

ESEMPI APPLICATIVI DI MODELLAZIONE IDROLOGICA E SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE

Utilizzo del software SWMM per la simulazione di scenari in ambiente urbano

9 GIUGNO 2021

1

Introduzione SWMM

- Applicazioni e potenzialità
- Modello concettuale
- Funzioni e oggetti
- I dati in ingresso
- Principali metodi di calcolo (infiltrazione, routing)
- Passaggi fondamentali per simulazioni di base
- Visualizzazione ed esportazione risultati

2

Esempi generali:

- Esempio 1: metodo infiltrazione fissato, ietogramma variabile
- Esempio 2: ietogramma fissato, metodo infiltrazione variabile

3

Modellazione con SUDS:

- Modellazione dei suds (strati ed equazioni)
- Tipologie di suds
- Esempi

STORMWATER MANAGEMENT MODEL - SWMM

Modello di simulazione idrologica e idraulica fisicamente basato per dimensionamento e verifica reti di drenaggio urbano e sistemi di raccolta delle acque meteoriche

1971, Water Supply and Water Resources Division – Environmental Protection Agency (EPA)

<https://www.epa.gov>

- Varie componenti del bilancio idrologico: infiltrazione, evapotraspirazione, scioglimento neve, scambio con falda, ...;
- Valutazione della qualità delle acque (accumulo e propagazione degli inquinanti);
- Implementazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile;
- Simulazione per singolo evento o in continuo;
- ...

3 moduli:

- Idrologico
- Idraulico
- Qualità

2 componenti di flusso:

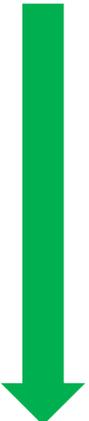
- Deflusso: eccesso del bilancio tra input e output ad ogni istante temporale
- Propagazione: trasporto della portata nella rete (routing)

4 oggetti:

- atmosfera
 - suolo
 - sottosuolo
 - rete drenaggio
- } Deflusso
- } Propagazione

1

PIOGGIA LORDA



Utente

2

PIOGGIA NETTA



Perdite idrologiche

SWMM

Horton

Green-Ampt

SCS-CN

3

PORTATA

SWMM

Modellazione afflussi-deflussi

deflusso + propagazione

File Edit View Project Report Tools Window Help



Project Map

- Title/Notes
- Options
- Climatology
- > Hydrology
- > Hydraulics
- > Quality
- > Curves
- Time Series
- Time Patterns
- Map Labels



Title/Notes

Study Area Map



Menù principale



Barra comandi di uso frequente



Barra comandi per inserimento oggetti



Project: inserimento dati, caratterizzazione oggetti e scelta opzioni
Map: visualizzazione componenti (sia in progetto sia in fase di risultati)



Impostazioni principali (u.d.m, flag)

OPTIONS:

- **General:**
 - Tipi processo
 - Metodi infiltrazione
 - Metodi routing
- **Dates**
- **Time steps**
- **Dynamic wave**
- **Files**

CLIMATOLOGY:

- **Temperatura**
- **Evaporazione**
- **Velocità del vento**
- **Scioglimento neve**
- **Aeral depletion**
- **Adjustements**

HYDROLOGY:

- **Rain gage (pluviometro)**
- **Sottobacini**
- **Acquiferi**
- **Snow pack**
- **Idrogramma unitario**
- **LID control (SUDS)**

HYDRAULICS:

- **Nodi**
 - **Junctions**
 - **Outfalls**
 - **Dividers**
 - **Storage units**
- **Links**
 - **Conduits**
 - **Pumps**
 - **Orificers**
 - **Weirs**
 - **Outlets**
- **Transects**
- **Controls**

QUALITY:

- Pollutants
- Land uses

CURVES:

- Control
- Diversion
- Pump
- Rating
- Shape
- Storage
- Tidal
- Weir

TIME SERIES

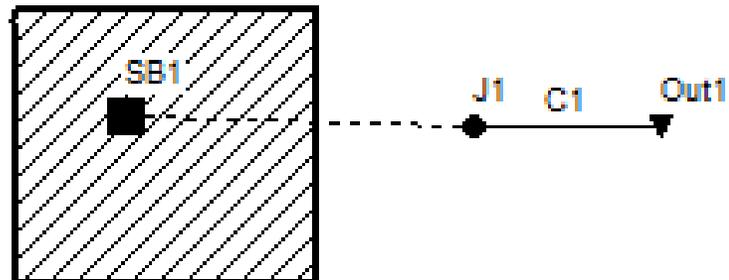
TIME PATTERNS

MAP LABEL



HYDROLOGY:

- Rain gage (pluviometro)
- Sottobacini



HYDRAULICS:

- **Nodi**
 - Junctions
 - Outfalls
 - Dividers
 - Storage units
- **Links**
 - Conduits
 - Pumps
 - Orificers
 - Weirs
 - Outlets

HORTON

1933 – il valore di infiltrazione tende nel tempo ad un valore asintotico

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) * e^{(-a*t)}$$

GREEN - AMPT

1911 – l'infiltrazione è funzione del contenuto di umidità nel suolo

$$F(t) = K_s + \psi_s * \theta_d * \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\psi_s * \theta_d} \right)$$
$$\theta_d = \theta_s - \theta_i$$

SCS-CN: Soil Conservation Service – Curve Number

1972 – il valore di infiltrazione dipende da tipologia, contenuto di umidità e uso del suolo

$$P_n(t) = \frac{(P(t) - I_a)^2}{P(t) - I_a + S}$$

Suolo asciutto

$$CN(I) = \frac{4,2 * CN(II)}{10 - 0,058 * CN(II)}$$

Suolo umido

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0,13 * CN(II)}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

STEADY STATE

Semplice traslazione dell'idrogramma da monte a valle della condotta, senza alcun ritardo e senza modifiche della forma. Somma i contributi di tutti i sottobacini nel tempo.

KINEMATIC WAVE

Nell'equazione del moto vengono trascurati i contributi di inerzia e pressione. La propagazione del moto è assunta formata da una successione di step di condizioni lentamente variabili nello spazio e nel tempo che non attenuano l'onda ma ne modificano di volta in volta la forma. È usato soprattutto quando il flusso non è dendritico ossia quando non ci sono più deflussi dallo stesso nodo.

DYNAMIC WAVE

Metodo di calcolo più completo e complesso, permette di simulare gli effetti di rigurgito, interferenze in prossimità di confluenze, deflussi in pressione, inversioni di flusso e accumulo. Richiede la calibrazione di una serie di parametri e tempi di calcolo più lunghi. Permette di simulare qualsiasi condizione di moto.

OPTIONS:

- **General:**
 - Tipi processo
 - ✓ Rainfall/runoff
 - ✓ Flow routing
 - Metodi infiltrazione
 - ✓ Horton
 - ✓ Green-Ampt
 - ✓ SCS-CN
 - Metodi routing
 - ✓ Kinematic wave
- **Dates**
- **Time steps**

HYDROLOGY:

- **Rain gage**
 - Formato (intensità, cumulativo, volume)
 - Intervallo dati
 - Sorgente (time series, file esterno)
- **Sottobacini**
 - Pluviometro
 - Outlet
 - Area [ha]
 - Width [m]
 - Pendenza [%]
 - Impermeabilizzazione [%]
 - Coefficienti scabrezza
 - Depressioni superficiali
 - %Zero-Imperv
 - Metodo infiltrazione e parametri

SUMMARY:

Runoff sottobacini (Precipitazione, evaporazione, infiltrazione, coefficiente runoff, ...)

Node depth

Node inflow

Link flow

Outfall loading

LID performance

+ Conduit surcharge

Node flooding

GRAPH:

Profili

Time series

Scatter (grafico XY)

TABLE:

Per oggetto (tutte le variabile di un oggetto)

Per variabile (stessa variabile per oggetti diversi)

ESEMPI GENERALI

Variazione idrogrammi in base a tipologia precipitazione e metodi di infiltrazione

TIPOLOGIA PRECIPITAZIONE:

- Rettangolare (costante)
- Triangolare
- Chicago

METODI INFILTRAZIONE:

- Horton
- Green-Ampt
- SCS-CN

1) Metodo infiltrazione (Horton) fisso, ietogramma variabile

2) Ietogramma (costante) fisso, metodo di infiltrazione variabile

<http://idro.arpalombardia.it>

Legenda

Parametri 1-24 ore

A1 - Coefficiente pluviometrico orario

- < 16 mm
- 16 - 18 mm
- 18 - 20 mm
- 20 - 22 mm
- 22 - 24 mm
- 24 - 26 mm
- 26 - 28 mm
- 28 - 30 mm
- 30 - 32 mm
- > 32 mm

N - Coefficiente di scala

GEV - parametro alpha

GEV - parametro kappa

GEV - parametro epsilon

H (mm) x durate 1-24 ore

durate 1-24 ore

Stazioni Progetto STRADA

Massimi annuali di Precipitazione 1-2

Parametri 1-5 giorni

A1 - Coefficiente pluviometrico orario

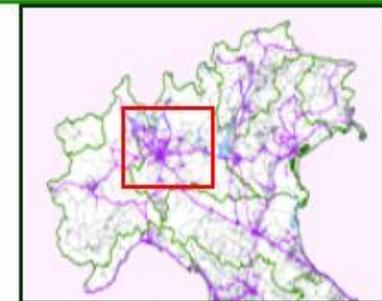
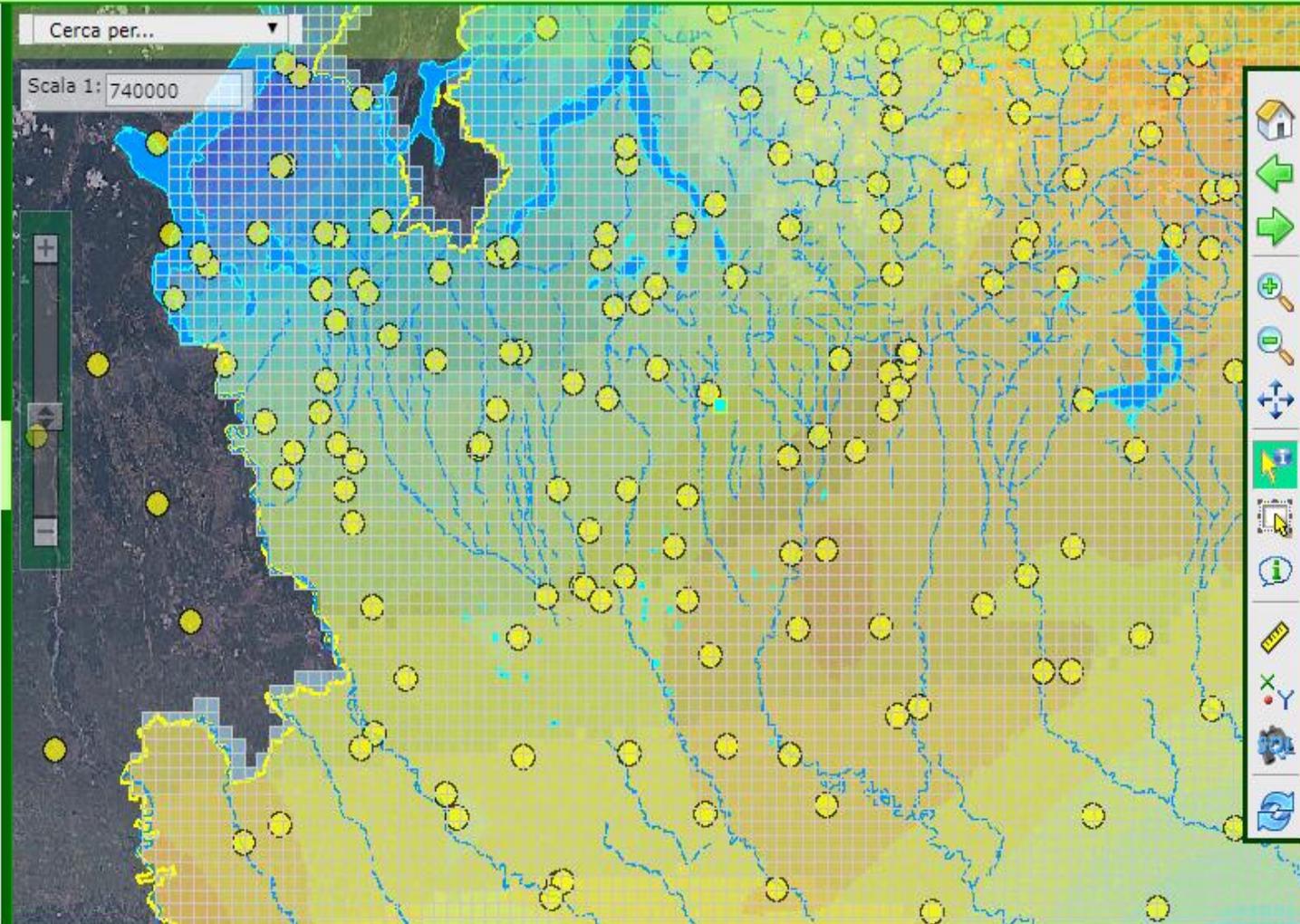
N - Coefficiente di scala

W2 - Tempo di ritorno 2 anni

W5 - Tempo di ritorno 5 anni

W10 - Tempo di ritorno 10 anni

W20 - Tempo di ritorno 20 anni



- Ultimi dati registrati
- Precipitazione - accesso ai dati
- Temperatura - accesso ai dati
- Livello idrometrico - accesso ai dati
- Altezza neve - accesso ai dati
- Dati storici - rete meccanica
- Colmi e Portate - P.FLORA
- Linee segnalatrici 1-24 ore - P.STRADA
 - Parametri 1-24 ore **i**
 - H (mm) x durate 1-24 ore
 - Stazioni Progetto STRADA
- Linee segnalatrici 1-5 giorni
 - Parametri 1-5 giorni **i**
- Idrologia
- Bilancio idrico
- Trasporto solido
- Dati amministrativi

X: 1536947 Y: 5047212

[Calcolo linea segnalatrice](#)

[Download Bollettini](#)

[Archivio cartaceo](#)

[Form download dati](#)

[Download mappe e link](#)

Legenda

Parametri 1-24 ore

A1 - Coefficiente pluviometrico orario

- 1
- 1
- 2
- 2
- 2
- 2
- 2
- 3
- 3
- 3

Risultato

Livello: Parametri 1-24 ore

Parametro	Valore
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	30.860001
N - Coefficiente di scala	0.3055
GEV - parametro alpha	0.2951
GEV - parametro kappa	-0.0251
GEV - parametro epsilon	0.82169998

Esporta risultato come

File Modifica Formato Visualizza ?

```

"#, ""Parametro"", ""Valore""
"r, ""A1 - Coefficiente pluviometrico orario"", ""30.860001""
"r, ""N - Coefficiente di scala"", ""0.3055""
"r, ""GEV - parametro alpha"", ""0.2951""
"r, ""GEV - parametro kappa"", ""-0.0251""
"r, ""GEV - parametro epsilon"", ""0.82169998""
  
```

GEV - parametro epsilon



Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località:

Coordinate:

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni)

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	30.86
N - Coefficiente di scala	0.3055
GEV - parametro alpha	0.2951
GEV - parametro kappa	-0.0251
GEV - parametro epsilon	0.82169998

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:

- <http://idro.arpalombardia.it/manual/lsp.pdf>
- http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

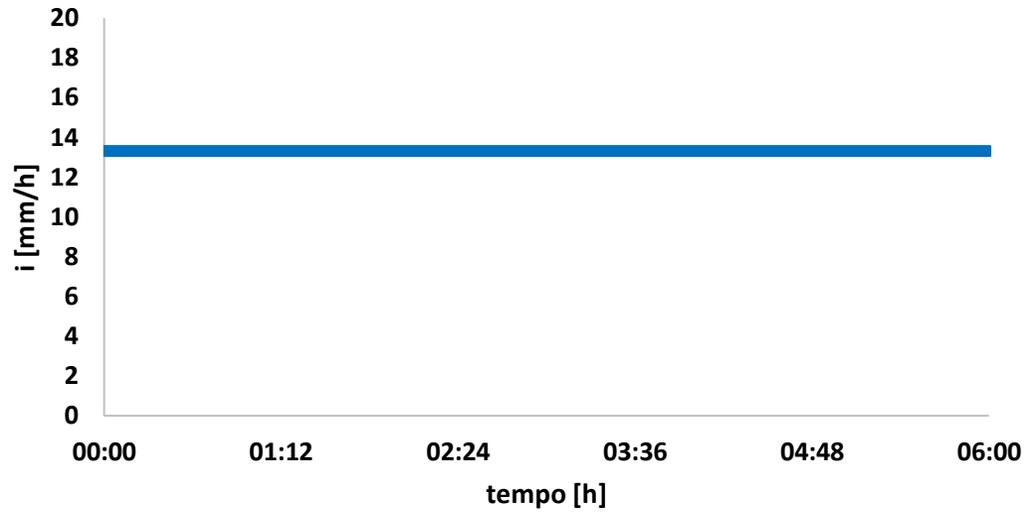
Tr	2	5	10	20	50	100	200	15
wT	0.93036	1.27277	1.50490	1.73170	2.03144	2.26068	2.49312	1.63780275
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 15 anni
1	28.7	39.3	46.4	53.4	62.7	69.8	76.9	50.5425929
2	35.5	48.5	57.4	66.0	77.5	86.2	95.1	62.4629054
3	40.2	54.9	65.0	74.8	87.7	97.6	107.6	70.6997798

TIME SERIES:

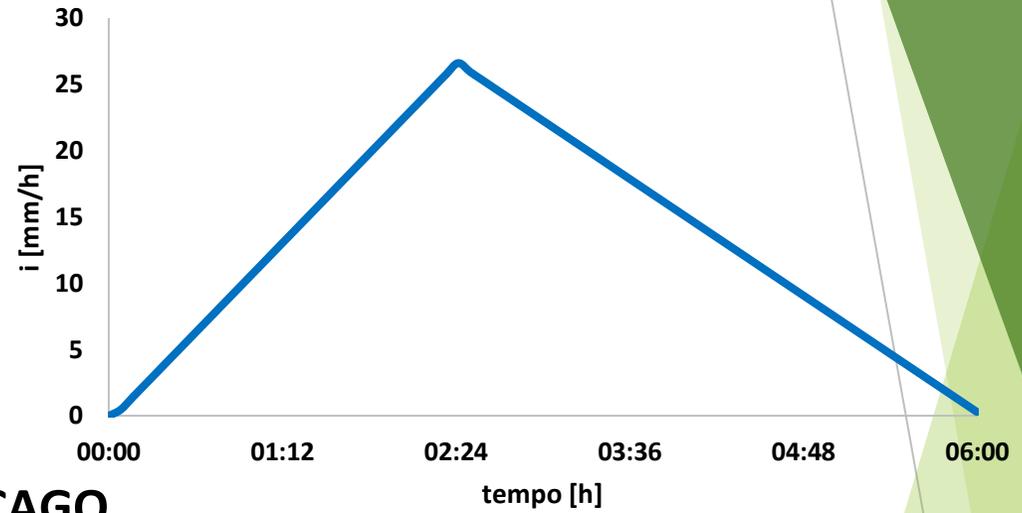
Da sito ARPA, zona nord Milano: $a=46.32672$ mm/h, $n=0.3035$

$\Theta = 6$ ore, $TR = 10$ anni ≈ 80 mm
 $\Delta t = 5$ minuti, $K = 0.4$

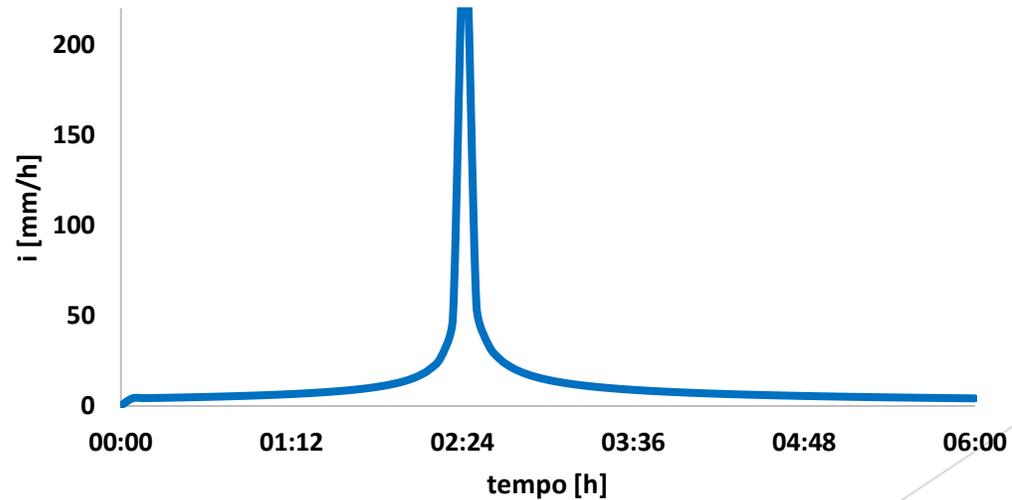
RETTANGOLARE



TRIANGOLARE



CHICAGO



Pluviometro	
Formato	Intensità
Intervallo	0:05
Sorgente	<i>nome time series</i>
Sottobacino	
Pluviometro	<i>nome pluviometro</i>
Outlet	<i>nome outlet</i>
Area [ha]	5
Width [m]	100
Pendenza [%]	0.5
Area impermeabilizzata [%]	75
Metodo infiltrazione	<i>nome metodo</i>

Nodi	
Junctions	
Quota [m]	120
Outfalls	
Quota [m]	119
Links	
Conduits	
Inlet node	<i>nome inlet</i>
Outlet node	<i>nome outlet</i>
Forma e dimensioni	Circolare (D=1m)
Max depth [m]	1
Lunghezza [m]	200

OPTIONS:

- **General:**

- Tipi processo
 - ✓ Rainfall/runoff
 - ✓ Flow routing
- Metodi infiltrazione
 - ✓ Horton
 - ✓ Green-Ampt
 - ✓ SCS-CN
- Metodi routing
 - ✓ Kinematic wave

- **Dates**

Inizio simulazione: 05/31/2021 00:00
Fine simulazione: 05/31/2021 12:00
Inizio report: 05/31/2021 00:00

- **Time steps**

Reporting step: 00:10:00
Runoff step: 00:01:00

PARAMETRI INFILTRAZIONE:

Tipo suolo: sabbioso, gruppo suolo B

Uso suolo: residenziale denso

HORTON	
Infiltrazione massima f_0 [mm/h]	200
Infiltrazione minima f_c [mm/h]	12.7
Costante a [1/h]	2
GREEN-AMPT	
Suzione ψ [mm]	49.022
Conduktività K_s [mm/h]	120.396
Initial deficit $\theta_d = \theta_s - \theta_i$	0.2
CURVE NUMBER	
CN	85

IDROGRAMMI

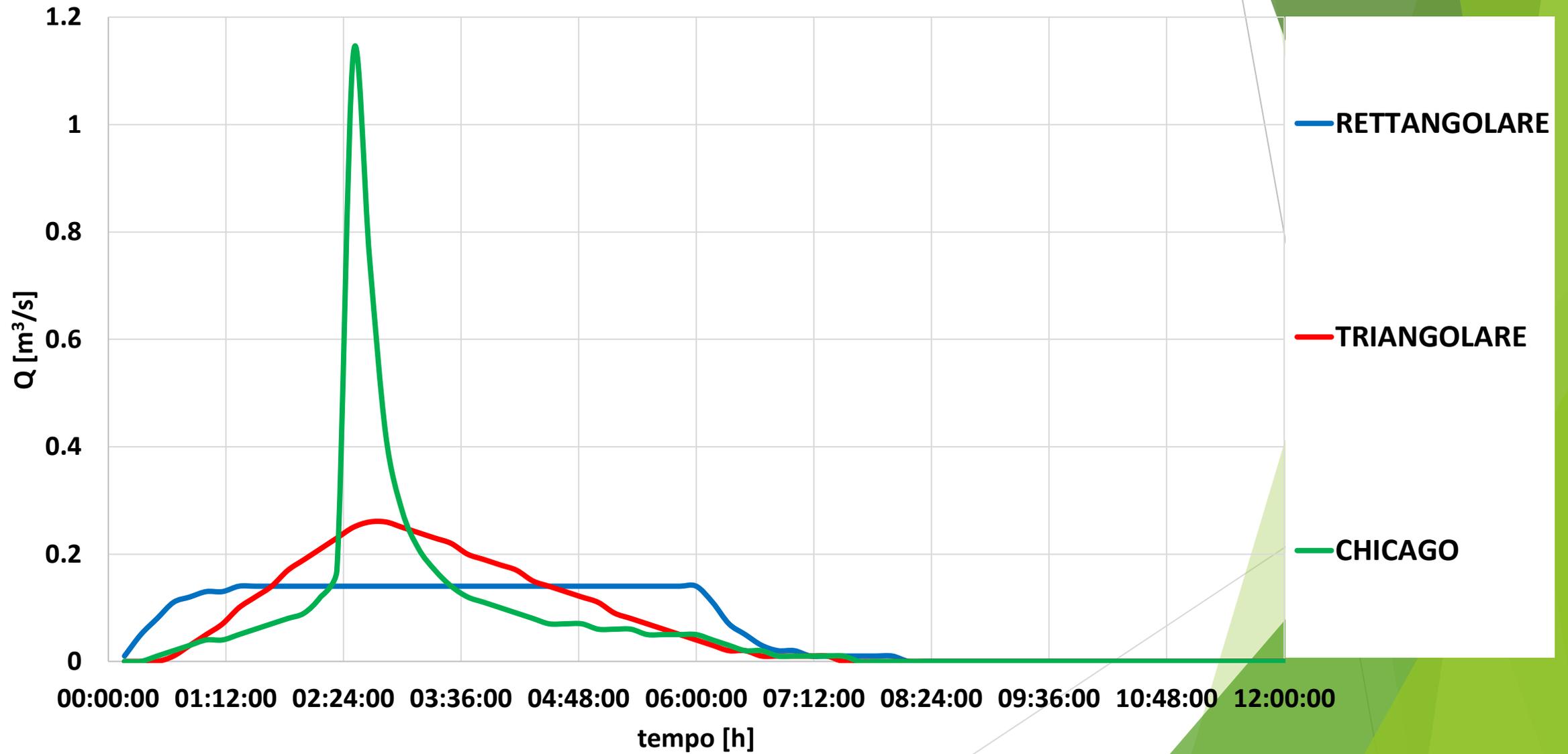


TABELLA PARAMETRI

IETOGRAMMA	Infiltrazione totale [mm]	Runoff totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]
RETTANGOLARE	20.0	59.7	59.7	0.00
TRIANGOLARE	20.0	59.7	59.7	0.00
CHICAGO	19.8	59.7	59.9	0.16

IETOGRAMMA	Volume totale [10^6 l]	Portata di picco [m^3/s]	Coeff. runoff
RETTANGOLARE	2.99	0.14	74.8%
TRIANGOLARE	2.99	0.26	74.8%
CHICAGO	2.99	1.45	75.1%

	RETTANGOLARE	TRIANGOLARE	CHICAGO
Velocità max [m/s]	1.60	1.89	3.02

IDROGRAMMI

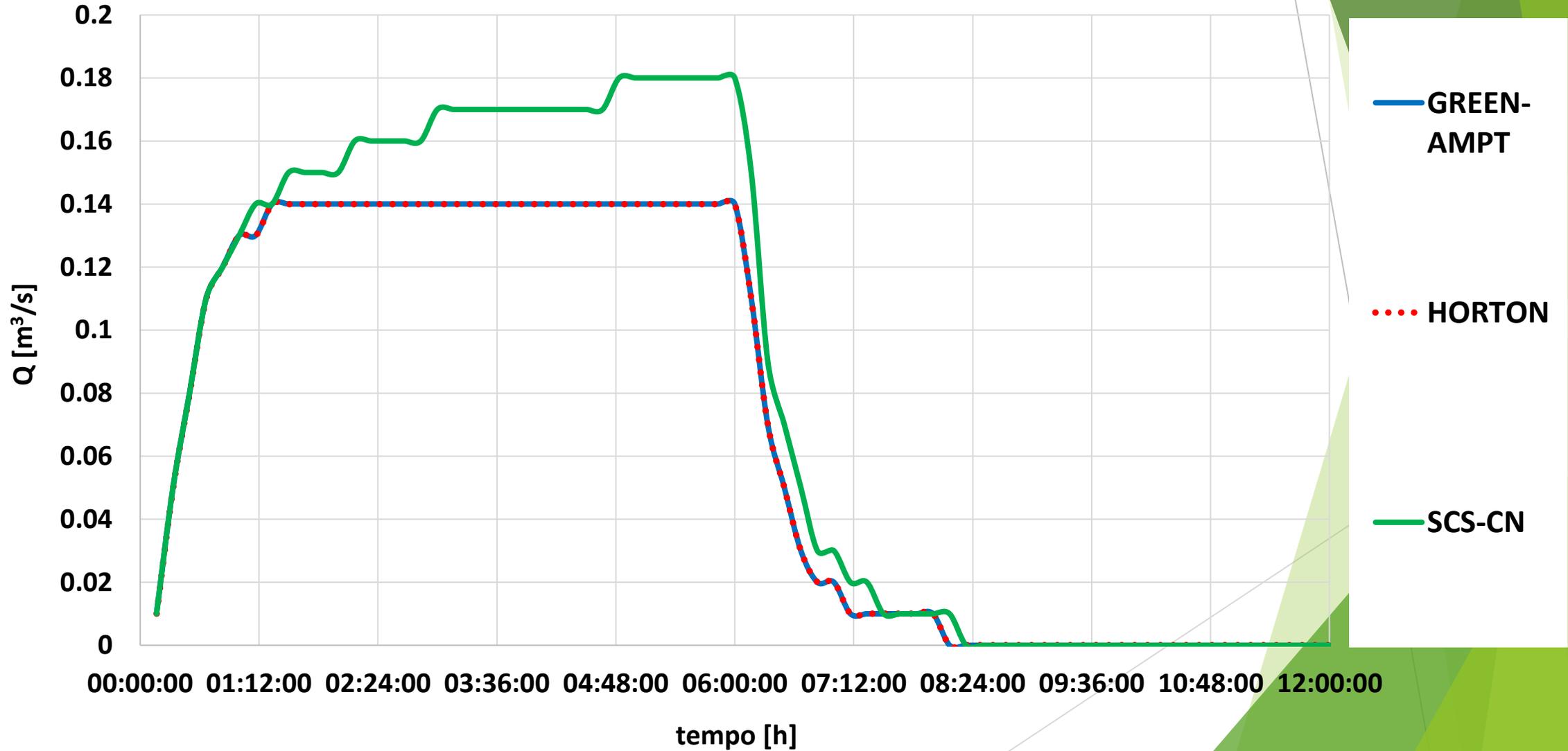


TABELLA PARAMETRI

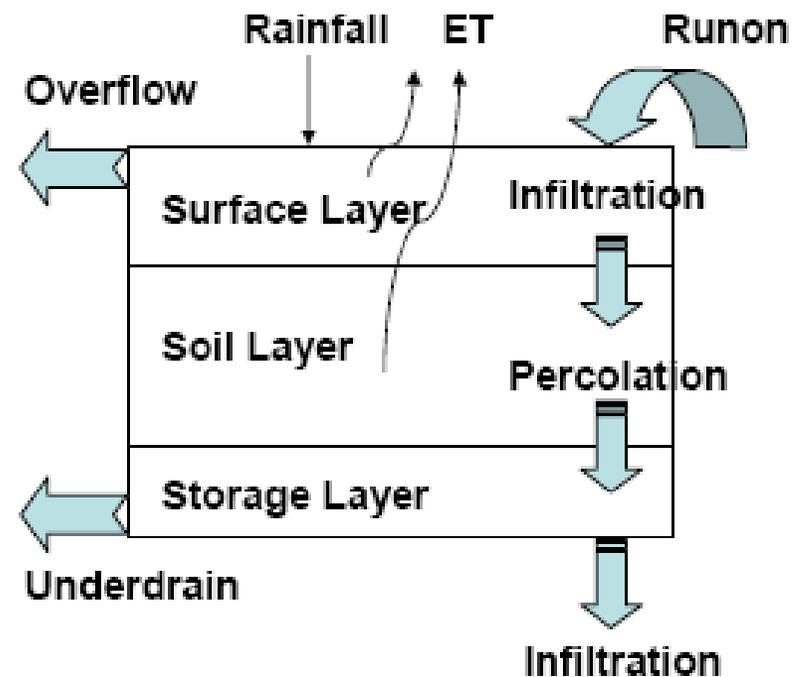
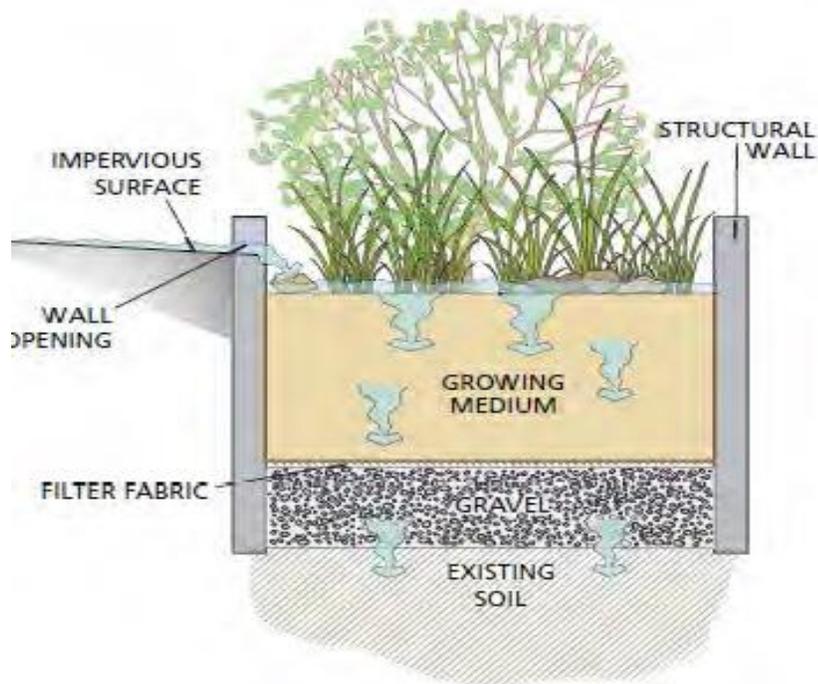
METODO INFILTRAZIONE	Infiltrazione totale [mm]	Runoff totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]
HORTON	20.0	59.7	59.7	0.00
GREEN-AMPT	20.0	59.7	59.7	0.00
SCS-CN	8.0	72.5	59.7	11.8

METODO INFILTRAZIONE	Volume totale [10^6 l]	Portata di picco [m^3/s]	Coeff. runoff
HORTON	2.99	0.14	74.8%
GREEN-AMPT	2.99	0.14	74.8%
SCS-CN	3.18	0.18	89.5%

	Horton	Green-Ampt	SCS-CN
Velocità max [m/s]	1.60	1.60	1.72

MODELLAZIONE CON SUDS

SUDS: Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile (in SWMM LID-Low Impact Development)

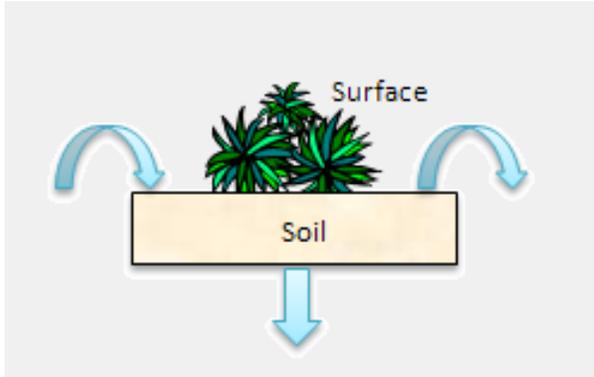


I SUDS sono rappresentati da strati sovrapposti (surface layer, soil layer e storage layer). SWMM risolve ad ogni passo temporale un set di equazioni di continuità' per ciascuno strato che rappresenta il cambiamento di contenuto d'acqua.

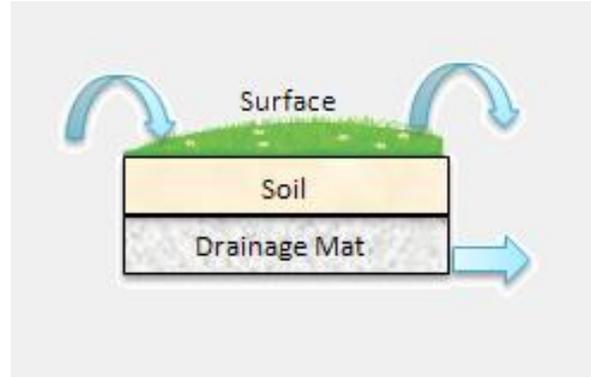
ipotesi:

- distribuzione uniforme del contenuto di umidità'
- distribuzione uniforme dell'inflow sulla superficie
- moto verticale 1D dell'acqua

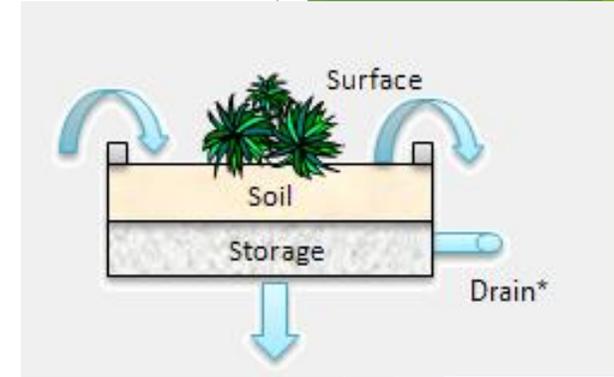
Rain garden



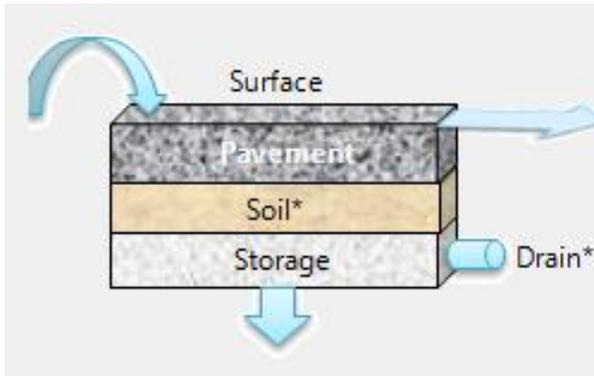
Tetti verdi



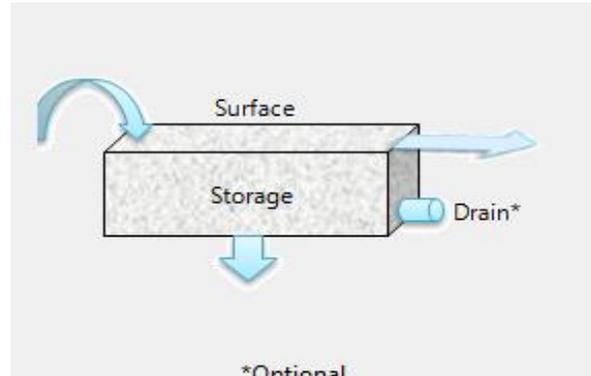
Aree di bioritenzione



Parcheggi permeabili

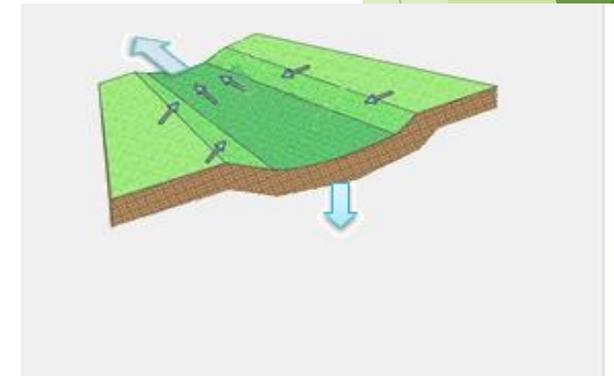


Trincee infiltranti



*Optional

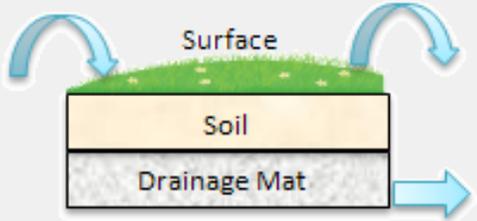
Fossi vegetati



LAYERS				
Surface	Pavement	Soil	Storage	Drainage
Berm height [mm]	Thickness [mm]	Thickness [mm]	Thickness [mm]	Thickness [mm]
Vegetation volume fraction [%]	Void ratio	Porosity	Void ratio	Void ratio
Roughness	Permeability [mm/h]	Field capacity	Seepage rate [mm/h]	Roughness
Slope [%]		Wilting point		
		Conductivity [mm/h]		

Control Name:

LID Type:



Surface | Soil | Drainage Mat

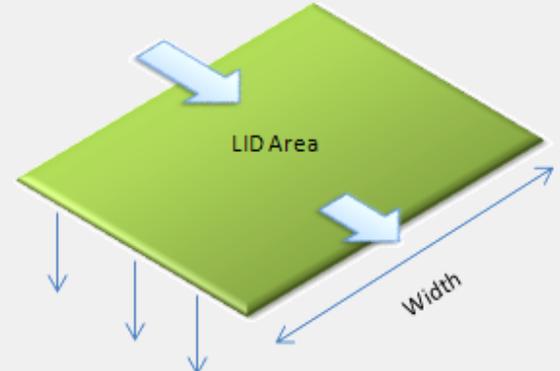
Berm Height (in. or mm)

Vegetation Volume Fraction

Surface Roughness (Mannings n)

Surface Slope (percent)

LID Control Name



Detailed Report File (Optional)

LID Occupies Full Subcatchment

Area of Each Unit (sq ft or sq m)

Number of Units

% of Subcatchment Occupied 3.705

Surface Width per Unit (ft or m)

% Initially Saturated

% of Impervious Area Treated

% of Pervious Area Treated

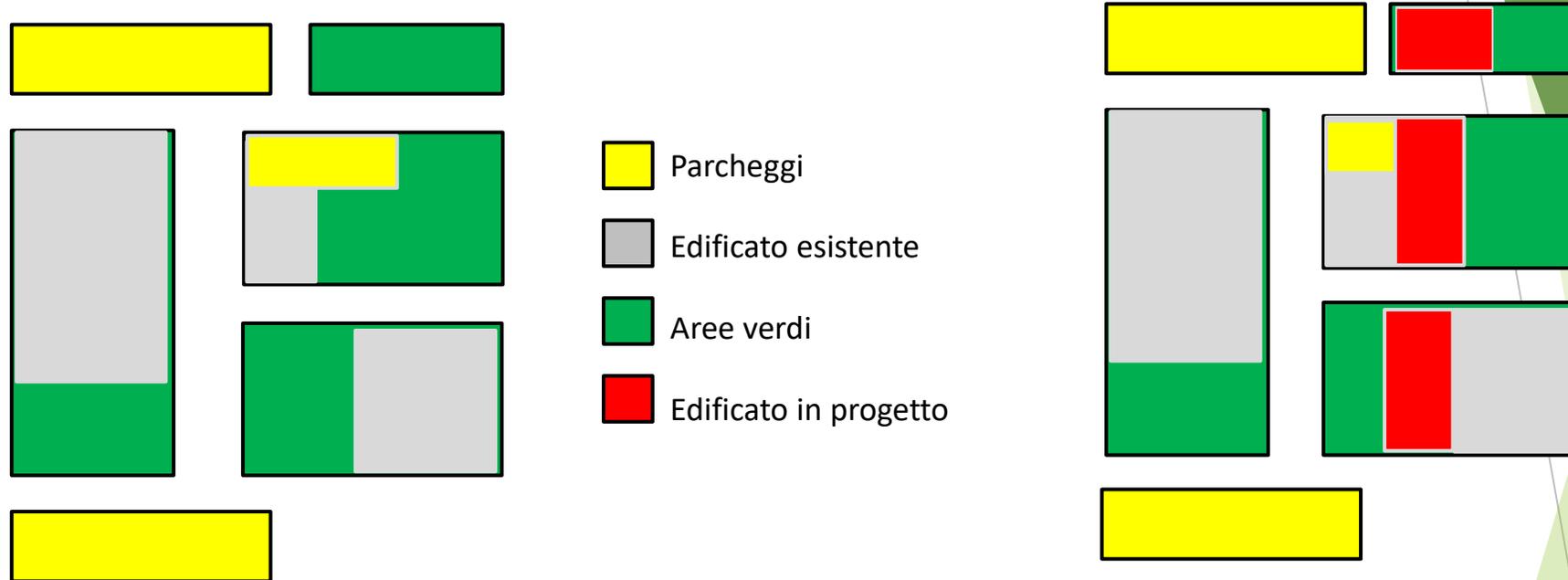
Send Drain Flow To:
(Leave blank to use subcatchment outlet)

Return all Outflow to Pervious Area

Strato	Parametro	Area bioritenzione	Rain garden	Tetto verde	Trincee	Parcheggi permeabili	Fossi vegetati
Surface	Berm [mm]	150-300	150-300	0-75	0-300	0-2.5	150-600
Soil	Spessore [mm]	400-1200	400-1200	50-200	-	100-300	-
	Conduttività [mm/h]	<u>110</u>	<u>110</u>	<u>10</u>	-	<u>750</u>	-
Pavement	Spessore [mm]	-	-	-	-	50-150	-
	Conduttività [mm/h]	-	-	-	-	<u>1000</u>	-
Storage	Spessore [mm]	150-900	-	-	150-3600	150-900	-
	Conduttività [mm/h]	<u>12</u>	<u>12</u>	-	<u>12</u>	<u>12</u>	-

Permeabilità:

- Soil e Pavement: variabile
- Storage: da suolo nativo



	Stato attuale [m ²]	Stato progetto [m ²]	Variazione %
Parcheggi	6620	5929	-10%
Edifici	5580	9151	+64%
Strade e marciapiedi	2600	2600	-
Aree verdi	9700	6830	-30%

Scelte progettuali

Scelte progettuali:

- Metodo infiltrazione: Horton
- Tipologia suolo: suolo con buona permeabilità (gruppo B)
- Metodo routing: onda cinematica
- Evapotraspirazione: costante (2 mm/giorno) per simulazione eventi singoli, differenziato per simulazioni in continuo
- Precipitazioni:
 - Evento singolo
 - Durata 6 ore, TR 10, ietogramma Chicago (totale pioggia: 80 mm)
 - Durata 24 ore TR 10, ietogramma rettangolare (totale pioggia: 121.5 mm)
 - Simulazione in continuo:
 - Intero anno 2015 (totale pioggia: 778 mm)

Obiettivo:

Valutare effetto SUDS su:

- riduzione volumi e portate in uscita
- coefficiente runoff
- forma idrogramma uscente
- massima velocità nella rete

Altro:

- Tipologie SUDS: parcheggi permeabili, tetto verde, aree di bioritenzione, fossi vegetati
- Wetland: 800 m³

Per scenario migliore ulteriori simulazioni:

- Durata 6 ore, TR 50, ietogramma Chicago (totale pioggia: 108 mm)
- Durata 24 ore TR 50, ietogramma rettangolare (totale pioggia: 164 mm)

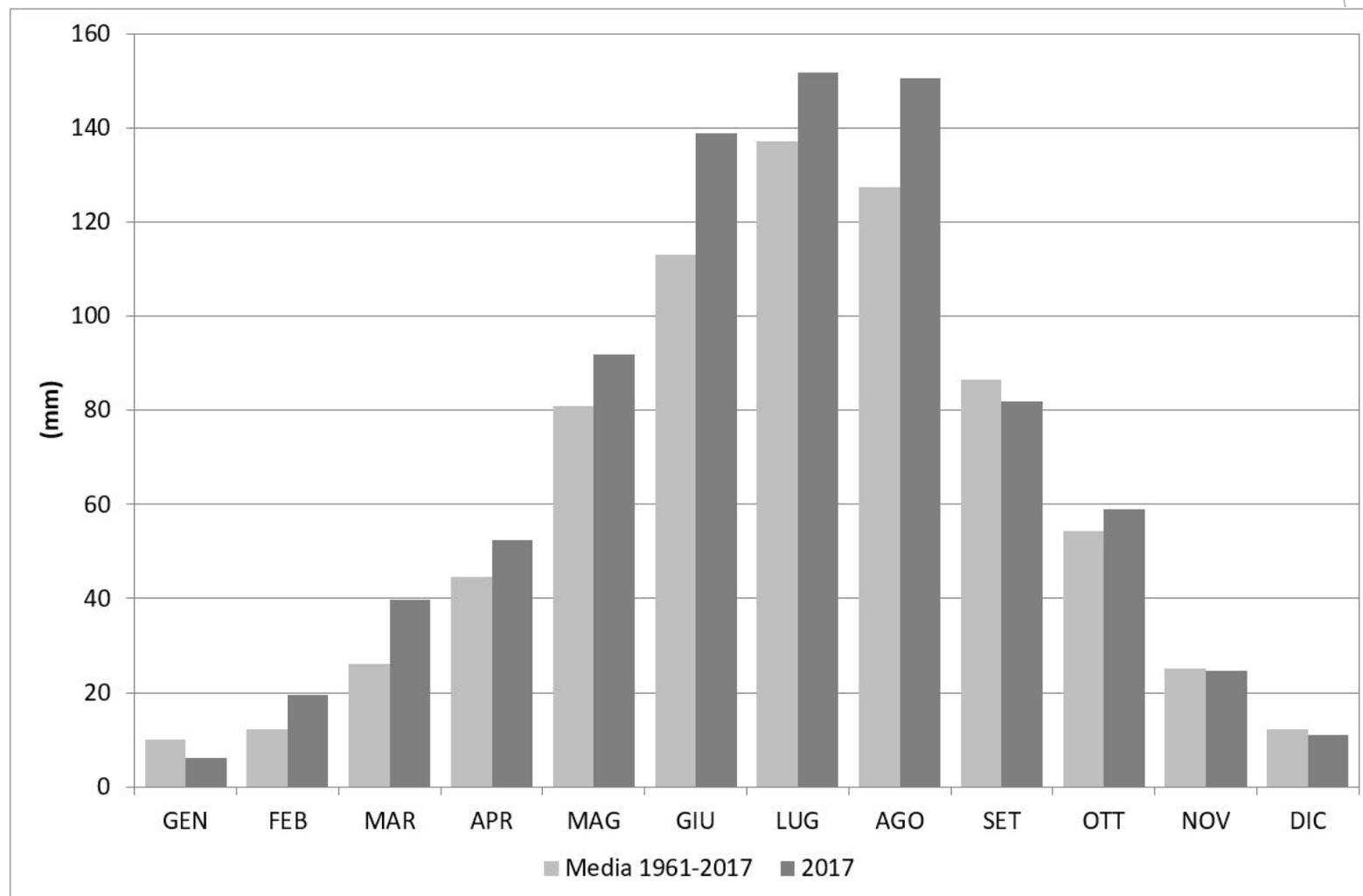
Confronto tipologie SUDS (LID performance):

- Precipitazione:
Durata 6 ore, TR 10, ietogramma Chicago (totale pioggia: 80 mm)
- SUDS a confronto per lo stesso sottobacino: parcheggi permeabili, aree di bioritenzione, rain garden, fosso vegetato

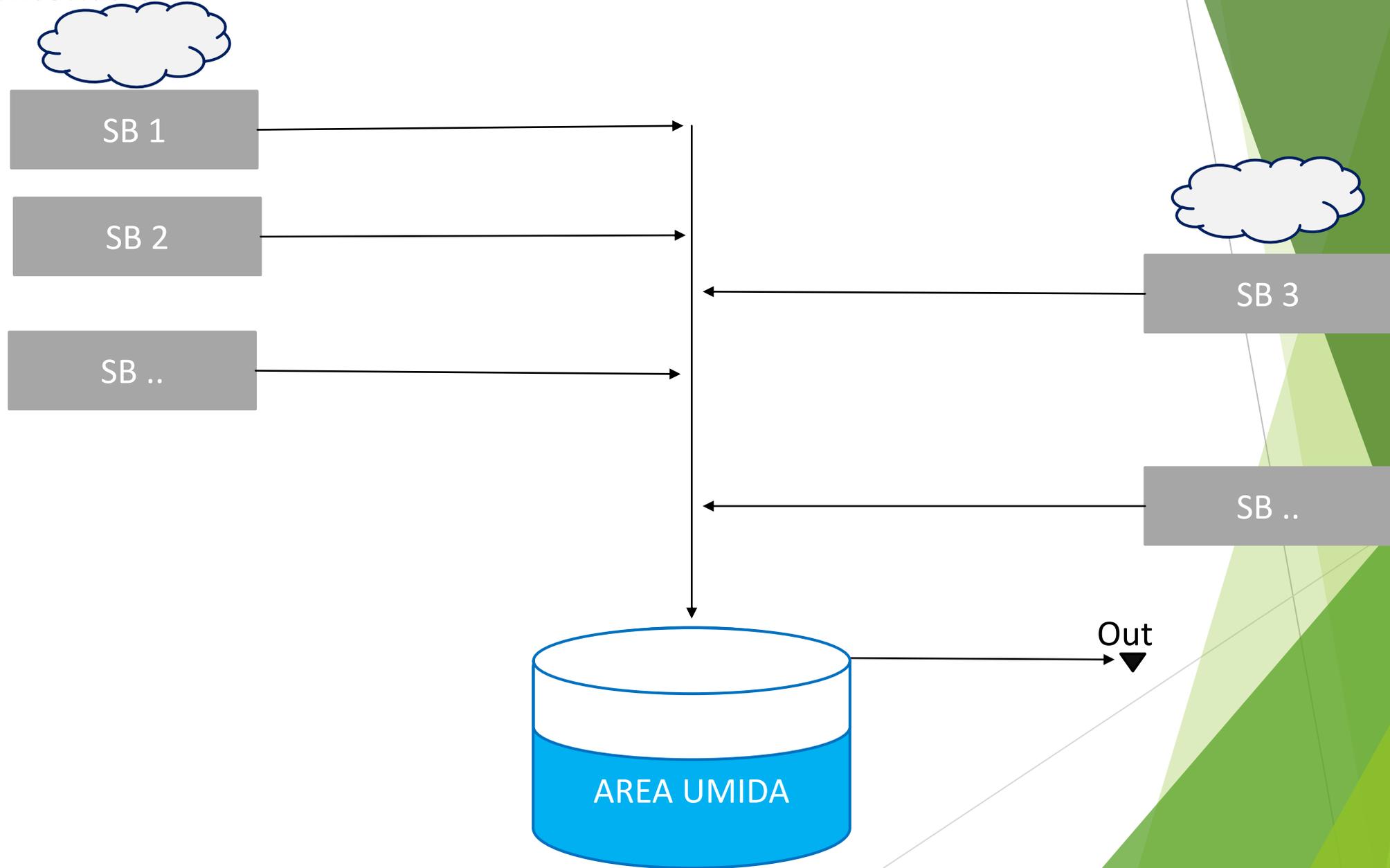
Evapotraspirazione

Thornthwaite: $ET_0 = 16 * a * (10 * T_i / b)^{c^c}$

a,b,c=coefficienti dipendenti da temperatura media mensile (T_i),
e dalla latitudine



Modello concettuale



Scenari

- 1) Stato attuale
- 2) Stato di Progetto (senza SUDS)
- 3) Solo aree di bioritenzione (5% aree impermeabili)
- 4) Varie tipologie di SUDS (Parcheggi Permeabili, Tetto Verde, Aree di Bioritenzione, Fossi Vegetati)
- 5) Solo area umida (wetland)
- 6) Parcheggi Permeabili, Tetto Verde, Aree di Bioritenzione, Fossi Vegetati + area umida (wetland)

ID	Scenario	Area impermeabile	
		(m ²)	(%)
S1	Stato attuale	14800	60.4
S2	Stato di Progetto (senza SUDS)	17680	72.1
S3	Solo aree di bioritenzione (5% aree impermeabili)	17277	70.5
S4	Varie tipologie di SUDS (PP, TV, BIO, FV)	9350	38.1
S5	Solo area umida	17680	72.1
S6	PP, TV, BIO, FV+ area umida	9350	38.1

Area totale (24500m²)

Q max uscente per Regolamento Invarianza Idraulica

Stato attuale

Superficie impermeabile [ha]=1.48

- Alta criticità (10 l/s/ha_{imp}) → 14.8 l/s
- Media criticità (20 l/s/ha_{imp}) → 29.6 l/s

Stato progetto

Superficie impermeabile [ha]= 1.77

- Alta criticità (10 l/s/ha_{imp}) → 17.7 l/s
- Media criticità (20 l/s/ha_{imp}) → 35.4 l/s

Risultati S1 e S2

Chicago, 6 h, TR 10

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	3.4	200	432	3.7	436
PROGETTO	4.0	133	499	3.2	502

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.19	1032.5	2.61	60.7%
PROGETTO	1.41	1210.8	2.75	72.3%

Rettangolare, 24 h, TR 10

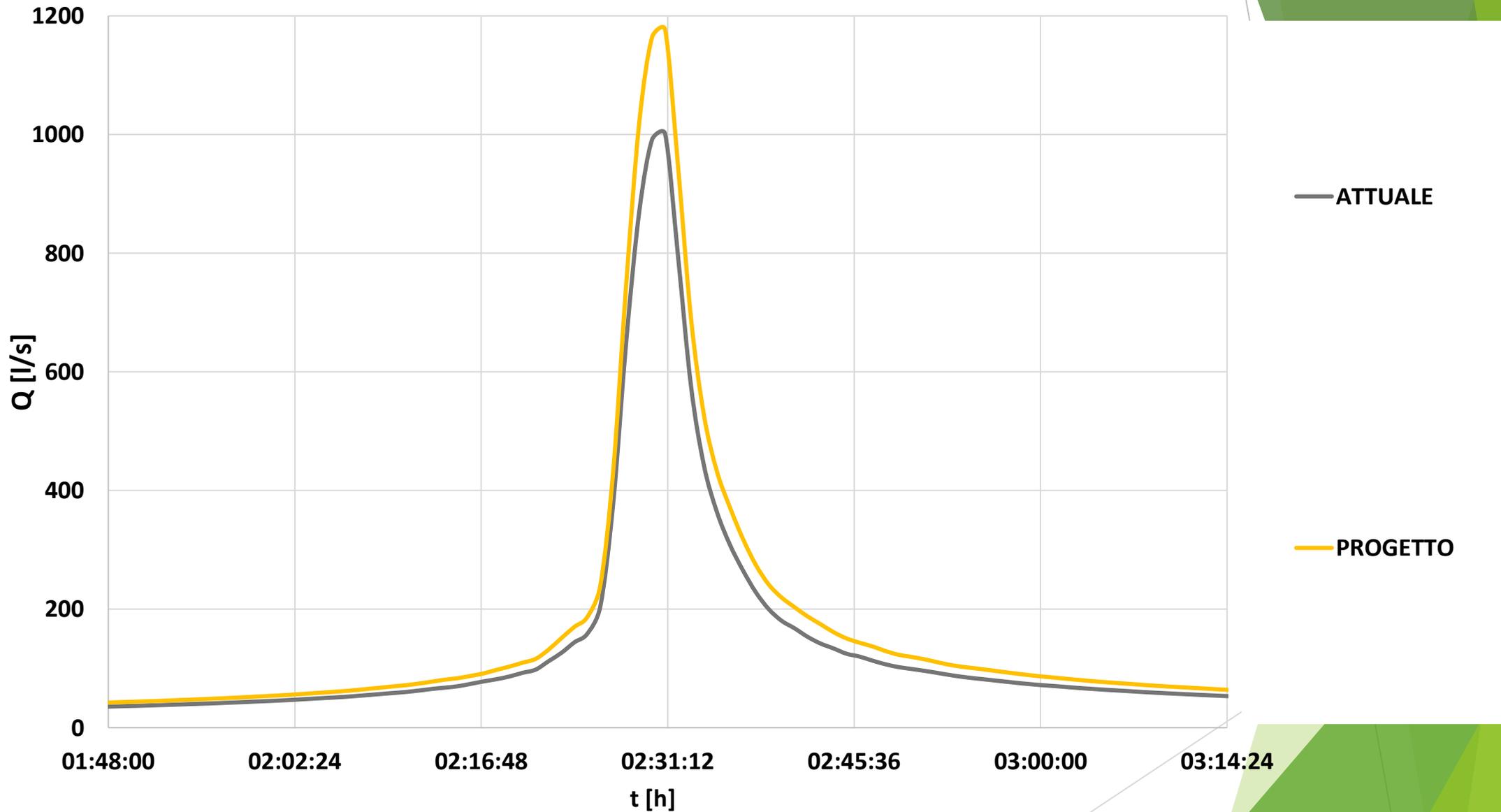
SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	11.6	310	651	0	651
PROGETTO	13.4	208	751	0	751

SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.768	20.5	0.82	59.3%
PROGETTO	2.111	24.5	0.87	70.9%

Anno 2015

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	282	1984	3962	0	3962
PROGETTO	328	1329	4571	0	4571

SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	10.748	94.7	1.31	56.3%
PROGETTO	12.822	113.1	1.4	67.2%



Risultati S1 e S3

Chicago, 6 h, TR 10

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	3.4	200	432	3.7	436
BIORITENZIONE	4.0	174	462	4.6	181

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.19	1032.5	2.61	60.7%
BIORITENZIONE	0.52	683.9	2.38	26.9%

Rettangolare, 24 h, TR 10

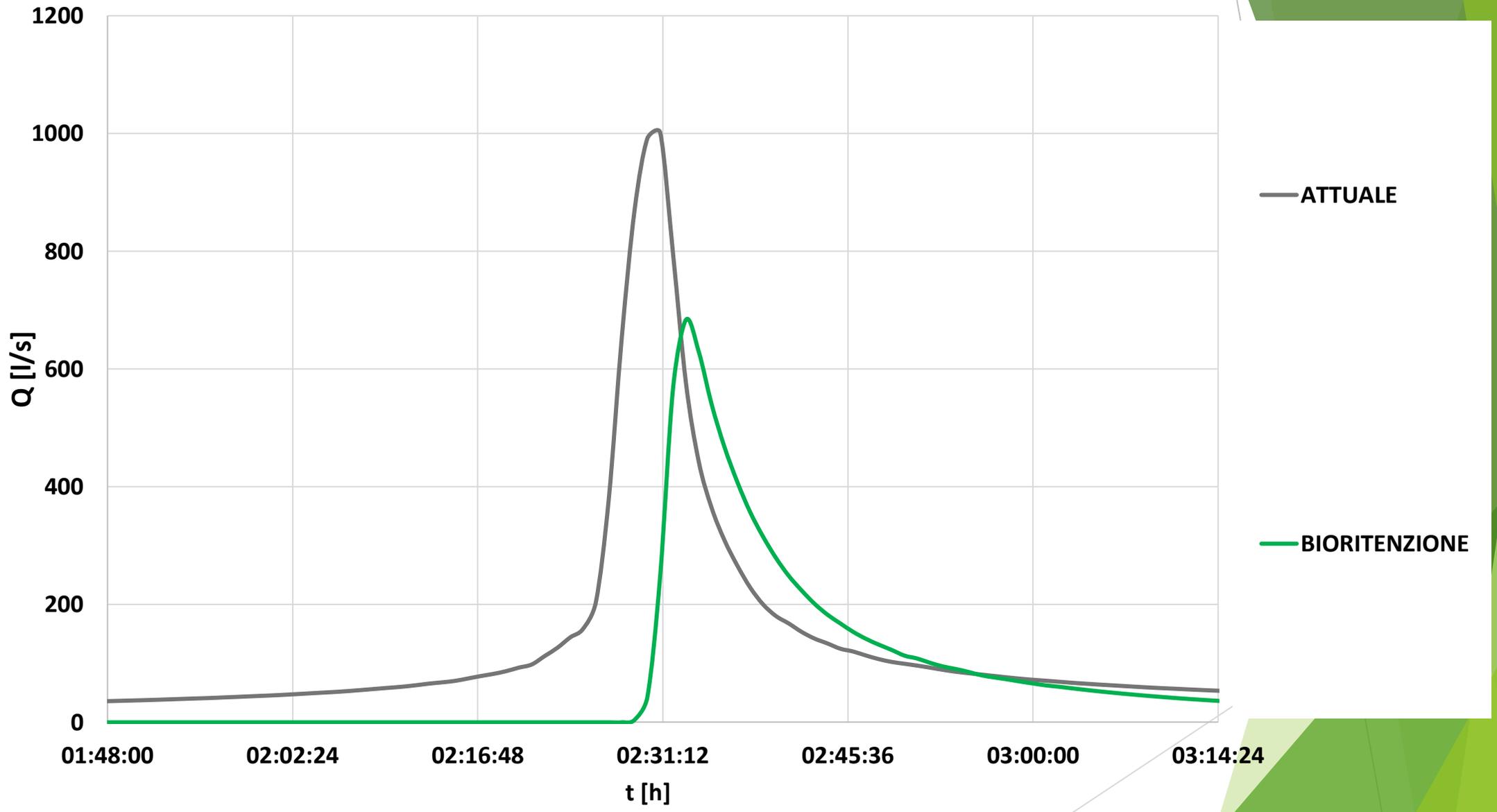
SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	11.6	310	651	0	651
BIORITENZIONE	13.1	342	697	0	328

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.768	20.5	0.82	59.3%
BIORITENZIONE	0.945	21.2	0.84	31.7%

Anno 2015

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	282	1984	3962	0	3962
BIORITENZIONE	514	5571	4239	0	22.2

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	10.748	94.7	1.31	56.3%
BIORITENZIONE	0.071	56.3	1.16	0%



Risultati S1 e S4

Chicago, 6 h, TR 10

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	3.4	200	432	3.7	436
SUDS	4.6	272	250	4.2	178

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.19	1032.5	2.61	60.7%
SUDS	0.32	315.9	2	16.6%

Rettangolare, 24 h, TR 10

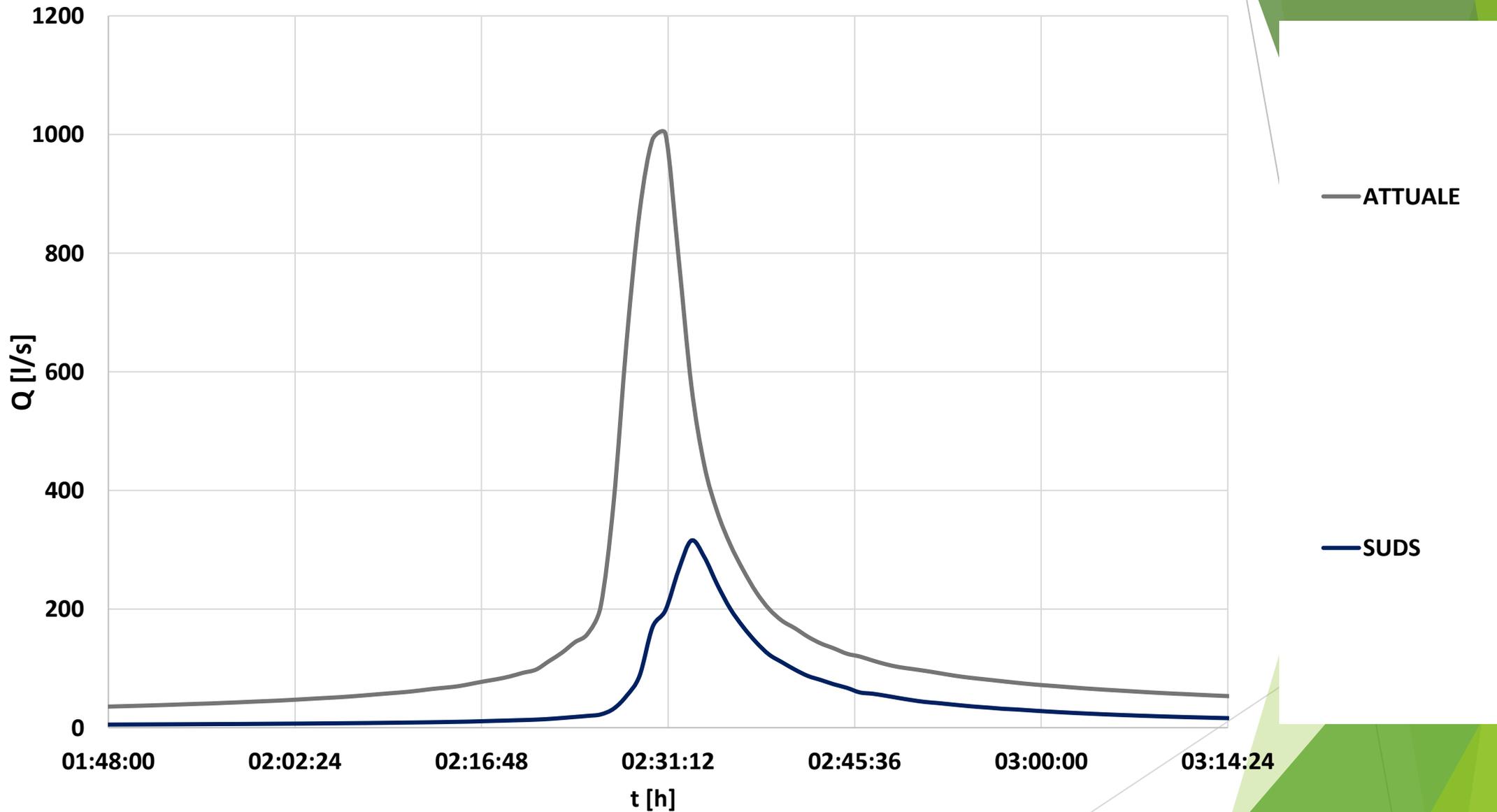
SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	11.6	310	651	0	651
SUDS	14.2	497	377	0	268

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.768	20.5	0.82	59.3%
SUDS	0.5	9.5	0.69	16.7%

Anno 2015

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	282	1984	3962	0	3962
SUDS	1640	3154	2300	0	1371

SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	10.748	94.7	1.31	56.3%
SUDS	1.786	20.5	0.88	9.40%



Risultati S1 e S5

Chicago, 6 h, TR 10

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	3.4	200	432	3.7	436
WETLAND	4	133	499	3.3	502

SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.19	1032.5	2.61	60.7%
WETLAND	0.87	681.5	2.75	44.5%

Rettangolare, 24 h, TR 10

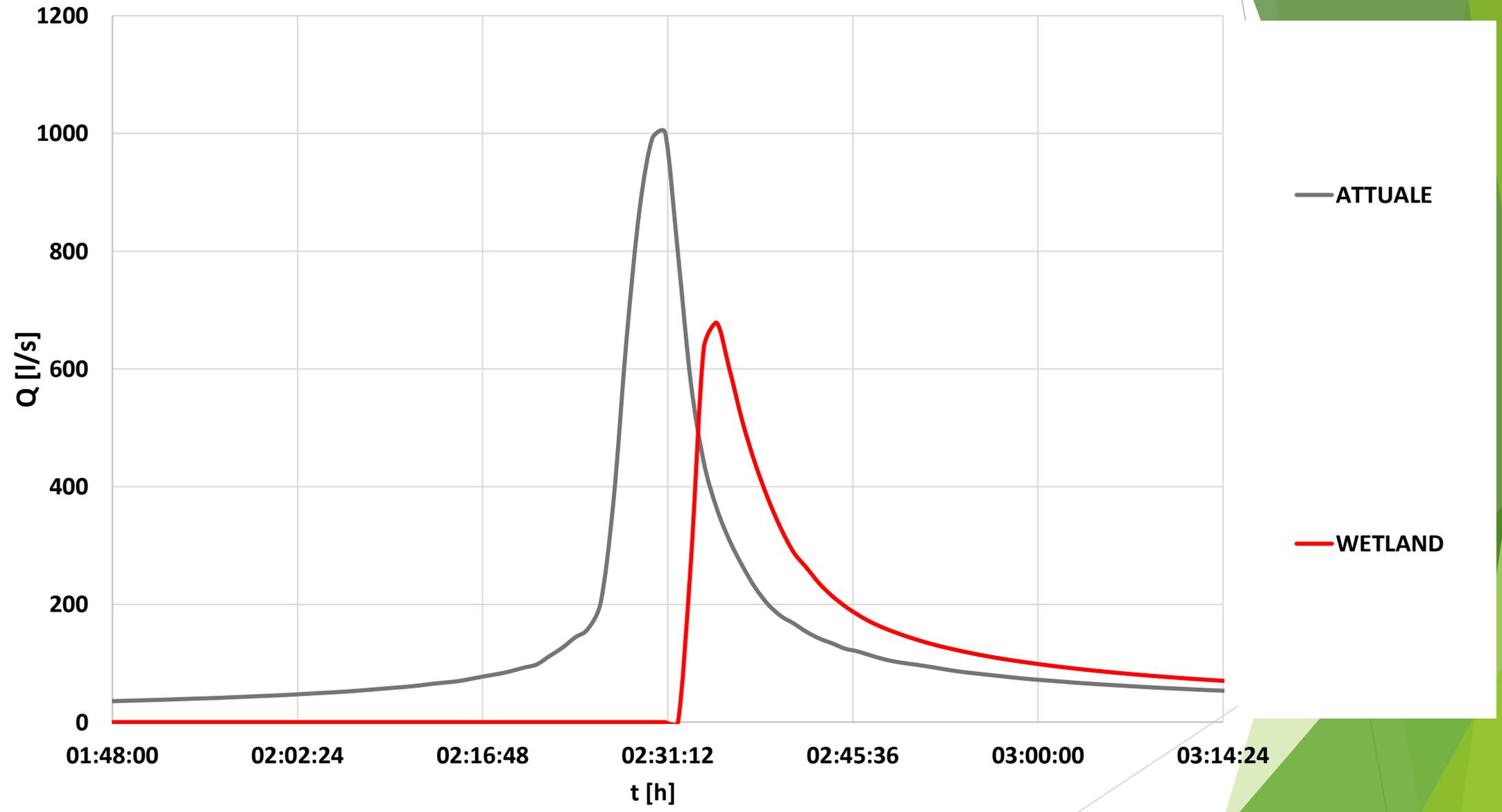
SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	11.6	310	651	0	651
WETLAND	13.4	207	751	0	751

SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.768	20.5	0.82	59.3%
WETLAND	1.564	24.4	0.87	52.5%

Anno 2015

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	282	1984	3962	0	3962
WETLAND	328	1329	4571	0	4571

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	10.748	94.7	1.31	56.3%
WETLAND	4.78	79.0	1.4	25%



Risultati S1 e S6

Chicago, 6 h, TR 10

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	3.4	200	432	3.7	436
SUDS+WETLAND	4.6	272	250	4.2	178

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.19	1032.5	2.61	60.7%
SUDS+WETLAND	0	0	2	0%

Rettangolare, 24 h, TR 10

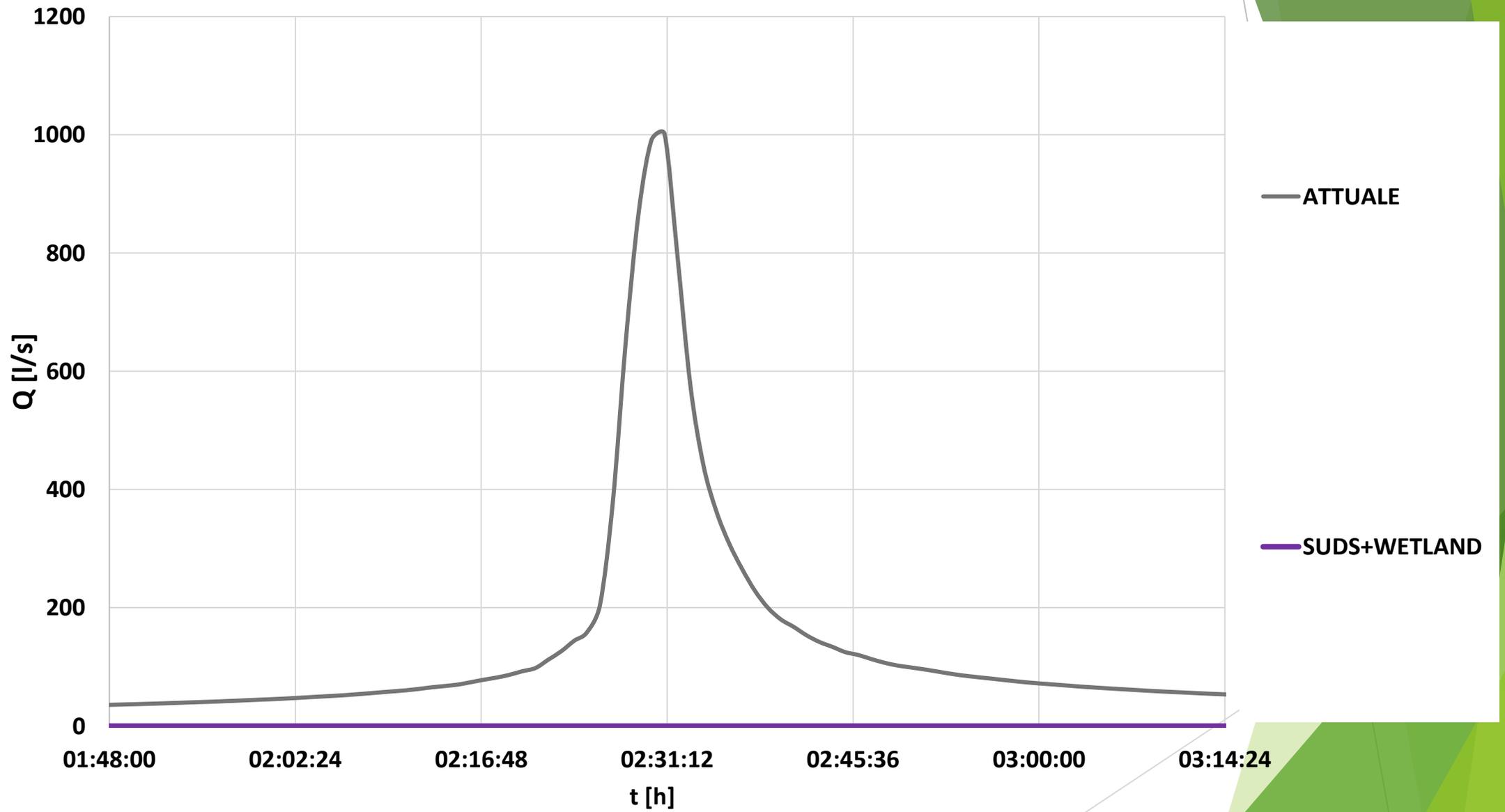
SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	11.6	310	651	0	651
SUDS+WETLAND	14.2	497	377	0	268

SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	1.768	20.5	0.82	59.3%
SUDS+WETLAND	0	0	0.69	0%

Anno 2015

SCENARIO	Evaporazione totale [mm]	Infiltrazione totale [mm]	Impervious runoff [mm]	Pervious runoff [mm]	Runoff totale [mm]
ATTUALE	282	1984	3962	0	3962
SUDS+WETLAND	1640	3154	2300	0	1371

SCENARIO	V [10^6 l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
ATTUALE	10.748	94.7	1.31	56.3%
SUDS+WETLAND	0	0	0.88	0



Riepilogo

Rettangolare, 24 h, TR 10

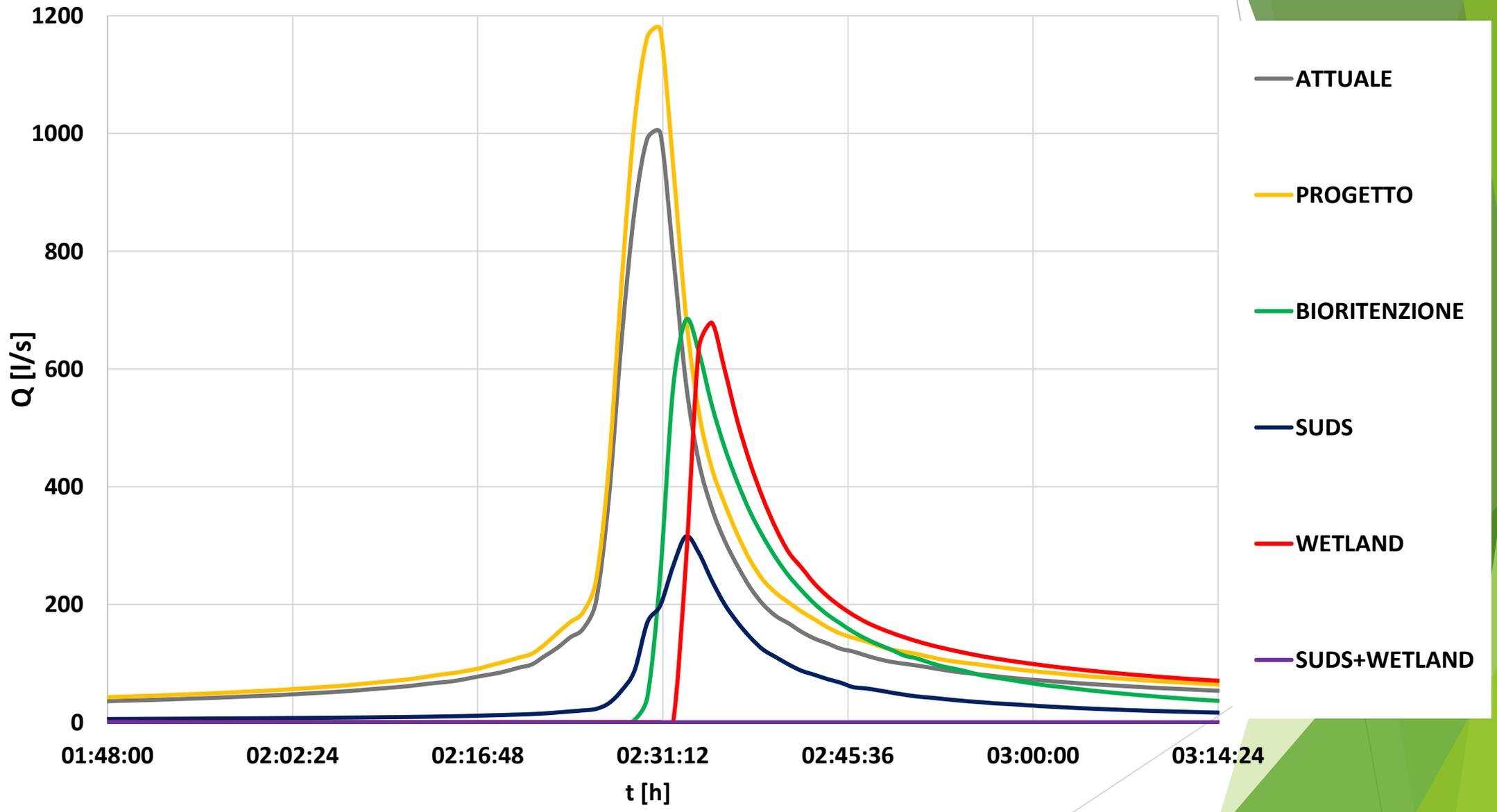
id	SCENARIO	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
S1	ATTUALE	1.768	20.5	0.82	59.3%
S2	PROGETTO	2.111	24.5	0.87	70.9%
S3	BIORITENZIONE	0.945	21.2	0.84	31.7%
S4	SUDS	0.5	9.5	0.69	16.7%
S5	WETLAND	1.564	24.4	0.87	52.5%
S6	SUDS+WETLAND	0	0	0.69	0%

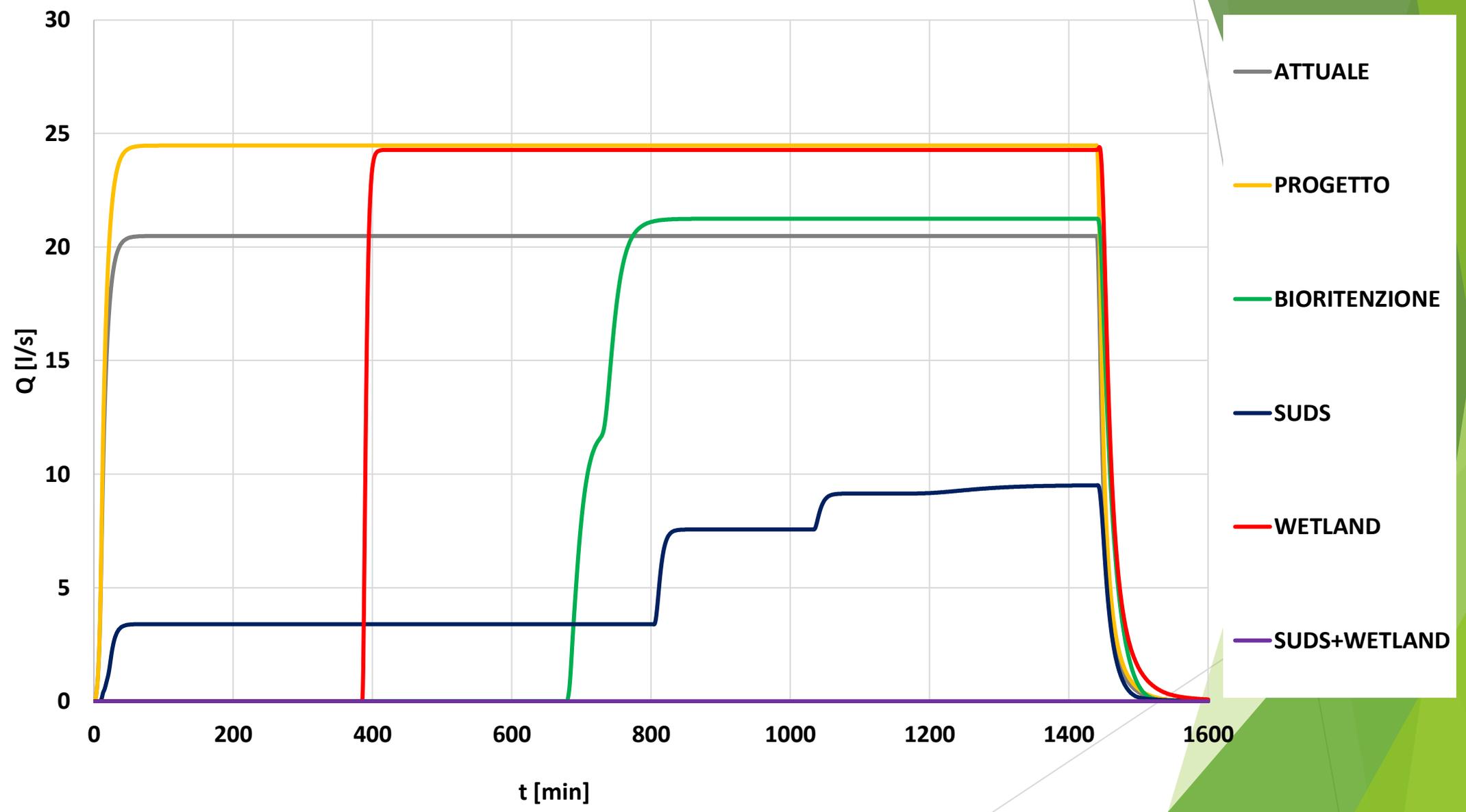
Chicago, 6 h, TR 10

S1	ATTUALE	1.19	1032.5	2.61	60.7%
S2	PROGETTO	1.41	1210.8	2.75	72.3%
S3	BIORITENZIONE	0.52	683.9	2.38	26.9%
S4	SUDS	0.32	315.9	2	16.6%
S5	WETLAND	0.87	681.5	2.75	44.5%
S6	SUDS+WETLAND	0	0	2	0%

Anno 2015

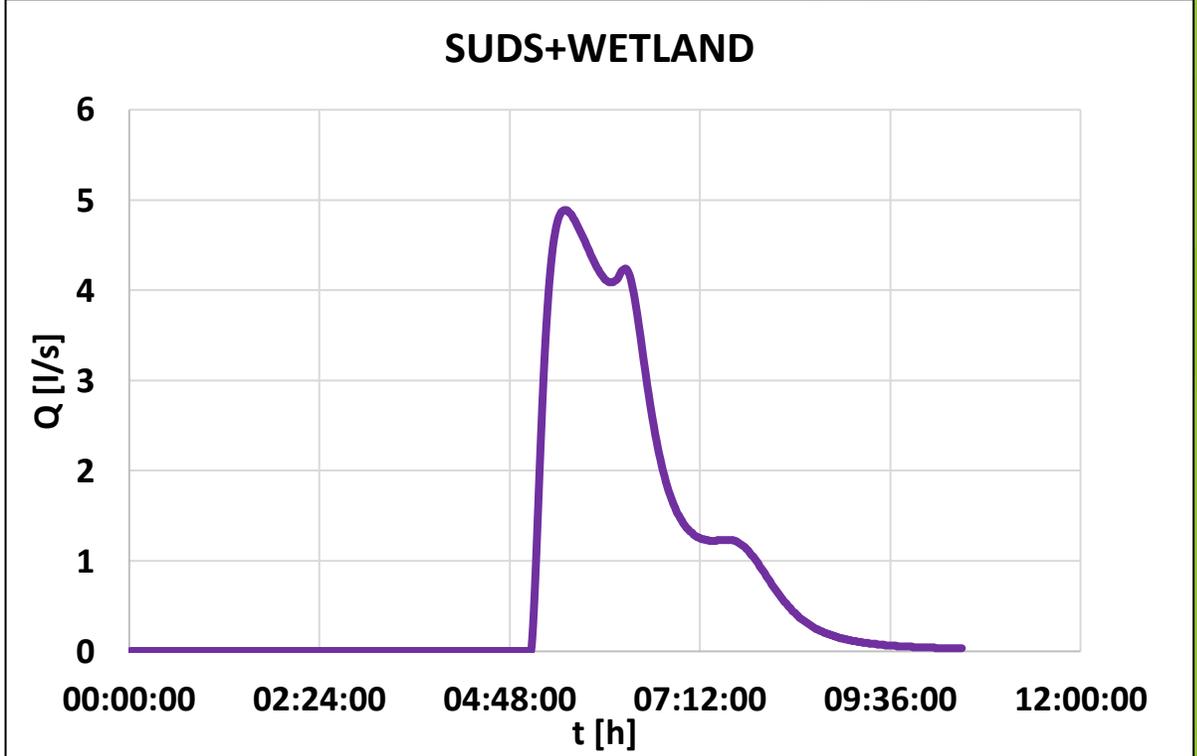
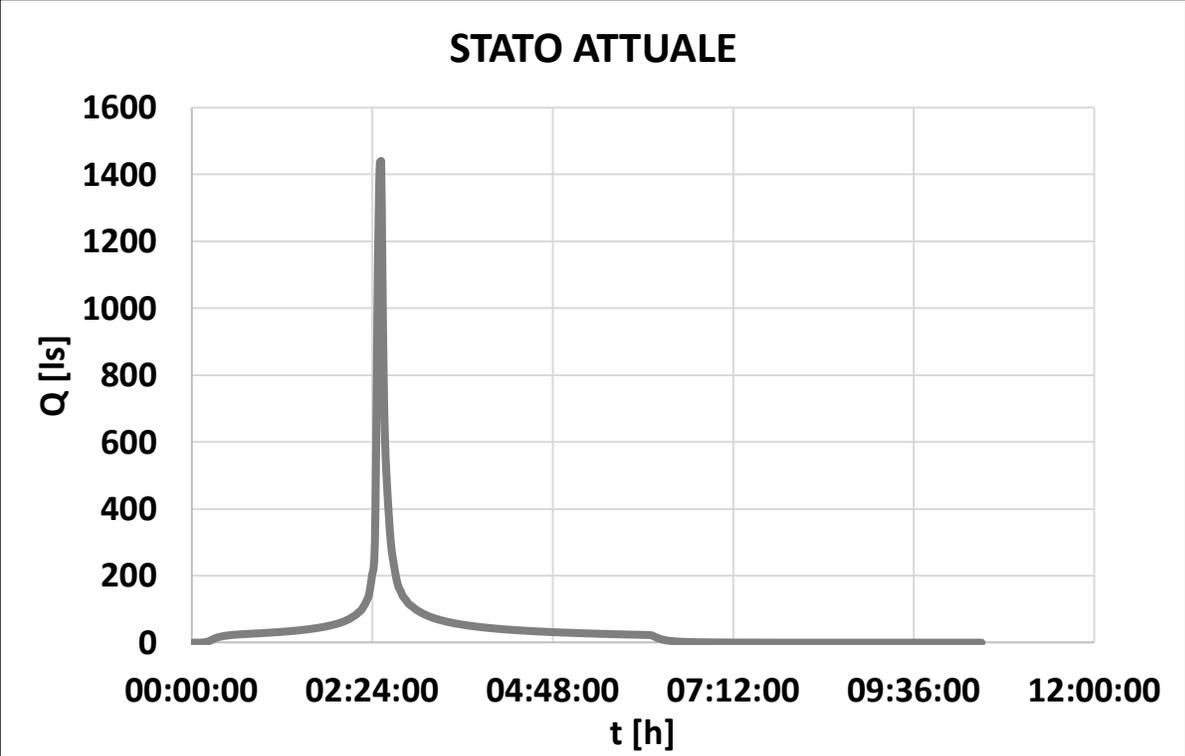
S1	ATTUALE	10.748	94.7	1.31	56.3%
S2	PROGETTO	12.822	113.1	1.4	67.2%
S3	BIORITENZIONE	0.071	56.3	1.16	0%
S4	SUDS	1.786	20.5	0.88	9.40%
S5	WETLAND	4.78	79.0	1.4	25%
S6	SUDS+WETLAND	0	0	0.88	0





Aumentando il TR (TR50), solo in S6 (SUDS+WETLAND)

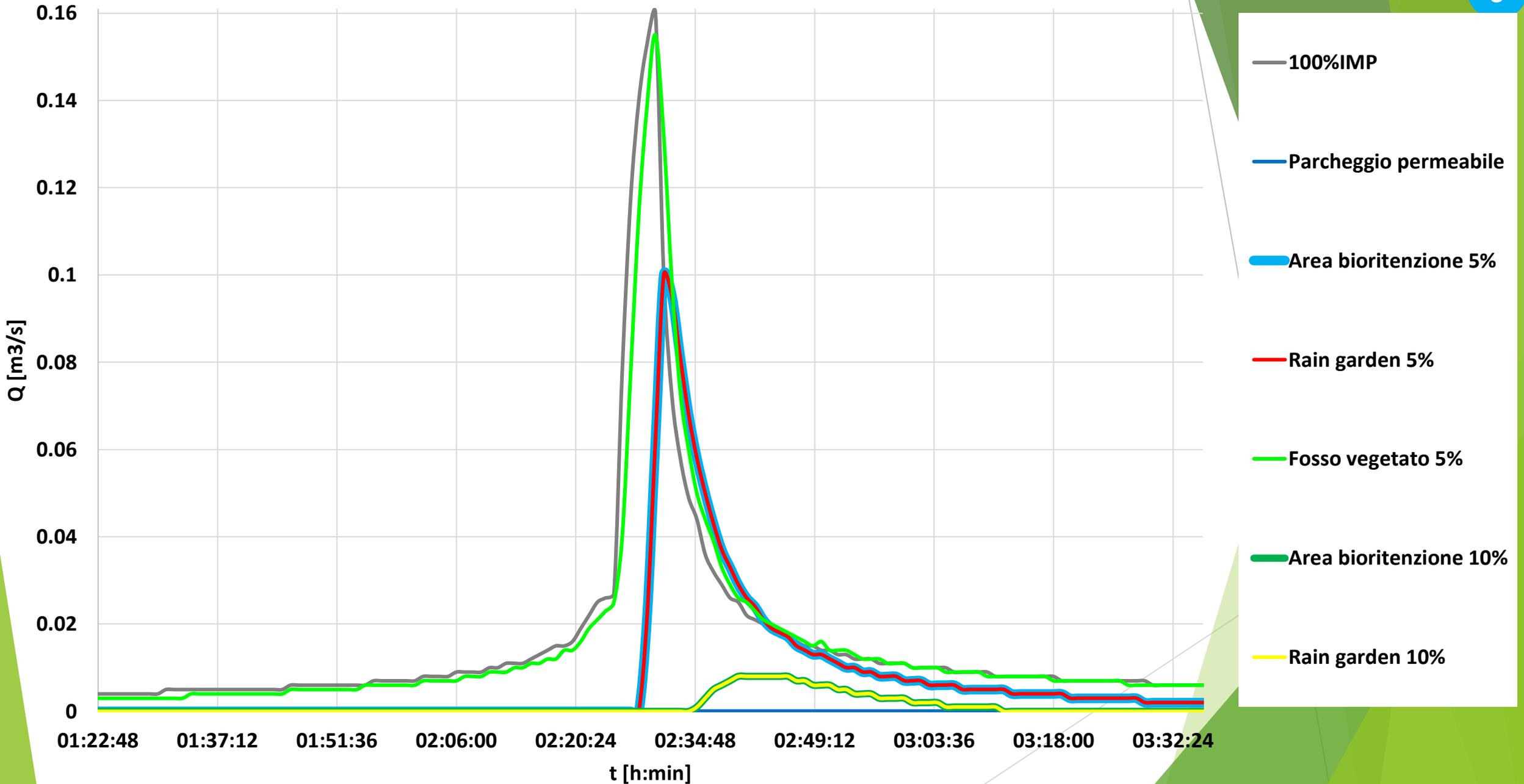
EVENTO	Scenario	V [10 ⁶ l/s]	Q max [l/s]	v max [m/s]	Coeff runoff
Rettangolare, 24 h	ATTUALE	2.399	27.8	0.9	59.6%
	SUDS+WETLAND	0.356	16.2	1.08	8.8%
Chicago, 6 h	ATTUALE	1.646	1490	2.88	62.3%
	SUDS+WETLAND	0.030	4.9	2.50	1.1%



Confronto performance SUDS

SUDS	Total inflow	Evaporazione	Infiltrazione	Outflow	Initial storage	Final storage	Runoff
Pavimento permeabile	80	1	49	0	10	40	0%
Area di bioritenzione (5%)	1586	1	96	596	60	953	37.4%
Area di bioritenzione (10%)	793	0.8	90	42	60	721	5.3%
Rain garden (5%)	1586	1	96	729	60	820	45.7%
Rain garden (10%)	793	0.8	90	42	60	721	5.3%
Fosso vegetato (5%)	1586	0.6	155	1430	-	-	89.6%

Valori tutti in mm



REFERENCES

EPA STORMWATER MANAGEMENT MODEL APPLICATIONS MANUAL

<https://www.epa.gov>

www.idro.arpalombardia.it

<https://annuario.isprambiente.it>

<https://www.ciria.org>

<http://www.virginiadot.org>

Regolamento regionale 23 novembre 2017 n.7, “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”

<https://www.regione.lombardia.it>



GRAZIE