



## 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 Analisi idrologica e idraulica dell'area allo stato di fatto (valutazione del deflusso in SWMM)</b>	<b>4</b>
1.1 Caratteristiche dell'area allo stato di fatto . . . . .	4
1.2 Ietogramma di progetto . . . . .	5
1.3 Risultati dell'analisi . . . . .	9
<b>2 Rete di smaltimento delle acque meteoriche allo stato di progetto (con presenza della rete di drenaggio)</b>	<b>11</b>
2.1 Procedimento per il progetto e verifica . . . . .	11
2.1.1 Profondità scavo . . . . .	11
2.1.2 Diametro . . . . .	11
2.1.3 Riporto in SWMM . . . . .	12
2.1.4 Verifiche alle condotte . . . . .	12
2.2 Progetto . . . . .	12
2.3 Progetto con vasche . . . . .	16
2.4 Progetto con vasche e lid . . . . .	19
<b>A ROBE DA SWMM</b>	<b>21</b>
<b>B Rete di smaltimento delle acque meteoriche allo stato di progetto (con presenza della rete di drenaggio) - tutti i mancanti</b>	<b>23</b>
B.1 Progetto sbagliato . . . . .	23
B.2 Progetto con solo i LID . . . . .	23
B.3 Progetto con vasche e lid rifatto dopo i lid . . . . .	26
B.4 Progetto con vasche e lid sistemato . . . . .	26

# Elenco delle tabelle

1.1	Dati dei sottobacini ricavati da QGIS da inserire in SWMM . . . . .	5
1.2	Intensità di precipitazione in funzione della durata . . . . .	7
1.3	Dati di afflusso del progetto di base con ietogramma Chicago . . . . .	9
2.1	Nodi nodes-mod . . . . .	13
2.2	Diametri progetti conduct-mod . . . . .	14
2.3	Progetto – Verifiche di massima velocità, riempimento condotta e del criterio di autopulizia	15
2.4	Parametri per il progetto della vasca di laminazione . . . . .	16
2.5	Iterazioni dell’Altezza dell’orifizio e dell’Area della vasca per avere il massimo riempimento della vasca e mantenere la portata inferiore a quella massima. In grassetto sono indicate le scelte . . . . .	19
2.6	Diametri progetti conduct2 . . . . .	20
B.1	Diametri progetti conduct-mod LID. In verde sono indicati i valori che hanno subito una modifica rispetto al progetto senza LID . . . . .	24
B.2	Progetto con aggiunta dei soli LID – Verifiche di massima velocità, riempimento condotta e del criterio di autopulizia . . . . .	25

# Elenco delle figure

1.1	Posizionamento del recapito finale per verificare il deflusso dei sottobacini . . . . .	6
1.2	Deflusso del bacino con l’utilizzo di ietogrammi costanti a diverse durate di pioggia. Il picco massimo è con durata di 5 min . . . . .	8
1.3	Ietogramma Chicago con $T_R = 25$ anni . . . . .	8
1.4	Ideogramma di piena in uscita con indicazione del picco in riferimento allo scarico di figura 1.1 . . . . .	10
1.5	Deflusso dei sottobacini più significativi con lo ietogramma chicago come input . . . . .	10
2.1	Attenuazione del deflusso nelle tre condotte con l’introduzione delle vasche a monte delle condotte . . . . .	17
2.2	Confronto del deflusso allo sbocco della rete pre e post l’installazione delle vasche e andamento del volume d’acqua all’interno delle stesse . . . . .	18
A.1	Tabella 4.7 di SWMM . . . . .	22

# 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 1.1).

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.

## 1.1 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 1.1 si ottiene un *CN* tra 74,92 e 61,06

$$CN = \frac{25\,400}{254 + S} \quad (1.1)$$

Si è deciso di applicare 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 a pagina 22 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 1.1:** 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:

$$T_{\text{secco}} = \frac{3,125}{\sqrt{K_s}} \quad (1.2)$$

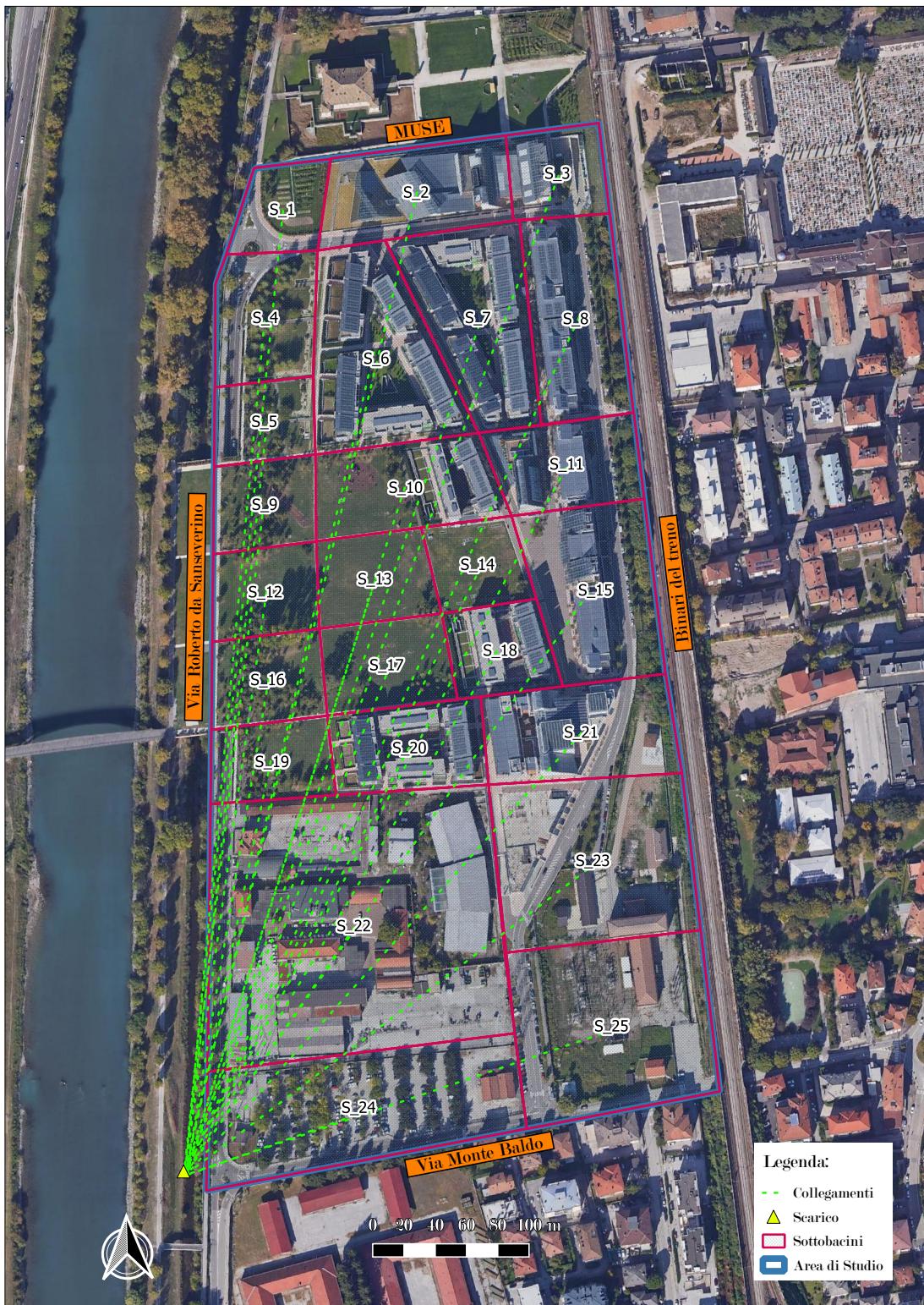
dove  $K_s$  è espresso in in/h. Nel nostro caso si ha che risulta pari a 4,76 gg per *terriccio sabbioso* e 2,88 gg per *sabbia limosa*. Quindi in base alla classe di terreno scelta precedentemente, si è preso in considerazione il valore di 4,76 gg.

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 1.1).

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

## 1.2 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 1.1:** 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:

$$i = a t_p^{n-1} \quad (1.3)$$

dove per  $t_p$  si intende la durata espressa in ore. Si riportano in tabella 1.2 i valori delle intensità di pioggia per ogni durata presa in considerazione.

**Tabella 1.2:** Intensità di precipitazione in funzione della durata

Durata [min]	Durata [h]	Intensità $i$ [mm h $^{-1}$ ]
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 ??, gli scrosci hanno meno importanza delle precipitazioni orarie. Dopo aver calcolato i valori delle intensità, si prosegue sul programma SWMM.

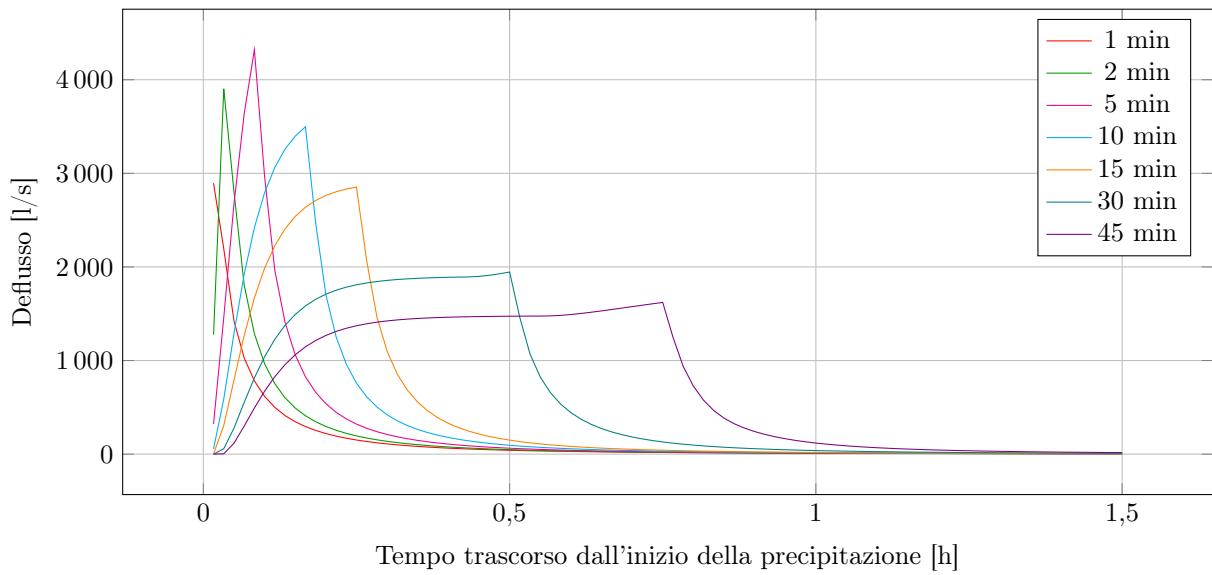
Per iniziare sul progetto di base con lo scarico comune per ogni sottobacino si inseriscono i valori di intensità di precipitazione per ciascun ietogramma costante che si vuole realizzare e analizzare per valutare quale sia l'evento più gravoso e quindi il tempo critico del bacino. Dopodiché impostando 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 1.2). 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.

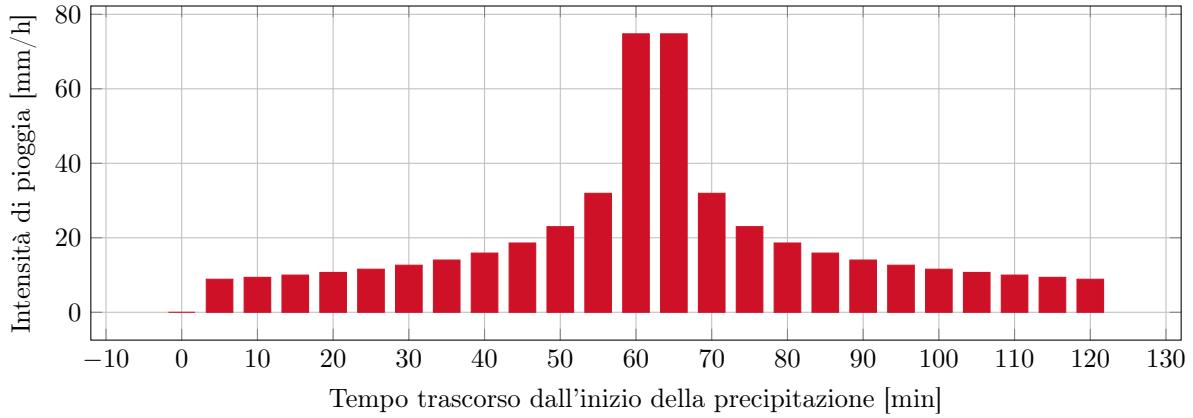
Ora per migliorare la nostra analisi dell'evento meteorologico si valuta uno ietogramma Chicago che presenta andamenti temporali non costanti e che sia di durata paragonabile o comunque maggiore all'evento critico. Non avendo molto senso uno ietogramma Chicago pari al tempo critico di 5 min dato che 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.

$$t_{\text{picco}} = r t_{\text{tot}} \quad (1.4)$$

Facendo così la posizione del picco del deflusso risulterà a 1 h come visibile nello ietogramma Chicago riportato in figura 1.3.



**Figura 1.2:** Deflusso del bacino con l'utilizzo di ietogrammi costanti a diverse durate di pioggia. Il picco massimo è con durata di 5 min



**Figura 1.3:** 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.

$$h(t) = \begin{cases} r a \left[ \left( \frac{t_p}{r} \right)^n - \left( \frac{t_p-t}{r} \right)^n \right] & \text{se } t < t_p \\ a \left[ r \left( \frac{t_p}{r} \right)^n + (1-r) \left( \frac{t_p-t}{1-r} \right)^n \right] & \text{se } t > t_p \end{cases} \quad (1.5)$$

$$i_m = \frac{h(t_{\text{fin}}) - h(t_{\text{in}})}{\Delta t} \quad (1.6)$$

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

## 1.3 Risultati dell'analisi

Eseguendo la simulazione idraulica ([attraverso il metodo dell'invaso lineare????](#)) con SWMM con tempo di ritorno pari a 25 anni si sono riportati i dati significativi del progetto.

Ideogramma di piena in uscita con indicazione del colmo:

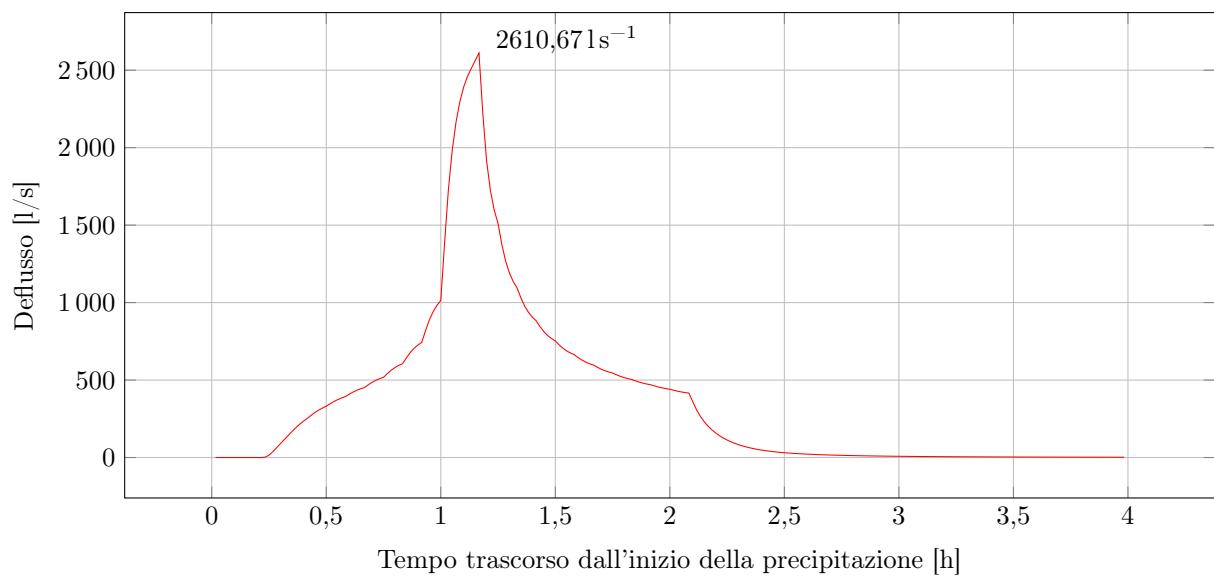
tabella summery SWMM con coefficiente di deflusso, coeff udumetrico.

**Tabella 1.3:** Dati di afflusso del progetto di base con ietogramma Chicago

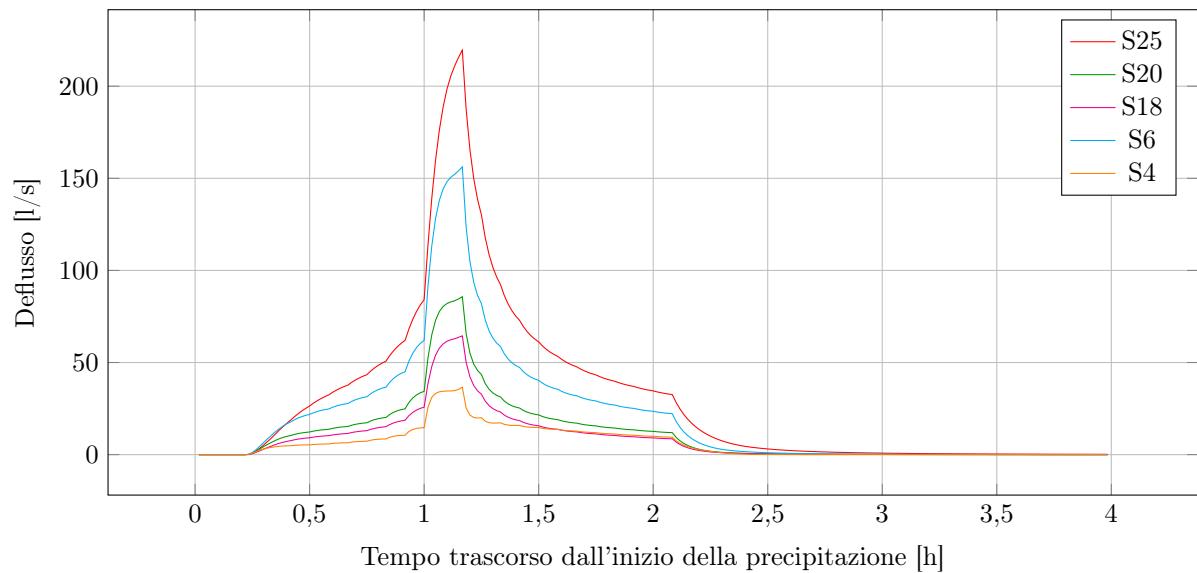
Sottobacino	Quantità [mm]	Picco Deflusso [l s <sup>-1</sup> ]	Area Totale [ha]	Coefficiente Deflusso [-]	Coefficiente Udumetrico [l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ]
01	45,41	24,43	0,3016	0,46	81,00
02	45,41	134,42	0,6697	0,94	200,72
03	45,41	46,50	0,3430	0,68	135,57
04	45,41	36,59	0,5204	0,42	70,31
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 dei deflusso dei sottobacini

Si osserva dalla figura [precedente](#) dei deflusso dei sottobacini come vari il deflusso in ciascuno di esso in base alla grandezza dei sottobacini, delle aree verdi e delle aree impermeabili presenti all'interno della sottoarea. Quest'ultima genera un picco maggiore del deflusso, mentre le aree verdi e una grandezza ridotta del sottobacino danno vita a un picco di deflusso minore.



**Figura 1.4:** Ideogramma di piena in uscita con indicazione del picco in riferimento allo scarico di figura 1.1



**Figura 1.5:** Deflusso dei sottobacini più significativi con lo ietogramma chicago come input

# Rete di smaltimento delle acque meteo-riche allo stato di progetto (con presenza della rete di drenaggio)

Analizzato quindi il deflusso dei sottobacini presenti nell'area di lavoro, si passa ora alla fase progettuale della rete di drenaggio. Tale progettazione sarà suddivisa in tre fasi principali in quanto si è voluto studiare tre casistiche di intervento: una rete di drenaggio composta da sole condotte e tombini, la precedente rete con l'aggiunta di sistemi di laminazione puntuale ed infine l'ulteriore aggiunta di sistemi di laminazione diffusi.

Dato il procedimento iterativo che compone ciascuna fase e il relativo aggiustamento dimensionale delle condotte (dovuto ad esempio a sottobacini troppo piccoli e verifiche non soddisfatte, ecc) oppure della ri-progettazione della rete con solo i sistemi diffusi (per ottimizzare la dimensione delle condotte) e successiva aggiunta dei sistemi puntuali, si è voluto riportare in questo capitolo solo i risultati delle tre fasi principali sopra descritte e di riportare invece le fasi intermedie nell'appendice B a pagina 23.

Di seguito verranno dapprima riportati i passaggi che contraddistinguono il dimensionamento e la verifica delle condotte in comune di ciascuna fase, per poi concentrarsi su ciascuna casistica riportando i risultati in forma per lo più tabellare o grafica.

## 2.1 Procedimento per il progetto e verifica

### 2.1.1 Profondità scavo

Una volta scelto il percorso i collegamenti ai tombini delle condotte si deve fare in modo di allineare ciascuna di esse al cielo. Questo per consuetudine italiana in cui si vuole avere più facilità di manutenzione e di posa degli strati in sommità delle condotte. Occorre quindi ipotizzare una pendenza  $i_G^{prog}$  di primo tentativo delle condotte e successivamente calcolare la profondità di scavo (*Max Depth*) data dalla differenza tra la quota del terreno e la quota di fondo. La quota del terreno la si ottiene dai dati altimetrici dell'area (con QGIS), mentre la quota di fondo è data dalla somma (da valle a monte) dei dislivelli  $\Delta h = i_G^{prog} \cdot L_{condotta}$  di ciascun tratto, partendo dalla quota nota dei recapiti finali (chiamati R1, R2, R3 nelle tabelle e nelle figure che seguiranno d'ora in poi).

Si ottiene così per ogni tratto una *Max Depth* che deve essere

$$1,5 \text{ m} \lesssim \text{MaxDepth} \lesssim 6,5 \text{ m} \quad (2.1)$$

in modo di avere da un lato un ricoprimento minimo delle condotte tale che non si danneggino con il carico di veicoli, persone o intemperie; dall'altro un ricoprimento contenuto da non avere costi di scavo troppo elevati. Per stare all'interno di tale intervallo si va ad agire sulla pendenza di progetto delle condotte, o su eventuali sistemi di rinforzo delle stesse.

### 2.1.2 Diametro

Condotte circolari.  $\beta = h/d = 0.75$  riempimenti ideale ipotesi moto uniforme. Nome formule

$$Q(\beta) = A(\beta) K_S R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} = \frac{D K_S f(\beta)^{\frac{5}{3}} i^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{13}{3}} g(\beta)^{\frac{2}{3}}} \quad (2.2)$$

dove

$$f(\beta) = \pi - 2\alpha - 2(1 - 2\beta) \cos(\alpha) \quad (2.3)$$

$$g(\beta) = \pi - 2\alpha \quad (2.4)$$

$$\alpha = \arcsin(1 - 2\beta) \quad (2.5)$$

e dalla quale si ricava il diametro minimo per il riempimento  $\beta = \hat{\beta}$  fissato, avendo nota la portata  $Q$  pari al deflusso a monte di tale condotta

$$D_{prog}(\hat{\beta}) = \frac{2^{\frac{13}{8}} g(\hat{\beta})^{\frac{1}{4}} Q^{\frac{3}{8}}}{K_S^{\frac{3}{8}} f(\hat{\beta})^{\frac{5}{8}} i^{\frac{3}{16}}} \quad (2.6)$$

Da tale diametro minimo se ne va a scegliere uno di sezione immediatamente superiore – o al più di poco inferiore, a causa delle verifiche di riempimento nel capitolo successivo – disponibile commercialmente.

Infine si calcola per ogni tratto la differenza di dimensione tra la condotta con diametro maggiore e tutte le altre, in modo da inserirle in SWMM e ottenere l'allineamento al cielo.

### 2.1.3 Riporto in SWMM

### 2.1.4 Verifiche alle condotte

Il riempimento della condotta  $G_{cond.}$  deve risultare

$$50\% \lesssim G_{cond.} \lesssim 75\% \quad (2.7)$$

$$0.5 \text{ m s}^{-1} < V < 5 \text{ m s}^{-1} \quad (2.8)$$

Criterio di autopulizia

$$\tau = \gamma R_H i_F > 2 \text{ Pa} \quad (2.9)$$

dove  $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua pari a  $1000 \text{ N m}^{-3}$ ,  $R_H$  è il raggio idraulico calcolato con la formula di BOH NUM e  $i_f$  è la pendenza del fondo vista prima TAB.

$$R_H = \frac{D}{4} \frac{1 - \sin(\vartheta)}{\vartheta} \quad (2.10)$$

$$\vartheta = 2 \arccos(1 - G_{cond.}) \quad (2.11)$$

## 2.2 Progetto

Il procedimento sopra descritto è stato pertanto applicato durante il progetto, talvolta iterando i valori quali la pendenza di progetto i

**Tabella 2.1:** Nodi nodes-mod

Condotta	Tratto	Lunghezza condotta [m]	Pendenza $i_G^{prog}$ [-]	Dislivello $\Delta h$ [m]	Nodo	Quota fondo [m]	Quota terreno [m]	MAX depth [m]
<b>Corso del Lavoro e della Scienza</b>								
11	R1 - J4	32,49	0,01	0,325	R1	184,00	185,87	1,87
10	J4 - J5	70,78	0,01	0,708	J4	184,32	187,01	2,69
09	J5 - J6	73,04	0,01	0,730	J5	185,03	190,29	5,26
08	J6 - J7	72,37	0,01	0,724	J6	185,76	191,10	5,34
07	J7 - J8	73,37	0,01	0,734	J7	186,49	189,82	3,33
06	J8 - J9	86,52	0,01	0,865	J8	187,22	189,73	2,51
05	J9 - J10	79,31	0,01	0,793	J9	188,09	190,51	2,42
					J10	188,88	190,53	1,65
<b>Via Roberto da Sanseverino</b>								
04	J4 - J11	46,74	0,005	0,234	J4	184,32	187,01	2,69
03	J11 - J12	45,05	0,005	0,225	J11	184,56	186,75	2,19
02	J12 - J13	53,20	0,005	0,266	J12	184,78	186,74	1,96
01	J13 - J14	81,05	0,005	0,405	J13	185,05	185,90	0,85
					J14	185,46	187,26	1,80
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta e Via Adalberto Libera</b>								
21	R2 - J16	30,72	0,03	0,922	R2	183,70	185,89	2,19
18	J16 - J18	89,65	0,03	2,690	J16	184,62	187,75	3,13
17	J18 - J19	82,87	0,005	0,414	J18	187,31	192,58	5,27
16	J19 - J23	54,34	0,005	0,272	J19	187,73	192,98	5,25
15	J23 - J22	57,28	0,005	0,286	J23	188,00	191,10	3,10
					J22	188,28	191,15	2,87
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>								
14	J23 - J24	64,69	0,005	0,323	J23	188,00	191,10	3,10
					J24	188,32	189,99	1,67
<b>Ferrovia del Brennero, Via Monte Baldo, Corso del Lavoro e della Scienza, parallela a Monte Baldo</b>								
29	R3 - J25	82,12	0,005	0,411	R3	183,50	187,75	4,25
28	J25 - J26	80,55	0,005	0,403	J25	183,91	187,50	3,59
27	J26 - J27	62,83	0,005	0,314	J26	184,31	187,52	3,21
26	J27 - J28	50,95	0,005	0,255	J27	184,63	187,30	2,67
25	J28 - J29	62,41	0,005	0,312	J28	184,88	188,08	3,20
24	J29 - J30	58,85	0,005	0,294	J29	185,19	188,31	3,12
23	J30 - J31	80,40	0,005	0,402	J30	185,49	189,11	3,62
22	J31 - J32	75,23	0,005	0,376	J31	185,89	188,60	2,71
					J32	186,27	188,27	2,00

**Tabella 2.2:** Diametri progetti conduct-mod

Condotta	A valle di	Deflusso [ls <sup>-1</sup> ]	Deflusso totale [ls <sup>-1</sup> ]	$i_G$ [-]	$D_{prog}$ [m]	$D_{comm}$ [m]	Offset [m]
<b>Via Roberto da Sanseverino</b>							
01	S12,S13,S9,S10	73,41	73,41	0,005	0,31	0,4	0,3
02		0	73,41	0,005	0,31	0,4	0,3
03	S5	26,51	99,92	0,005	0,35	0,4	0,3
04	S4,S6	166,17	266,09	0,005	0,51	0,5	0,2
<b>Corso del Lavoro e della Scienza</b>							
05	S15,S14	119,45	119,45	0,01	0,33	0,4	0,3
06	S11	72,31	191,76	0,01	0,40	0,4	0,3
07	S8	100,6	292,36	0,01	0,46	0,5	0,2
08	S3	40,26	332,62	0,01	0,49	0,5	0,2
09	S7	121,15	453,77	0,01	0,55	0,6	0,1
10	S2	112,37	566,14	0,01	0,59	0,6	0,1
11	S1,C4	22,52	854,75	0,01	0,69	0,7	0
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
14	S21	101,51	101,51	0,005	0,35	0,4	0,1
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
15	S20	74,95	74,95	0,005	0,32	0,4	0,1
<b>Via Adalberto Libera</b>							
16	C14,C15	0	176,46	0,005	0,44	0,5	
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
17	C16,S18	55,43	231,89	0,005	0,48	0,5	-0,1
18	S17	7,14	239,03	0,03	0,35	0,5	0,1
21	S19,S16	29,51	268,54	0,03	0,37	0,5	0,1
<b>Ferrovia del Brennero, Via Monte Baldo, Corso del Lavoro e della Scienza, parallela a Monte Baldo</b>							
22	S23	131,87	131,87	0,005	0,39	0,4	0,4
23	S25	154,25	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
24	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
25	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
26	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
27	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
28	S22	371,99	658,11	0,005	0,72	0,8	0
29	S24	185,95	844,06	0,005	0,79	0,8	0

**Tabella 2.3:** Progetto – Verifiche di massima velocità, riempimento condotta e del criterio di autopulizia

Condotta	Diametro [m]	Velocità			Riempimento massimo G [%]	$\vartheta =$ compl. di $\alpha$ [rad]	Raggio idraulico $R_H$ [m]	Pend. fondo $i_F$ [-]	Pend. geometrica $i_G$ [-]	Tensione tangenziale $\tau$ [Pa]
		Flusso massimo [l s <sup>-1</sup> ]	Ora max flusso [h]	Massima velocità [m s <sup>-1</sup> ]						
01	0,4	69,73	01:04	1,2	47	2,0244	0,0556	0,0036	0,005	2,78
02	0,4	69,24	01:04	1,06	52	2,1403	0,0607	0,0033	0,005	3,03
03	0,4	91,69	01:04	1,17	61	2,3403	0,0693	0,0029	0,005	3,47
04	0,5	243,04	01:04	1,65	70	2,5322	0,0967	0,0021	0,005	4,84
05	0,4	116,97	01:04	1,5	60	2,3186	0,0684	0,0029	0,01	6,84
06	0,4	174,44	01:04	1,92	68	2,4901	0,0757	0,0026	0,01	7,57
07	0,5	265,3	01:04	2,1	62	2,3620	0,0878	0,0023	0,01	8,78
08	0,5	291,74	01:04	2,2	64	2,4051	0,0901	0,0022	0,01	9,01
09	0,6	397,82	01:04	2,2	61	2,3403	0,1040	0,0019	0,01	10,40
10	0,6	488,07	01:04	2,49	65	2,4265	0,1095	0,0018	0,01	10,95
11	0,7	743,97	01:04	2,75	66	2,4478	0,1293	0,0015	0,01	12,93
14	0,4	95,11	01:04	1,3	57	2,2526	0,0655	0,0031	0,005	3,28
15	0,4	71,22	01:04	1,19	48	2,0479	0,0566	0,0035	0,005	2,83
16	0,5	165,24	01:04	1,24	64	2,4051	0,0901	0,0022	0,005	4,50
17	0,5	207,16	01:04	1,85	56	2,2304	0,0807	0,0025	0,005	4,04
18	0,5	209,14	01:05	2,97	39	1,8205	0,0589	0,0034	0,03	17,68
21	0,5	223,94	01:05	3,1	40	1,8546	0,0603	0,0033	0,03	18,09
22	0,4	121,83	01:04	1,39	66	2,4478	0,0739	0,0027	0,005	3,69
23	0,6	259,92	01:04	1,65	54	2,1856	0,0939	0,0021	0,005	4,70
24	0,6	256,22	01:05	1,66	54	2,1856	0,0939	0,0021	0,005	4,70
25	0,6	252,43	01:05	1,64	54	2,1856	0,0939	0,0021	0,005	4,70
26	0,6	250,17	01:06	1,63	53	2,1630	0,0925	0,0022	0,005	4,62
27	0,6	246,35	01:06	1,64	52	2,1403	0,0910	0,0022	0,005	4,55
28	0,8	550,86	01:06	1,83	58	2,2747	0,1330	0,0015	0,005	6,65
29	0,8	681,04	01:06	2,09	62	2,3620	0,1405	0,0014	0,005	7,02

## 2.3 Progetto con vasche

Al progetto della rete di drenaggio vengono ora aggiunte tre vasche di laminazione in corrispondenza dei tre sbocchi della rete e chiamate rispettivamente: *Nord*, *Centro* e *Sud*. Lo scopo di tali vasche è quello di fungere da ammortizzatore idraulico venendo dimensionate in modo da contenere la portata massima scaricata nel corpo idrico recettore.

Il predimensionamento delle vasche si articola in un metodo iterativo per far sì di avere il maggior riempimento di esse (prossimo al 100%) e parallelamente un *Maximum Outflow* minore della massima portata da mantenere come da progetto. Tale portata è calcolata tenendo conto delle prescrizioni legislative per il coefficiente udometrico, che per Trento è pari a  $C_{udo} = 20 \text{ s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , fissando così la portata massima in uscita da scaricare.

La portata massima da mantenere pertanto diviene:

$$Q_{max} = C_{udo} \cdot A_{sottobacino} , \quad (2.12)$$

dove con  $A_{sottobacino}$  si intende l'area di pertinenza di ciascuna vasca, ovvero la somma delle aree dei sottobacini confluenti in essa.

I parametri da variare nell'iterazione (in fase non esecutiva del progetto) sono l'area della vasca e il diametro dell'orifizio della stessa (o analogamente l'area dell'orifizio – essendo di sezione cilindrica).

Come prima iterazione l'area dell'orifizio è calcolata invertendo la formula della forometria della portata uscente e ponendola uguale alla  $Q_{max}$ :

$$Q = C_{eff} A_{orifizio} \sqrt{2gh} \stackrel{!}{=} Q_{max} . \quad (2.13)$$

Si è scelto un coefficiente di efflusso  $C_{eff} = 0,65$ , avendo una bocca a battente a luce fissa e verticale. Mentre l'area della vasca è calcolata dividendo il volume totale da invasare per la profondità della vasca di progetto  $h = 1,50 \text{ m}$ .

Il volume totale da invasare è stato calcolato come sommatoria dell'area compresa tra le due curve (visibili in figura 2.1) corrispondenti al deflusso nella condotta senza vasca e al deflusso attenuato dalla presenza della vasca. Le funzioni delle curve sono state discretizzate con un intervallo di 60 secondi e la parte compresa tra loro è stata calcolata come differenza delle due aree sottese e ottenute tramite il metodo dei trapezi. L'attenuazione del deflusso è stata calcolata partendo dalla  $Q_{max}$  trovata nella formula 2.12 ed utilizzando la seguente legge

$$Q_{OUTflow} = \begin{cases} Q_{INflow} & \text{se } Q_{INflow} \leq Q_{max} \\ Q_{max} & \text{se } Q_{INflow} > Q_{max} \end{cases} \quad (2.14)$$

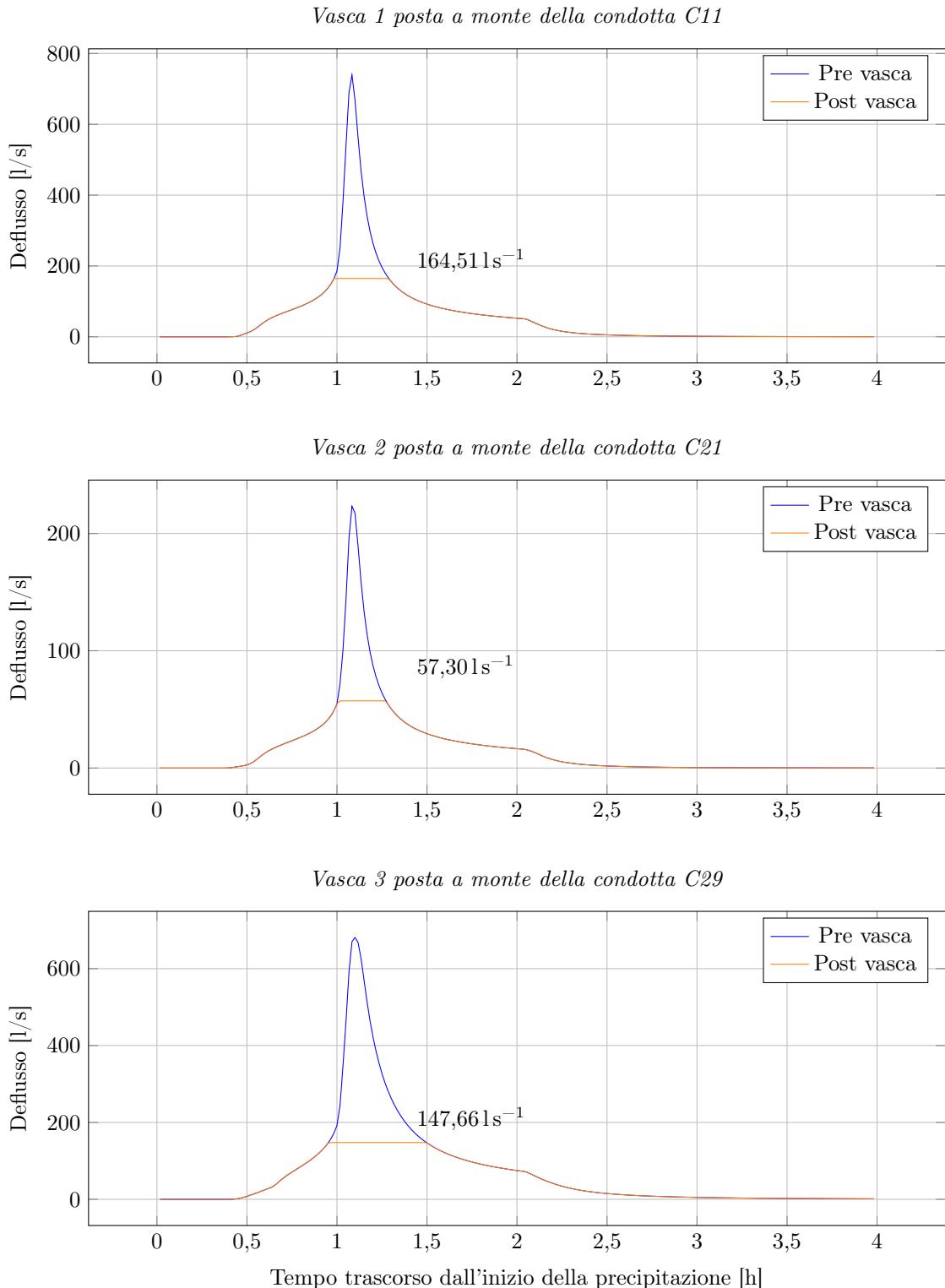
I dati progettuali ottenuti con le considerazioni appena viste sono riportati in tabella 2.4.

**Tabella 2.4:** Parametri per il progetto della vasca di laminazione

	Nord	Centro	Sud
Area pertinenza vasca [ha]	7,89	3,20	7,38
$Q_{max}$ [l/s]	157,89	63,92	147,66
Volume da invasare[m <sup>3</sup> ]	232,92	63,48	366,33
Area vasca [m <sup>2</sup> ]	155,28	42,32	244,22
Area orifizio [m <sup>2</sup> ]	0,04	0,02	0,04
Diametro orifizio [m]	0,24	0,15	0,23

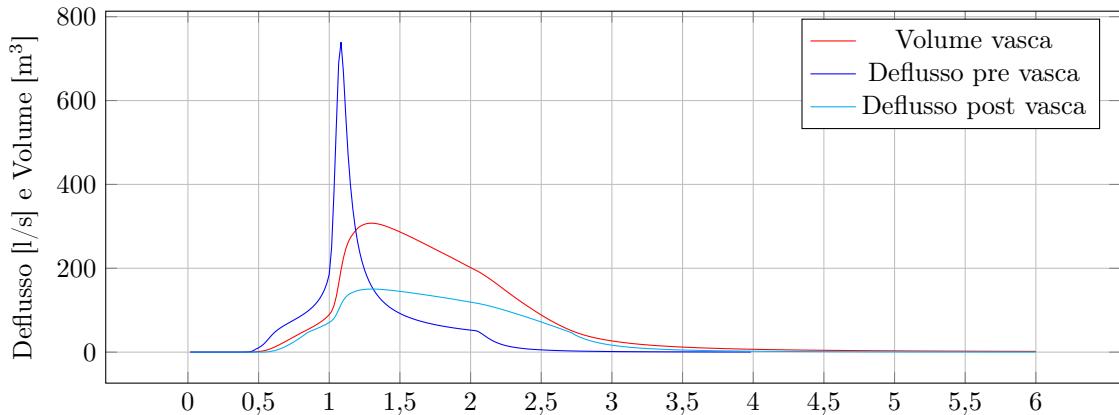
In tabella 2.5 sono riportate le varie iterazioni per ciascuna vasca e con il grassetto si intende il valore di fine iterazione scelto. Per questi sono inoltre riportati i restanti parametri della vasca ovvero il volume medio e il volume massimo di riempimento.

In figura 2.2 si confronta il deflusso allo sbocco delle tre reti di drenaggio con e senza vasca di laminazione, graficando l'andamento del volume d'acqua all'interno della vasca. Si può notare come nel caso di presenza della vasca, l'accumulo di acqua in essa contenuta faccia sì che diminuisca la portata defluita allo sbocco, ritardando inoltre il tempo di massimo deflusso.

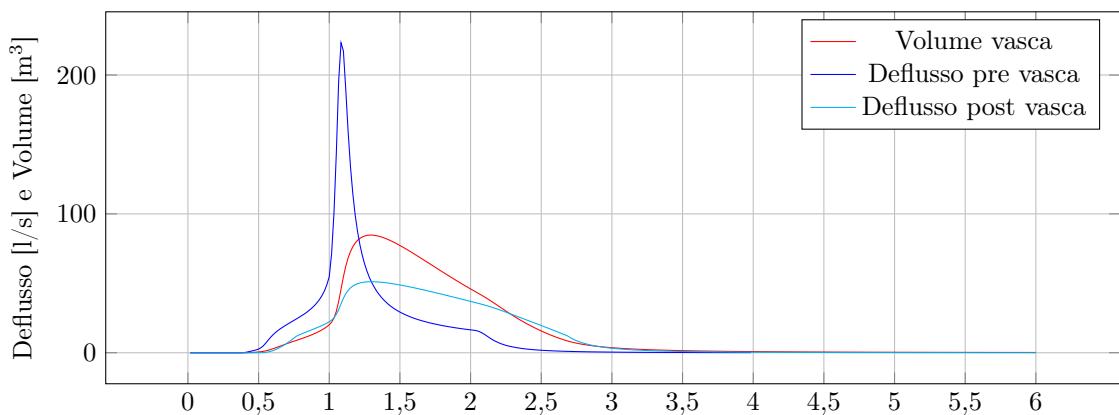


**Figura 2.1:** Attenuazione del deflusso nelle tre condotte con l'introduzione delle vasche a monte delle condotte

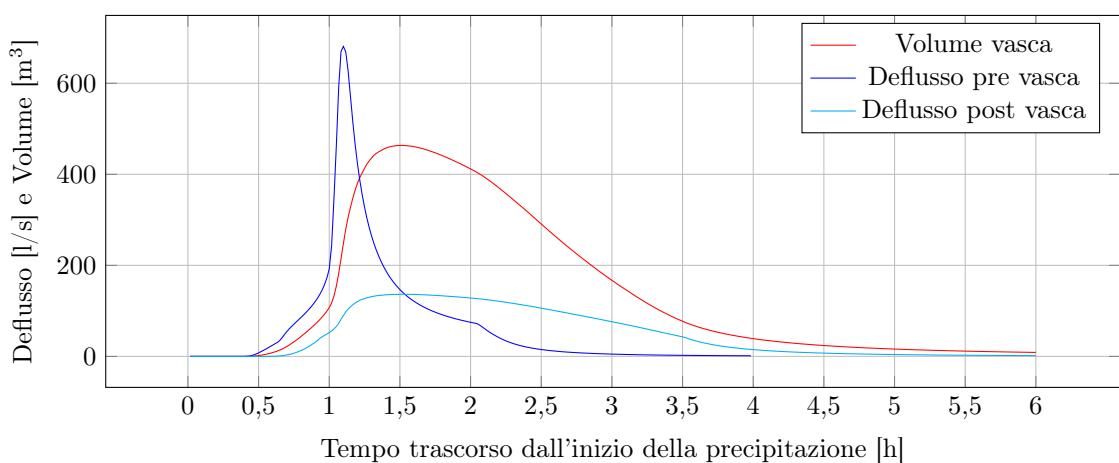
*Vasca 1 posta a monte della condotta C11*



*Vasca 2 posta a monte della condotta C21*



*Vasca 3 posta a monte della condotta C29*



**Figura 2.2:** Confronto del deflusso allo sbocco della rete pre e post l'installazione delle vasche e andamento del volume d'acqua all'interno delle stesse

**Tabella 2.5:** Iterazioni dell’Altezza dell’orifizio e dell’Area della vasca per avere il massimo riempimento della vasca e mantenere la portata inferiore a quella massima. In grassetto sono indicate le scelte

	Altezza [m]	Area vasca [ $m^2$ ]	% riempimento max	Deflusso max [l/s]
Nord	0,24	155	100	152,4
	0,24	180	100	152,4
	0,24	200	99	151,69
	<b>0,24</b>	<b>210</b>	96	148,98
	0,25	210	93	158,4
Centro	0,15	45	100	60,49
	0,15	60	88	56,53
	<b>0,15</b>	<b>50</b>	97	59,53
Sud	0,23	245	100	140,22
	0,23	260	100	140,22
	0,23	300	100	140,22
	0,23	350	91	132,99
	<b>0,23</b>	<b>325</b>	95	136,45

## 2.4 Progetto con vasche e lid

DA SISTEMARE IL CONDUCT2

**Tabella 2.6:** Diametri progetti conduct2

Condotta	A valle di	Deflusso [l s <sup>-1</sup> ]	Deflusso totale [l s <sup>-1</sup> ]	$i_G$ [-]	$D_{prog}$ [m]	$D_{comm}$ [m]	Offset [m]
<b>Via Roberto da Sanseverino</b>							
1	S12,S13,S9,S10	69,55	69,55	0,005	0,31	0,4	0,4
2		0	69,55	0,005	0,31	0,4	0,3
3	S5	25,37	94,92	0,005	0,35	0,5	0,2
4	S4,S6	153,8	248,72	0,005	0,50	0,6	0,1
<b>Corso del Lavoro e della Scienza</b>							
5	S15	100,25	100,25	0,01	0,31	0,3	0,3
6	S11	64,3	164,55	0,01	0,37	0,4	0,3
7	S8	100,6	265,15	0,01	0,45	0,5	0,2
8	S3	38,68	303,83	0,01	0,47	0,5	0,2
9	S7	115,85	419,68	0,01	0,53	0,6	0,1
10	S2	77,71	497,39	0,01	0,57	0,6	0,1
11	S1,C4	22,52	768,63	0,01	0,67	0,7	0
<b>Piazza delle Donne Lavoratrici e Via Adalberto Libera</b>							
12	S14	9,82	9,82	0,005	0,15	0,3	0
13	S18	46,58	56,4	0,005	0,28	0,3	0
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
14	S21	100,75	100,75	0,005	0,35	0,4	0
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
15	S20	64,13	64,13	0,005	0,30	0,4	0
<b>Via Adalberto Libera</b>							
16	C14,C15	0	164,88	0,005	0,43	0,5	
<b>Via Roberto da Sanseverino</b>							
19	S16	8,22	8,22	0,005	0,14	0,3	0
<b>Via Roberto da Sanseverino</b>							
20	S19	21,29	21,29	0,005	0,20	0,3	0
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
17	C13,C16	0	221,28	0,005	0,48	0,5	-0,1
18	S17	7,14	228,42	0,03	0,34	0,4	0
21	C18,C19,C20	0	257,93	0,03	0,36	0,4	0
<b>Ferrovia del Brennero, Via Monte Baldo, Corso del Lavoro e della Scienza, parallela a Monte Baldo</b>							
22	S23	131,87	131,87	0,005	0,39	0,4	0,4
23	S25	154,25	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
24	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
25	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
26	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
27	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
28	S22	312,35	598,47	0,005	0,69	0,8	0
29	S24	96,38	694,85	0,005	0,73	0,8	0

# **ROBE DA SWMM**

<b>Soil Class</b>	<b>Porosity, <math>\phi</math></b>	<b>Effective Porosity, <math>\phi_e^*</math></b>	<b>Wetting Front Suction Head, <math>\psi_s</math> (in)</b>	<b>Saturated Hydraulic Conductivity, <math>K_s</math> (in/hr)</b>
Sand	0.437 (0.374–0.500)	0.417 (0.354–0.480)	1.95 (0.38–9.98)	4.74
Loamy sand	0.437 (0.363–0.506)	0.401 (0.329–0.473)	2.41 (0.53–11.00)	1.18
Sandy loam	0.453 (0.351–0.555)	0.412 (0.283–0.541)	4.33 (1.05–17.90)	0.43
Loam	0.463 (0.375–0.551)	0.434 (0.334–0.534)	3.50 (0.52–23.38)	0.13
Silt loam	0.501 (0.420–0.582)	0.486 (0.394–0.578)	6.57 (1.15–37.56)	0.26
Sandy clay loam	0.398 (0.332–0.464)	0.330 (0.235–0.425)	8.60 (1.74–42.52)	0.06
Clay loam	0.464 (0.409–0.519)	0.309 (0.279–0.501)	8.22 (1.89–35.87)	0.04
Silty clay loam	0.471 (0.418–0.524)	0.432 (0.347–0.517)	10.75 (2.23–51.77)	0.04
Sandy clay	0.430 (0.370–0.490)	0.321 (0.207–0.435)	9.41 (1.61–55.20)	0.02
Silty clay	0.479 (0.425–0.533)	0.423 (0.334–0.512)	11.50 (2.41–54.88)	0.02
Clay	0.475 (0.427–0.523)	0.385 (0.269–0.501)	12.45 (2.52–61.61)	0.01

\*Effective porosity is the difference between the porosity  $\phi$  and the residual moisture content  $\phi_r$  that remains after a saturated soil is allowed to drain thoroughly.

**Figura A.1:** Tabella 4.7 di SWMM Green-Ampt parameters for different soil classes (Rawls et al., 1983) (Numbers in parentheses are  $\pm$  one standard deviation from the parameter value shown.)

# Rete di smaltimento delle acque meteo-riche allo stato di progetto (con presenza della rete di drenaggio) - tutti i mancanti

- B.1 Progetto sbagliato
- B.2 Progetto con solo i LID

**Tabella B.1:** Diametri progetti conduct-mod LID. In verde sono indicati i valori che hanno subito una modifica rispetto al progetto senza LID

Condotta	A valle di	Deflusso [l s <sup>-1</sup> ]	Deflusso totale [l s <sup>-1</sup> ]	$i_G$ [–]	$D_{prog}$ [m]	$D_{comm}$ [m]	Offset [m]
<b>Via Roberto da Sanseverino</b>							
1	S12,S13,S9,S10	73,41	73,41	0,005	0,31	0,3	0,4
2		0	73,41	0,005	0,31	0,3	0,4
3	S5	26,51	99,92	0,005	0,35	0,4	0,3
4	S4,S6	166,17	266,09	0,005	0,51	0,5	0,2
<b>Corso del Lavoro e della Scienza</b>							
5	S15,S14	119,45	119,45	0,01	0,33	0,4	0,3
6	S11	72,31	191,76	0,01	0,40	0,4	0,3
7	S8	100,6	292,36	0,01	0,46	0,5	0,2
8	S3	40,26	332,62	0,01	0,49	0,5	0,2
9	S7	121,15	453,77	0,01	0,55	0,6	0,1
10	S2	112,37	566,14	0,01	0,59	0,6	0,1
11	S1,C4	22,52	854,75	0,01	0,69	0,7	0
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
14	S21	101,51	101,51	0,005	0,35	0,4	0,1
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
15	S20	74,95	74,95	0,005	0,32	0,3	0,2
<b>Via Adalberto Libera</b>							
16	C14,C15	0	176,46	0,005	0,44	0,5	
<b>Passaggio Giuseppe Šebesta</b>							
17	C16,S18	55,43	231,89	0,005	0,48	0,5	-0,1
18	S17	7,14	239,03	0,03	0,35	0,5	0,1
21	S19,S16	29,51	268,54	0,03	0,37	0,5	0,1
<b>Ferrovia del Brennero, Via Monte Baldo, Corso del Lavoro e della Scienza, parallela a Monte Baldo</b>							
22	S23	131,87	131,87	0,005	0,39	0,4	0,4
23	S25	154,25	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
24	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
25	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
26	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
27	-	0	286,12	0,005	0,52	0,6	0,2
28	S22	371,99	658,11	0,005	0,72	0,8	0,1
29	S24	185,95	844,06	0,005	0,79	0,8	0

**Tabella B.2:** Progetto con aggiunta dei soli LID – Verifiche di massima velocità, riempimento condotta e del criterio di autopulizia

Condotta	Diametro [m]	Velocità			Riempimento massimo [%]	$\vartheta =$ compl. di $\alpha$ [rad]	Raggio idraulico $R_H$ [m]	Pend. fondo $i_F$ [-]	Pend. geometrica $i_G$ [-]	Tensione tangenziale $\tau$ [Pa]
		Flusso massimo [ $\text{ls}^{-1}$ ]	Ora max flusso [h]	Massima velocità [ $\text{m s}^{-1}$ ]						
01	0,3	67,8	01:04	1,19	75	2,6362	0,0612	0,0033	0,005	3,06
02	0,3	62,35	01:04	1,19	69	2,5112	0,0574	0,0035	0,005	2,87
03	0,4	83,03	01:04	1,17	56	2,2304	0,0646	0,0031	0,005	3,23
04	0,5	224,52	01:04	1,62	66	2,4478	0,0923	0,0022	0,005	4,62
05	0,4	107,78	01:04	1,48	56	2,2304	0,0646	0,0031	0,01	6,46
06	0,4	158,99	01:04	1,89	64	2,4051	0,0721	0,0028	0,01	7,21
07	0,5	251,02	01:04	2,07	60	2,3186	0,0855	0,0023	0,01	8,55
08	0,5	276,46	01:04	2,17	62	2,3620	0,0878	0,0023	0,01	8,78
09	0,6	378,37	01:04	2,24	58	2,2747	0,0997	0,0020	0,01	9,97
10	0,6	434,66	01:04	2,43	60	2,3186	0,1026	0,0019	0,01	10,26
11	0,7	670,91	01:04	2,69	62	2,3620	0,1229	0,0016	0,01	12,29
14	0,4	94,42	01:04	1,3	56	2,2304	0,0646	0,0031	0,005	3,23
15	0,3	60,14	01:04	1,17	68	2,4901	0,0567	0,0035	0,005	2,84
16	0,5	153,62	01:04	1,24	61	2,3403	0,0866	0,0023	0,005	4,33
17	0,5	187,79	01:04	1,81	52	2,1403	0,0758	0,0026	0,005	3,79
18	0,5	189,88	01:05	2,89	37	1,7785	0,0562	0,0036	0,03	16,87
21	0,5	204,73	01:05	3,03	38	1,8041	0,0576	0,0035	0,03	17,28
22	0,4	121,83	01:04	1,39	66	2,4478	0,0739	0,0027	0,005	3,69
23	0,6	259,95	01:04	1,65	54	2,1856	0,0939	0,0021	0,005	4,70
24	0,6	256,24	01:05	1,66	54	2,1856	0,0939	0,0021	0,005	4,70
25	0,6	252,44	01:05	1,64	54	2,1856	0,0939	0,0021	0,005	4,70
26	0,6	250,22	01:06	1,63	53	2,1630	0,0925	0,0022	0,005	4,62
27	0,6	249,62	01:06	1,58	55	2,2081	0,0954	0,0021	0,005	4,77
28	0,7	486,35	01:06	1,92	63	2,3836	0,1245	0,0016	0,005	6,23
29	0,8	535,79	01:06	1,98	53	2,1630	0,1233	0,0016	0,005	6,16

**B.3 Progetto con vasche e lid rifatto dopo i lid**

**B.4 Progetto con vasche e lid sistemato**