

AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE
DELL'APPENNINO MERIDIONALE

Percorso di Partecipazione Pubblica
correlato al Piano di Gestione delle Acque–IV ciclo e al
Piano di Gestione Rischio Alluvioni–III ciclo

VII FOCUS tematico

Grandezze idrologiche di progetto evoluzione e prospettive future

Salvatore Grimaldi
Università degli Studi della Tuscia

Grandezze idrologiche di progetto sono determinanti per il dimensionamento delle opere idrauliche e per la stima delle mappe di pericolosità idraulica

Perchè ogni anno abbiamo uno o più eventi di dissesto idrogeologico?

- Cambiamento climatico: incremento in intensità e frequenza degli eventi estremi
- Cambiamento idrologico: inasprimento della risposta idrologica dovuta a fattori antropici
- Opere idrauliche sottostimate perchè le grandezze idrologiche di progetto sono state stimate con metodologie datate
- Nella migliore delle ipotesi tali stime sono state basate su serie storiche di dati di precipitazione molto limitate



Hydrological Sciences Journal
Publication details, including instructions for authors and subscription information:
http://www.tandfonline.com/loi/thsj20

Time of concentration: a paradox in modern hydrology

S. Grimaldi [a b c], A. Petroselli [d], F. Tauro [c e] & M. Porfiri [c]

[a] Dipartimento per l'Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF Department), University of Tuscia, Via San Camillo De Lellis, I-01100, Viterbo, Italy

[b] Honors Center of Italian Universities (H2CU), Sapienza University of Rome, Via Eudossiana 18, I-00184, Roma, Italy

[c] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Polytechnic Institute of New York University, Six MetroTech Center, Brooklyn, NY, 11201, USA

[d] Dipartimento di scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE Department), University of Tuscia, Via San Camillo De Lellis, I-01100, Viterbo, Italy

[e] Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA Department), Sapienza University of Rome, I-00184, Rome, Italy

Available online: 24 Feb 2012

Formula Razionale

$$Q_p = \phi\, i\, A$$

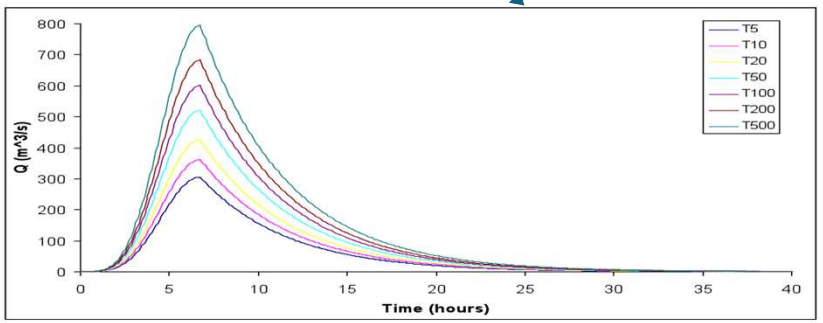
IDF curves

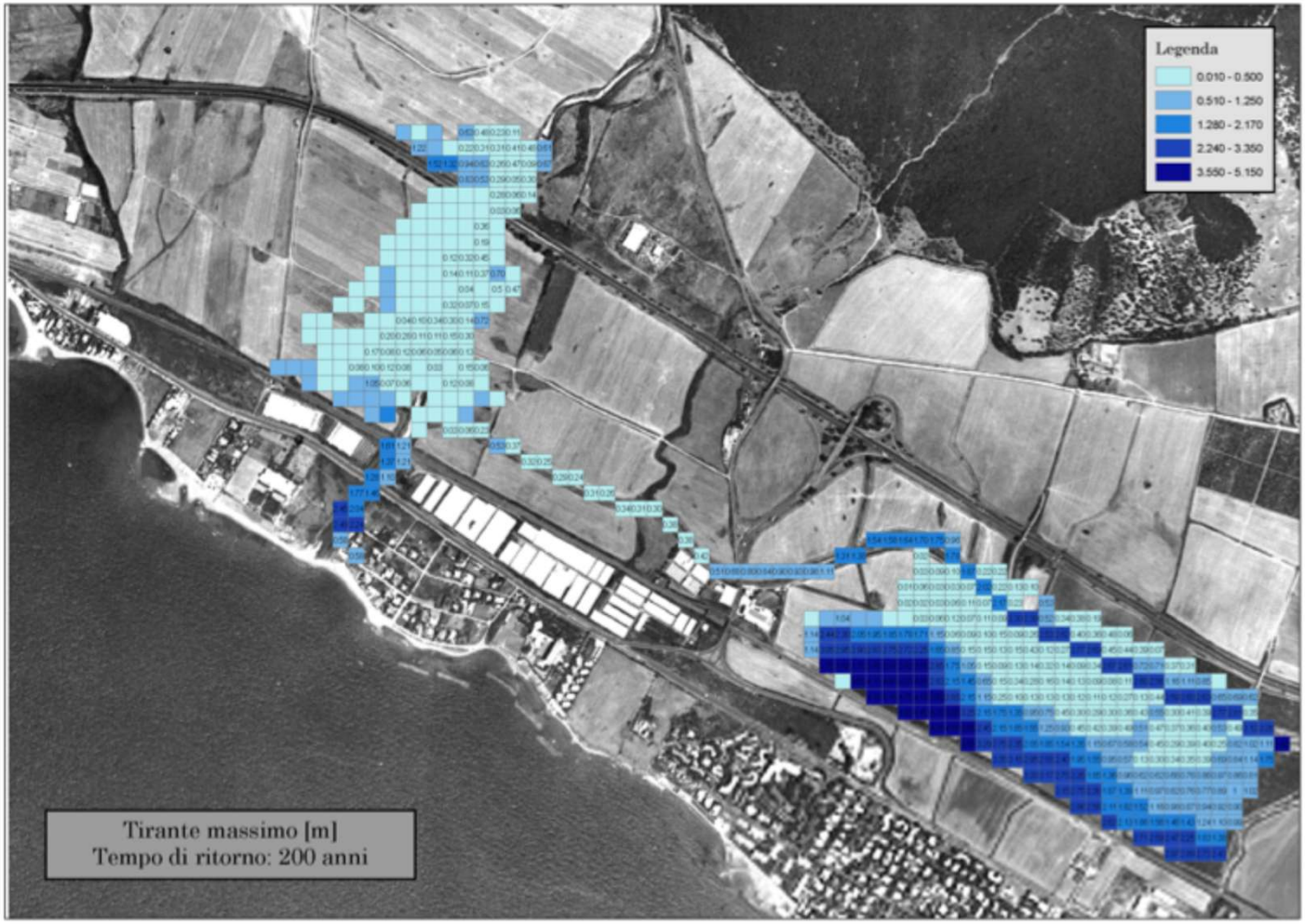
Curve di possibilità pluviometrica (CPP)

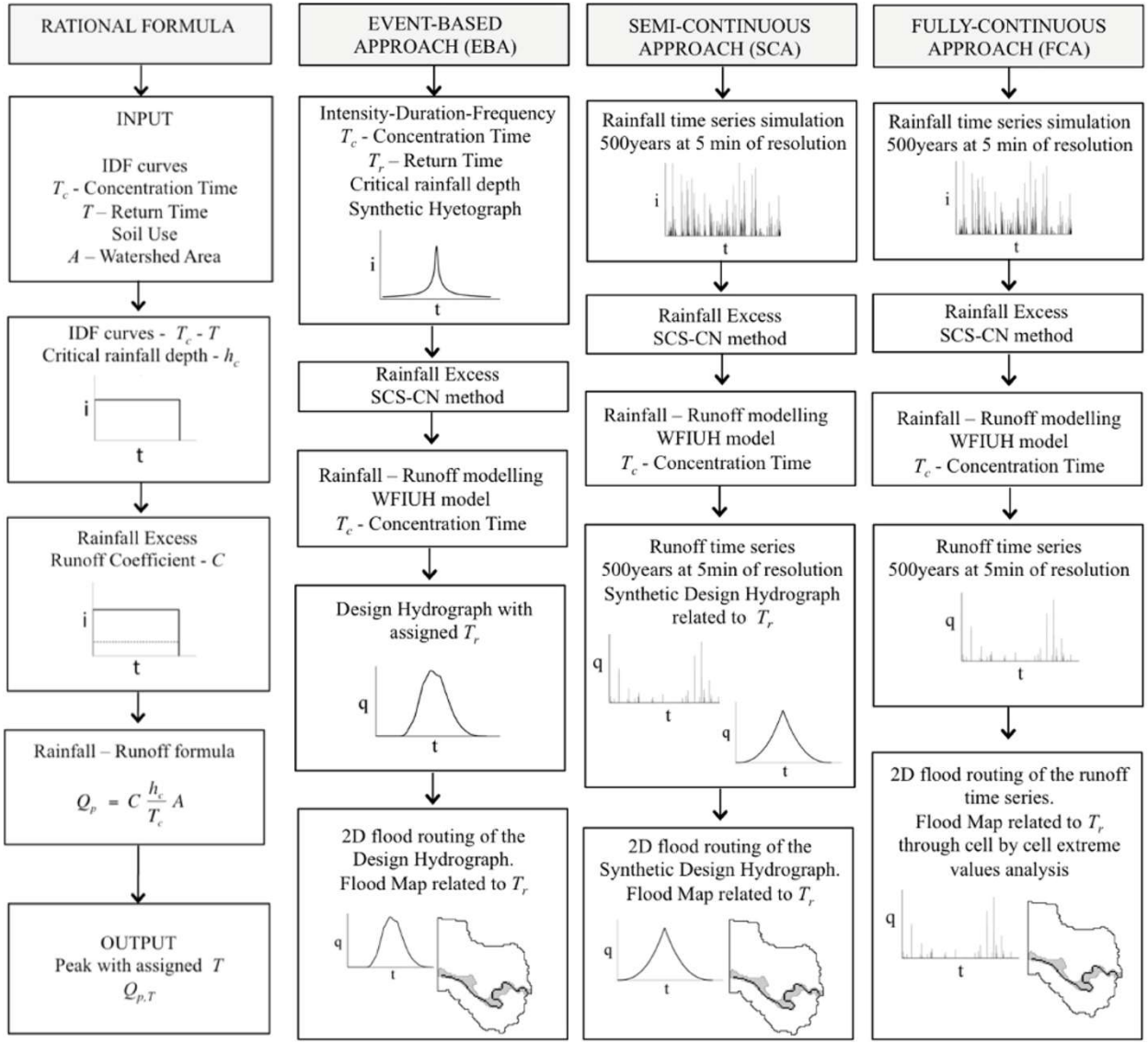
Onde di progetto

$$Q(t) = Q_p \left[sen\left(\frac{\pi}{2} \frac{t}{t_c} \right) \right]^4$$

$$Q(t) = Q_p e^{-1{,}387\left(\frac{t}{t_c}-1\right)}$$




Legenda
0.010 - 0.500
0.510 - 1.250
1.280 - 2.170
2.240 - 3.350
3.550 - 5.150
Tirante massimo [m]
Tempo di ritorno: 200 anni



1851-1889 Rational Formula

1934-1940 IUH e Concentration time

1960 Design hyetograph

2000 Continuous modelling

FORMULA RAZIONALE

$$Q_p = C \frac{h_c}{T_c} A$$

Mulvaney, T.J., **1851**. Kuichling, 1889; Chow et al., 1988; Dhakal et al., 2013a, 2013b

"Pro"

- facile da applicare....in pratica solo con carta e penna.
- dati di input facili da reperire: Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves, tempo di corrivazione (T_c), e coefficiente di deflusso.
- la formula non è totalemente empirica e il concetto di precipitazione critica è facile da comprendere ed è convincente.

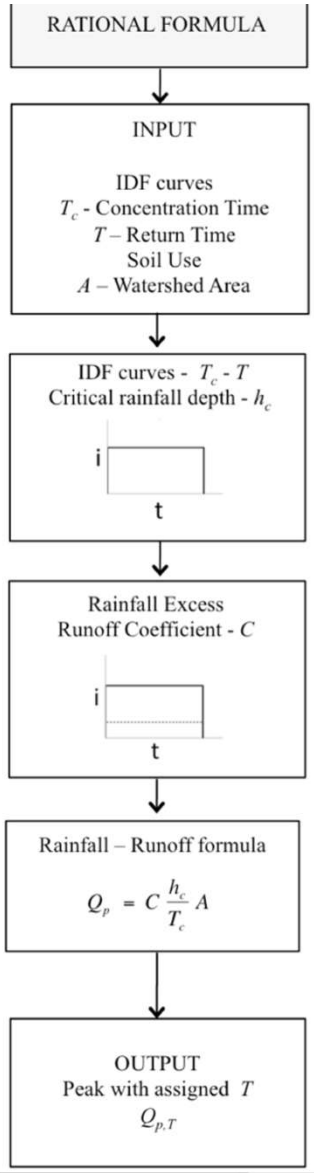
Principali "Contro"

- coefficiente di deflusso (Young et al., 2009). I valori presenti nelle tabelle originali (ASCE-WPCF, 1969; Young et al., 2009; Dhakal et al., 2012) non sono stati desunti tramite calibrazione sperimentale ma fissati previa consultazione tra esperti.
- La caratterizzazione del tipo e uso di solo è limitata a poche classi.
- Per ogni classe è associato un range di valori (es. per "Residential (suburban)" C può assumere un valore tra 0.25-0.40).
- Forte dipendenza con il tempo di corrivazione.

SOGGETTIVITA'

Limiti comuni

durata critica, ipotesi di sistema lineare, omogeneità spaziale delle precipitazioni e approccio concentrato



MODELLI A SCALA DI EVENTO

EBA4SUB - Event-Based Approach for Small and Ungauged Basins

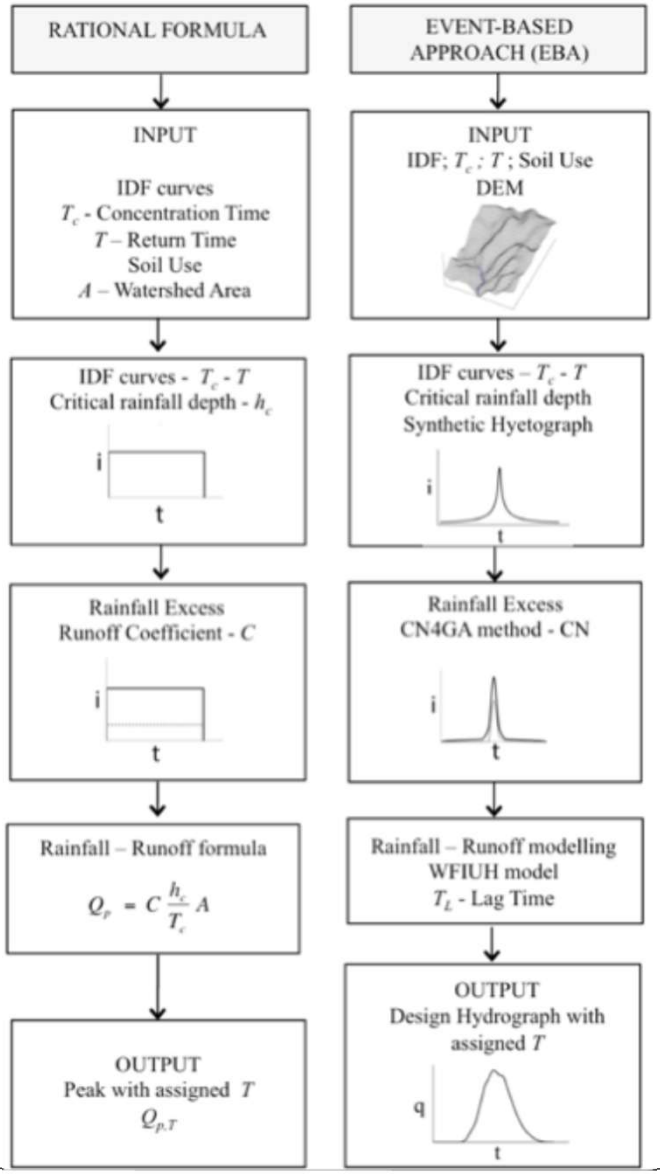
- Stessi input necessari per l'applicazione della formula razionale;

- L'unica differenza è la necessità di un modello digitale del terreno e di un suo pre-processamento.

VANTAGGI ATTESI

-Riduzione della SOGGETTIVITA';

-Non fornisce solo il picco ma l'intera onda di progetto.

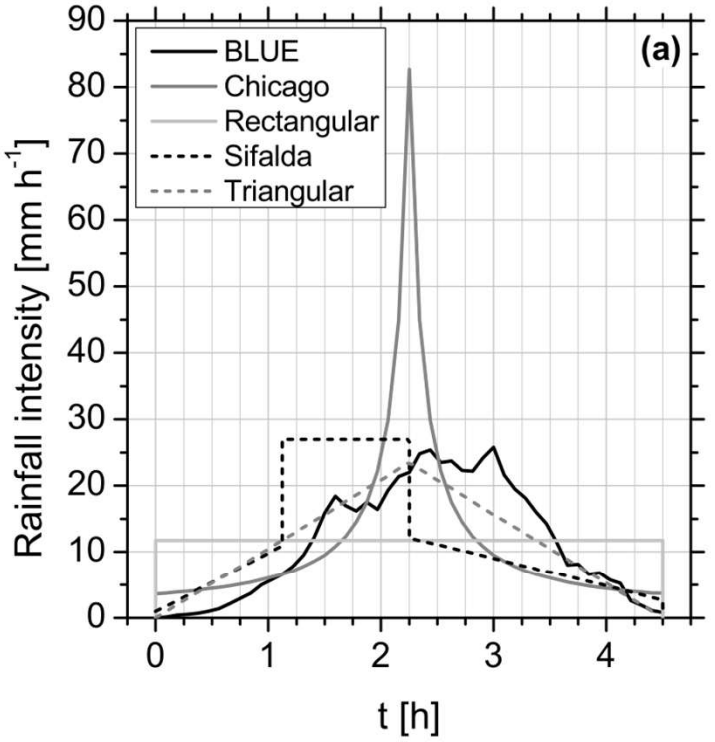


Primo Step: Ietogramma di progetto

Ietogramma Chicago

$$i(t,T) = a(T)\, n(T) \left(\frac{t_r - t}{r_C} \right)^{n-1} \qquad for \quad t \le t_r$$

$$i(t,T) = a(T)\, n(T) \left(\frac{t - t_r}{1 - r_C} \right)^{n-1} \qquad for \quad t \ge t_r$$



Il principale vantaggio è che l'intesità massima è insensibile al tempo di corrivazione

Il limite è che tende a sovrastimare il picco (ma può essere un vantaggio)

Secondo Step: Stima dello ietogramma netto

metodo CN4GA - Curve Number for Green Ampt

$$\begin{cases} P_e = \dfrac{(P - 0.2\,S)^2}{P + 0.8\,S} & if \;\; P > I_a = 0.2\,S \\ P_e = 0 & if \;\; P \le I_a = 0.2\,S \end{cases}$$

Metodo SCS-CN

applicato per stimare la precipitazione netta totale e le perdite iniziali

+

$$\begin{cases} q_0 = i & for \;\; t < t_p \\ q_0(t) = K_s \left[1 + \dfrac{\Delta\theta \Delta H}{I(t)} \right] & for \;\; t \ge t_p \end{cases}$$

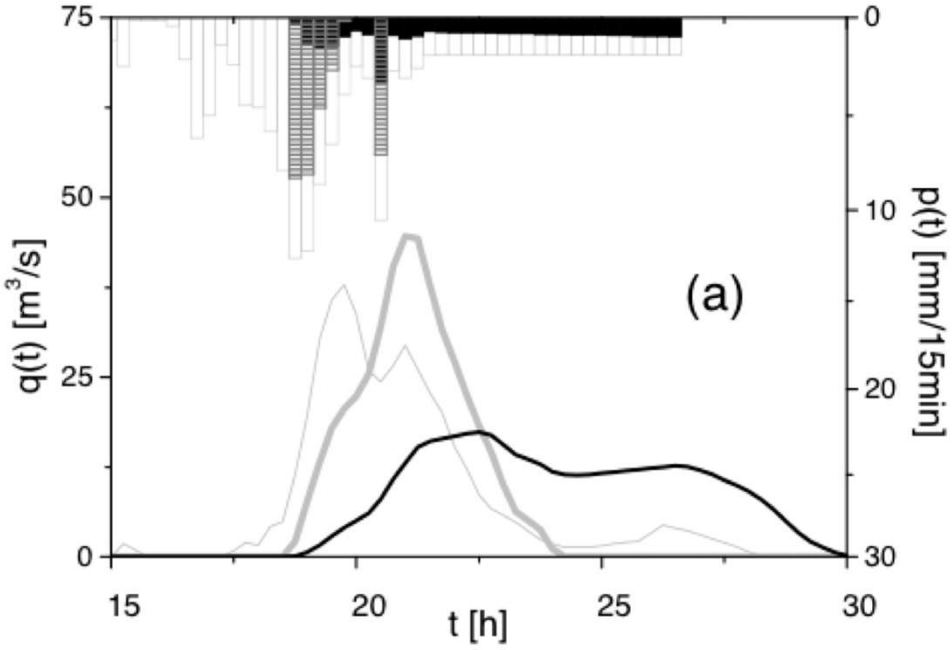
Equazione GAML (Green Ampt)

Fissati $\Delta\theta$ & ΔH **il valore di Ks è quantificato in modo tale che il totale di pioggia netta sia uguale a quella stimata con il metodo SCS-CN. Il "ponding time" è fissato pari al tempo in cui si esauriscono le perdite iniziali.**

Perchè il metodo CN4GA?

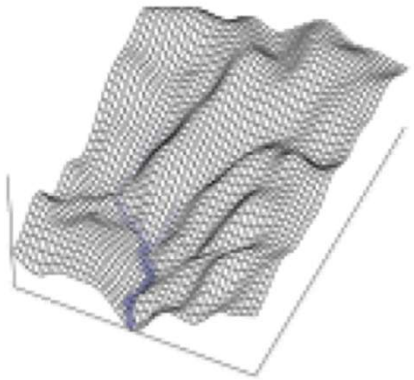
Perchè l'SCS-CN non può essere applicato a scale di aggregazioni sub-giornaliere

$$\begin{cases} P_e = \dfrac{\left(P - 0.2\,S\right)^2}{P + 0.8\,S} & if \;\; P > I_a = 0.2\,S \\ P_e = 0 & if \;\; P \le I_a = 0.2\,S \end{cases}$$



Terzo Step: Trasformazione Afflussi-Deflussi

$$WFIUH(t) = FT = \frac{L_c(x)}{v_c(x)} + \frac{L_h(x)}{v_h(x)}$$

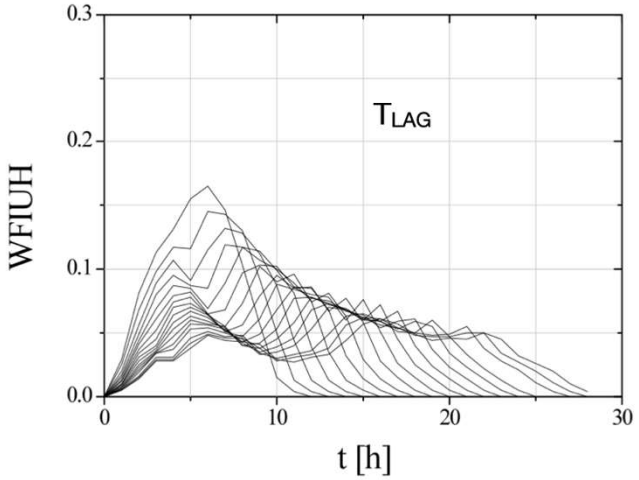


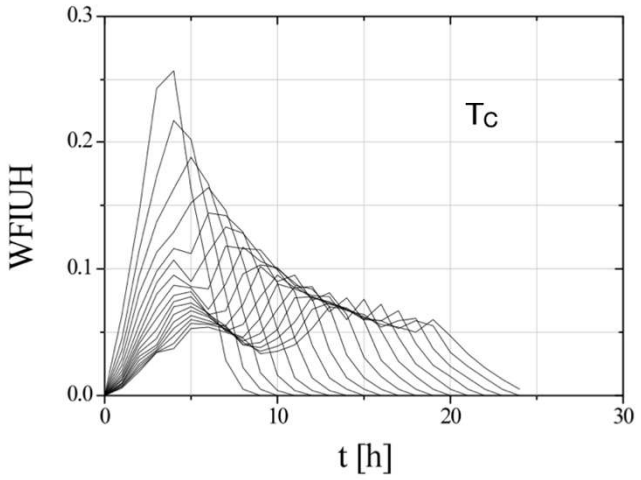
- funzione di densità di probabilità dei tempi di corrivazione;

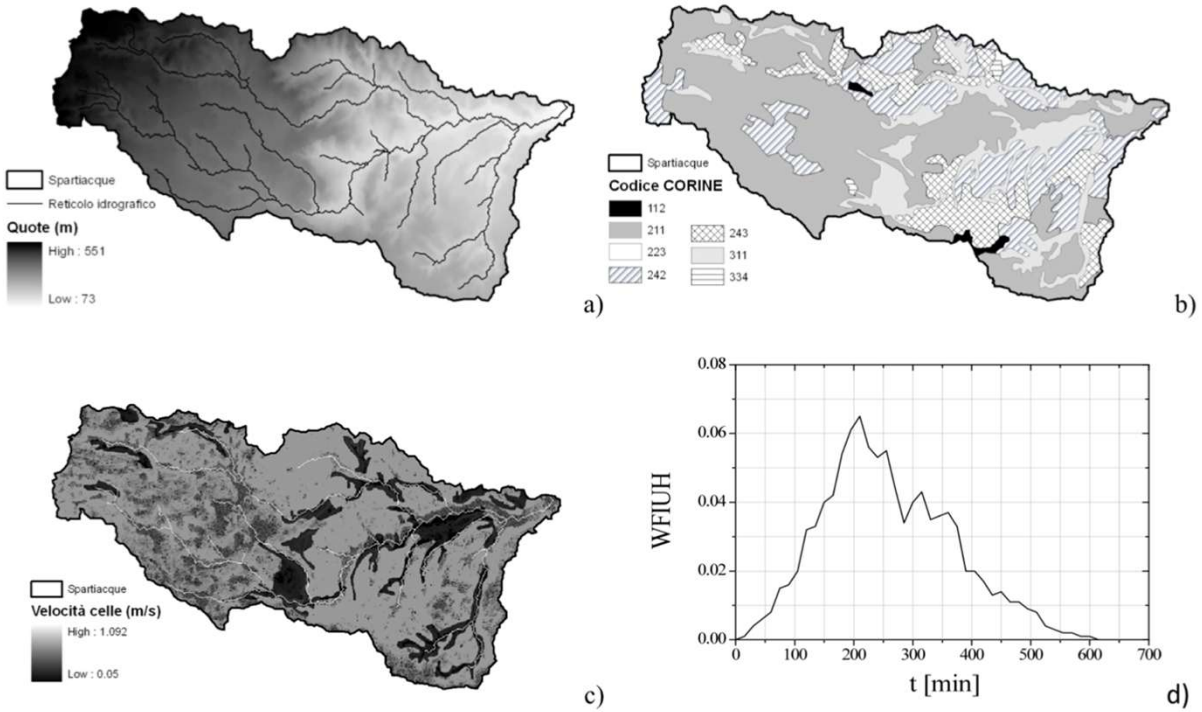
- Vh e Vc sono le velocità di deflusso nel versante e nel canale;

- Vh è stimato cella-cella, con una formula empirica dipendente da uso del suolo e pendenze;

La velocità Vc è lasciata costante e stimata imponendo il Tc o Tlag.
Nel primo caso si sceglie qual valore di velocità per cui il tempo di base dell'IUH sia pari a Tc
Nel secondo caso si sceglie quel valore di velocità per cui il centro di massa dell'IUH sia pari a Tlag.

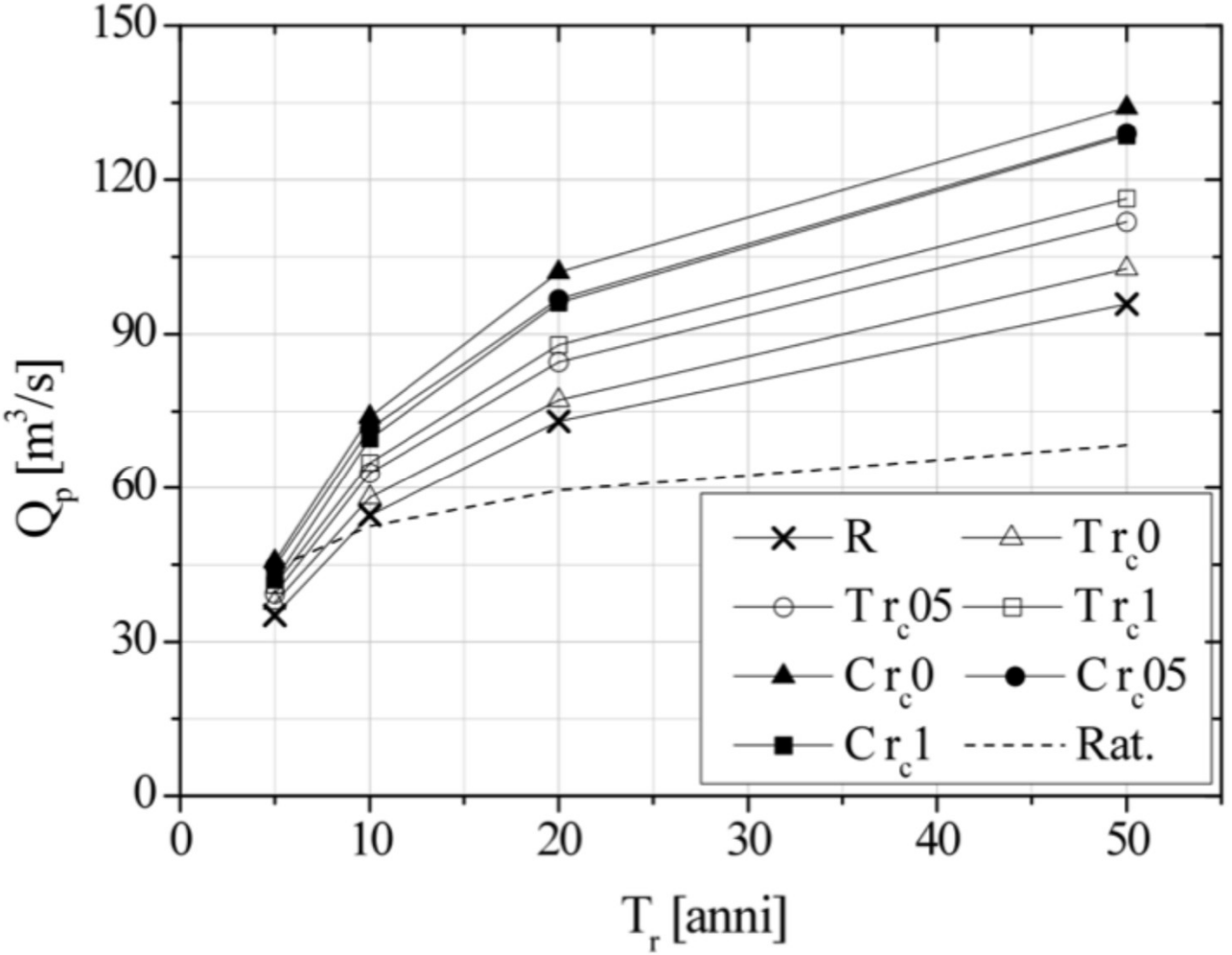




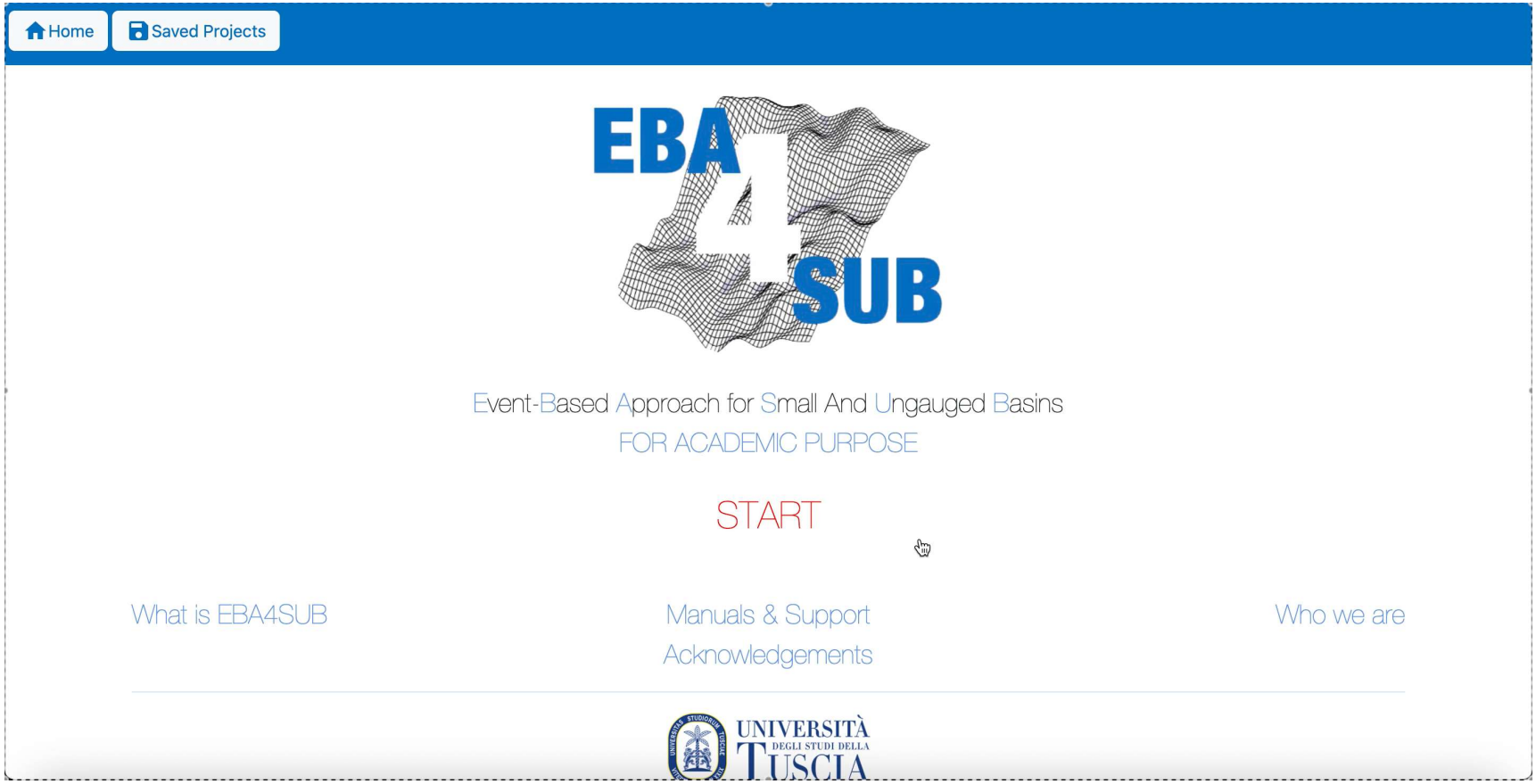


Risoluzione DEM (m)	20
Area del bacino (km^2)	84.3
Quota minima (m)	73
Quota media (m)	299.8
Quota massima (m)	551
Pendenza media (%)	6.73
Distanza massima spartiacque-outlet (km)	25.4
Curve Number medio (-)	66.7
Lambda (-)	0.2
AMC	II
Gruppo idrologico del suolo	B
Coefficiente di deflusso medio (-)	0.218

(a) DEM e reticolo idrografico, (b) codice uso del suolo CORINE, (c) velocità delle celle versante (m/s) e (d) WFIUH.



Ietogrammi triangolari e Chicago (con diverse posizioni di picco)


Home
Saved Projects
EBA4SUB
Event-Based Approach for Small And Ungauged Basins
FOR ACADEMIC PURPOSE
START
What is EBA4SUB
Manuals & Support
Acknowledgements
Who we are
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA

MODELLI CONTINUI, SEMI-CONTINUI

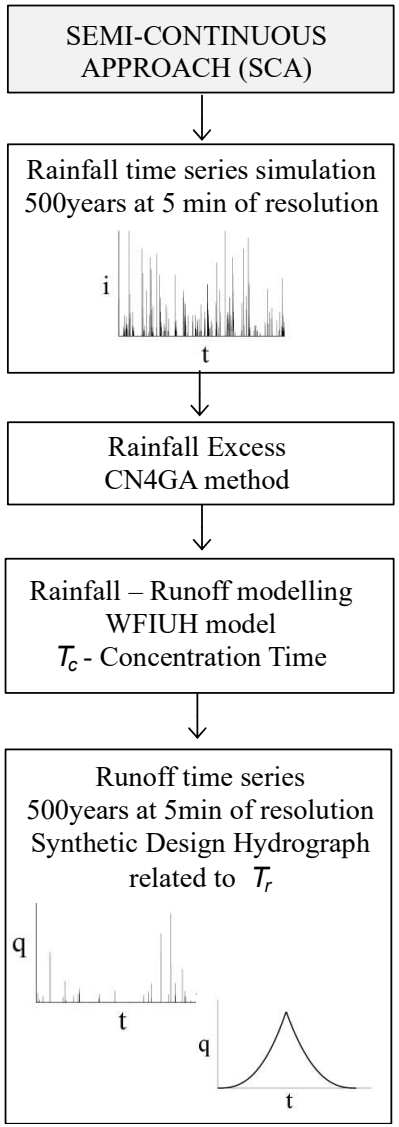
1) RAINFALL SIMULATION: Sono diversi i modelli disponibili in letteratura
2) Rainfall excess analysis: Ts: tempo di separazione tra due eventi

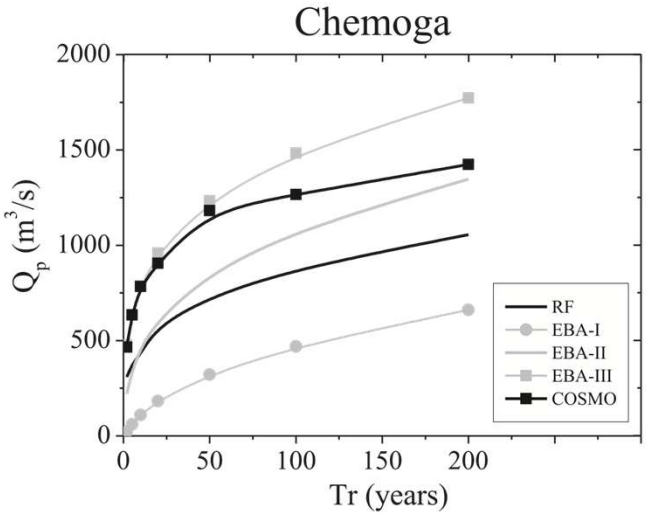
1) Minime scelte soggettive: non si deve più scegliere lo ietogramma di progetto.

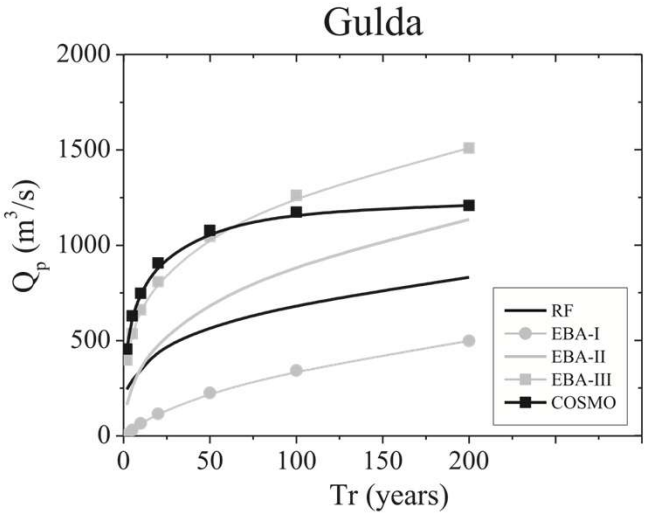
2) Riduzione potenziale dell'incertezza: non occorre più riferirsi alle IDF e al tempo di corrivazione per definire una precipitazione critica; si dispone delle condizione di umidità antecedenti.

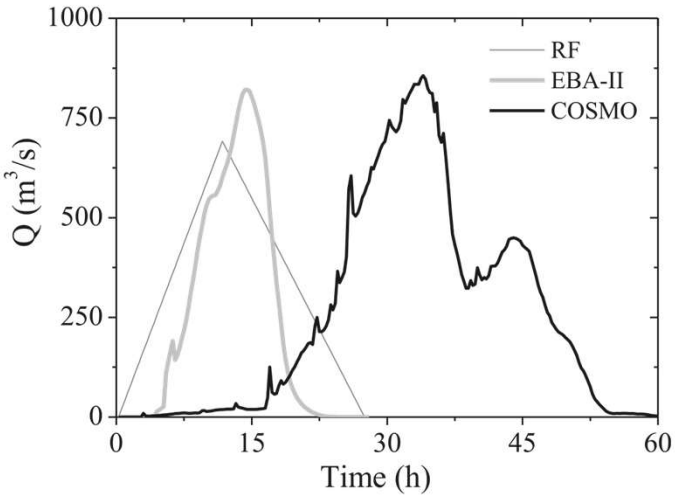
3) Informazione sul volume di piena dell'idrogramma di progetto! (prima pari al volume critico o ad una sua parte).

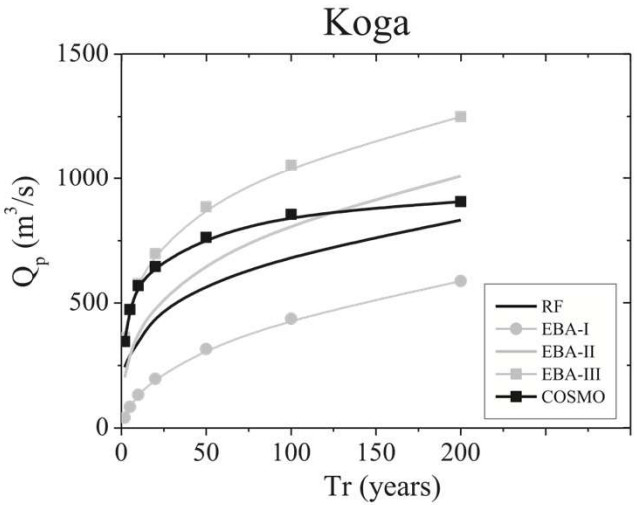
4) CONTRO: Simulazione delle precipitazioni

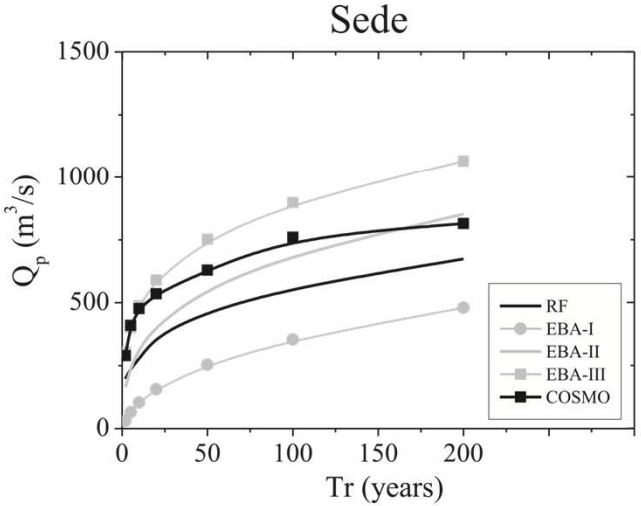


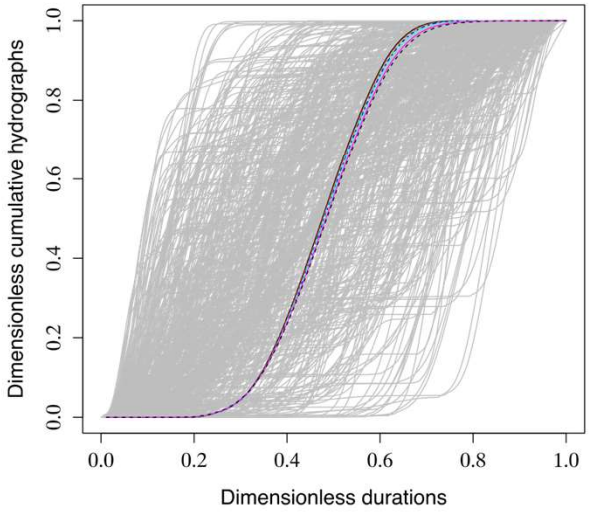

Chemoga
Q_p (m^3/s)
Tr (years)
RF
EBA-I
EBA-II
EBA-III
COSMO

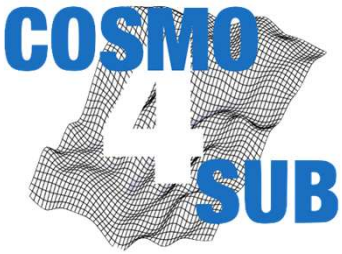

Gulda
Q_p (m^3/s)
Tr (years)
RF
EBA-I
EBA-II
EBA-III
COSMO

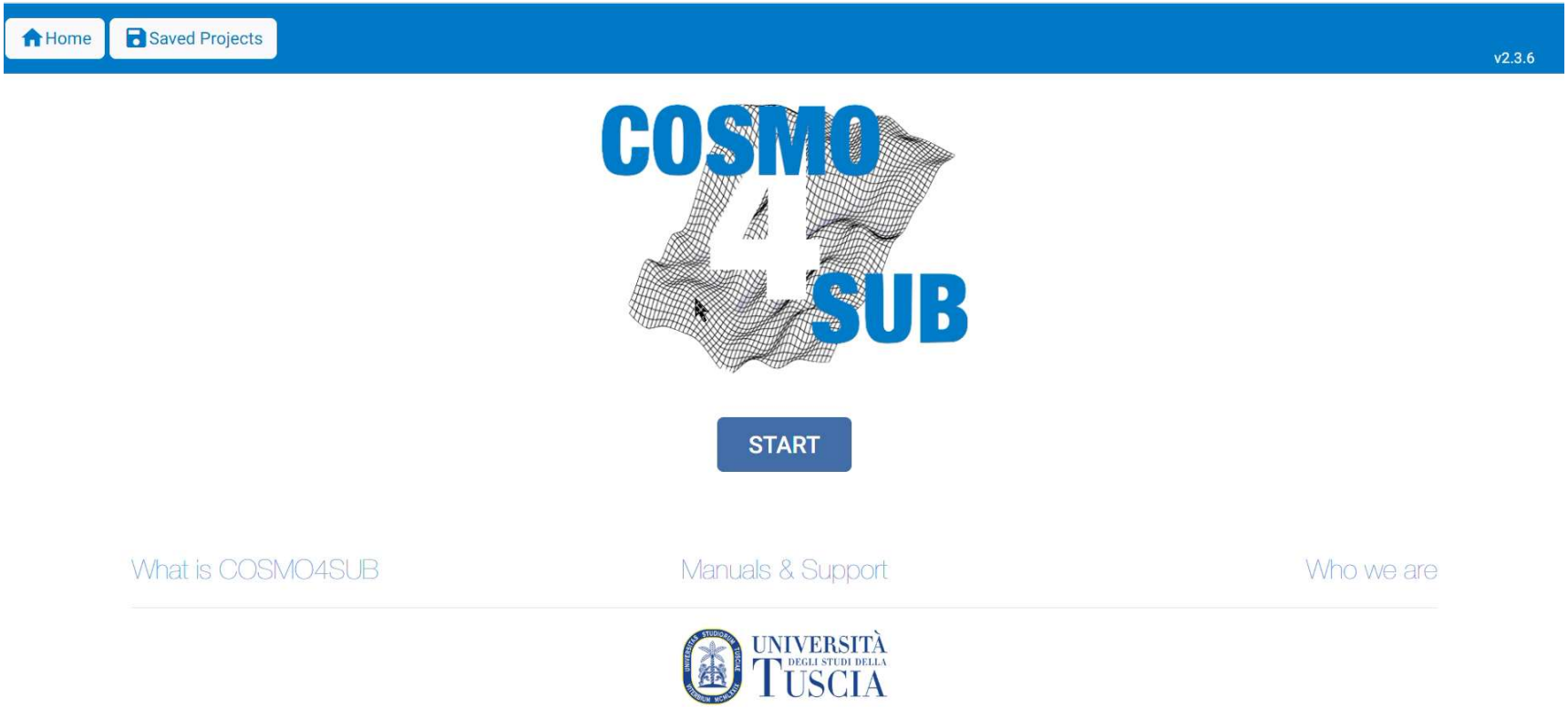

Q (m^3/s)
Time (h)
RF
EBA-II
COSMO


Koga
Q_p (m^3/s)
Tr (years)
RF
EBA-I
EBA-II
EBA-III
COSMO


Sede
Q_p (m^3/s)
Tr (years)
RF
EBA-I
EBA-II
EBA-III
COSMO


Dimensionless cumulative hydrographs
Dimensionless durations


COSMO
4
SUB

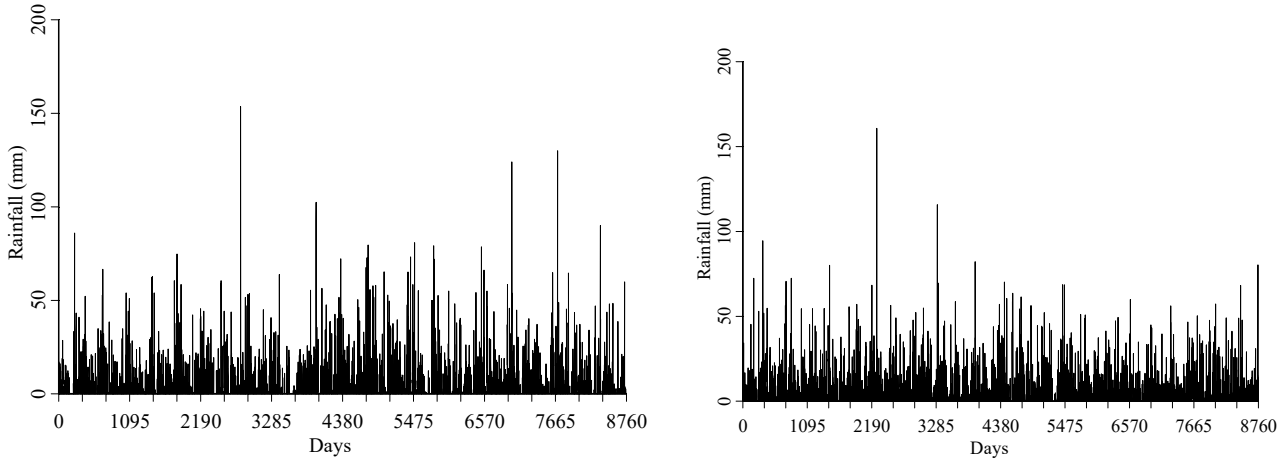

Home
Saved Projects
v2.3.6
COSMO
4
SUB
START
What is COSMO4SUB
Manuals & Support
Who we are
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
TUSCIA

MODELLI PER LA SIMULAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Simulare serie di precipitazioni è cruciale e difficile:

- Tantissimi risvolti pratici
- Molte risoluzioni temporali di interesse(mensili, giornaliere, orarie, **sub-orarie**)
- Necessità di considerare simulazioni spazialmente correlate (Multisite)
- Correlazioni con altre variabili climatiche

Cosa significa simulare una serie di precipitazioni?



Creare una serie alternativa che abbia le stesse proprietà statistiche di quella osservata.

Perchè è difficile costruire un modello affidabile?

Le serie storiche di precipitazioni sono segnali particolamente complessi (70% valori nulli)

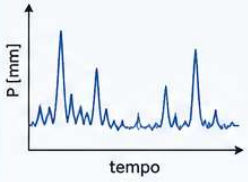
Disponibilità limitata di dati osservati:

- 50-60 anni di serie giornaliere
- 15-20 anni di serie a 5’
- 50-60 anni di massimi annuali per le durate: 1-3-6-12-24 ore

MODELLI DI SIMULAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Principali classi di modelli

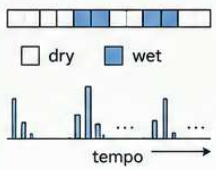
1. MODELLI STOCASTICI (TIME SERIES)



- AR, ARMA, ARIMA
- Modelli a cascata temporale
- Modelli di Markov (wet/dry)

Lavorano direttamente sulla serie temporale di pioggia. Buoni per preservare le statistiche principali e la dipendenza temporale.

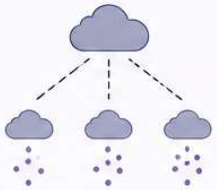
2. WEATHER GENERATORS (WG)



- Richardson-type
- Modelli basati su Markov + distribuzioni
- Generatori giornalieri / sub-giornalieri

Simulano sequenze lunghe di pioggia sintetica. Molto usati in studi di impatto e valutazioni climatiche.

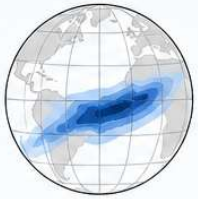
3. MODELLI A CLUSTER / POINT PROCESS



- Neyman–Scott
- Bartlett–Lewis
- Altri modelli a processi puntuali

Rappresentano la pioggia come eventi (storm → cells → rain). Ottimi per scale sub-giornaliere e intensità estreme.

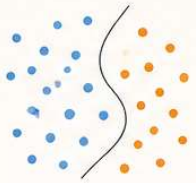
4. MODELLI FISICAMENTE BASATI / METEOROLOGICI



- Modelli numerici atmosferici (NWP)
- Modelli climatici (RCM, GCM)
- Modelli convettivi

Basati su equazioni fisiche dell'atmosfera. Alta complessità e costo computazionale, ma coerenti con i processi fisici.

5. MODELLI BASATI SU DATI / MACHINE LEARNING



- Random Forest
- ANN, LSTM, GRU
- Deep Learning
- Altri algoritmi ML

Sfruttano grandi quantità di dati per catturare pattern complessi. Alte prestazioni predittive, minore interpretabilità.

6. APPROCCI IBRIDI



- Combinazione di modelli (es. WG + downscaling + ML)
- Correzione bias + modelli stocastici
- Approcci multi-modello

Combinano i punti di forza di più approcci per migliorare realismo, robustezza e trasferibilità.

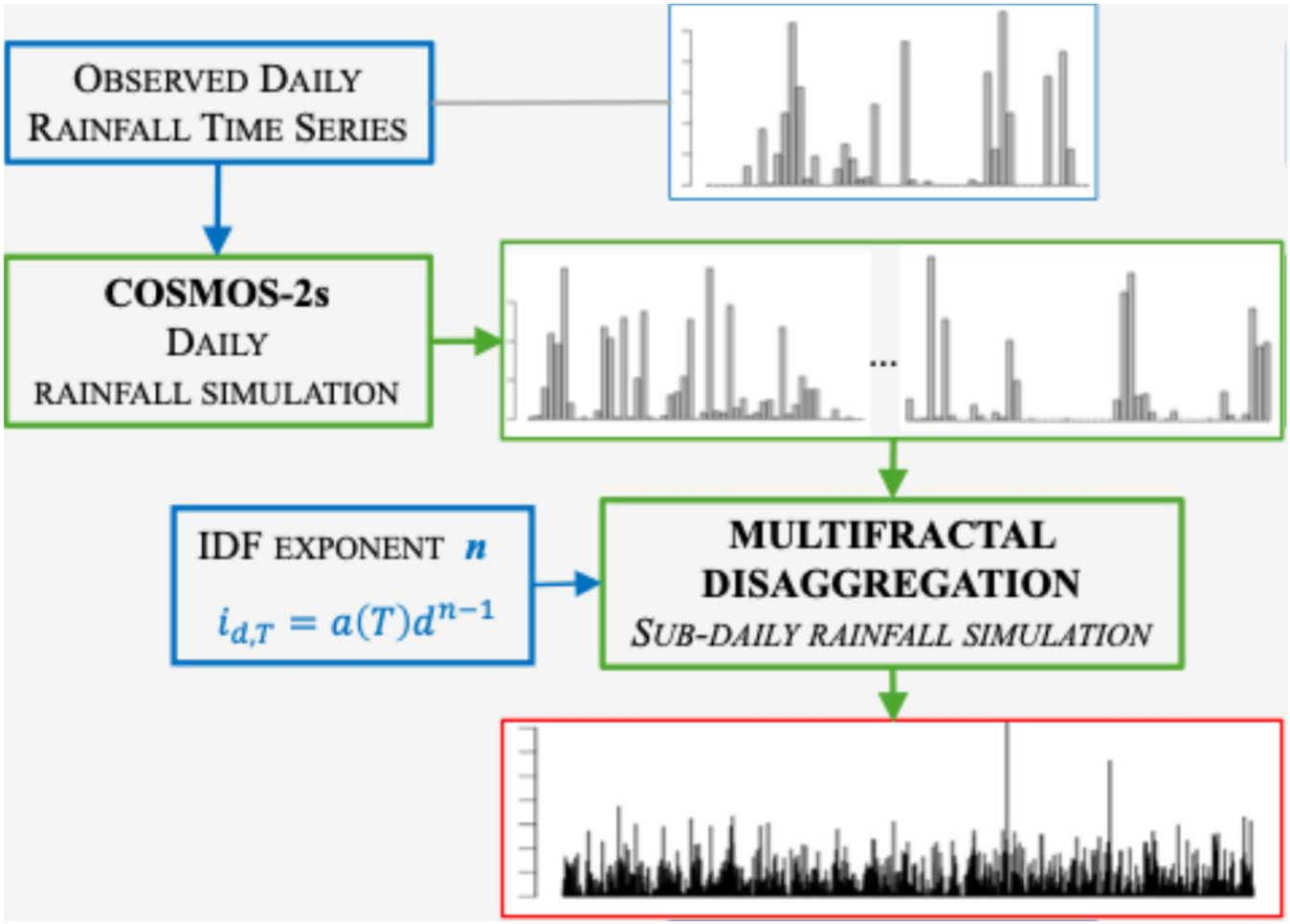
Ogni classe di modelli ha punti di forza e limiti.
La scelta dipende dalla scala temporale e spaziale, dall'obiettivo dello studio e dai dati disponibili.

Virtual Rain

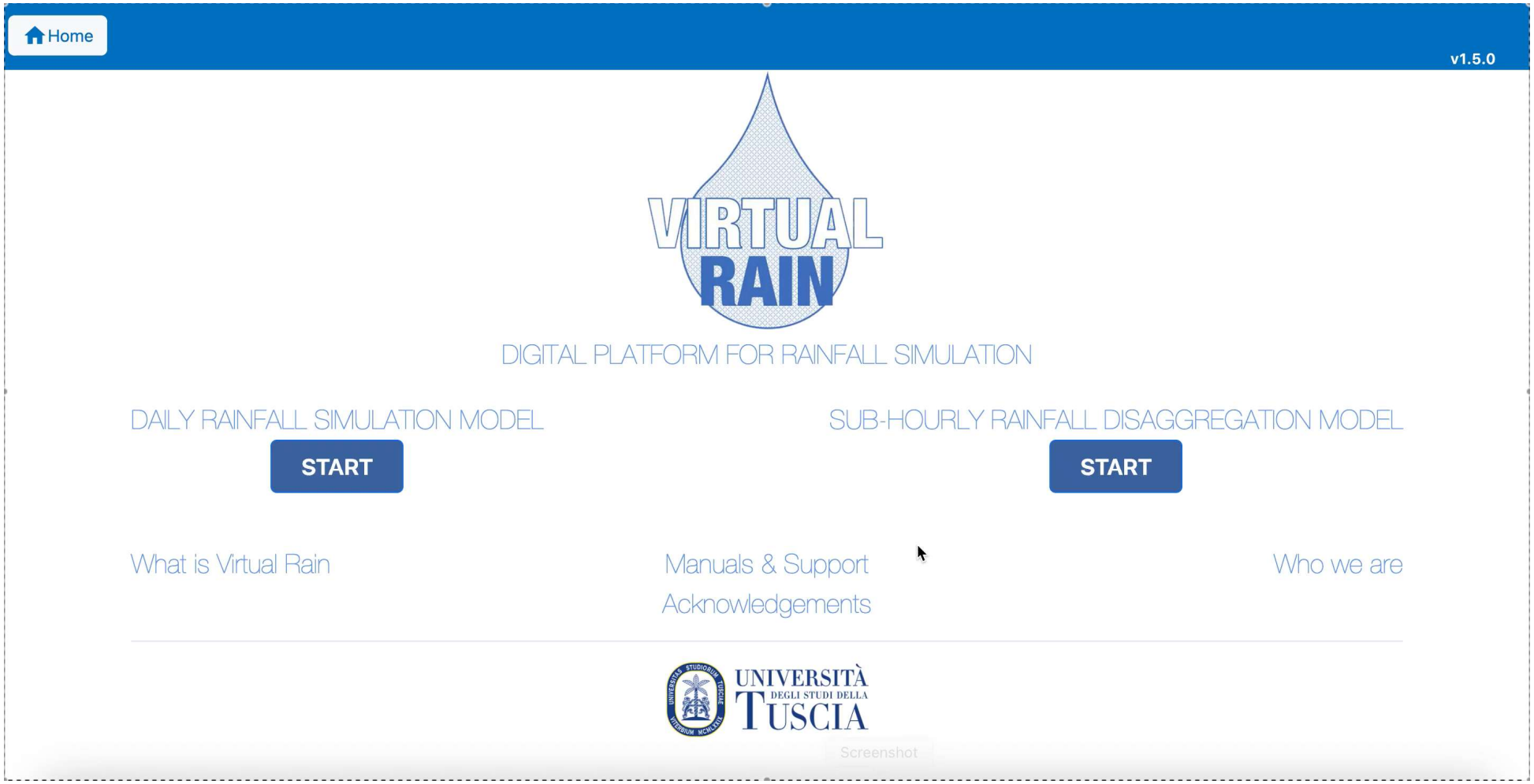
- Non è un nuovo modello ma una nuova configurazione con una calibrazione parsimoniosa innovativa

- La reale novità è massimizzare le informazioni disponibili per simulare la serie di precipitazioni nel contesto più difficile: serie millenarie ad alta risoluzione (>2000 anni ; 15-min di risoluzione temporale)





F. Cappelli, E. Volpi, A. Langousis, R. Deidda, S.M. Papalexiou, A. Perdios, S. Grimaldi, Simulating sub-daily rainfall time series in the absence of sub-daily observations, Journal of Hydrology, Volume 675, 2026, 135660, ISSN 0022-1694, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2026.135660.


Home
v1.5.0
VIRTUAL RAIN
DIGITAL PLATFORM FOR RAINFALL SIMULATION
DAILY RAINFALL SIMULATION MODEL
START
SUB-HOURLY RAINFALL DISAGGREGATION MODEL
START
What is Virtual Rain
Manuals & Support
Acknowledgements
Who we are
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
Screenshot

MODELLI FULLY-CONTINUOUS

Journal of Hydrology 487 (2013) 39–47

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Journal of Hydrology

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

Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic–hydraulic modeling

Salvatore Grimaldi [a,b,c,*], Andrea Petroselli [d], Ettore Arcangeletti [d], Fernando

[a] Dipartimento per la innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali (DIBAF Department), University of Tuscia, Via
[b] Honors Center of Italian Universities (H2CU), Sapienza University of Rome, Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Italy
[c] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Polytechnic Institute of New York University, Six MetroTech Center, Bro
[d] Dipartimento di scienze e tecnologie per l'agricoltura, le foreste, la natura e l'energia (DAFNE Department), University of Tuscia
[e] WARREDOC, Università per Stranieri di Perugia, Piazza Fortebraccio 4, 06123 Perugia, Italy

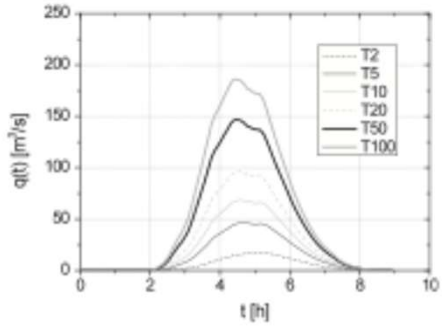


Fig. 5. Design hydrographs estimated with the EBA approach.

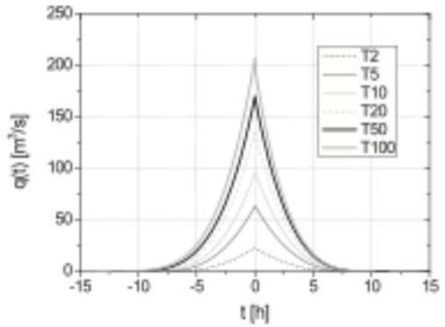


Fig. 6. Design hydrographs estimated with the SCA approach.

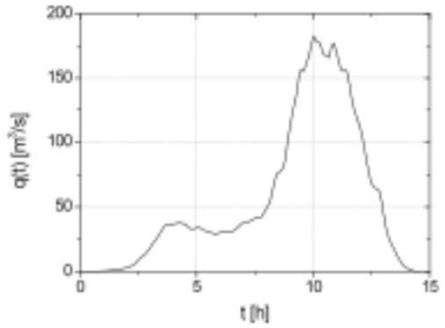


Fig. 7. Example of hydrograph estimated with the FCA approach.

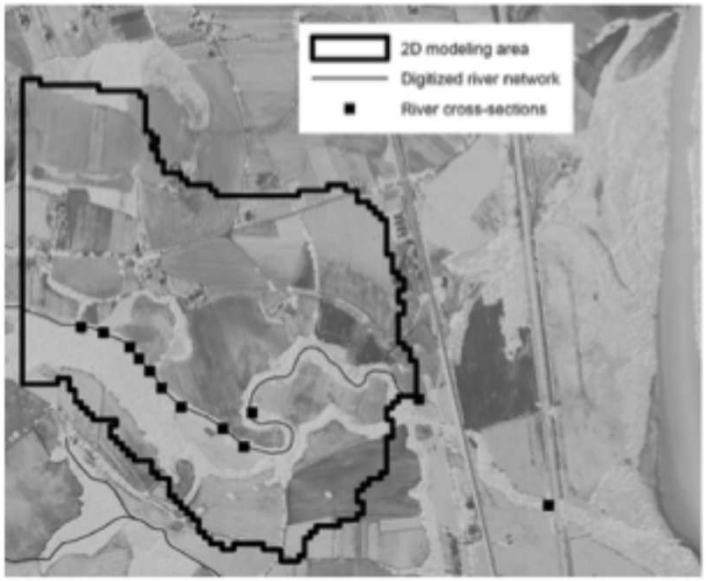


Fig. 2. Rio Torbido watershed. Case study 2D hydraulic modeling domain.

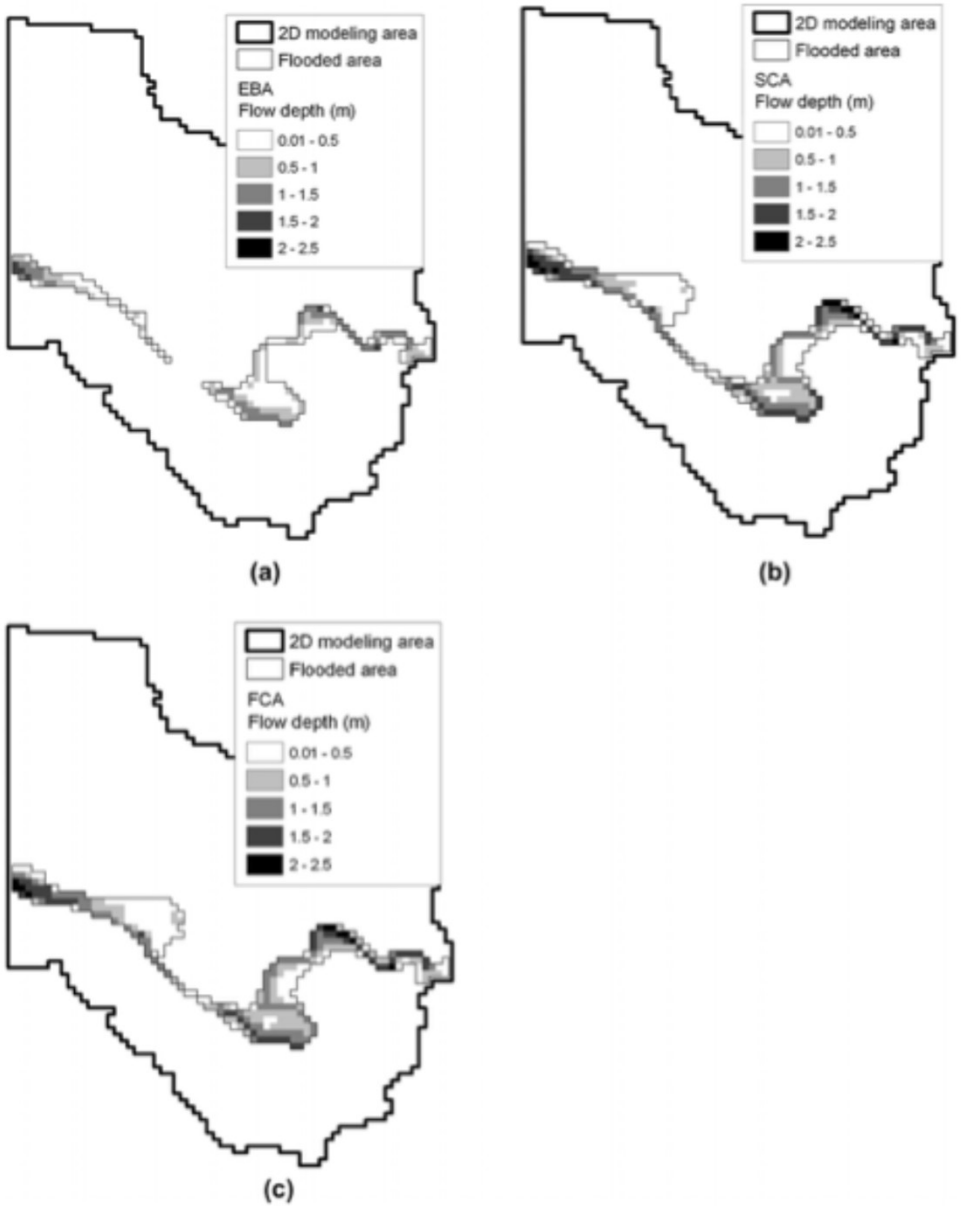


Fig. 8. Water depth distribution in selected inundation domain related to 20-years return period: (a) EBA approach; (b) SCA approach; (c) FCA approach.

CONCLUSIONI

- La formula razionale può andare in pensione?
- I modelli continui o semi continui sono certamente da prilivegiare rispetto a quelli a scala di evento
- Le grandezze di progetto devono essere riaggiornate ogni 10-15 anni.
- Gli studi per stimare le grandezze di progetto devono avere un ruolo rilevante nella progettazione

