



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Facoltà di ingegneria

Corso di Laurea magistrale in ingegneria idraulica

A.a. 2023/2024

**Comportamento idraulico di
sistemi di drenaggio sostenibile in
Corso Giulio Cesare (Torino)**

Relatori:
Prof. Fulvio Boano

Candidati:
Stefano Enna



**Politecnico
di Torino**

Introduzione.....	4
1. Inquadramento generale	6
1.1. Allagamenti in aree urbane.....	6
1.2. Sustainable drainage system (SuDS).....	8
1.2.1. Green Roofs	9
1.2.2. Pervious Pavement	9
1.2.3. Rain Garden.....	10
2. Metodi.....	11
2.1. Area di studio	11
2.2. Storm Water Management Model (SWMM).....	15
2.3. Costruzione del modello.....	15
4. Risultati.....	28
4.1. Tempo di ritorno 2 anni – caso impermeabile	28
4.2. Tempo di ritorno 2 anni – caso impermeabile con caditoie intasate	30
4.3. Tempo di ritorno 2 anni – LID.....	33
4.4. Tempo di ritorno 20 anni – LID.....	36
4.5. Tempo di ritorno 20 anni – LID; caso caditoie intasate	40
4.6. Tempo di ritorno 20 anni – LID; Conduttività del terreno ridotta.....	47
4.7. Tempo di ritorno 20 anni – LID; Caditoie intasate; Conduttività ridotta.....	50
4.8. Raffronto tra diversi eventi di pioggia.....	54
5. Conclusioni.....	55



**Politecnico
di Torino**

6. Bibliografia..... 59



**Politecnico
di Torino**

Introduzione

Gli allagamenti in aree urbane sono diventati, negli ultimi decenni, un argomento sempre più discusso e preoccupante nelle aree urbanizzate, rappresentando un forte rischio per la sicurezza ed il benessere dei cittadini. La rilevanza crescente di questi fenomeni è dovuta all'azione combinata degli effetti dell'urbanizzazione, del cambiamento climatico e di una cattiva strategia di drenaggio urbano. Le inondazioni possono generarsi a seguito di diverse ragioni come, ad esempio, precipitazioni estreme o aumento della superficie impermeabile. Ad ogni modo è necessario progettare soluzioni in grado di minimizzare l'impatto di questi eventi nelle città. Tradizionalmente le città vengono fornite di urban drainage system (UDS) i quali sono in grado di raccogliere l'acqua dall'interno della città e portarla all'esterno della stessa attraverso una rete di condotte. la resilienza degli stessi degli UDS è però minacciata da fenomeni che possono pregiudicare il corretto funzionamento degli stessi. A seconda della loro natura possiamo identificare due tipi di fenomeni: di natura funzionale e di natura strutturale. Vengono definiti di natura funzionale tutti quei fenomeni che sono causati da fattori esterni al sistema, come ad esempio un evento di pioggia estremo. I fenomeni di natura strutturale sono invece quelli causati da fattori interni, come ad esempio la rottura di un componente del UDS. I sistemi di drenaggio urbano convenzionali non sono in grado di far fronte alle conseguenze dell'impatto del cambiamento climatico. Inoltre, eventuali rotture o malfunzionamenti dello stesso porterebbero ad un repentino degrado della resilienza del sistema. Far fronte alla sempre maggiore quantità di acqua in ingresso nelle città, dovuta all'impatto che sta avendo il cambiamento climatico, ingrandendo le condotte in modo da permettere il passaggio di una maggiore portata d'acqua al loro interno non è una strada finanziariamente percorribile. Invece esiste una migliore opzione per migliorare la resilienza delle città nei confronti degli eventi di pioggia estremi e contrastare gli



**Politecnico
di Torino**

effetti del cambiamento climatico che è quella di utilizzare i sustainable drainage system (SuDS) a cui ci si riferisce anche con il nome di low-impact development (LID), water-sensitive urban design (WSUD), low impact urban design and development (LIUDD) o, best management practices (BMP). L'implemento dei SuDS può essere considerato una contromossa per affrontare i problemi dovuti alle inondazioni urbane. Riducono infatti la severità degli eventi catturando e stoccando al loro interno un volume d'acqua che non andrà quindi a sollecitare la rete di drenaggio urbano. Inoltre, l'acqua immagazzinata potrebbe essere utilizzata in maniera sostenibile per scopi futuri. Questi sistemi sono progettati per ristabilire un naturale regime idrologico in contraddizione con i sistemi di drenaggio tradizionali in cui l'acqua meteorica viene trattata come un problema, portata fuori dalla città e smaltita attraverso i corsi d'acqua naturali. I SuDS sono largamente applicati in tutto il mondo perché riescono a minimizzare in maniera efficiente la severità delle inondazioni stoccando temporaneamente le acque meteoriche in spazi aperti o all'interno dei loro componenti. Questi componenti rendono il sistema di drenaggio urbano più efficiente mitigando il picco di volume che essi dovranno smaltire, filtrando gli agenti inquinanti e agevolando l'infiltrazione nel terreno. Ogni Suds ha i suoi pregi e difetti, tuttavia è dimostrato che il loro implemento migliora la resilienza della rete di drenaggio urbano e promuove una maggiore sostenibilità. Lo studio svolto è localizzato in Italia, nella città di Torino e ha lo scopo di dimostrare come l'implemento di LIDs abbia un impatto positivo nella gestione degli eventi di pioggia molto intensi e di come essi si integrino nel già presente sistema di drenaggio urbano potenziandone la resilienza in maniera sostenibile.



**Politecnico
di Torino**

1. Inquadramento generale

Cambiamenti climatici: la grande sfida dei cambiamenti climatici è diventata negli ultimi anni argomento urgente per immaginare un futuro sostenibile per il nostro mondo e che garantisca la qualità della vita dei suoi abitanti. Diventa indispensabile immaginare un nuovo approccio alla progettazione e realizzazione di opere pubbliche. Temi di cui 20 anni fa non si parlava neppure, perché non apparivano né urgenti né indispensabili, diventano ora necessari. La consapevolezza di quanto sta avvenendo ha portato a riflessioni importanti sul futuro e sui criteri di intervento delle trasformazioni delle nostre città. La Città di Torino, ben consapevole di questi aspetti, ha predisposto e approvato il Piano di Resilienza climatica, definendo le strategie e le azioni per una città più sostenibile e resiliente. Aumentare le caratteristiche di adattabilità ai cambiamenti climatici del progetto, diventa un banco di prova di un modello sostenibile, più attuale e proiettato al futuro. Il mondo cambia velocemente e ancor più velocemente occorre cambiare i nostri criteri di realizzazione e manutenzione.

1.1. Allagamenti in aree urbane

Le inondazioni possono creare importanti disagi nelle città ed hanno un impatto significativo sui cittadini, l'economia e l'ambiente. I rischi nel breve periodo collegati alle inondazioni sono, oltre a quello dei danni fisici alle persone, quello di danni alle proprietà e alla viabilità.

I danni causati dalle inondazioni vengono classificati utilizzando due criteri. Il primo criterio distingue i danni in tangibili ed intangibili. Fanno parte dei danni tangibili quei danni che possono essere quantificati monetariamente, questi includono i danni alle proprietà o i danni dovuti alla perdita di un'attività commerciale distrutta. I danni



**Politecnico
di Torino**

intangibili sono invece i danni che non possono essere quantificati in termini monetari di cui l'esempio più significativo è la perdita di una vita. Il secondo criterio divide i danni in diretti ed indiretti. Fanno parte dei danni diretti tutti quelli che sono causati dall'immediato contatto dell'acqua con le persone, le proprietà o l'ambiente. I danni indiretti sono, invece, quelli che non si manifestano immediatamente, ma che sono comunque indotti dall'alluvione, ne sono un esempio gli sversamenti di acque inquinate all'interno dell'organo idrico recettore che spesso è anche il punto di approvvigionamento idrico della città.

È compito degli urbanisti affrontare il problema attraverso il principio di resilienza per poter mitigare le conseguenze dell'inondazione. Il problema degli allagamenti urbani è destinato ad aumentare, sia per effetto del crescente grado di urbanizzazione, strettamente correlato all'aumento di superficie impermeabile, sia per effetto del cambiamento climatico che porterà ad avere a che fare con eventi di pioggia estremi sempre più frequenti. La risposta logica a questa tendenza è quella di aumentare la resilienza della città dal punto di vista idrologico. La resilienza è un concetto che indica il modo in cui un sistema si prepara, risponde e reagisce ad un problema interno (rottura di un componente) o esterno (evento di pioggia estremo). Tradizionalmente implementare la resilienza di una città per affrontare eventi di pioggia sempre più gravosi significava potenziare la rete di drenaggio urbano, attraverso tubature più grandi o caditoie più frequenti. Il problema dell'approccio tradizionale è che l'ingrandimento delle tubature non è economicamente sostenibile, oltre che di difficile esecuzione. Inoltre, il sistema rimane suscettibile a rotture puntuali delle sue componenti che avrà conseguenze immediate sull'area in cui avviene la rottura sia durante l'evento di piena, sia nel futuro quando tale componente dovrà essere ripristinata.



**Politecnico
di Torino**

1.2. Sustainable drainage system (SuDS)

È un dato di fatto che le città con una maggior resilienza nei confronti del rischio idrologico siano quelle che subiscono meno danni in caso di inondazione. Se limitarsi a potenziare la rete di drenaggio urbano non è una soluzione percorribile né in termini economici né in termini funzionali, diventa necessario progettare sistemi che si integrino alla rete, migliorandone il funzionamento e di conseguenza la resilienza. I SuDS sono l'opera più utilizzata per raggiungere lo scopo. I SuDS sono pensati per replicare la presenza di sistemi naturali fornendo soluzioni efficaci ad un basso impatto per l'ambiente. Queste opere sono tante e di diversi tipi, sarà compito del progettista selezionare quella che più si adatta all'area in cui dovrà essere integrata. Il loro scopo comune è quello di ridurre il ruscellamento superficiale attraverso la captazione, l'immagazzinamento temporaneo, la rimozione degli inquinanti e il lento rilascio nell'ambiente o nella rete di drenaggio urbano. Questo contrasta i metodi di drenaggio tradizionale che portano più facilmente a inondazioni e inquinamento delle risorse idriche. Lo strato superficiale della maggior parte dei SuDS è fatto in modo da permettere la coltivazione di piante erbacee e arbusti. In generale possono essere diversi i tipi di pianta coltivata, ma le caratteristiche delle piante scelte sono sempre le stesse:

- Capacità di resistere per qualche tempo in condizione di ristagno persistente, oltre a condizioni di siccità più o meno prolungate in estate
- Rusticità e resistenza alle malattie tipiche della regione climatica locale
- Spiccata eliofilia
- Adeguata altezza a maturità
- Persistenza delle foglie durante il periodo autunno inverno

Tra le tecniche SuDS più utilizzate troviamo:



**Politecnico
di Torino**

- Green Roofs
- Pervious pavements
- Rain gardens

1.2.1. Green Roofs

Per Green Roof, o tetto verde, si intende un tetto parzialmente o interamente coperto da vegetazione, piantata e fatta crescere sopra una membrana impermeabile. Oltre ad assorbire l'acqua meteorica forniscono grossi benefici anche per quello che riguarda l'isolamento termico, la rimozione degli inquinanti e in più aiutano a ridurre il calore nella città

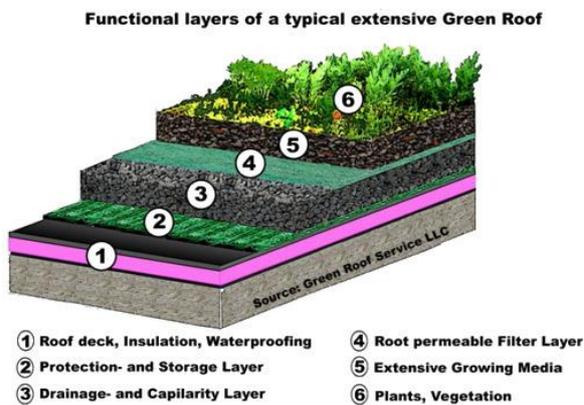


Figura 1 Stratigrafia di un Green Roof

1.2.2. Pervious Pavement

Pervious pavement, o marciapiedi permeabili, sono un'alternativa alla pavimentazione tradizionale dei marciapiedi, in cui l'acqua permea all'interno di essi invece che ruscellare sopra di essi. L'acqua che penetra all'interno può subito essere restituita all'ambiente o può essere previsto un sistema di stoccaggio al di sotto dello strato



**Politecnico
di Torino**

superficiale in modo da ritardare la portata di piena. La pavimentazione permeabile può essere costituita da ghiaia, blocchi di calcestruzzo opportunamente progettati per lo scopo, o asfalto poroso.

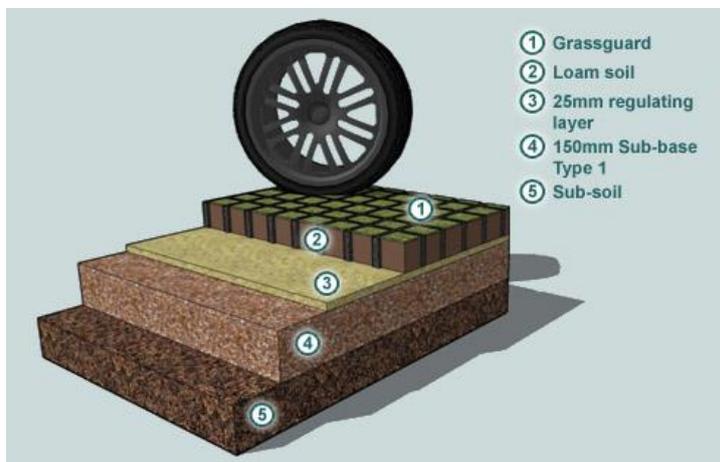


Figura 2 Stratigrafia di un pervious pavement

1.2.3. Rain Garden

I rain garden, o aiuole drenanti, sono bacini di infiltrazione che sfruttano le pendenze per convogliare l'acqua piovana e favorirne l'infiltrazione consistono nella realizzazione di porzioni di giardini leggermente ribassati rispetto al livello delle pavimentazioni e coltivarvi delle piante in modo da sfruttare la loro capacità di assorbire le sostanze inquinanti dall'acqua e dall'aria.



**Politecnico
di Torino**

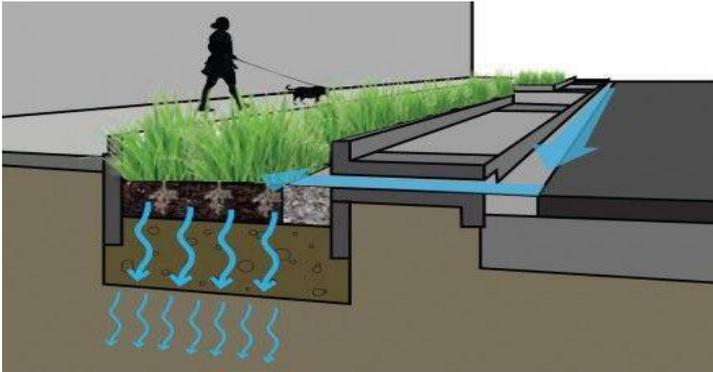


Figura 3 Sezione di un Rain Garden

2. Metodi

2.1. Area di studio

Il progetto inerente alla tesi è stato effettuato a Torino (TO), Piemonte, in particolare nella strada intitolata Corso Giulio Cesare. Corso Giulio Cesare è una delle principali arterie stradali per la viabilità Torinese, attraversando la città percorrendo il centro storico dalla Piazza della Repubblica dove sorge il mercato più esteso d'Europa, superando il fiume Dora e allacciandosi all'imbocco dell'Autostrada Torino-Milano (A4). L'area individuata per l'intervento è posta nella zona periferica nord della città, più precisamente nel tratto di strada lungo circa 500 metri compreso tra via Nino Oxilia e Piazzale Cornelio Tacito. Nella figura 4 è riportata un'aerografia della città di Torino, evidenziata in rosso si può notare la strada Corso Giulio Cesare, in tutto il suo sviluppo. Cerchiata di nero è presente l'area in cui è stato concentrato lo studio di questa tesi.



**Politecnico
di Torino**

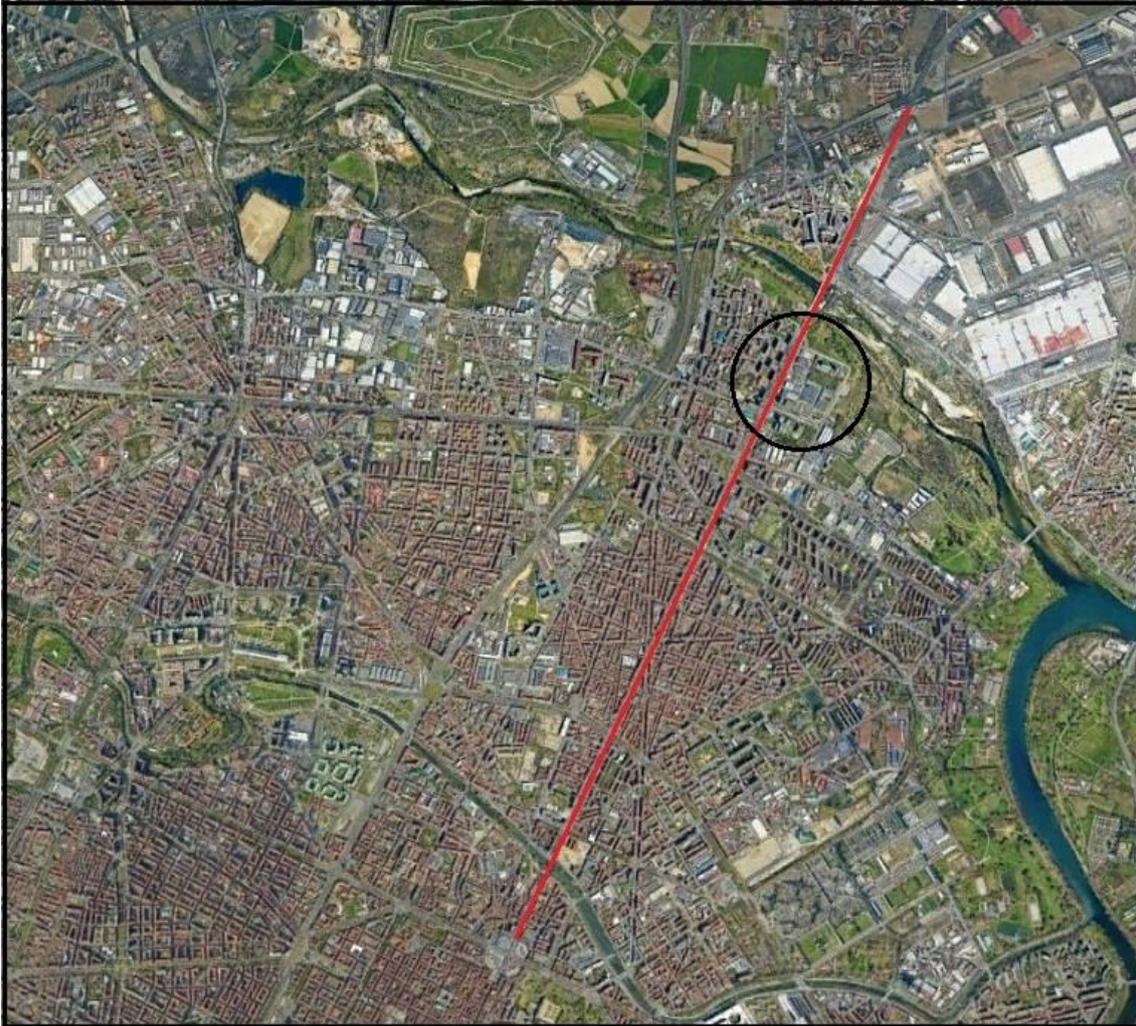


Figura 4 Immagine aerea della città di Torino

Si tratta di una strada composta da due carreggiate, ognuna delle quali contenente tre corsie per la viabilità stradale. Entrambe le carreggiate presentano, lungo il lato esterno, le caditoie per il drenaggio della strada dall'acqua piovana e sono disposte una ogni venti metri per l'intera lunghezza del tratto stradale preso in esame.



**Politecnico
di Torino**



Figura 5 Corso Giulio Cesare, vista aerea - Area di intervento

Le due carreggiate sono separate da un rialzo in calcestruzzo alto quindici centimetri e largo sette metri, sopra il quale sono posate due coppie di binari predisposti per il transito dei tram che servono la zona. La pendenza del tratto ferroviario è solo longitudinale e per l'allontanamento dell'acqua piovana sono presenti delle caditoie poste al centro dello stesso. Le caditoie sono disposte con un passo variabile di circa venticinque metri tra l'una e l'altra.



**Politecnico
di Torino**



Figura 6 Corso Giulio Cesare, vista da terra - Area di intervento

La pendenza delle carreggiate verso l'esterno, il rialzo di quindici centimetri e la presenza di ulteriori caditoie su di esso lasciano dedurre che i due sistemi, dal punto di vista del drenaggio delle acque, siano indipendenti. Il che significa che solo la pioggia che precipita sopra il tratto ferroviario defluirà all'interno delle caditoie lì presenti.

Il progetto prevede la rimozione dell'asfalto e, dopo una registrazione dei binari e rinfranco della massicciata, la messa in opera di una stratigrafia drenante di terreno adatto alla coltivazione del *sedum* e di specie tappezzanti erbacee. Viene fatto presente che lo studio non prende in considerazione ciò che avviene una volta che l'acqua si immette all'interno della rete urbana. L'obiettivo della tesi è quello di dimostrare l'utilità dei LIDs e i benefici che porterebbe la loro integrazione alla rete di drenaggio urbano torinese in termini di riduzione del ruscellamento superficiale e di riduzione della portata fluente all'interno della rete.



**Politecnico
di Torino**

2.2. Storm Water Management Model (SWMM)

Storm Water Management Model (SWMM), rilasciato gratuitamente da EPA degli Stati Uniti, è un modello di simulazione afflussi-deflussi dinamico concepito espressamente per essere utilizzato in contesti urbanizzati sia per simulare un singolo evento di pioggia sia per una modellazione continua. È il software largamente più utilizzato per le simulazioni del drenaggio urbano. La capacità del programma di simulare l'ingresso e l'uscita della portata d'acqua da ogni tipo di bacino e sottobacino, permette a chi lo utilizza di analizzare il sistema di drenaggio urbano, identificare i punti critici e di individuare i punti in cui è necessario intervenire per ottenere il miglior risultato. SWMM permette inoltre di integrare la rete con diversi tipi di LIDs e permette la loro modellazione per perseguire un risultato quanto più possibile simile alla realtà.

2.3. Costruzione del modello

Attraverso l'utilizzo del programma "EpaSwmm" è possibile simulare la rimozione dello strato di asfalto in cui allo stato attuale scorrono le rotaie e sostituirlo con i così detti "binari verdi". I binari verdi fanno parte della categoria LID Control ovvero tutte quelle opere progettate per intercettare il ruscellamento superficiale fornendo un beneficio in termini di ritardo della portata, infiltrazione ed evapotraspirazione.

Per prima cosa è stata ottenuta tramite "Google-Earth" un'immagine aerea della zona di intervento, si è quindi caricata nel programma come backdrop. Per poter lavorare sul backdrop è stato necessario mettere in scala l'immagine facendo corrispondere le unità del disegno del programma in metri della fotografia. È stata quindi misurata una lunghezza tra due punti noti e basandosi su tale lunghezza si è potuto procedere con la messa in scala attraverso la seguente formula.



**Politecnico
di Torino**

$$x = \frac{\text{lunghezza nota in metri}}{\text{lunghezza in unità del disegno}} \times 10^4$$

Il valore x ottenuto va inserito nella casella upper right x e y di EpaSwmm.

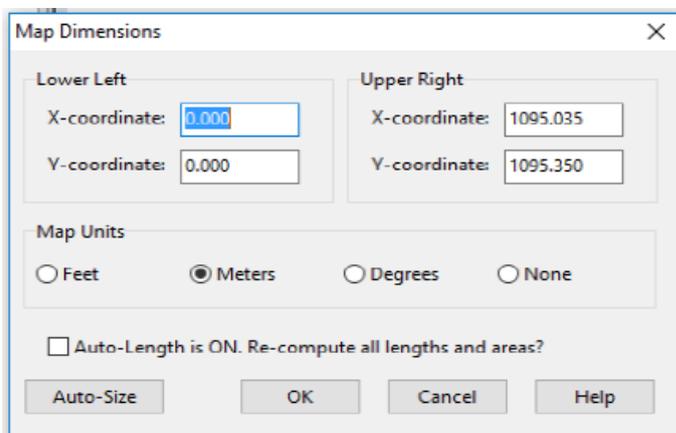


Figura 7 Messa in scala del backdrop

Una volta seguito questo procedimento e aver impostato l'Auto-length su ON sarà possibile lavorare direttamente sull'immagine caricata.

EpaSwmm permette di scegliere, tra diversi modi di infiltrazione, quale utilizzare per la realizzazione del modello. In questo caso si è optato per quello del Curve Number



**Politecnico
di Torino**

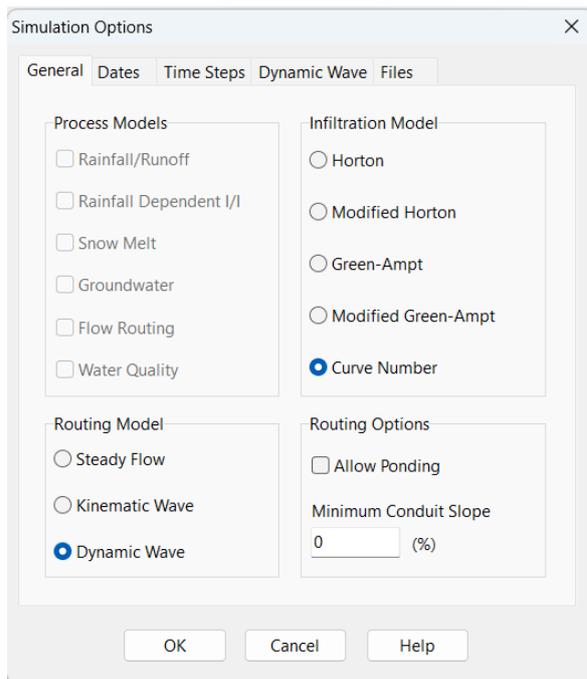


Figura 8 Scelta del moto di infiltrazione

Infine, si è scelto di ricevere un report dal programma per ogni minuto di simulazione.

È stata quindi identificata la posizione delle caditoie e rappresentata nel programma sottoforma di Outfalls. Successivamente si è divisa la zona di intervento in diversi sottobacini. Ogni sottobacino occuperà l'area compresa tra due caditoie successive e farà defluire la pioggia che vi precipita nella caditoia ad esso adiacente, coerentemente con la pendenza del sottobacino stesso. Per il tratto in esame sono stati generati 21 sottobacini e 22 Outfalls.



**Politecnico
di Torino**

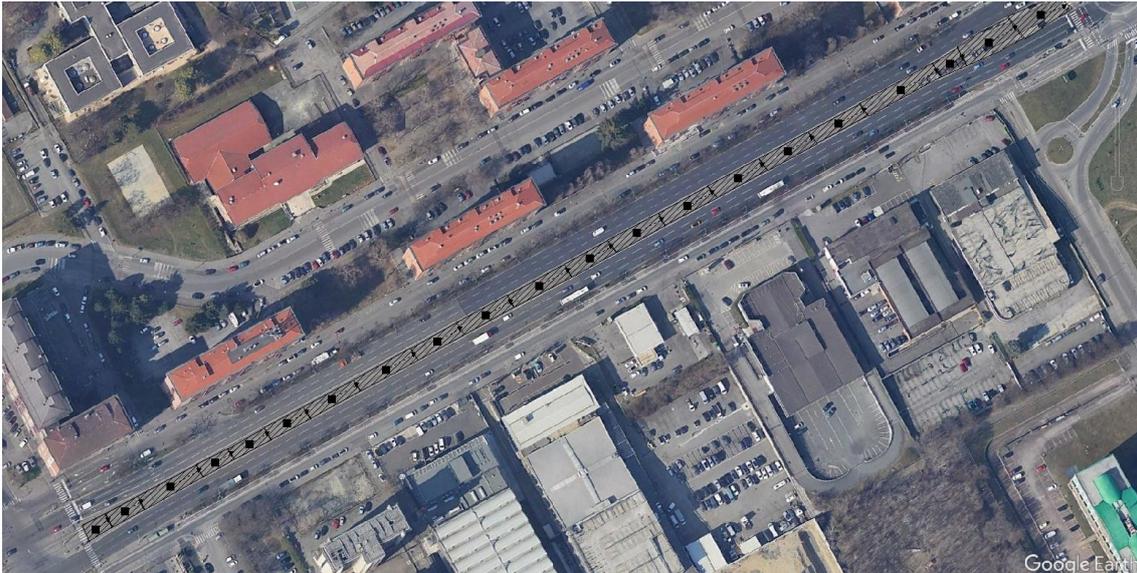


Figura 9 Corso Giulio Cesare - Divisione in sottobacini

Per le caratteristiche di ogni sottobacino ci si è basati sull'osservazione dello stato attuale, cambiandone i parametri in modo da rendere il modello quanto più rappresentativo possibile dello stato attuale. In particolare, si è intervenuti su:

- %imperv: rappresenta la percentuale del bacino ricoperta da superficie impermeabile, trattandosi in questo caso di una pavimentazione non drenante si è scelto di porre questo dato al 98%
- Width: nonostante aver attivato l'Auto-length permetta al programma di ricavare automaticamente le grandezze dei componenti del modello, la width rimane una grandezza da dover inserire manualmente. Essa rappresenta la distanza massima che la gocciolina d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano dovrà percorrere prima di essere intercettata dalla caditoia
- Infiltration Data: Avendo scelto il come legge di infiltrazione quella del Curve Number, il valore del CN con il quale dovrà lavorare. Il valore del CN è un



**Politecnico
di Torino**

numero che varia da 0 a 100 e dipende dal grado di impermeabilità del sottobacino. Nel caso in esame è stato scelto un valore di 98

- **Outlet:** In questa voce è possibile indicare la destinazione che avrà l'acqua che ruscella sul sottobacino. In questo caso è stata scelta, per ogni sottobacino, la caditoia adiacente.

A questo punto si procede con la generazione della pioggia di progetto, coerentemente con la locazione geografica del bacino. Il geoportale del piemonte fornisce, per ogni area geografica, la quantità di pioggia precipitata espressa in millimetri. Le caratteristiche dell'evento di pioggia, quali intensità e quantità di pioggia precipitata, sono condizionate dalla durata dell'evento e dal tempo di ritorno. Il tempo di ritorno è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore assegnato.

Atlante piogge intense in Piemonte - GEV							
	2	5	10	20	50	100	200
10 minuti	19,3	25,9	30,4	34,8	40,8	45,3	50
20 minuti	23,1	30,9	36,3	41,7	48,8	54,2	59,8
30 minuti	25,5	34,2	40,2	46,1	53,9	60	66,2
1 ora	30,2	40,5	47,6	54,5	63,8	71	78,3
3 ore	39,3	52,7	61,9	71	83,1	92,5	102
6 ore	46,4	62,3	73,2	83,9	98,2	109,2	120,5
12 ore	54,9	73,6	86,5	99,1	116	129,1	142,4
24 ore	64,8	87	102,2	117,1	137,1	152,5	168,2

Tabella 1 Atlante piogge intense del Piemonte - Geoportale del Piemonte



**Politecnico
di Torino**

Nel grafico riportato in Figura 10 è stata plottata la correlazione tra l'intensità di pioggia e la durata dell'evento, per diversi tempi di ritorno. Come si può vedere, gli eventi con minore durata hanno la caratteristica di avere, in media, un'intensità maggiore.

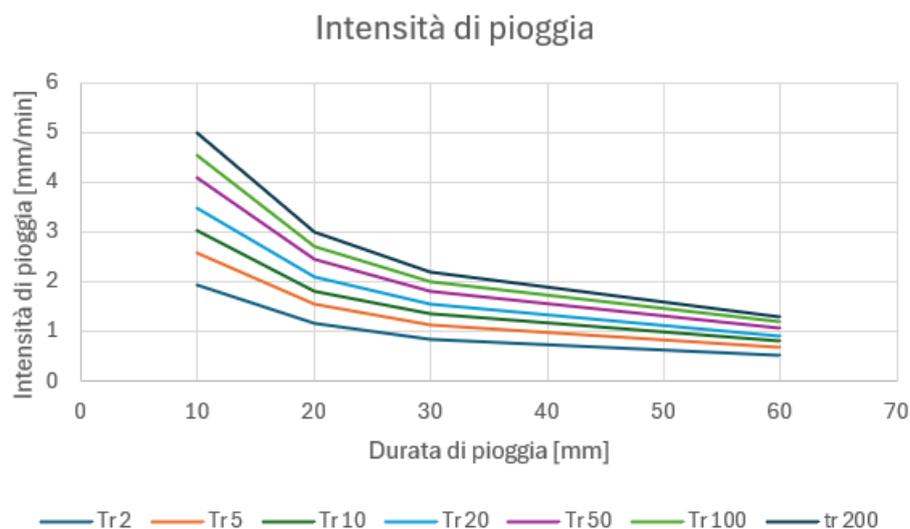


Figura 10 Intensità di pioggia rispetto alla durata dell'evento, per diversi tempi di ritorno

Se ne deduce che, prendendo in considerazione solo questo parametro, gli eventi più gravosi sono quelli brevi.

Tuttavia, l'intensità di pioggia non è l'unico parametro da prendere in considerazione quando si stabilisce la gravosità di un evento. L'altezza di pioggia, infatti, indica la quantità, espressa in millimetri, di pioggia precipitata durante un determinato evento. Tracciando il grafico delle altezze di pioggia in funzione dei tempi di pioggia si può notare come all'aumentare dell'uno, aumenti anche l'altro. In altre parole, gli eventi di pioggia più lunghi sono anche quelli in cui precipita più pioggia.



Politecnico
di Torino

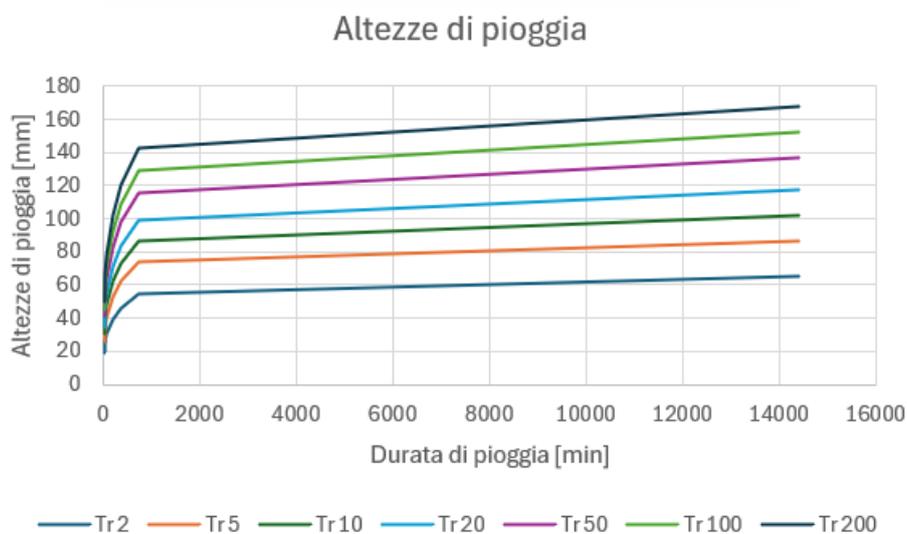


Figura 11 Altezze di pioggia rispetto alla durata dell'evento, per diversi tempi di ritorno

La scelta della pioggia di progetto non è influenzata solo dai parametri dell'evento, ma anche dalle caratteristiche del sottobacino come la dimensione e la pendenza. Infatti, la particella di acqua che precipita nel punto idraulicamente più lontano del sottobacino lo dovrà percorrere nella sua interezza prima di essere intercettata da una caditoia. Il tempo impiegato dalla particella d'acqua per attraversare il sottobacino è chiamato tempo di corrivazione. Questo fatto si traduce in un ritardo della portata massima all'interno della caditoia pari proprio al tempo di corrivazione.

Per scegliere la pioggia di progetto che sia la più gravosa per il sistema vengono quindi scelti tutti gli eventi aventi tempo di pioggia sufficientemente alto da superare il tempo di corrivazione, in questo modo l'intero sottobacino parteciperà al deflusso superficiale. Di questi eventi, infine, viene scelto quello avente durata minore in modo tale da massimizzare l'intensità.



**Politecnico
di Torino**

Dal geoportale del Piemonte è possibile scaricare una tabella nella quale sono riportate, per diversi tempi di ritorno e durate di pioggia, le altezze di precipitazione cumulate per i diversi eventi.

Nel caso in esame, trattandosi di sottobacini molto piccoli, si è scelto di adottare l'ipotesi semplificativa che permette di ignorare, per la scelta dell'evento di pioggia, il ritardo di portata dovuto al tempo di corrivazione. Pertanto, si è ridotta l'analisi alla sola prima riga della tabella sottostante corrispondente agli eventi di pioggia più brevi ed intensi.

Per tutti gli eventi con durata inferiore ad un'ora è possibile, senza discostarsi troppo dalla realtà dei fatti, utilizzare uno ietogramma costante. Questo significa che l'intensità di pioggia sarà la stessa per tutta la durata dell'evento.

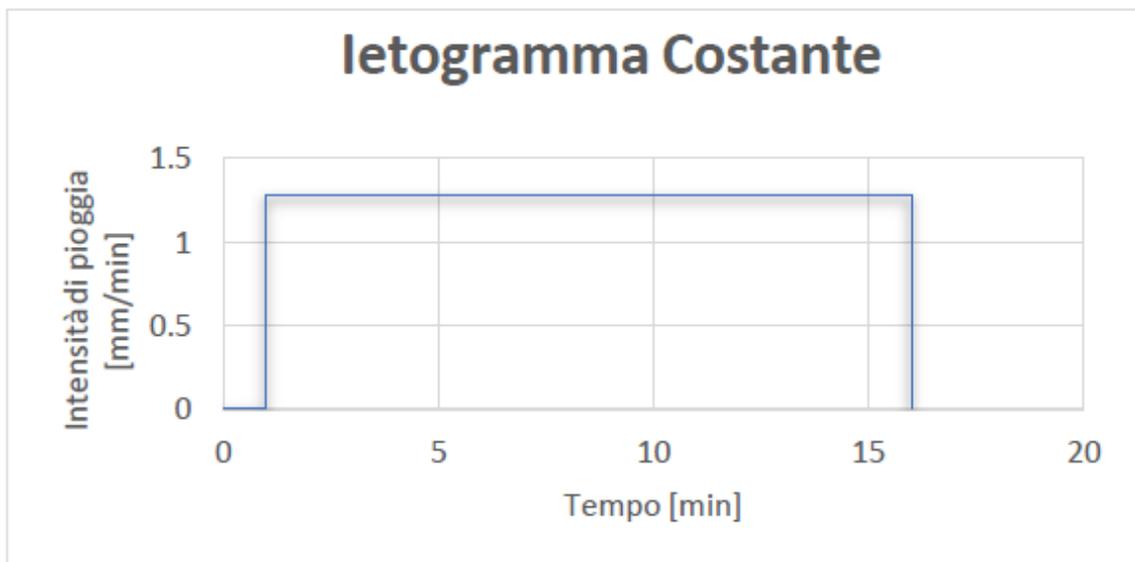


Figura 12 Ietogramma costante

Com'è facile notare dal grafico, l'utilizzo dello ietogramma costante implica due semplificazioni importanti.



**Politecnico
di Torino**

- Dall'istante in cui inizia l'evento di pioggia l'intensità sarà immediatamente pari all'intensità massima.
- Dall'istante in cui termina l'evento di pioggia, l'intensità sarà subito pari a zero.

La tipologia di LID scelta per simulare la presenza dei binari verdi è chiamata Bio-retention Cell. Queste opere sono delle zone depresse composte da un misto di suolo drenante, in cui viene coltivata della vegetazione, posto al di sopra di uno strato di pietrisco capace di immagazzinare l'acqua captata dal suolo. Sono formate quindi da tre strati:

1. Strato superficiale;
2. Strato di suolo;
3. Strato di immagazzinamento.

Lo strato superficiale è lo strato in cui precipita l'acqua, è delimitato dalla berma e grazie alla presenza di quest'ultima viene permesso all'acqua di ristagnare in attesa di venire captata dallo strato sottostante.

Lo strato di suolo ha lo scopo di captare e catturare l'acqua che vi ruscella sopra. La velocità con cui viene catturata dipende dal tipo di suolo di cui esso è costituito.

Lo strato di immagazzinamento è lo strato in cui l'acqua viene immagazzinata in attesa dello smaltimento che può avvenire tramite un sistema drenante che potrebbe essere collegato al sistema fognario.

Con il comando Lid Editor è possibile modificare la Bio-retention Cell in modo tale che rispecchi al meglio ciò che sono i binari verdi:



**Politecnico
di Torino**

- **Berm Height**

Rappresenta la profondità della berma ossia la profondità nella quale l'acqua può ristagnare prima che trabocchi. Nel caso in esame la berma non è prevista, prima di tutto perché costituirebbe un ostacolo per il passaggio dei binari. In secondo luogo, perché il ristagnamento stesso dell'acqua causerebbe problemi al transito dei tram, è preferibile che l'acqua che non viene catturata immediatamente dallo strato di suolo ruscellasse verso valle.

- **Vegetation volume fraction**

È la frazione in volume della superficie occupata dalle piante (steli e foglie), per una vegetazione densa può arrivare a 0,1; 0,2. In questo caso si è scelto il minimo consigliato.

- **Thickness soil layer**

Rappresenta lo spessore dello strato di suolo, il manuale di EpaSwmm consiglia uno spessore compreso tra i 450 e i 900 millimetri. In questo caso è stato scelto uno spessore di 450 millimetri.

- **Thickness storage**

Rappresenta lo spessore dello strato in pietrisco, il manuale di Epa Swmm consiglia uno spessore compreso tra i 150 e i 450 millimetri. In questo caso è stato scelto uno spessore di 150 millimetri.

- **Conductivity (K)**

È una funzione del tipo di suolo utilizzato, rappresenta la velocità con la quale il terreno è in grado di captare l'acqua superficiale, di assorbirla e drenarla fino allo strato sottostante. Per le Bio-retention cells sono in vendita dei tipi di suolo sabbioso altamente drenanti la cui conduttività arriva a $161 \frac{mm}{hr}$



**Politecnico
di Torino**

Le caratteristiche del suolo sono state scelte sulla base della tabella fornita da EpaSwmm. La tabella indica i parametri del LID in funzione del tipo di suolo che si è scelto di utilizzare. Nel caso in esame è stato scelto un terreno sabbioso.

Soil Texture Class	K	Ψ	φ	FC	WP
Sand	4.74	1.93	0.437	0.062	0.024
Loamy Sand	1.18	2.40	0.437	0.105	0.047
Sandy Loam	0.43	4.33	0.453	0.190	0.085
Loam	0.13	3.50	0.463	0.232	0.116
Silt Loam	0.26	6.69	0.501	0.284	0.135
Sandy Clay Loam	0.06	8.66	0.398	0.244	0.136
Clay Loam	0.04	8.27	0.464	0.310	0.187
Silty Clay Loam	0.04	10.63	0.471	0.342	0.210
Sandy Clay	0.02	9.45	0.430	0.321	0.221
Silty Clay	0.02	11.42	0.479	0.371	0.251
Clay	0.01	12.60	0.475	0.378	0.265

Tabella 2 Parametri del terreno

- Wilting point (WP)
Rappresenta la frazione di volume del suolo che per ragioni fisiologiche del terreno sarà sempre occupata dall'acqua. Trattandosi di un terreno sabbioso si aggira intorno al 2%
- Field Capacity (FC)
Rappresenta la frazione di volume del suolo che rimane occupata dall'acqua dopo che questa è stata drenata via. Per i terreni sabbiosi è il 6%
- Suction head
Rappresenta il valore di capillarità del fronte bagnato del suolo. È una funzione della conduttività (K). Per calcolarla viene fornita la seguente formula

$$3.237 \times K^{-0.328}$$



Politecnico
di Torino

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

Surface Soil Storage Drain

Thickness (in. or mm)

Porosity (volume fraction)

Field Capacity (volume fraction)

Wilting Point (volume fraction)

Conductivity (in/hr or mm/hr)

Conductivity Slope

Suction Head (in. or mm)

*Optional

OK Cancel Help

Figura 13 Parametri del LID Control



**Politecnico
di Torino**

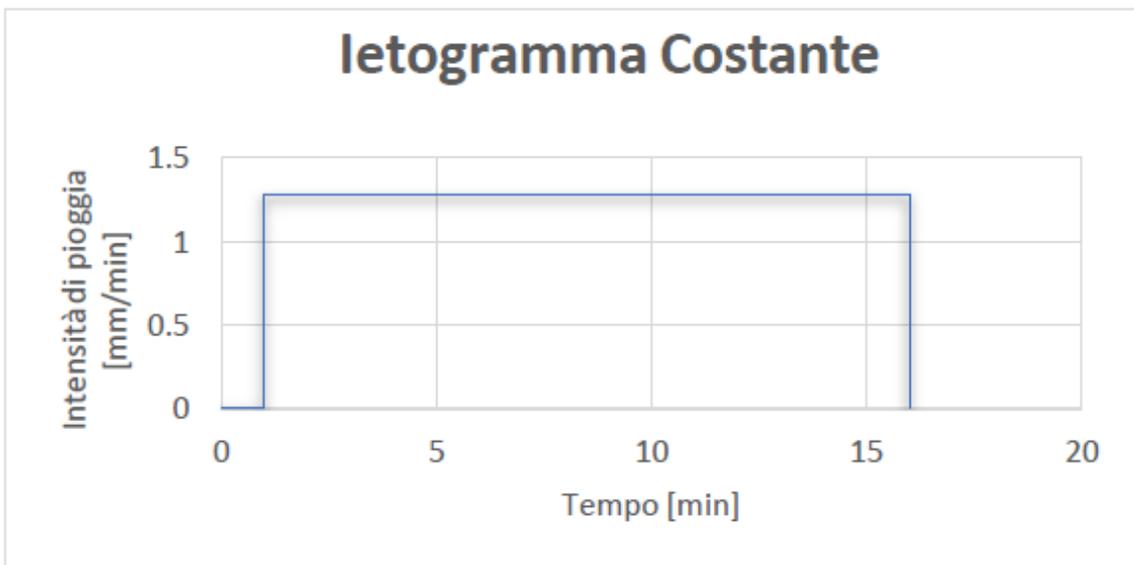


Figura 14 Ietogramma costante

Com'è facile notare dal grafico, l'utilizzo dello ietogramma costante implica due semplificazioni importanti. La prima semplificazione è che dall'istante in cui inizia l'evento di pioggia l'intensità sarà immediatamente pari all'intensità massima. La seconda è che dall'istante in cui termina l'evento di pioggia, l'intensità sarà subito pari a zero.

Per poter simulare un evento di pioggia EpaSwmm richiede di generare un Rain Gage che dovrà essere associato ad i sottobacini interessati all'evento. A sua volta al Rain Gage va associata una Time Series nella quale viene inserita, per ogni intervallo di tempo, la quantità di pioggia precipitata



**Politecnico
di Torino**

4. Risultati

4.1. Tempo di ritorno 2 anni – caso impermeabile

Il primo caso che si è deciso di analizzare è quello impermeabile. In assenza di SuDS il compito di allontanare l'acqua è lasciato interamente alla rete di drenaggio tradizionale (UDS). L'evento di pioggia scelto per la simulazione è quello corrispondente ad un tempo di ritorno di due anni avente durata di dieci minuti. Dall'atlante delle piogge intense in Piemonte si ottiene l'altezza di pioggia cumulata per l'evento scelto che è pari a 19,3 mm.

$$h_p(T_r = 2; t_p = 10') = 19,3 \text{ mm}$$

Dividendo l'altezza di pioggia per il tempo di pioggia si ottiene l'intensità media dell'evento.

$$i_p(T_r = 2; t_p = 10') = \frac{19,3}{10} = 1,93 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Come già detto bisogna creare la Time Series. Riportata in Figura 14 si trova l'evento di pioggia inserito nella Time Series



**Politecnico
di Torino**

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0:01	1.93
	0:02	1.93
	0:03	1.93
	0:04	1.93
	0:05	1.93
	0:06	1.93
	0:07	1.93
	0:08	1.93
	0:09	1.93
	0:10	1.93

Tabella 3 *Quantità di pioggia precipitata per ogni intervallo di tempo [mm] $T_r=2$ anni; durata 10'*

Una volta eseguita la simulazione è possibile visualizzare, attraverso il comando report, ciò che succede in termini di deflusso superficiale.

Topic: Subcatchment Runoff Click a column header to sort the column.										
Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ^{^6} ltr	Peak Runoff LPS	Runoff Coeff
S1	19.30	0.00	0.00	0.08	19.06	0.31	19.37	0.00	3.21	1.004
Sa2	19.30	0.00	0.00	0.08	19.09	0.31	19.39	0.00	3.21	1.005
Sa3	19.30	0.00	0.00	0.08	19.13	0.31	19.43	0.00	3.21	1.007
Sa4	19.30	0.00	0.00	0.08	19.09	0.31	19.39	0.00	3.21	1.005
Sa5	19.30	0.00	0.00	0.08	19.09	0.31	19.40	0.00	3.21	1.005
Sa6	19.30	0.00	0.00	0.08	19.10	0.31	19.41	0.00	3.21	1.006
Sa7	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.42	0.00	3.21	1.006
Sa8	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.43	0.00	3.21	1.007
Sa9	19.30	0.00	0.00	0.08	19.11	0.31	19.42	0.00	3.21	1.006
Sb10	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.42	0.00	3.21	1.006
Sb11	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.43	0.00	3.21	1.007
Sb12	19.30	0.00	0.00	0.08	19.11	0.31	19.41	0.00	3.21	1.006
Sb13	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.42	0.00	3.21	1.006
Sb14	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.42	0.00	3.21	1.006
Sb15	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.43	0.00	3.21	1.007
Sb16	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.42	0.00	3.21	1.006
Sb17	19.30	0.00	0.00	0.08	19.12	0.31	19.43	0.00	3.21	1.006
Sb18	19.30	0.00	0.00	0.08	19.09	0.31	19.39	0.00	6.43	1.005
Sb19	19.30	0.00	0.00	0.08	19.07	0.31	19.37	0.00	3.21	1.004
Sb20	19.30	0.00	0.00	0.08	19.07	0.31	19.38	0.00	6.43	1.004
Sb21	19.30	0.00	0.00	0.08	19.05	0.31	19.35	0.00	6.43	1.003

Tabella 4 *Report deflusso superficiale nei sottobacini*



**Politecnico
di Torino**

Nella Tabella 4 si nota, com'era ovvio, che l'intera precipitazione partecipa al deflusso superficiale. Il caso scelto per la simulazione non è particolarmente gravoso e la rete riesce a smaltire senza problemi la quantità di acqua in ingresso. Nel grafico in Figura 4 è rappresentato il l'andamento della portata in ingresso nella caditoia chiamata Out4. Il funzionamento della caditoia nel grafico è del tutto analogo a quello di tutte le altre caditoie.

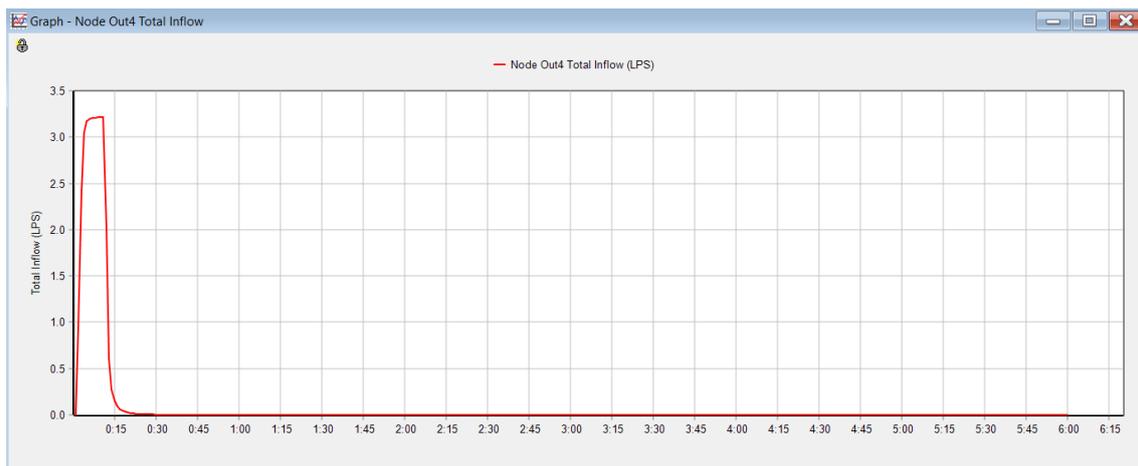


Figura 15 Grafico della portata in ingresso nella caditoia Out4 [$\frac{L}{s}$]

4.2. Tempo di ritorno 2 anni – caso impermeabile con caditoie intasate

La simulazione, così come è stata rappresentata nel caso precedente, descrive ciò che accade nel caso in cui le caditoie siano in grado di catturare completamente l'acqua che gli fluisce sopra. Ponendosi nel caso limite in cui le caditoie siano tutte intasate, risultano evidenti i limiti del sistema di drenaggio urbano. Se vige questa ipotesi allora le caditoie lasceranno scorrere l'acqua senza intercettarla e catturarla, di conseguenza questa andrà ad invadere il sottobacino successivo. Ciò che ci si aspetta è quindi un



**Politecnico
di Torino**

incremento del ruscellamento, a mano a mano che aumentano i sottobacini partecipanti al deflusso.

Nella simulazione, viene cambiata la destinazione dell'acqua che non sarà più l'Outfall adiacente al sottobacino, bensì il sottobacino successivo. Di fatto in questo modo non si hanno più 21 sottobacini ma un solo grande bacino. Generalmente quando si ha a che fare con bacini di queste dimensioni, l'evento più gravoso è quello avente durata pari al tempo di corrivazione, questo perché in questo modo coinvolgiamo tutti i sottobacini nel deflusso superficiale.

La lunghezza del bacino è pari a circa 425 metri, stimando la velocità di una goccia d'acqua libera di muoversi sulla superficie pari a 0,5 m/s è facile calcolare il tempo di corrivazione come

$$t_c = \frac{425}{0,5} = 850s \cong 14'$$

L'atlante delle piogge intense in Piemonte non fornisce l'altezza di pioggia per un evento di 14 minuti, la si può comunque stimare, con una certa approssimazione basandosi sull'altezza di pioggia di un evento di durata di 10 minuti e di 20 minuti.

$$\frac{h_p(t_p = 20') - h_p(t_p = 10')}{20' - 10'} = \frac{h_p(t_p = 14') + h_p(t_p = 10')}{14' - 10'}$$

$$h_p(t_p = 14') = 20.82 \text{ mm}$$

Di conseguenza l'intensità sarà pari a

$$i_p(t_p = 14') = \frac{20.82}{14} = 1.49 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

A questo punto, esattamente come è stato fatto nel caso precedente, viene creata la nuova Time Series.



**Politecnico
di Torino**

Date	Time (H:M)	Value
	00:01	1,49
	00:02	1,49
	00:03	1,49
	00:04	1,49
	00:05	1,49
	00:06	1,49
	00:07	1,49
	00:08	1,49
	00:09	1,49
	00:10	1,49
	00:11	1,49
	00:12	1,49
	00:13	1,49
	00:14	1,49

Tabella 5 Quantità di pioggia precipitata per ogni intervallo di tempo [mm] $Tr=2$ anni; $tp=14'$

È stata quindi eseguita la simulazione ed è stato generato un grafico dal quale si possono notare le caratteristiche del sistema:

- I sottobacini di valle dovranno smaltire sia la quantità di pioggia che precipita sopra di essi, sia la quantità di acqua che proviene dai sottobacini a monte di essi. Questo si traduce in una quantità di acqua sempre maggiore tanto più che si va verso valle
- La portata non si interrompe all'interrompersi dell'evento di pioggia. Una volta superato il tempo di pioggia, bisognerà aspettare il defluire della portata proveniente dai sottobacini al di sopra del sottobacino analizzato. Questo si traduce in un ritardo nell'azzeramento della portata, anche di diversi minuti.



Politecnico
di Torino

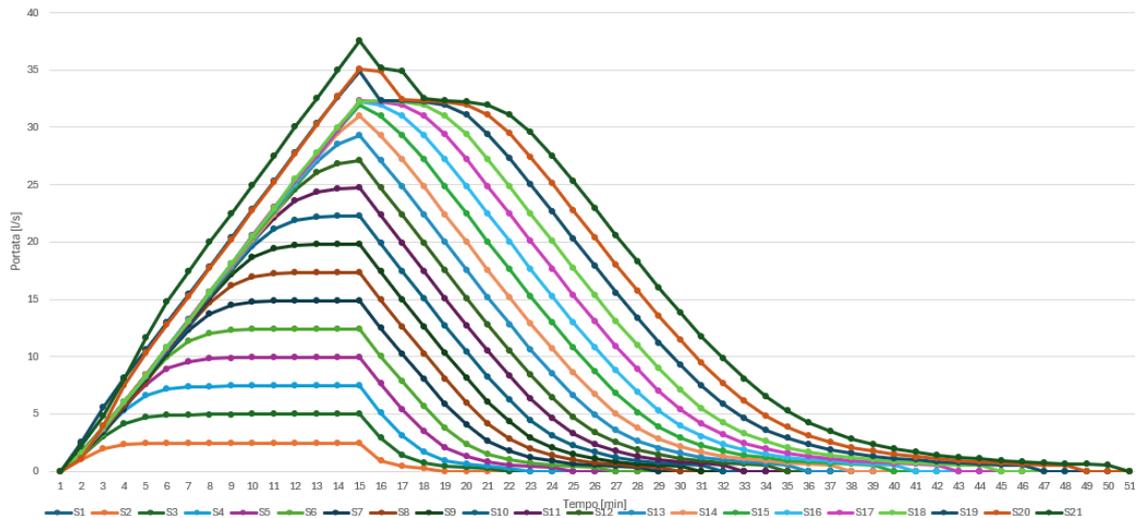


Figura 16 Portate d'acqua in uscita dai sottobacini

4.3. Tempo di ritorno 2 anni – LID

Fino ad adesso è stato analizzato solo ciò che accade alla rete di drenaggio urbano allo stato attuale. Il caso analizzato in questo capitolo prevede l'integrazione del SuDS alla rete. Per facilitare il paragone con la simulazione allo stato attuale si è deciso di analizzare l'evento avente tempo di ritorno di due anni e durata di pioggia di dieci minuti. Dall'atlante delle piogge intense in Piemonte si ottiene l'altezza di pioggia cumulata per l'evento scelto che è pari a 19,3 mm.

$$h_p(T_r = 2; t_p = 10') = 19,3 \text{ mm}$$

Dividendo l'altezza di pioggia per il tempo di pioggia si ottiene l'intensità media dell'evento.



**Politecnico
di Torino**

$$i_p(T_r = 2; t_p = 10') = \frac{19,3}{10} = 1,93 \frac{mm}{min}$$

Su EpaSwmm è stata quindi creata la Time Series, inserendo per ogni intervallo temporale della durata di un minuto, la quantità di pioggia precipitata.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0:01	1.93
	0:02	1.93
	0:03	1.93
	0:04	1.93
	0:05	1.93
	0:06	1.93
	0:07	1.93
	0:08	1.93
	0:09	1.93
	0:10	1.93

Tabella 6 Quantità di pioggia per ogni intervallo di tempo [mm]. $T_r=2$; $t_p=10'$

Infine, per simulare l'evento di pioggia, è stato creato il Rain Gage a cui è stata associata la Time Series appena creata. È finalmente possibile eseguire la simulazione. Una volta eseguita la simulazione EpaSwmm offre la possibilità di osservare il report del LID dal quale è possibile controllare come ha reagito il sistema al seguito dell'evento di pioggia.



**Politecnico
di Torino**

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
S1	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa2	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa3	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa4	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa5	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa6	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa7	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa8	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa9	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb10	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb11	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb12	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb13	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb14	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb15	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb16	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb17	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb18	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb19	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb20	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00
Sb21	Lid1	19.30	0.00	2.20	0.00	0.00	10.80	27.90	0.00

Tabella 7 Report del LID

La total inflow è la quantità di acqua in ingresso nel LID, in questo caso essendo proveniente interamente dalla pioggia rappresenta banalmente l'altezza di pioggia precipitata durante l'intero evento. Come si può notare dalla tabella, a parte una piccola perdita dovuta all'infiltrazione, l'intero volume di pioggia è stato stoccato all'interno del LID. Coerentemente a quanto impostato nell'editor del LID la quantità di acqua stoccata all'interno dello storage nelle condizioni iniziali non è nulla, ma è pari a 10,8 mm, ovvero il 2% della capacità di immagazzinamento totale. In questo caso non vi sarà alcun deflusso superficiale e le caditoie non capteranno alcuna pioggia. I risultati ottenuti sono dovuti alla differenza tra l'intensità di pioggia e la conduttività del terreno. Infatti, quest'ultima è sufficientemente alta da catturare l'intero volume di pioggia prima che esso finisca all'interno della caditoia.

$$K = 2,68 \frac{mm}{min} > i_p = 1,93 \frac{mm}{min}$$



**Politecnico
di Torino**

4.4. Tempo di ritorno 20 anni – LID

Il secondo evento che si è deciso di analizzare è quello corrispondente ad un tempo di ritorno di venti anni ed una durata di pioggia di dieci minuti. Analogamente a quanto fatto in precedenza è stato consultato l'atlante delle piogge intense in Piemonte per ottenere l'altezza di pioggia cumulata corrispondente all'evento scelto, che in questo caso è pari a 34,8 mm.

$$h_p(T_r = 20; t_p = 10') = 34,8 \text{ mm}$$

Dividendo l'altezza di pioggia per il tempo di pioggia si ottiene l'intensità media dell'evento.

$$i_p(T_r = 20; t_p = 10') = \frac{34,8}{10} = 3,48 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Su EpaSwmm è stata quindi creata la Time Series, inserendo per ogni intervallo temporale della durata di un minuto, la quantità di pioggia precipitata espressa in millimetri.



**Politecnico
di Torino**

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0:01	3.48
	0:02	3.48
	0:03	3.48
	0:04	3.48
	0:05	3.48
	0:06	3.48
	0:07	3.48
	0:08	3.48
	0:09	3.48
	0:10	3.48

Tabella 8 Quantità di pioggia per ogni intervallo di tempo [mm]. $Tr=20$; $tp=10'$

Infine, come nel caso precedente, è stato creato il Rain Gage a cui è stata associata la Time Series appena creata. È finalmente possibile eseguire la simulazione.

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
S1	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa2	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa3	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa4	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa5	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa6	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa7	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa8	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa9	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb10	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb11	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb12	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb13	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb14	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb15	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb16	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb17	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb18	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb19	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb20	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sb21	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02

Tabella 9 Report del LID



**Politecnico
di Torino**

A differenza di quanto visto in precedenza, in questo caso, l'intensità di pioggia è superiore alla velocità con cui il suolo riesce a catturare l'acqua. Questo si traduce in un accumulo d'acqua sulla superficie del LID e di conseguenza in deflusso superficiale.

$$K = 2,68 \frac{mm}{min} < i_p = 3,48 \frac{mm}{min}$$

Nelle due tabelle sottostanti è riportata la quantità d'acqua in ingresso in ciascuna caditoia espressa in litri al secondo, per ogni intervallo di tempo.

Hours	Node Out1	Node Out2	Node Out3	Node Out4	Node Out5	Node Out6	Node Out8	Node Out9	Node Out10
00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:02:00	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
00:03:00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
00:04:00	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
00:05:00	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
00:06:00	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
00:07:00	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
00:08:00	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
00:09:00	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
00:10:00	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
00:11:00	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
00:12:00	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
00:13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 10 Portata in ingresso nelle caditoie 1-10 [$\frac{l}{s}$] per ogni intervallo di tempo

Come si può notare da queste tabelle, nonostante il tempo di ritorno sia stato aumentato da 2 anni a 20 anni la presenza del LID mitiga a tal punto il runoff da rendere più gravoso il caso impermeabile.



**Politecnico
di Torino**

Hours	Node Out11	Node Out12	Node Out13	Node Out14	Node Out15	Node Out16	Node Out17	Node Out18	Node Out19	Node Out20
00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:02:00	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.53	0.26	0.26	0.26
00:03:00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.60	0.80	0.80	0.80
00:04:00	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	2.25	1.12	1.12	1.12
00:05:00	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	2.39	1.19	1.19	1.19
00:06:00	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	2.46	1.23	1.23	1.23
00:07:00	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	2.50	1.25	1.25	1.25
00:08:00	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	2.52	1.26	1.26	1.26
00:09:00	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	2.53	1.27	1.27	1.27
00:10:00	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	2.55	1.27	1.27	1.27
00:11:00	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	2.56	1.28	1.28	1.28
00:12:00	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	1.28	0.64	0.64	0.64
00:13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 11 Portata in ingresso nelle caditoie 11-20 [$\frac{l^3}{s}$] per ogni intervallo di tempo

Ogni caditoia serve unicamente il sottobacino a cui è stata assegnata. Trattandosi di sottobacini piccoli e molto simili tra di loro, la quantità di acqua in ingresso in ogni Outfall sarà anch'essa molto simile. Non essendo stata imposta nessuna condizione iniziale, non vi è alcun motivo per il quale ogni caditoia non sia in grado di catturare l'intera quantità di acqua intercettata.



**Politecnico
di Torino**

4.5. Tempo di ritorno 20 anni – LID; caso caditoie intasate

Fino ad ora si è analizzato il caso di caditoie perfette, ciò significa che sono in grado di catturare completamente l'acqua che intercettano. Ci si pone ora nell'altro caso limite, ovvero quello di caditoie intasate. Se vige questa ipotesi allora le caditoie lasceranno scorrere l'acqua senza intercettarla e catturarla, di conseguenza questa andrà ad invadere il sottobacino successivo. Ciò che ci si aspetta è quindi un incremento del ruscellamento, a mano a mano che aumentano i sottobacini partecipanti al deflusso.

Nella simulazione, viene cambiata la destinazione dell'acqua che non sarà più l'Outfall adiacente al sottobacino, bensì il sottobacino successivo. Di fatto in questo modo non si hanno più 21 sottobacini ma un solo grande bacino. Generalmente quando si ha a che fare con bacini di queste dimensioni, l'evento più gravoso è quello avente durata pari al tempo di corrivazione, questo perché in questo modo coinvolgiamo tutti i sottobacini nel deflusso superficiale.

La lunghezza del bacino è pari a circa 425 metri, stimando la velocità di una goccia d'acqua libera di muoversi sulla superficie pari a 0,5 m/s è facile calcolare il tempo di corrivazione come

$$t_c = \frac{425}{0,5} = 850s \cong 14'$$

L'atlante delle piogge intense in Piemonte non fornisce l'altezza di pioggia per un evento di 14 minuti, la si può comunque stimare, con una certa approssimazione basandosi sull'altezza di pioggia di un evento di durata di 10 minuti e di 20 minuti.



**Politecnico
di Torino**

$$\frac{h_p(t_p = 20') - h_p(t_p = 10')}{20' - 10'} = \frac{h_p(t_p = 14') + h_p(t_p = 10')}{14' - 10'}$$
$$h_p(t_p = 14') = 37,56 \text{ mm}$$

Di conseguenza l'intensità sarà pari a

$$i_p(t_p = 14') = \frac{37,56}{14} = 2,68 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Tuttavia, in questo caso aumentare il tempo di pioggia ridurrebbe l'intensità al di sotto della capacità del terreno di assorbire l'acqua rendendo nullo l'intero deflusso superficiale. Per questo motivo l'evento meteorico più gravoso per il sistema è lo stesso già analizzato nel caso delle cadute perfette.

$$i_p(t_p = 10') = 3,48 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Le due tabelle sottostanti riportano la portata in uscita, sottoforma di outflow, da ogni sottobacino per ogni intervallo di tempo, espressa in millimetri.



**Politecnico
di Torino**

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
S1	Lid1	34.80	0.00	2.93	6.95	0.00	10.80	35.73	-0.02
Sa2	Lid1	41.75	0.00	2.93	13.12	0.00	10.80	36.50	-0.02
Sa3	Lid1	47.92	0.00	2.93	18.54	0.00	10.80	37.26	-0.01
Sa4	Lid1	53.34	0.00	2.93	23.18	0.00	10.80	38.03	-0.01
Sa5	Lid1	57.98	0.00	2.93	27.42	0.00	10.80	38.44	-0.01
Sa6	Lid1	62.22	0.00	2.93	31.31	0.00	10.80	38.78	-0.01
Sa7	Lid1	66.11	0.00	2.93	34.45	0.00	10.80	39.54	-0.01
Sa8	Lid1	69.25	0.00	2.93	36.85	0.00	10.80	40.28	-0.01
Sa9	Lid1	71.65	0.00	2.93	38.51	0.00	10.80	41.01	-0.01
Sb10	Lid1	73.31	0.00	2.93	40.05	0.00	10.80	41.14	-0.01
Sb11	Lid1	74.85	0.00	2.93	41.01	0.00	10.80	41.71	-0.01
Sb12	Lid1	75.81	0.00	2.93	41.32	0.00	10.80	42.36	-0.01
Sb13	Lid1	76.12	0.00	2.93	41.32	0.00	10.80	42.67	-0.01
Sb14	Lid1	76.12	0.00	2.93	41.32	0.00	10.80	42.67	-0.01
Sb15	Lid1	76.12	0.00	2.93	41.32	0.00	10.80	42.67	-0.01
Sb16	Lid1	76.12	0.00	2.93	41.32	0.00	10.80	42.67	-0.01
Sb17	Lid1	76.12	0.00	2.93	41.32	0.00	10.80	42.67	-0.01
Sb18	Lid1	55.46	0.00	2.93	22.01	0.00	10.80	41.32	-0.01
Sb19	Lid1	78.83	0.00	2.93	46.74	0.00	10.80	39.97	-0.01
Sb20	Lid1	58.17	0.00	2.93	25.10	0.00	10.80	40.94	-0.01
Sb21	Lid1	59.90	0.00	2.93	28.19	0.00	10.80	39.58	-0.01

Tabella 12 Report del LID

Dal report si può notare come la quantità di acqua in ingresso all'interno del LID aumenta più si va verso valle, questo è dovuto al fatto che aumentano i sottobacini partecipanti al deflusso e di conseguenza l'accumulo di acqua. Si può notare anche come l'aumento di Total Inflow tra un sottobacino e l'altro sia sempre minore fino ad interrompersi intorno al sottobacino Sb12, questo è dovuto al raggiungimento del tempo di corrivazione.



**Politecnico
di Torino**

Days	Hours	Subcatch S1	Subcatch Sa2	Subcatch Sa3	Subcatch Sa4	Subcatch Sa5	Subcatch Sa6	Subcatch Sa7	Subcatch Sa8	Subcatch Sa9	Subcatch Sb10
0	00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:02:00	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
0	00:03:00	1.07	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
0	00:04:00	1.17	2.25	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
0	00:05:00	1.22	2.39	3.46	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99
0	00:06:00	1.24	2.46	3.63	4.70	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23
0	00:07:00	1.26	2.50	3.71	4.89	5.96	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49
0	00:08:00	1.26	2.52	3.76	4.97	6.15	7.22	7.75	7.75	7.75	7.75
0	00:09:00	1.27	2.53	3.79	5.03	6.24	7.42	8.49	9.02	9.02	9.02
0	00:10:00	1.28	2.55	3.81	5.07	6.31	7.52	8.69	9.77	10.30	10.30
0	00:11:00	1.28	2.56	3.83	5.09	6.35	7.59	8.80	9.98	11.05	11.58
0	00:12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	1.84	3.08	4.29	5.47	6.54
0	00:13:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
0	00:14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 13 Portata in uscita da ogni sottobacino 1-10 [$\frac{1}{s}$] $Tr=20$ anni; $tp=10'$

Days	Hours	Subcatch Sb11	Subcatch Sb12	Subcatch Sb13	Subcatch Sb14	Subcatch Sb15	Subcatch Sb16	Subcatch Sb17	Subcatch Sb18	Subcatch Sb19	Subcatch Sb20
0	00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:02:00	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	1.05	0.53	1.05
0	00:03:00	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	2.67	2.13	2.67
0	00:04:00	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	3.95	3.85	4.47
0	00:05:00	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	5.21	5.16	6.28
0	00:06:00	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	6.47	6.45	7.64
0	00:07:00	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	7.74	7.73	8.96
0	00:08:00	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	9.01	9.00	10.25
0	00:09:00	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	10.29	10.28	11.54
0	00:10:00	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	10.30	11.57	11.57	12.83
0	00:11:00	11.58	11.58	11.58	11.58	11.58	11.58	11.58	12.86	12.86	14.13
0	00:12:00	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	2.55	8.35	3.83
0	00:13:00	2.03	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	0.00	0.00	0.00
0	00:14:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:15:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 14 Portata in uscita da ogni sottobacino 11-20 . $Tr=20$ anni; $tp=10'$

Dalle tabelle si può notare come la portata in uscita da ogni sottobacino aumenti con il passare del tempo, a mano a mano che i sottobacini a monte di quello analizzato iniziano a partecipare al deflusso, fino a raggiungere un certo tempo, diverso per ogni sottobacino, dopo il quale rimane più o meno costante. Il momento in cui questo avviene coincide con il tempo di corrivazione, ossia il tempo che ci mette l'acqua



Politecnico
di Torino

precipitata nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere il sottobacino analizzato. Si faccia caso a come questa tendenza si interrompe una volta raggiunto il bacino Sb10, questo è dovuto al fatto che il tempo di corrivazione ha superato il tempo di pioggia.

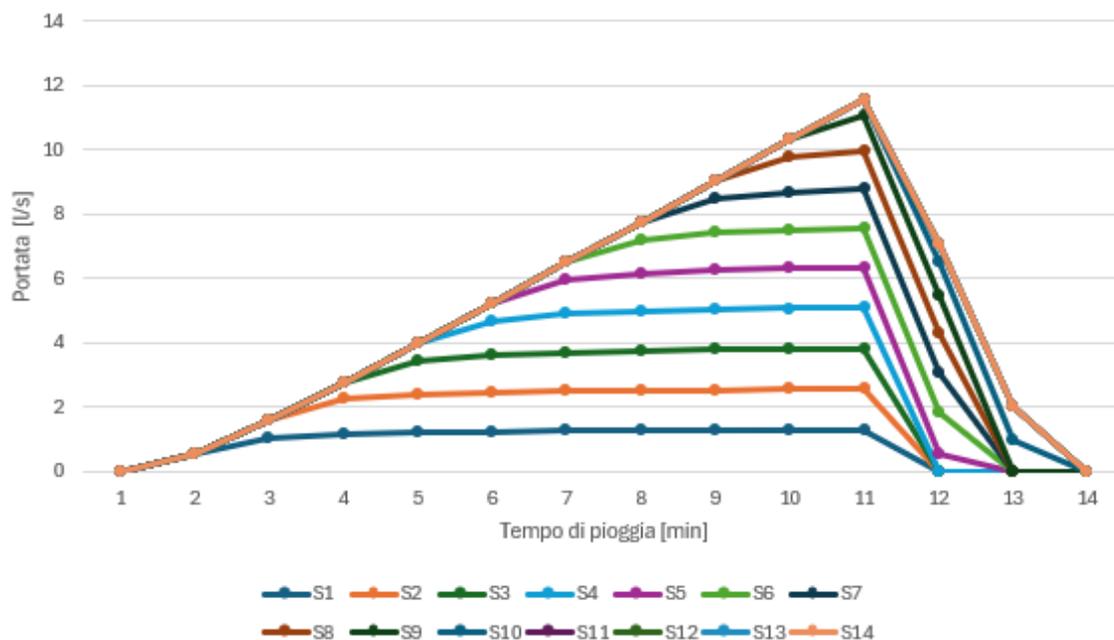


Figura 17 Portate d'acqua in uscita dai sottobacini S1 - S14

Nel grafico soprastante sono state rappresentate le portate di acqua fluenti nei sottobacini dal S1 al S14 dal quale è ancora più facile notare le caratteristiche del sistema già discusse in precedenza. In particolare:

- I sottobacini tendono a raggiungere un equilibrio tra la quantità di acqua in entrata per via della pioggia o dall'afflusso di sottobacini più a monte e quella in uscita. Questo equilibrio tende ad essere sempre più traslato nel tempo quanti più bacini partecipano al deflusso. L'istante in cui viene raggiunto l'equilibrio coincide con il tempo di corrivazione di quel sottobacino



**Politecnico
di Torino**

- Più i sottobacini si trovano a valle maggiore sarà la portata d'acqua in uscita. Si faccia caso che le curve dei sottobacini S11, S12, S13 ed S14 sono coincidenti e non hanno alcun plateau. Questo perché l'evento di pioggia si interrompe prima che essi raggiungano il tempo di corrivazione
- Quanto più i sottobacini si trovano a valle, tanto più l'altezza di pioggia ritarderà a raggiungere lo zero al finire dell'evento di pioggia. Si faccia caso come anche questa tendenza si interrompe dal sottobacino S11 in poi

Una volta che l'evento è terminato la portata non si interrompe bruscamente, ma ci sarà un ritardo dovuto dall'ingresso dell'acqua proveniente dai sottobacini più a monte.

Hours	Total Inflow (LPS)
00:01:00	0.00
00:02:00	0.53
00:03:00	2.13
00:04:00	4.11
00:05:00	5.96
00:06:00	7.83
00:07:00	9.46
00:08:00	10.82
00:09:00	12.14
00:10:00	13.44
00:11:00	14.75
00:12:00	10.25
00:13:00	2.55
00:14:00	0.00

Tabella 15 Quantità di pioggia per ogni intervallo di tempo [mm] $Tr=20$ anni $tp=14'$



**Politecnico
di Torino**

Nella tabella soprastante è riportata la portata d'acqua in ingresso nell'ultima caditoia minuto per minuto. La quantità di acqua in ingresso in questa caditoia coincide, ovviamente, con la quantità in uscita dall'ultimo sottobacino. La velocità con la quale la portata si riduce, una volta superato il tempo di pioggia, è accentuata dalla conduttività del terreno.



**Politecnico
di Torino**

4.6. Tempo di ritorno 20 anni – LID; Conduttività del terreno ridotta.

In questo capitolo si osserverà l'effetto dello stesso evento di pioggia già analizzato nei casi precedenti su di un LID con una capacità di captazione dell'acqua inferiore. Questo effetto potrebbe essere dovuto all'accumulo di materiale fino, indesiderato, all'interno del LID. Per simulare questo effetto è stato fatto riferimento ai terreni in vendita per le Bioretention cells si è scelto di utilizzare un terreno avente un K inferiore del 60% rispetto a quello usato in precedenza definito a moderata permeabilità:

$$K = 93 \frac{mm}{hr}$$

Trattandosi dello stesso evento di pioggia, la quantità di acqua precipitata sarà la stessa; tuttavia, la minore conduttività del terreno porterà ad un maggior ruscellamento.



Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
S1	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa2	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa3	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa4	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa5	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa6	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa7	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa8	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa9	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb10	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb11	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb12	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb13	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb14	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb15	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb16	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb17	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb18	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb19	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb20	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sb21	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00

Tabella 16 Report del LID

Dalla tabella soprastante si può notare, come previsto la quantità di acqua stoccata all'interno del LID alla fine dell'evento si sia ridotta passando da 35,73 mm a 27,33 mm. Ne consegue un aumento del volume di acqua in uscita da ogni LID che infatti passa da 6,95 mm a 18,27 mm.

Days	Hours	Node Out1	Node Out2	Node Out3	Node Out4	Node Out5	Node Out6	Node Out8	Node Out9	Node Out10
0	00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:02:00	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
0	00:03:00	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
0	00:04:00	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03
0	00:05:00	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09
0	00:06:00	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12
0	00:07:00	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
0	00:08:00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
0	00:09:00	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
0	00:10:00	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
0	00:11:00	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17
0	00:12:00	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59

Tabella 17 Portata in ingresso nelle caditoie 1-10 per ogni intervallo di tempo



**Politecnico
di Torino**

Days	Hours	Node Out11	Node Out12	Node Out13	Node Out14	Node Out15	Node Out16	Node Out17	Node Out18	Node Out19	Node Out20
0	00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:02:00	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	2.34	1.17	1.17	1.17
0	00:03:00	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	5.33	2.67	2.67	2.67
0	00:04:00	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	6.06	3.03	3.03	3.03
0	00:05:00	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	6.18	3.09	3.09	3.09
0	00:06:00	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	6.24	3.12	3.12	3.12
0	00:07:00	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	6.28	3.14	3.14	3.14
0	00:08:00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	6.30	3.15	3.15	3.15
0	00:09:00	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	6.31	3.16	3.16	3.16
0	00:10:00	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	6.33	3.16	3.16	3.16
0	00:11:00	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	6.34	3.17	3.17	3.17
0	00:12:00	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	3.17	1.59	1.59	1.59

Tabella 18 Portata in ingresso nelle caditoie 11-20 Per ogni intervallo di tempo

Per far sì che il sistema non vada in crisi le caditoie devono essere in grado di smaltire la portata in ingresso, riportata nelle tabelle soprastanti in litri al secondo.



**Politecnico
di Torino**

4.7. Tempo di ritorno 20 anni – LID; Caditoie intasate; Conduttività ridotta.

In questo capitolo viene osservato l'effetto di una conduttività ridotta anche nei confronti del caso di caditoie intasate già visto in precedenza. Prima di tutto è necessario verificare quale evento con tempo di ritorno di venti anni sia il più gravoso per il sistema. Per farlo abbiamo bisogno di capire quanto è l'incremento di acqua tra un evento e l'altro e quanta è in grado di assorbirne il LID.

Come già fatto anche nel caso precedente è necessario calcolare utilizzare un tempo di pioggia che corrisponda con il tempo di corrivazione dell'intero bacino, per far in modo che nella sezione di chiusura partecipino tutti i sottobacini e cercando in questo modo di massimizzare la gravosità dell'evento. I risultati sono riportati di seguito:

$$t_c = \frac{425}{0,5} = 850s \cong 14'$$

$$h_p(t_p = 14') = 37,56 \text{ mm}$$

Ricordando i valori dell'evento di pioggia di durata di dieci minuti:

$$h_p(t_p = 10') = 34,8 \text{ mm}$$

È possibile affermare che rispetto alla quantità di acqua precipitata nell'evento da dieci minuti e avente il medesimo tempo di ritorno sono piovuti 2,72 millimetri di acqua in più, ma per valutare se alla sezione di chiusura si avrà o meno un incremento della portata è necessario anche valutare quanta acqua viene trattenuta dal LID.

Ricordando le proprietà del LID a conduttività ridotta:



**Politecnico
di Torino**

$$k = 93 \frac{mm}{hr} \rightarrow 1,55 \frac{mm}{min}$$

Possiamo calcolare la quantità totale di acqua captata dal terreno in ogni evento (V_{tot})

$$V_{tot}(t_p = 10') = 15,5 \text{ mm}$$

$$V_{tot}(t_p = 14') = 21,7 \text{ mm}$$

Mentre la quantità di acqua precipitata è aumentata di 2,72 mm, la quantità di acqua assorbita dal LID è aumentata di 6,2 mm, rendendo di fatto l'evento da 14' meno gravoso rispetto a quello di 10'.

Quanto detto trova riscontro facendo un confronto tra le performance dei LID dei due eventi:

- La Final Storage rappresenta la quantità di acqua che alla fine dell'evento si trova all'interno del LID nonostante la conduttività del terreno sia la stessa nell'evento da 14' il LID ha più tempo a disposizione per immagazzinare acqua
- La Total Inflow rappresenta l'acqua che entra all'interno del LID sia per la pioggia sia per il ruscellamento dagli altri sottobacini. Nella riga relativa al sottobacino S1, non essendoci sottobacini a monte di esso, questo valore rappresenta banalmente la quantità di pioggia precipitata durante l'evento meteorico 4ed è, come ci si aspettava, maggiore per l'evento da 14'. Tuttavia, dal sottobacino S2 in poi, interviene la quantità di acqua che ruscella dai sottobacini a monte di quello analizzato, diventa quindi superiore nell'evento da 10'



**Politecnico
di Torino**

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
S1	Lid1	34.80	0.00	0.00	18.27	0.00	10.80	27.33	-0.00
Sa2	Lid1	53.07	0.00	1.00	34.97	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa3	Lid1	69.77	0.00	1.33	51.34	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa4	Lid1	86.14	0.00	2.57	66.46	0.00	10.80	27.90	0.00
Sa5	Lid1	101.26	0.00	2.90	80.93	0.00	10.80	28.24	-0.01
Sa6	Lid1	115.73	0.00	2.90	94.48	0.00	10.80	29.15	-0.01
Sa7	Lid1	129.28	0.00	2.90	107.05	0.00	10.80	30.14	-0.01
Sa8	Lid1	141.85	0.00	2.90	119.04	0.00	10.80	30.72	-0.01
Sa9	Lid1	153.84	0.00	2.90	129.72	0.00	10.80	32.03	-0.01
Sb10	Lid1	164.52	0.00	2.90	140.14	0.00	10.80	32.29	-0.00
Sb11	Lid1	174.94	0.00	2.90	148.99	0.00	10.80	33.85	-0.00
Sb12	Lid1	183.79	0.00	2.90	157.78	0.00	10.80	33.92	-0.00
Sb13	Lid1	192.58	0.00	2.90	165.07	0.00	10.80	35.42	-0.00
Sb14	Lid1	199.87	0.00	2.90	171.98	0.00	10.80	35.80	-0.00
Sb15	Lid1	206.78	0.00	2.90	177.71	0.00	10.80	36.98	-0.00
Sb16	Lid1	212.51	0.00	2.90	182.75	0.00	10.80	37.67	-0.00
Sb17	Lid1	217.55	0.00	2.90	186.91	0.00	10.80	38.55	-0.00
Sb18	Lid1	228.25	0.00	2.90	97.14	0.00	10.80	39.03	-0.01
Sb19	Lid1	229.07	0.00	2.90	197.24	0.00	10.80	39.74	-0.00
Sb20	Lid1	133.42	0.00	2.90	101.48	0.00	10.80	39.85	-0.01
Sb21	Lid1	136.28	0.00	2.90	105.39	0.00	10.80	38.80	-0.01

Tabella 19 LID performance (Tr 20; 10')

Subcatchment	LID Control	Total Inflow mm	Evap Loss mm	Infil Loss mm	Surface Outflow mm	Drain Outflow mm	Initial Storage mm	Final Storage mm	Continuity Error %
S1	Lid1	37.52	0.00	2.90	14.74	0.00	10.80	30.68	-0.02
Sa2	Lid1	52.26	0.00	2.90	28.38	0.00	10.80	31.80	-0.01
Sa3	Lid1	65.90	0.00	2.90	41.55	0.00	10.80	32.25	-0.01
Sa4	Lid1	79.07	0.00	2.90	54.07	0.00	10.80	32.91	-0.01
Sa5	Lid1	91.59	0.00	2.90	65.68	0.00	10.80	33.82	-0.01
Sa6	Lid1	103.20	0.00	2.90	77.10	0.00	10.80	34.01	-0.01
Sa7	Lid1	114.62	0.00	2.90	87.40	0.00	10.80	35.12	-0.01
Sa8	Lid1	124.92	0.00	2.90	97.45	0.00	10.80	35.38	-0.01
Sa9	Lid1	134.97	0.00	2.90	106.65	0.00	10.80	36.23	-0.01
Sb10	Lid1	144.17	0.00	2.90	115.13	0.00	10.80	36.95	-0.01
Sb11	Lid1	152.65	0.00	2.90	123.24	0.00	10.80	37.33	-0.01
Sb12	Lid1	160.76	0.00	2.90	130.24	0.00	10.80	38.42	-0.00
Sb13	Lid1	167.76	0.00	2.90	137.16	0.00	10.80	38.51	-0.00
Sb14	Lid1	174.68	0.00	2.90	143.07	0.00	10.80	39.51	-0.00
Sb15	Lid1	180.59	0.00	2.90	148.43	0.00	10.80	40.07	-0.00
Sb16	Lid1	185.95	0.00	2.90	153.25	0.00	10.80	40.60	-0.00
Sb17	Lid1	190.77	0.00	2.90	157.05	0.00	10.80	41.64	-0.00
Sb18	Lid1	116.04	0.00	2.90	82.52	0.00	10.80	41.43	-0.01
Sb19	Lid1	202.55	0.00	2.90	168.83	0.00	10.80	41.64	-0.00
Sb20	Lid1	121.93	0.00	2.90	87.91	0.00	10.80	41.93	-0.01
Sb21	Lid1	125.43	0.00	2.90	92.14	0.00	10.80	41.20	-0.01

Tabella 20 LID performance (Tr 20; 14')



Politecnico
di Torino

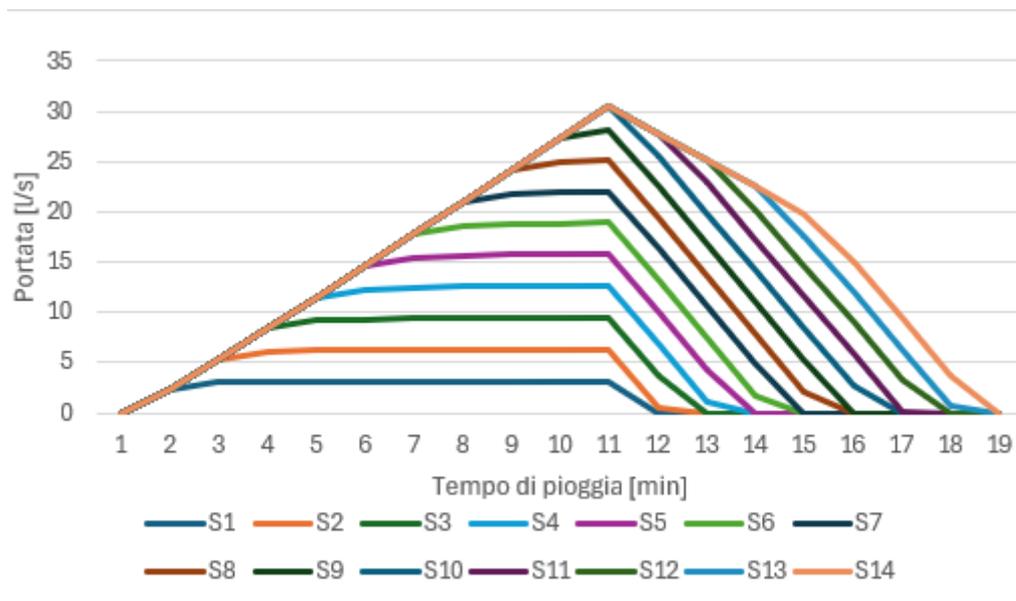


Figura 18 Portata in uscita da ogni sottobacino S1-S14

Come nel caso precedente è stato riportato il grafico rappresentante le portate in uscita da ogni sottobacino. Anche in questo caso il tempo di pioggia è inferiore al tempo di corrivazione. In particolare, si nota come la curva formi una cuspide dal sottobacino S13, tale forma segnala che per quel sottobacino l'evento di pioggia è terminato prima che venisse raggiunto il tempo di corrivazione.

Avendo a che fare con una conduttività minore rispetto al caso precedente di caditoie intasate, il ritardo nella riduzione della portata al termine dell'evento è meno repentino. Via via che si analizzano i sottobacini più a valle l'azzeramento della portata è traslato sempre di più nell'asse dei tempi.



**Politecnico
di Torino**

4.8. Raffronto tra diversi eventi di pioggia.

In questo capitolo è stato eseguito un raffronto tra i picchi di portata derivanti da eventi di pioggia aventi durata differente. Per avere un raffronto più significativo si è deciso di analizzare il caso in cui le caditoie fossero completamente intasate. Gli eventi scelti per la comparazione avranno le seguenti caratteristiche

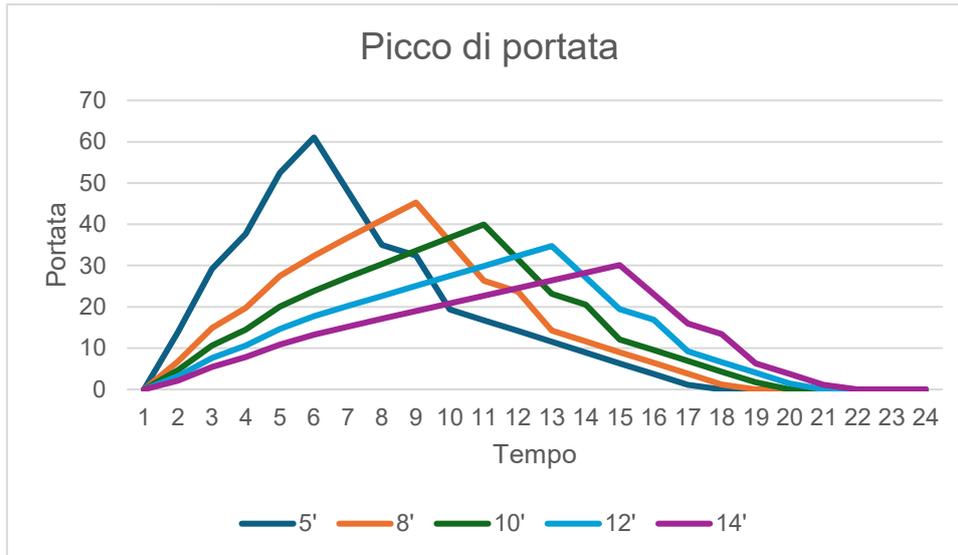
- Durata di pioggia di 5; 8; 10; 12 e 14 minuti;
- Per rendere la lettura dei risultati più semplice è stato scelto di utilizzare sempre un LID dalla bassa conduttività del terreno, che sarà sempre la stessa per tutti e cinque gli eventi e sarà pari a $93\frac{mm}{h}$;
- Il tempo di ritorno sarà pari a venti anni.

Viene fatto presente che per ottenere le altezze di pioggia precipitate relative alle durate non presenti nell'atlante delle piogge intense del Piemonte si è dovuta fare un'approssimazione sfruttando una legge di crescita lineare.

Sono quindi state eseguite le diverse simulazioni e isolando la portata massima fluente alla sezione di chiusura del bacino si è potuta osservare la variazione di questa grandezza al variare della durata dell'evento di pioggia.



**Politecnico
di Torino**



Dal grafico è evidente che il picco di portata maggiore derivi dall'evento di pioggia avente durata minore. Tuttavia, è anche il più rapido a mitigarsi e a raggiungere lo zero. Infatti, all'aumentare del tempo di pioggia e del conseguente ridursi dell'intensità di pioggia, il picco di portata non solo si addolcisce ma viene anche traslato sempre più in avanti lungo l'asse dei tempi.

5. Conclusioni

Come dimostrato nelle simulazioni l'implemento dei LIDs all'interno del sistema di drenaggio urbano tradizionale ha effetti benefici sia nei confronti dell'abbattimento delle portate di piena, sia nei confronti del ritardo con il quale la portata si azzerava al termine dell'evento di pioggia riducendo anche significativamente le conseguenze dovute ad eventi di pioggia estremi. Non solo, l'implemento dei LIDs migliora la resilienza complessiva del sistema rendendolo meno suscettibile a crisi dovute a



**Politecnico
di Torino**

rotture puntuali della rete tradizionale. Avendo anche bisogno di poca manutenzione diventano un ottimo metodo per ridurre passivamente il ruscellamento superficiale.

Questi effetti sono molto evidenti confrontando quanto abbiamo visto nel capitolo 4.2 e 4.5 nei quali si sono analizzate le conseguenze di un evento di pioggia su di un sistema avente caditoie intasate. Nel primo caso si aveva un sistema tradizionale semplice senza che vi fossero implementati i SuDS che veniva sollecitato da un evento con tempo di ritorno di due anni e di durata di 14 minuti. Nel secondo caso veniva analizzato un sistema integrato con i SuDS sollecitato da un evento con tempo di ritorno di venti anni e di durata di dieci minuti. Nonostante la quantità di pioggia precipitata nel secondo caso fosse più che raddoppiata, osservando i due grafici in figura 16 e figura 17 dei due eventi è evidente che il sistema che risponde meglio sia quello in presenza di LIDs, sia in termini di picco di portata raggiunto sia in termini di durata degli effetti dovuti all'evento.

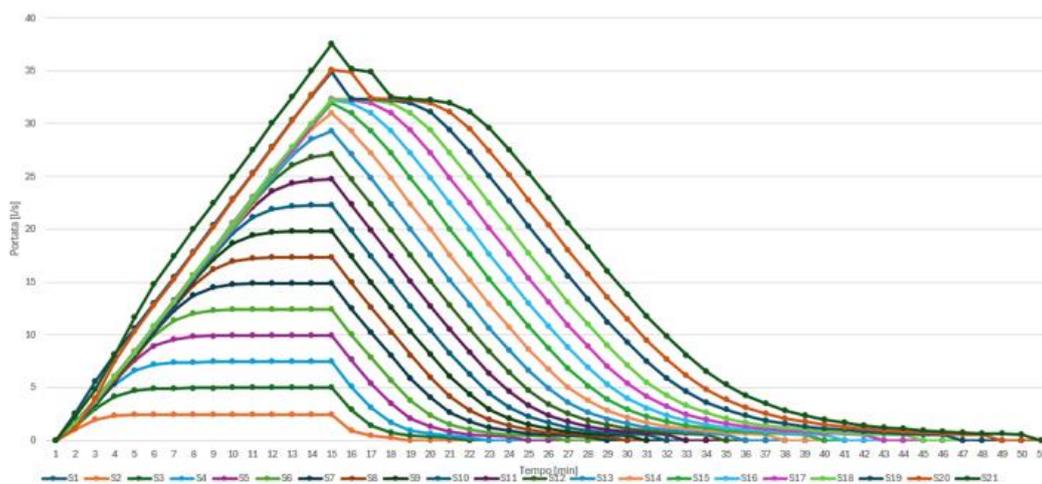


Figura 16 Portate d'acqua in uscita dai sottobacini



Politecnico
di Torino

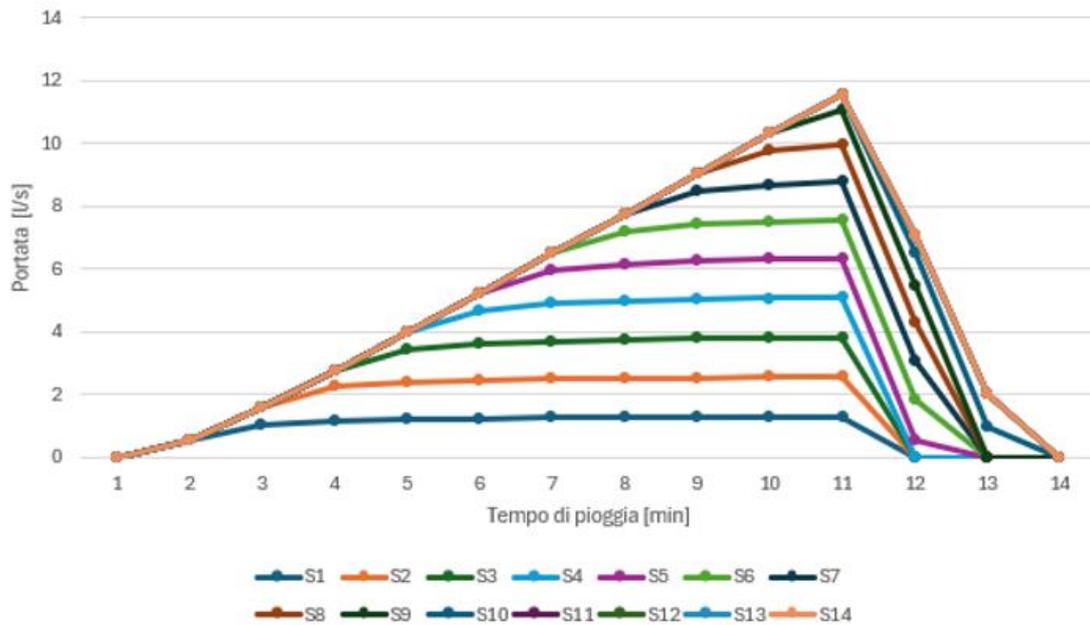


Figura 17 Portate d'acqua in uscita dai sottobacini S1 - S14

Nel capitolo 4.6 e 4.7 si è valutata la resilienza dei SuDS se messo in crisi. Si è infatti osservata la risposta del LID ad un evento di piena avente tempo di ritorno di venti anni e durata di dieci minuti, nel caso in cui il sistema fosse deteriorato per via di una scarsa manutenzione o per l'accumulo di materiale fine all'interno dello strato di suolo. I due casi si distinguono perché il primo è integrato in una rete di drenaggio urbano perfettamente funzionante, il secondo invece, in una rete di drenaggio urbana aventi le caditoie completamente intasate. Nel primo caso, come si può notare dalla tabella, anche se la conduttività del terreno è inferiore del 60% rispetto al caso ottimale, la rete riesce a smaltire l'intera quantità di acqua in ingresso senza problemi



**Politecnico
di Torino**

Days	Hours	Node Out11	Node Out12	Node Out13	Node Out14	Node Out15	Node Out16	Node Out17	Node Out18	Node Out19	Node Out20
0	00:01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	00:02:00	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	2.34	1.17	1.17	1.17
0	00:03:00	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	5.33	2.67	2.67	2.67
0	00:04:00	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	6.06	3.03	3.03	3.03
0	00:05:00	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	6.18	3.09	3.09	3.09
0	00:06:00	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12	6.24	3.12	3.12	3.12
0	00:07:00	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	6.28	3.14	3.14	3.14
0	00:08:00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	6.30	3.15	3.15	3.15
0	00:09:00	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	6.31	3.16	3.16	3.16
0	00:10:00	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	6.33	3.16	3.16	3.16
0	00:11:00	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	3.17	6.34	3.17	3.17	3.17
0	00:12:00	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	3.17	1.59	1.59	1.59

Tabella 18 Portata in ingresso nelle caditoie 11-20 Per ogni intervallo di tempo

Nel secondo caso, anche se il sistema è in condizioni di crisi e anche se è sollecitato da un evento di piena di intensità quasi doppia rispetto all'evento che ha sollecitato il caso impermeabile, vi sono evidenti benefici sia in termini di picco di portata, ma soprattutto in termini di durata dell'evento di piena.

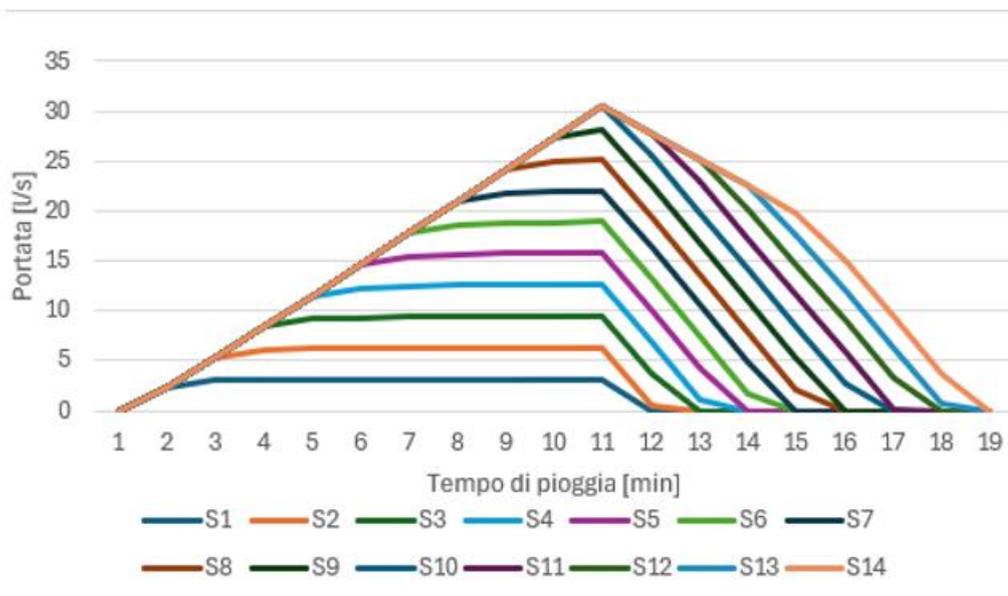


Figura 18 Portata in uscita da ogni sottobacino S1-S14



**Politecnico
di Torino**

6. Bibliografia

Guru Chythanya Guptha; Sabyasachi Swain, Nadhir Al-Ansari, Ajay Kumar Taloor, Deen Dayal In “*Urban Climate*” – 6 gennaio 2022: *Assessing the role of SuDS in resilience enhancement of urban drainage system: A case study of Gurugram City, India.*

Hammond, Michael J.; Chen, Albert S.; Djordjevic, Slobodan In “*Urban Water Journal*” – 28 novembre 2013: *Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review*

Louise Bertilsson, Karin Wiklund, Isadora de Moura Tebaldi, Osvaldo Moura Rezende Aline Pires Veról Marcelo Gomes Miguez In “*Journal of Hydrology*” – giugno 2018: *Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning*