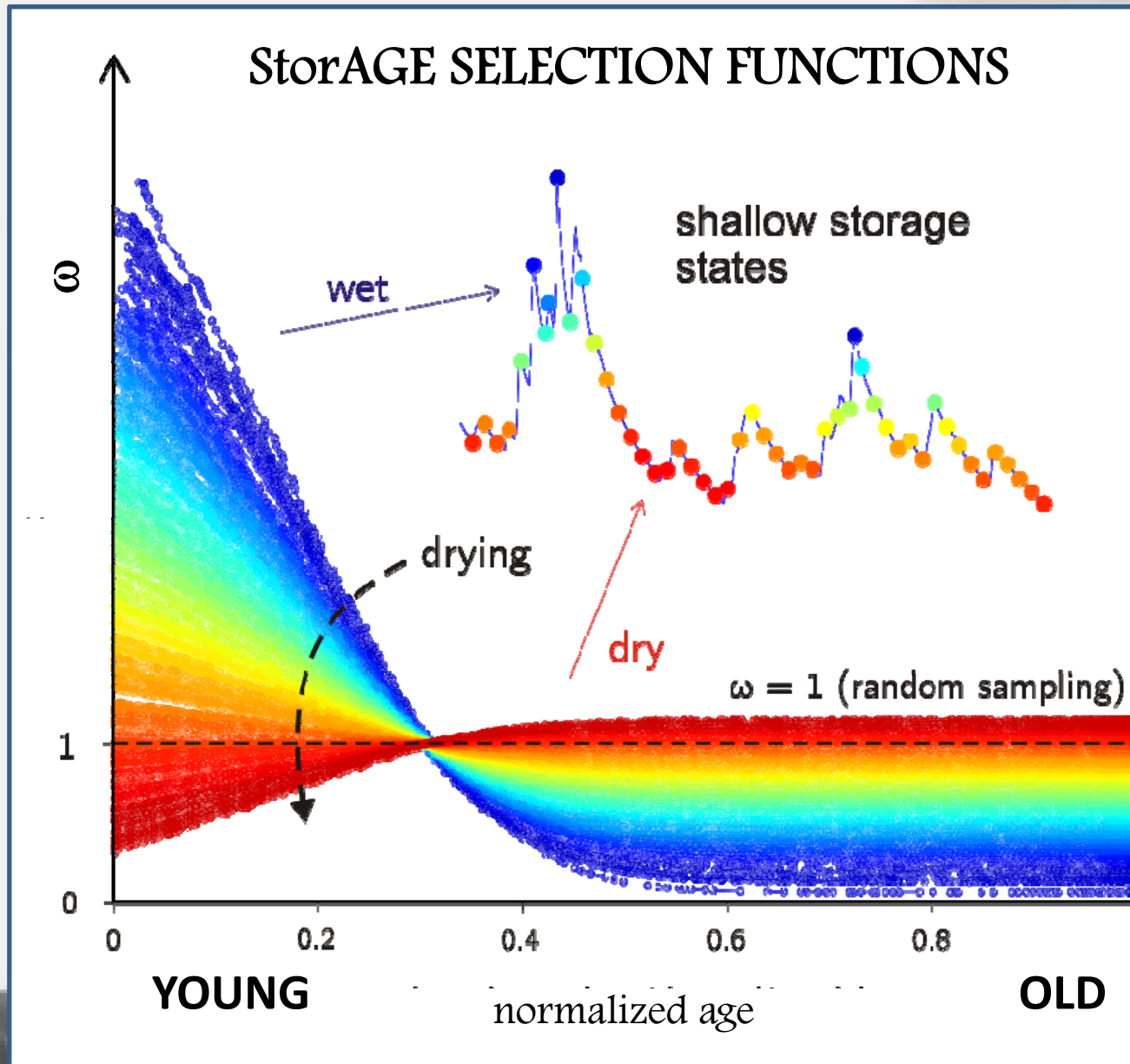


# MOELLO IDROCHIMICO CALIBRATO @ PLYNIMON (UK)



il modello spiega  
le **DINAMICHE  
IDROLOGICHE**  
ma anche i  
pattern osservati  
di concentrazione  
di cloruri (picchi  
negativi e positivi)

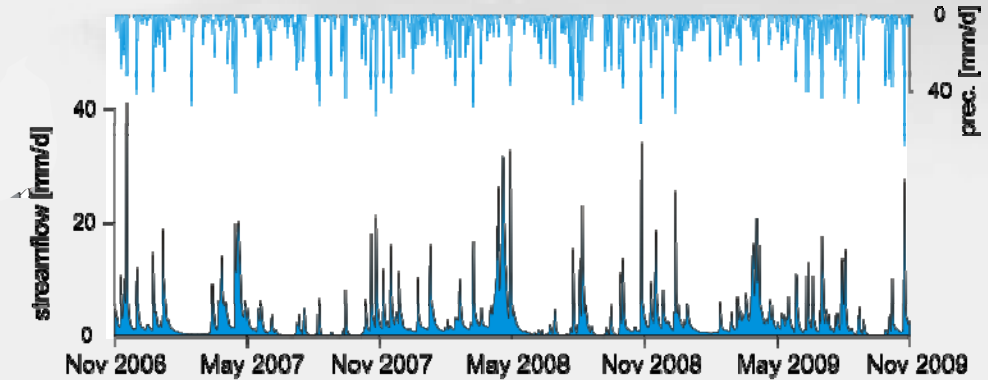
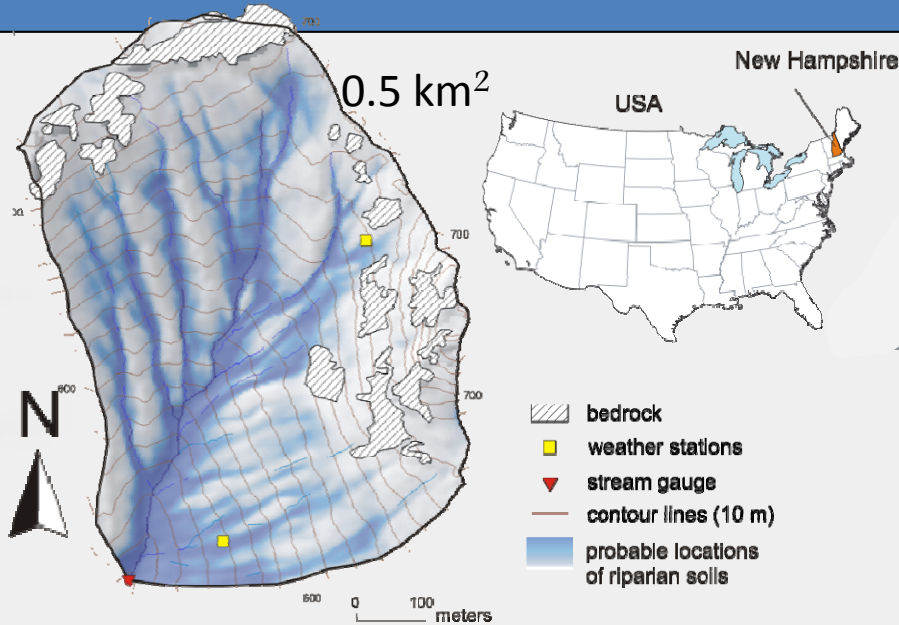
# FUNZIONI DI SELEZIONE DELLE ETA' @ PLYNIMON (UK)



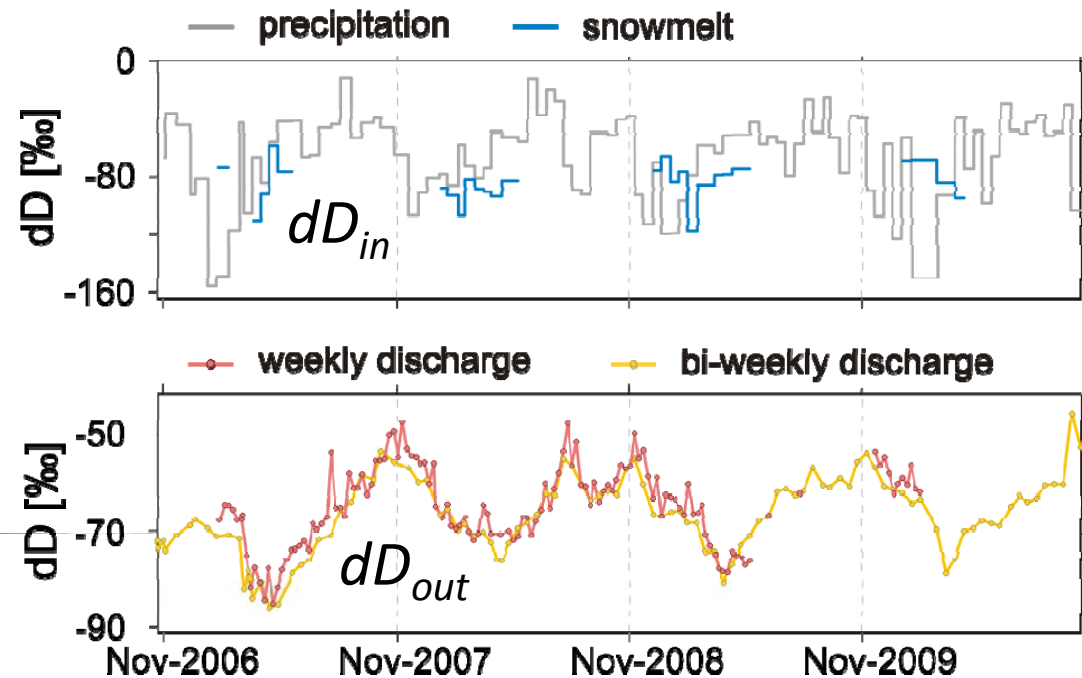
**LA SELEZIONE  
DELLE ETA'** è  
controllata dallo  
STATO del SISTEMA

umido = H<sub>2</sub>O giovane  
secco = H<sub>2</sub>O vecchia

# DINMICHE DI ISOTOPI e SILICIO @ HUBBARD BROOK WS3 (USA)

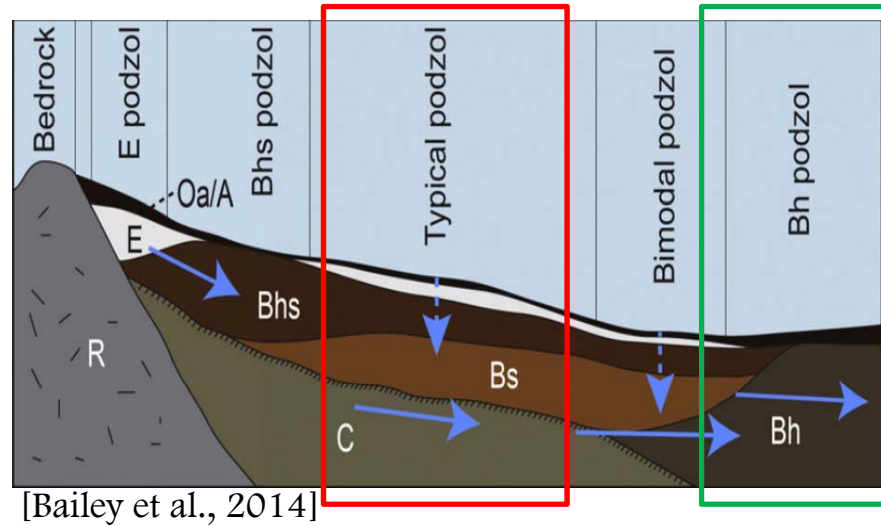
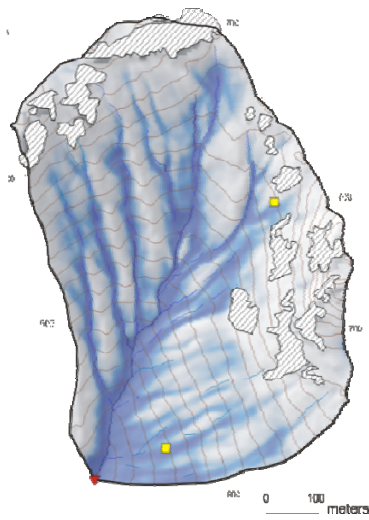


pioggia annuale = 1.5 m  
 ET = 50 cm  
 Dinamiche di accumulo e  
 scioglimento nivale



**CONTENUTO ISOTOPICO**

# STRUTTURA del MODELLO: eterogeneità VERTICALE & ORIZZONTALE



3 diverse **unità idrologiche**:

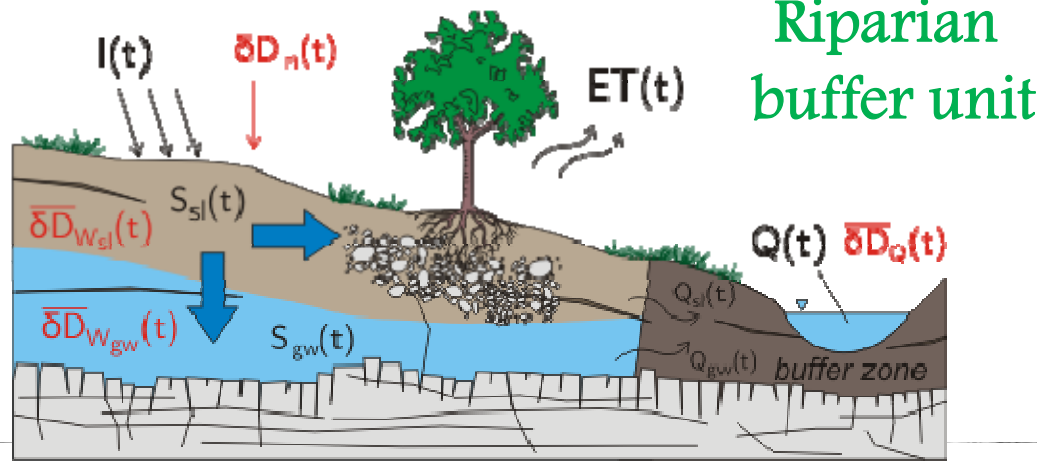
1. Podzol + orizzonte C

2. falda (drift)

3. Regione ripariale (satura)

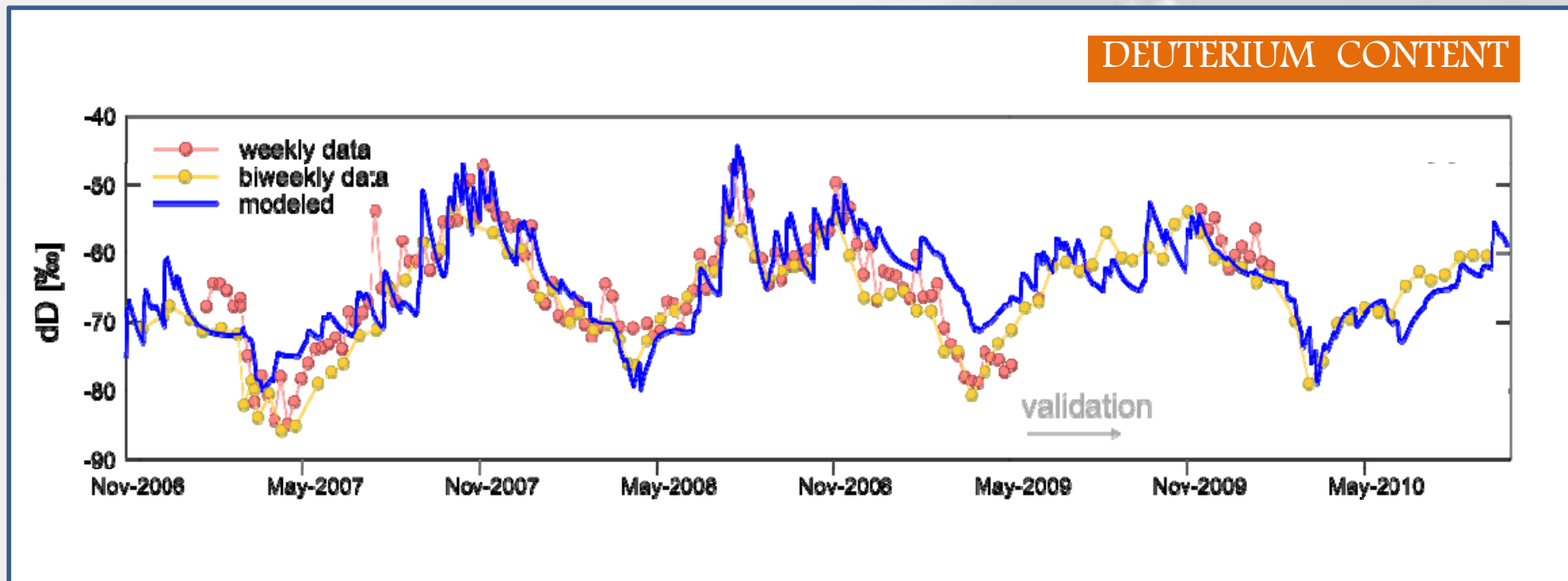
Shallow storage

Ground water storage



[Benettin, Bailey, Rinaldo, Mc Guire and Botter, WRR 2015]

# CONCENTRAZIONI DI DEUTERIO @ HUBBARD BROOK

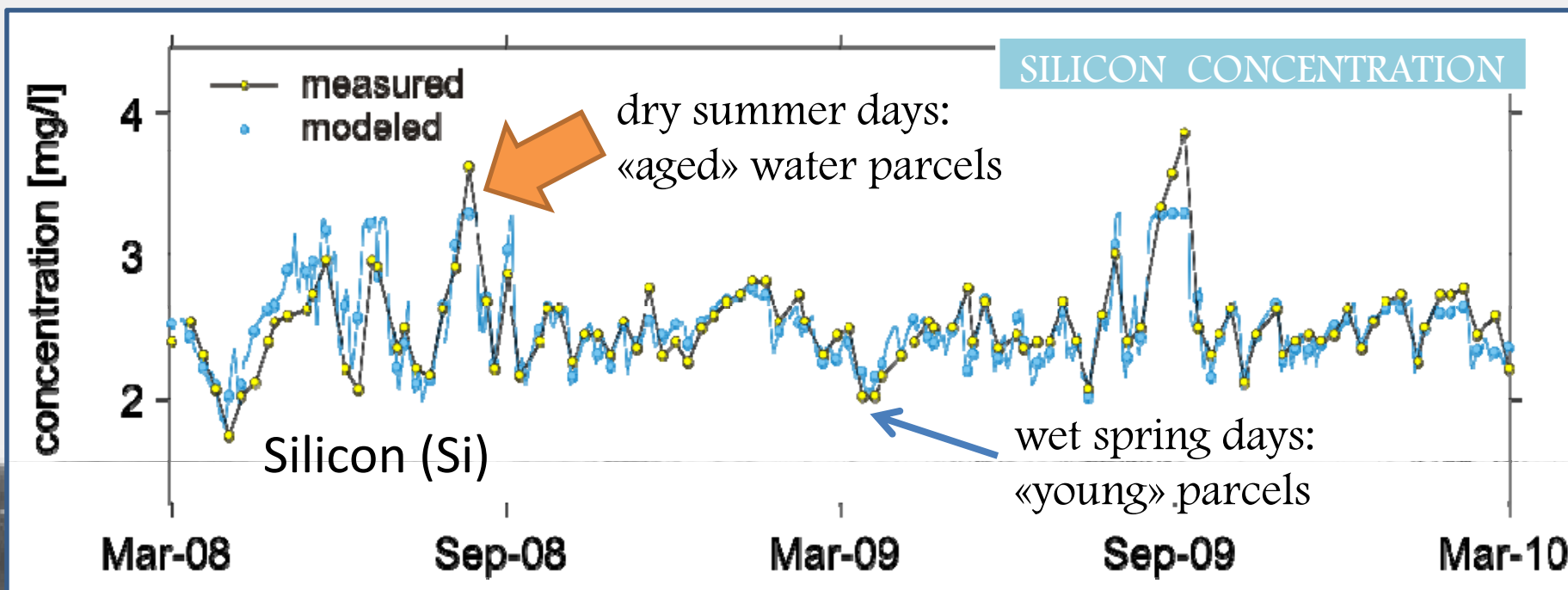
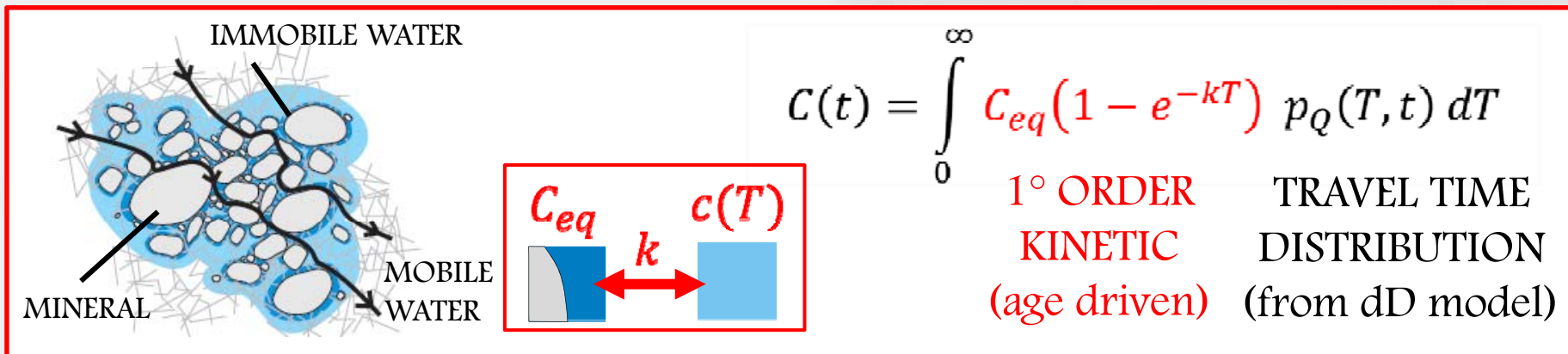


- ✓ **DINAMICHE STAGIONALI** (variabilità di dD nella pioggia)
- ✓ **fluttuazioni** di breve termine durante **gli EVENTI**

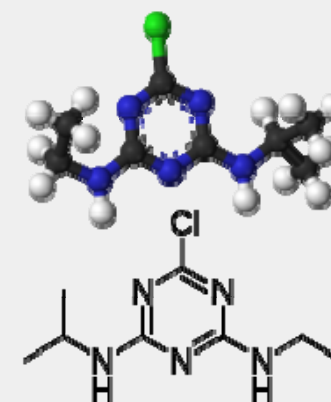
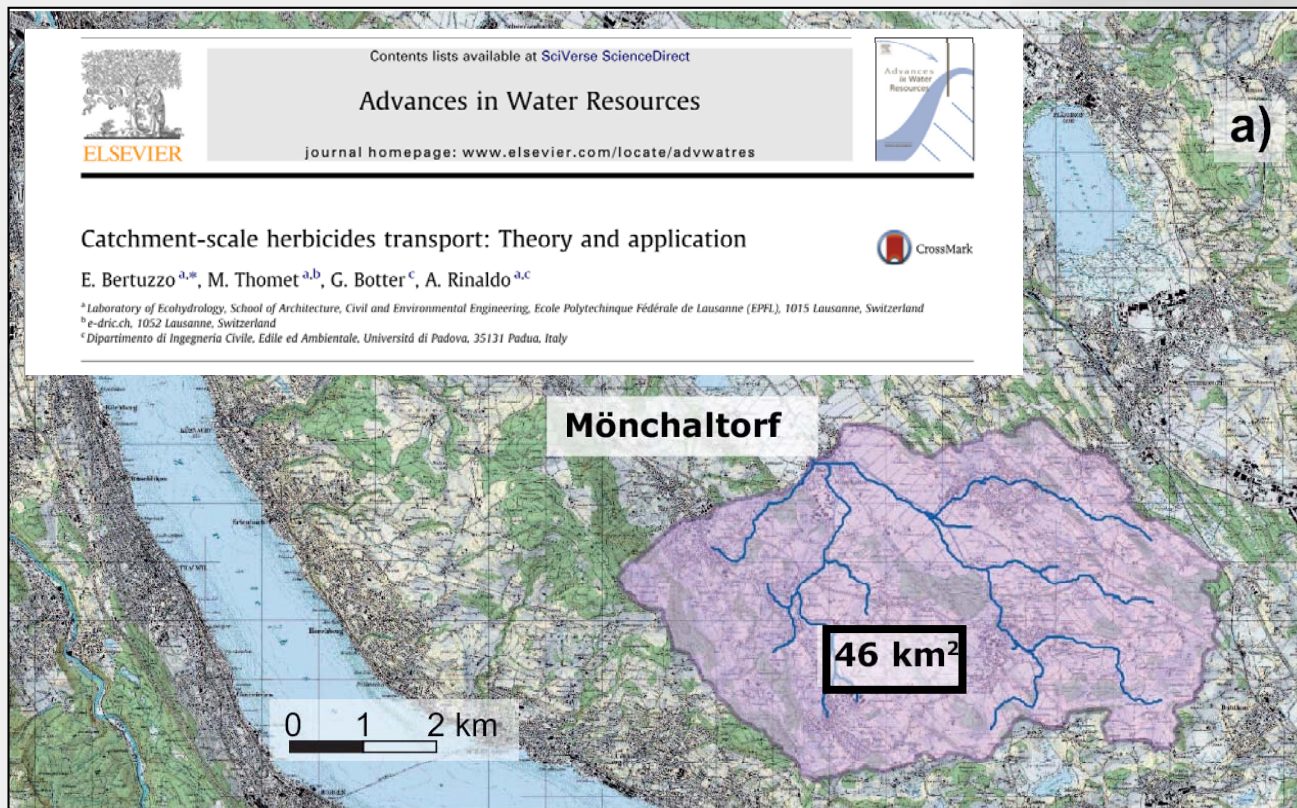


# CONCENTRAZIONI DI SILICATI DISCIOLTI @ HUBBARD BROOK

**WEATHERING:** arricchimento del contenuto di minerali legato ai tempi di contatto fra acqua mobile ed immobile:



# TRASPORTO di PESTICIDI @ MONCHALTORF (CH)

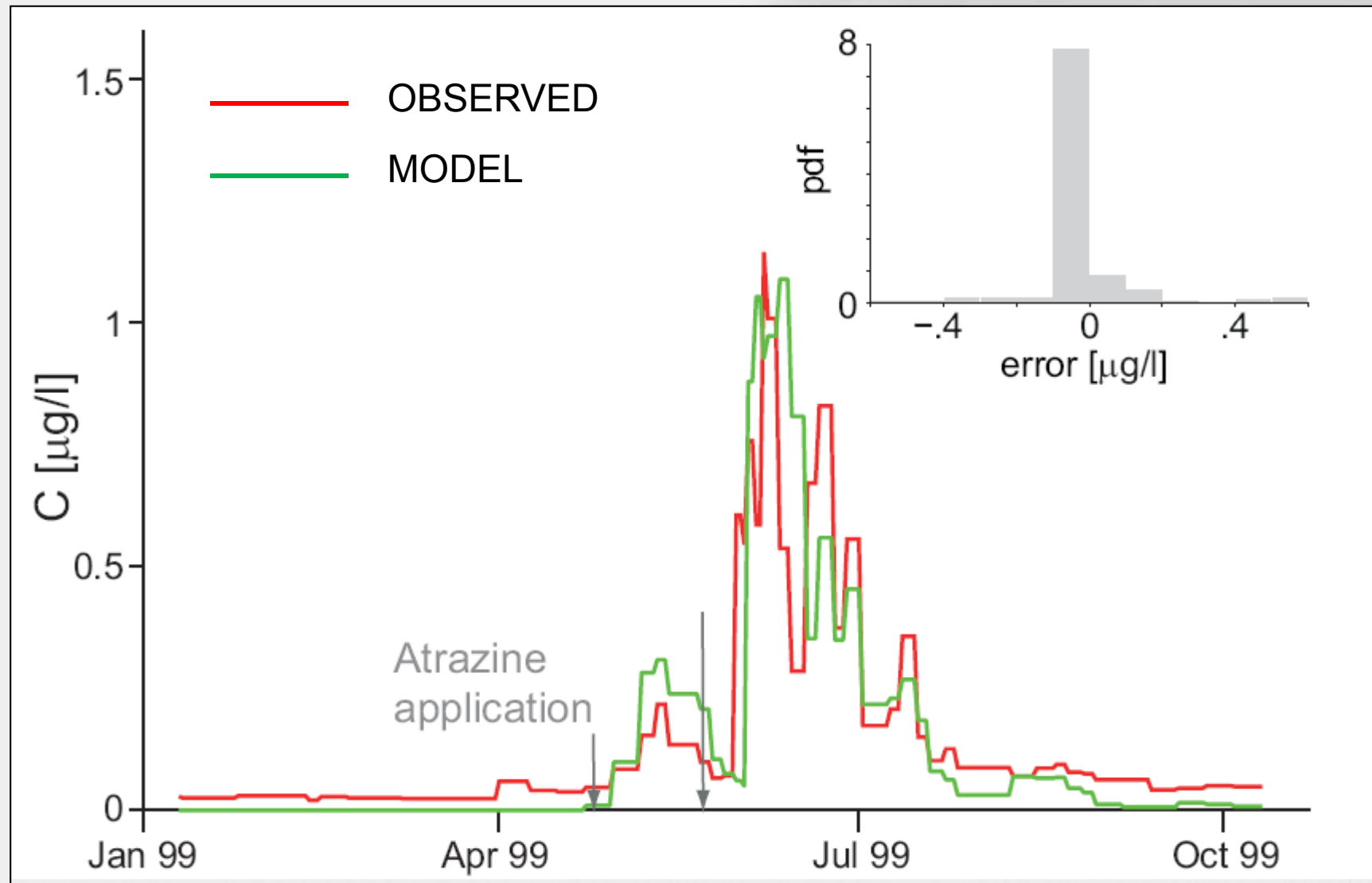


**CARICHI** significativi di **PESTICIDI** legati all'agricoltura...

... con alte concentrazioni di **ATRAZINA** nei deflussi durante l'ESTATE



# CONCENTRAZIONI DI ATRAZINA @ MONCHALTORF





## ALCUNE CONSIDERAZIONI



Modellazione **accoppiata** di flusso e trasporto a scala di bacino consente una migliore **caratterizzazione dei processi**

Formulazione attraverso i **tempi di residenza** e le «SAS functions» rigorosa e affidabile

Accoppiamento di modelli **bio-geochimici** ed idrologici: **flessibilità** e prospettive di standardizzazione