



## UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

---

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E MECCANICA  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

### RELAZIONE IDRAULICA

*Rete di drenaggio acque meteoriche  
Quartiere “Le Albere” – Ex Parco Michelin (Trento)*

DOCENTI

Alberto Bellin

Maria Grazia Zanoni

STUDENTI

Nicola Meoli 225077

Luca Zorzi 227085

---

Anno accademico 2020/21

# Indice

<b>Elenco delle tabelle</b>	<b>3</b>
<b>Elenco delle figure</b>	<b>3</b>
<b>1 Caratteristiche pluviometriche dell'area di studio</b>	<b>4</b>
1.1 Curve di possibilità pluviometrica . . . . .	4
<b>2 Analisi idrologica e idraulica dell'area allo stato di fatto (valutazione del deflusso in SWMM)</b>	<b>7</b>
2.1 Caratteristiche dell'area allo stato di fatto . . . . .	7
2.2 Ietogramma di progetto . . . . .	8
2.3 Risultati dell'analisi . . . . .	12

# Elenco delle tabelle

1.1	Parametri $a$ ed $n$ per la costruzione della CPP . . . . .	4
2.1	Dati dei sottobacini ricavati da QGIS da inserire in SWMM. . . . .	8
2.2	Intensità di precipitazione in funzione della durata . . . . .	10
2.3	Dati di afflusso del progetto di base con ietogramma Chicago . . . . .	13

# Elenco delle figure

1.1	Confronto (a durata fissata) tra la frequenza campionaria e la probabilità di non superamento con i tre metodi della distribuzione di Gumbel . . . . .	5
1.2	Andamento dell'altezza di precipitazione $h$ in funzione dei tempi di ritorno $T_r$ ottenuta dal test di Paerson per una durata $t_p$ fissata . . . . .	5
1.3	Regressione lineare delle altezze di pioggia con un $T_r = 25$ anni in scala logaritmica . . . . .	6
1.4	Curve di possibilità pluviometrica con i parametri $a$ ed $n$ ricavati dalla regressione logaritmica e sostituiti nell'equazione ?? con $T_r$ di 25 anni . . . . .	6
2.1	Posizionamento del recapito finale per verificare il deflusso dei sottobacini . . . . .	9
2.2	Deflusso del bacino con l'utilizzo di ietogrammi costanti a diverse durate di pioggia. Il picco massimo è con durata di 5 min . . . . .	11
2.3	Ietogramma Chicago con $T_R = 25$ anni . . . . .	11
2.4	Ideogramma di piena in uscita con indicazione del picco in riferimento allo scarico di figura 2.1 . . . . .	12
2.5	Deflusso dei sottobacini più significativi con lo ietogramma chicago come input . . . . .	13

# Caratteristiche pluviometriche dell'area di studio

## 1.1 Curve di possibilità pluviometrica

Dopo che si è eseguito un primo inquadramento della zona si procede con le elaborazioni dei dati dei massimi annuali degli scrosci e delle precipitazioni orarie ricavate dalla stazione pluviometrica di Laste a Trento. Attraverso queste elaborazioni si pone l'obiettivo di determinare le curve di possibilità pluviometrica (CPP) a diversi tempi di ritorno  $T_r$ . Per la progettazione successiva si è scelto un tempo di ritorno di pari a 25 anni.

Per graficare le CPP a tempo di ritorno assegnato occorre conoscere i parametri  $a$  ed  $n$  della loro equazione

$$h = a(T_r) t_p^n \quad (1.1)$$

Tali parametri sono ottenuti attraverso una regressione lineare tra le altezze di pioggia  $h_c(T_r)$  e le durate di intensità di pioggia  $t_p$ . I parametri  $a$  ed  $n$  sono rispettivamente il coefficiente angolare e l'intercetta di tale regressione, visualizzata in scala logaritmica a base 10.

Per calcolare le altezze di pioggia  $h_c(T_r)$  si è fatto uso di tre metodi diversi all'interno della distribuzione di Gumbel, ovvero la probabilità di non superamento

$$P(X \leq x) = \exp[-\exp[-x]] \quad (1.2)$$

dove  $x = \alpha(h - u)$  mentre  $h$  è il vettore con i massimi annuali relativi ad una specifica durata di precipitazione, ottenuti dalla stazione pluviometrica.

I tre diversi metodi sono:

- dei momenti;
- dei minimi quadrati;
- della massima verosimiglianza.

Avendo quindi tre diversi parametri  $\alpha$  ed  $u$  (avendo usato tutti e tre i metodi), per scegliere la coppia di parametri migliore si è usato il test di Pearson o del  $\chi^2$ .

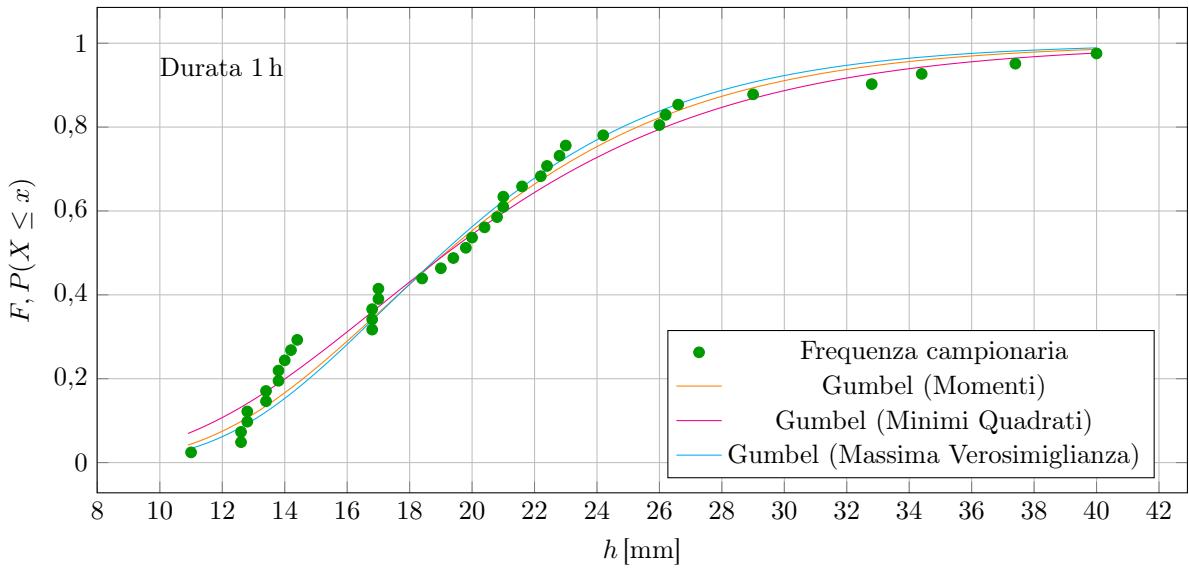
Fatto ciò si hanno i valori dell'altezza di precipitazione per ogni tempo di ritorno per una durata fissata. Eseguendo il calcolo per ogni durata ed eseguendo la regressione lineare, si ottiene infine  $a$  ed  $n$  per poter graficare la CPP.

Nelle figure 1.1 e 1.2 viene mostrato la distribuzione di Gumbel e il relativo test di Pearson per una durata  $t_p$  fissata di un'ora. In figura 1.3 è rappresentata la regressione lineare relativa ai due macro insiemi di durata (scrosci e orarie), ottenuta avendo fissato un tempo di ritorno di 25 anni. Da questo sono ottenuti i parametri  $a$  ed  $n$  riportati in tabella 1.1 e da cui è stato rappresentato l'andamento delle due curve in figura 1.4.

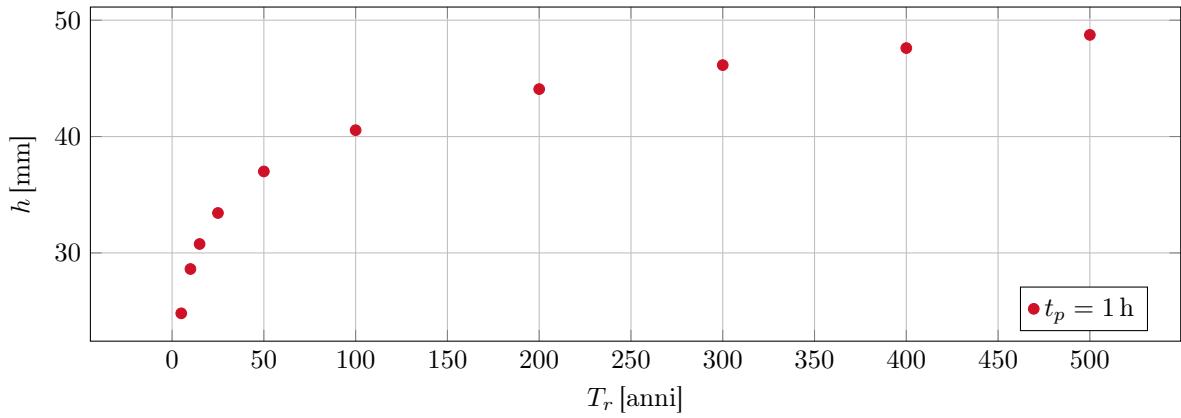
**Tabella 1.1:** Parametri  $a$  ed  $n$  per la costruzione della CPP

	$a$	$n$
Scrosci	34,890 380 507 987	0,380 264 379 496
Orarie	32,123 336 325 361	0,447 173 501 027

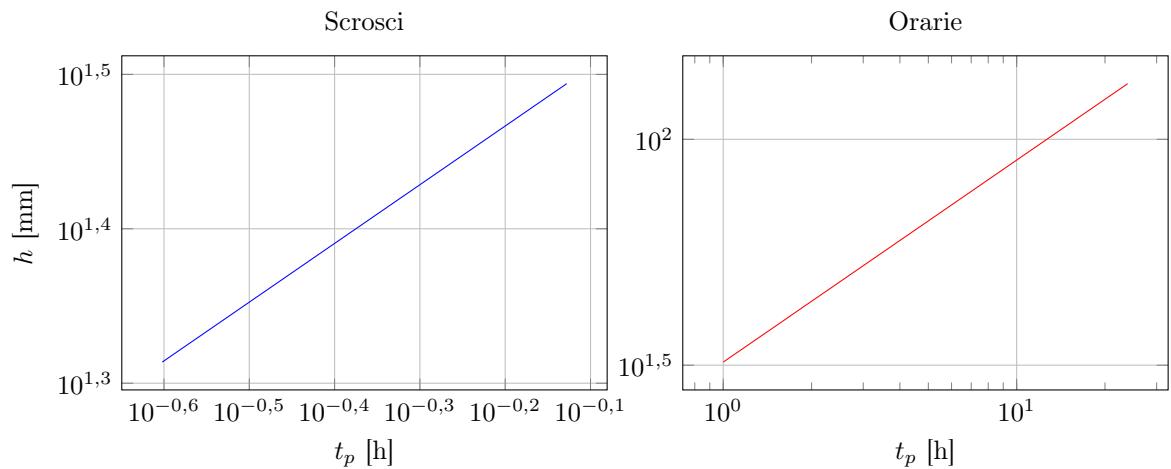
Da tale grafico si evince come si ottenga una maggiore altezza di precipitazione, dovuta agli scrosci, per le prime tre ore e mezza ( $\hat{t}_p$ ) e poi le precipitazioni orarie superano gli scrosci. Per il seguente progetto, che riguarda un breve lasso di tempo, si prenderanno in considerazione soltanto gli scrosci.



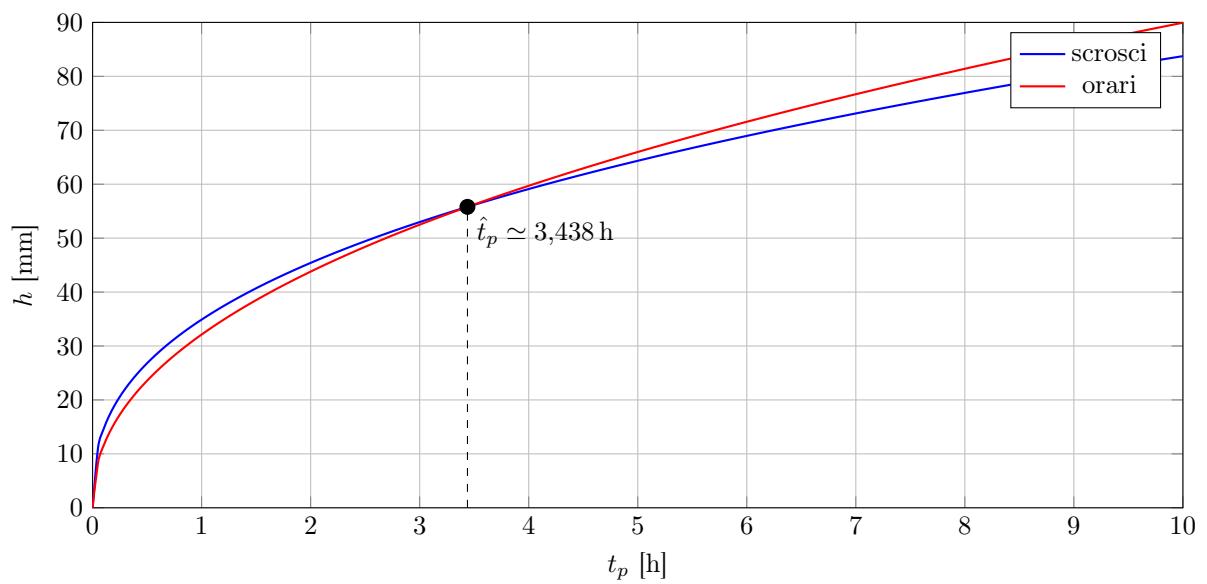
**Figura 1.1:** Confronto (a durata fissata) tra la frequenza campionaria e la probabilità di non superamento con i tre metodi della distribuzione di Gumbel



**Figura 1.2:** Andamento dell'altezza di precipitazione  $h$  in funzione dei tempi di ritorno  $T_r$  ottenuta dal test di Pearson per una durata  $t_p$  fissata



**Figura 1.3:** Regressione lineare delle altezze di pioggia con un  $T_r = 25$  anni in scala logaritmica



**Figura 1.4:** Curve di possibilità pluviometrica con i parametri  $a$  ed  $n$  ricavati dalla regressione logaritmica e sostituiti nell'equazione ?? con  $T_r$  di 25 anni

# Analisi idrologica e idraulica dell'area allo stato di fatto (valutazione del deflusso in SWMM)

Prima di passare all'utilizzo di SWMM si è deciso quali metodologie usare all'interno dello studio. Per la depurazione delle piogge si applica il metodo del Curve Number (*CN*) basato su Green-Ampt. Questo metodo utilizza le informazioni fornite dal Soil Conservation Service (*SCS – CN*), cioè il volume netto totale di un evento di pioggia e le perdite iniziali, per calibrare due parametri del modello di Green-Ampt (*GA*), ossia il tempo di "stagno (ponding)" e la conducibilità idraulica satura del suolo. Questo metodo è vantaggioso in quanto per essere applicato richiede solamente la stima del Curve Number (*CN*) e della conducibilità idraulica (*K<sub>s</sub>*). Il *CN* si classifica in funzione del tipo e uso del suolo.

Inoltre si valutano le portate delle condotte attraverso il modello di simulazione afflussi-deflussi e il modello di propagazione idraulica all'interno della rete nel software SWMM.

I due modelli sopra citati, per valutare i processi naturali, suddividono la zona in 3 comparti:

- *atmosferico*, che rappresenta la precipitazione sul bacino urbano;
- *sottobacini*, creati da noi per suddividere l'area in partizioni che ricevono le acque dal comparto precedente e le indirizzano nel comparto *rete di trasporto* come ruscellamento superficiale;
- *rete di trasporto*, che rappresenta l'insieme della rete: canali, tubi, vasche e LID.

A questo punto, dopo aver individualizzato le metodologie da utilizzare, si passa allo svolgimento dell'analisi idrologica e idraulica dell'area allo stato di fatto con il fine di valutare il deflusso della zona di studio. Per elaborare queste analisi si impiega il software SWMM impostando un primo "progetto di base" per valutare i dati preliminari attraverso un modello cinematico.

Inizialmente si utilizza la figura ?? come sfondo su SWMM per il progetto di base andando ad inserire le coordinate che si sono ricavate precedentemente da QGIS. Con l'aiuto dello sfondo si riportano i sottobacini inserendo in ognuno i dati in precedenza dedotti, come l'area totale, la percentuale di area impermeabile, la pendenza media e la larghezza di drenaggio calcolata come rapporto tra area [m<sup>2</sup>] e lunghezza di drenaggio media [m] (Vedi Tabella 2.1).

Successivamente si costruiscono degli ietogrammi che rappresentano l'andamento dell'intensità di pioggia per una determinata durata. Prima si valuteranno degli ietogrammi costanti per una prima analisi grossolana e per ricavare il tempo critico. Infine, con l'analisi dei precedenti ietogrammi, si passerà alla realizzazione del ietogramma Chicago per una rappresentazione più dettagliata e precisa dell'andamento dell'intensità di precipitazione.

## 2.1 Caratteristiche dell'area allo stato di fatto

Tenendo in considerazione la metodologia di depurazione delle acque si procede al calcolo del *CN*. Per fare ciò si considera una massima capacità di ritenzione idrica del suolo *S* compresa tra 85 e 162 mm e dalla formula 2.1 si ottiene un *CN* tra 74,92 e 61,06

$$CN = \frac{25\,400}{254 + S} \quad (2.1)$$

Si è deciso di applicare il valore massimo di *CN* pari a 74,92

Considerando che il terreno dell'area di studio sia principalmente sabbioso e con tratti ghiaiosi e limosi, attraverso la tabella 4-7 di SWMM riportata nell'appendice ?? a pagina ?? si sono scelti due parametri di conduttività idraulica *K<sub>s</sub>*: 0,43 per una classe di terreno *terriccio sabbioso* e 1,18 per una classe *sabbia limosa*. Per la seguente relazione si è deciso di tener conto di un terreno con classe *terriccio sabbioso*.

**Tabella 2.1:** Dati dei sottobacini ricavati da QGIS da inserire in SWMM.

Sottobacino	Area Totale [ha]	Area Impermeabile [%]	Larghezza Drenaggio [m]	Pendenza Media [%]
01	0,3016	37	54,18	2,96
02	0,6697	96	150,49	1,25
03	0,3430	64	86,47	0,70
04	0,5204	32	81,74	2,57
05	0,3233	41	50,25	2,88
06	0,9783	76	138,44	1,87
07	0,8352	90	129,49	1,08
08	0,7659	73	153,18	1,18
09	0,3640	10	65,00	3,77
10	0,6387	43	109,31	2,28
11	0,5152	82	78,86	1,62
12	0,3768	9	63,86	3,99
13	0,4092	6	77,21	2,75
14	0,3311	14	57,83	1,40
15	0,8532	76	109,85	1,70
16	0,4011	10	55,71	3,25
17	0,4547	7	60,43	1,29
18	0,3676	83	59,77	2,18
19	0,3808	27	61,82	2,84
20	0,5283	77	93,09	2,03
21	0,7326	82	93,03	1,89
22	3,1032	100	197,66	1,59
23	1,3079	70	108,09	1,21
24	1,6037	85	187,93	1,16
25	1,3684	79	139,07	0,93

Infine si è proceduto al calcolo del tempo di secca  $T_{\text{secco}}$ , cioè il periodo di tempo che impiega il suolo completamente saturo a tornare allo stato secco. Questo perché per la simulazione continua in SWMM richiede di specificare una stima del tempo di secca in giorni. Utilizzando il metodo di Green-Ampt questo tempo si basa esclusivamente sulla conducibilità idraulica  $K_s$  e la sua stima si calcola con la formula:

$$T_{\text{secco}} = \frac{3,125}{\sqrt{K_s}} \quad (2.2)$$

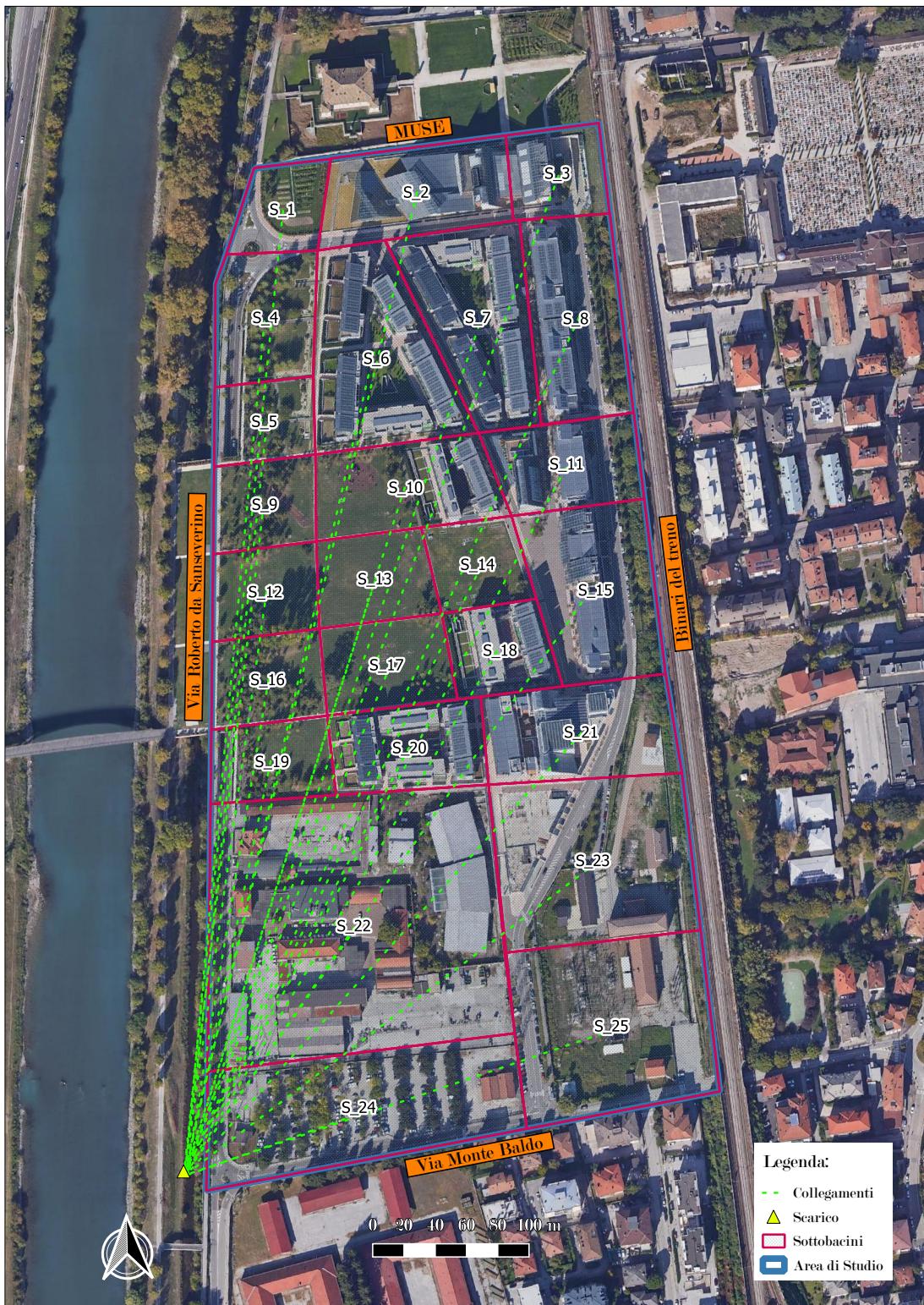
dove  $K_s$  è espresso in in/h. Nel nostro caso si ha che risulta pari a 4,76 gg per *terriccio sabbioso* e 2,88 gg per *sabbia limosa*. Quindi in base alla classe di terreno scelta precedentemente, si è preso in considerazione il valore di 4,76 gg.

Dopodiché per ciascuno di questi si è valutato solamente un recapito finale posto nel rivo Adigetto nella parte sud di Via Roberto da Sanseverino. Facendo così tutti i sottobacini creati avranno lo stesso scarico di deflusso (Figura 2.1).

Questo, come vedremo nel paragrafo successivo, ci sarà utile per la valutazione del tempo critico del bacino.

## 2.2 Ietogramma di progetto

Gli ietogrammi di progetto rappresentano l'andamento dell'intensità di pioggia per tutta la sua durata. Per una prima analisi grossolana si sono utilizzati ietogrammi costanti. Per elaborare i seguenti grafici si assegna un determinato tempo di ritorno, nel caso in esame pari a 25 anni, e una durata della pioggia  $t_p$ .



**Figura 2.1:** Posizionamento del recapito finale per verificare il deflusso dei sottobacini

Questi ietogrammi si eseguono per la valutazione del tempo critico del bacino urbano. Dai parametri  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometriche, ricavati nel capitolo 2, si deduce l'intensità di precipitazione  $i$  che viene tenuta costante per tutta la durata di pioggia dell'evento. L'intensità si ricava dalla seguente espressione:

$$i = a t_p^{n-1} \quad (2.3)$$

dove per  $t_p$  si intende la durata espressa in ore. Si riportano in tabella 2.2 i valori delle intensità di pioggia per ogni durata presa in considerazione.

**Tabella 2.2:** Intensità di precipitazione in funzione della durata

Durata [min]	Durata [h]	Intensità $i$ [mm h <sup>-1</sup> ]
1	0,02	441,2547
2	0,03	287,1642
5	0,08	162,7469
7	0,12	132,1150
10	0,17	105,9141
15	0,25	82,3804
30	0,50	53,6123
45	0,75	41,6999
60	1,00	34,8904
120	2,00	22,7063
180	3,00	17,6611
240	4,00	14,9275
300	5,00	13,1951

Ci si è fermati ad un tempo di quattro ore perché oltre le tre ore e mezza, come visto nel capitolo 1, gli scrosci hanno meno importanza delle precipitazioni orarie. Dopo aver calcolato i valori delle intensità, si prosegue sul programma SWMM.

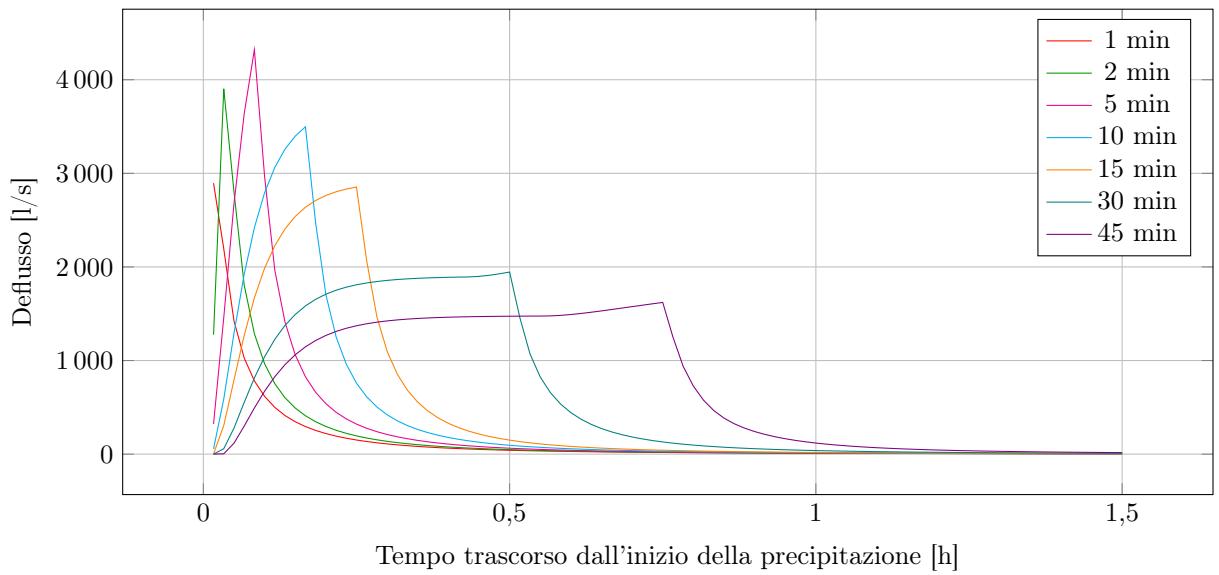
Per iniziare sul progetto di base con lo scarico comune per ogni sottobacino si inseriscono i valori di intensità di precipitazione per ciascun ietogramma costante che si vuole realizzare e analizzare per valutare quale sia l'evento più gravoso e quindi il tempo critico del bacino. Dopodiché impostando nel pluviometro lo ietogramma costante e la rispettiva durata eseguendo il programma si ricevono i dati di picco di deflusso, di infiltrazione, di deflusso totale e di quantità di precipitazione. Quest'ultima si può verificare facilmente dato che corrisponde all'intensità di pioggia moltiplicata per il rispettivo tempo di durata.

Ottenuti tutti i dati degli ietogrammi costanti si analizza il deflusso di ciascuno andando a constatare quale curva dia il picco maggiore e di conseguenza sapere quale sia il tempo critico del bacino (Figura 2.2). Come si nota da questa figura il picco più gravoso e quindi l'evento meteorologico che influenza maggiormente l'area di studio si ha con una durata di pioggia di 5 min. Questo evento anche se molto breve per la nostra zona si può considerare come evento critico data la presenza di molte aree impermeabili e quindi l'area si trasforma subito in deflusso.

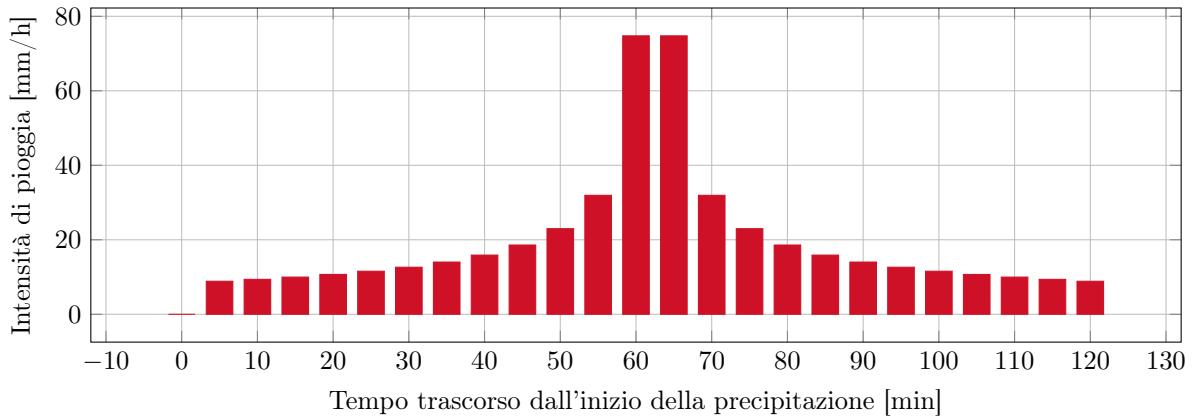
Ora per migliorare la nostra analisi dell'evento meteorologico si valuta uno ietogramma Chicago che presenta andamenti temporali non costanti e che sia di durata paragonabile o comunque maggiore all'evento critico. Non avendo molto senso uno ietogramma Chicago pari al tempo critico di 5 min dato che con un tempo così ridotto non si otterrebbero dati molto significativi, si impone una durata  $t_{\text{tot}} = 2$  h, per sollecitare l'area gradualmente, e una posizione di picco  $r$ , che generalmente nei bacini urbani è compresa tra 0,3 e 0,5, a 0,5 per essere più cautelativi.

$$t_{\text{picco}} = r t_{\text{tot}} \quad (2.4)$$

Facendo così la posizione del picco del deflusso risulterà a 1 h come visibile nello ietogramma Chicago riportato in figura 2.3.



**Figura 2.2:** Deflusso del bacino con l'utilizzo di ietogrammi costanti a diverse durate di pioggia. Il picco massimo è con durata di 5 min



**Figura 2.3:** Ietogramma Chicago con  $T_R = 25$  anni

Discretizzando lo ietogramma Chicago ad intervalli di 5 min, dalla figura, si osserva una prima fase di accumulo d'acqua, dove le depressioni superficiali iniziano a colmarsi, quindi prima del picco si ha che la zona è già stata in parte sollecitata. La costruzione del ietogramma Chicago avviene attraverso le formule dell'altezza di pioggia  $h(t)$  pre e post picco e l'intensità di pioggia media  $i_m$ , che risulterà costante a tratti di 5 min.

$$h(t) = \begin{cases} r a \left[ \left( \frac{t_p}{r} \right)^n - \left( \frac{t_p-t}{r} \right)^n \right] & \text{se } t < t_p \\ a \left[ r \left( \frac{t_p}{r} \right)^n + (1-r) \left( \frac{t_p-t}{1-r} \right)^n \right] & \text{se } t > t_p \end{cases} \quad (2.5)$$

$$i_m = \frac{h(t_{\text{fin}}) - h(t_{\text{in}})}{\Delta t} \quad (2.6)$$

Ricavati tutti i dati necessari dello ietogramma Chicago li si riportano nel programma SWMM per ottenere i risultati dell'area di studio.

## 2.3 Risultati dell'analisi

Per la determinazione dell'ideogramma di piena in uscita dell'area di studio, riportando anche il valore di colmo dell'onda di piena, si è applicato il metodo dell'invaso lineare. Questo modello analizza il comportamento del bacino soggetto ad afflussi e deflussi dipendenti dal tempo e dalle caratteristiche idrauliche dello sbocco. Lo scopo del metodo è ricavare la legge dell'andamento delle portate uscenti nel corso del tempo. Per fare questo si prende in considerazione l'equazione di conservazione della massa:

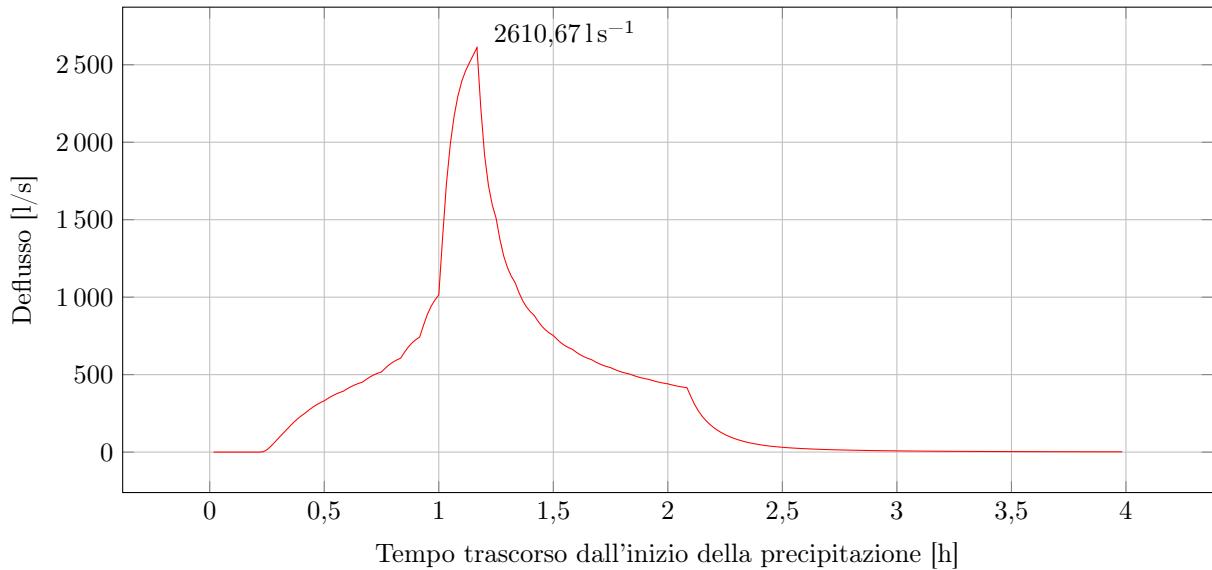
$$Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} = \frac{dV}{dt} \quad (2.7)$$

dove  $V$  è il volume invasato,  $Q_{\text{in}}$  e  $Q_{\text{out}}$  sono le portate in ingresso e in uscita e la prima di queste due si calcola come prodotto tra il coefficiente d'afflusso, l'intensità di pioggia e la superficie del bacino. Normalizzando l'equazione precedente si ottiene:

$$\delta(t) - u(t) = \frac{d\nu}{dt} \quad (2.8)$$

dove  $\delta(t)$  è il delta di Dirac, cioè la risposta del sistema all'impulso unitario,  $\nu$  è il volume normalizzato, che equivale al prodotto tra la portata uscente  $u(t)$  e il tempo medio di resistenza  $k$  dell'acqua all'interno del sistema. Per un tempo maggiore di zero come soluzione si ha che la funzione di trasferimento è:

$$u(t) = \frac{1}{k} \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (2.9)$$

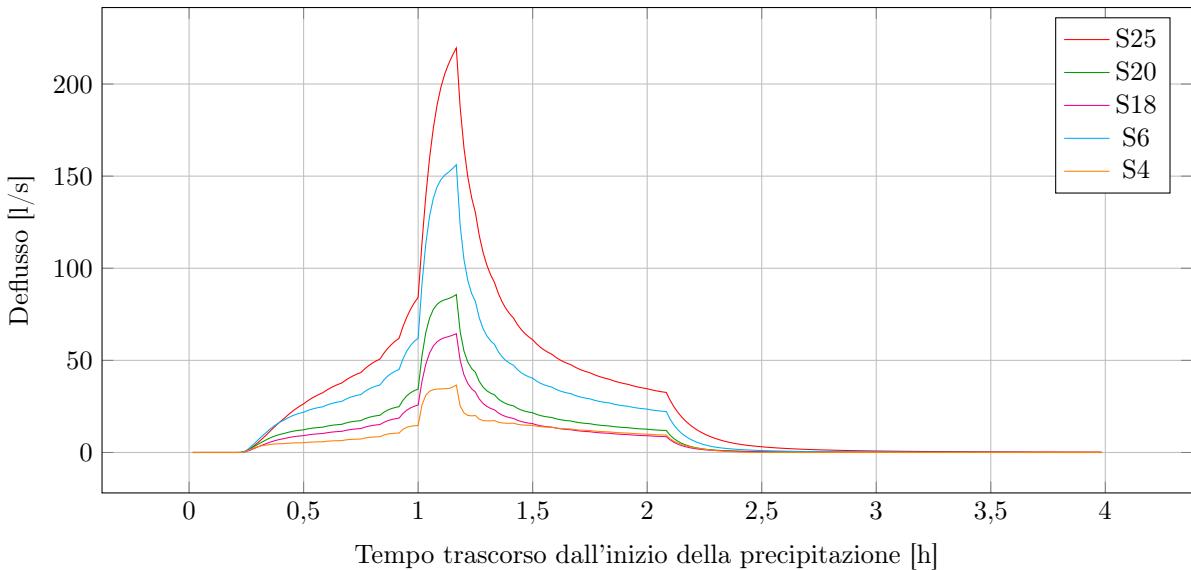


**Figura 2.4:** Ideogramma di piena in uscita con indicazione del picco in riferimento allo scarico di figura 2.1

Impostato tale modello in SWMM con tempo di ritorno pari a 25 anni si ottengono i risultati significativi dell'analisi del progetto fino ad ora. Il primo si ha nell'ideogramma di piena in uscita con indicazione del picco di deflusso di figura 2.4. Dopodiché in tabella 2.3 si hanno per ogni sottobacino il coefficiente di deflusso e il coefficiente udometrico. Infine è riportato graficamente in figura 2.5 l'andamento del deflusso per i sottobacini più significativi dalla quale si evince come vari il deflusso in base alla loro grandezza, alle aree verdi ed alle aree impermeabili presenti all'interno di ciascuno di essi. Quest'ultima se in grandi quantità genera un picco maggiore del deflusso, mentre le aree verdi e una grandezza ridotta del sottobacino danno vita a un picco di deflusso minore.

**Tabella 2.3:** Dati di afflusso del progetto di base con ietogramma Chicago

Sottobacino	Quantità [mm]	Picco Deflusso [l s <sup>-1</sup> ]	Area Totale [ha]	Coefficiente Deflusso [-]	Coefficiente Udumetrico [l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ]
01	45,41	24,43	0,3016	0,46	81,00
02	45,41	134,42	0,6697	0,94	200,72
03	45,41	46,50	0,3430	0,68	135,57
04	45,41	36,59	0,5204	0,42	70,31
05	45,41	28,97	0,3233	0,50	89,61
06	45,41	156,16	0,9783	0,78	159,62
07	45,41	155,90	0,8352	0,89	186,66
08	45,41	117,87	0,7659	0,75	153,90
09	45,41	9,13	0,3640	0,24	25,08
10	45,41	59,42	0,6387	0,51	93,03
11	45,41	88,38	0,5152	0,82	171,55
12	45,41	8,86	0,3768	0,23	23,51
13	45,41	8,74	0,4092	0,21	21,36
14	45,41	10,94	0,3311	0,27	33,04
15	45,41	135,41	0,8532	0,78	158,71
16	45,41	9,78	0,4011	0,23	24,38
17	45,41	8,12	0,4547	0,20	17,86
18	45,41	64,46	0,3676	0,84	175,35
19	45,41	23,14	0,3808	0,38	60,77
20	45,41	85,69	0,5283	0,78	162,20
21	45,41	124,96	0,7326	0,82	170,57
22	45,41	597,69	3,1032	0,96	192,60
23	45,41	186,08	1,3079	0,72	142,27
24	45,41	279,28	1,6037	0,85	174,15
25	45,41	219,56	1,3684	0,80	160,45



**Figura 2.5:** Deflusso dei sottobacini più significativi con lo ietogramma chicago come input