Progetto di invarianza idraulica ed idrologica per la realizzazione di nuovo piazzale per attività di autotrasporto proposto da ESSEBI AUTOTRASPORTI s.r.l.

Strada Vicinale Via Campagnola – Mappali 26 e 27 del Foglio 13
Comune di Castiglione delle Stiviere (MN)

3 Aprile 2025

Committente	
ESSEBI AUTOTRASPORTI s.r.l. Via Toscanini n. 81 46043 – Castiglione delle Stiviere (MN) P. IVA: 01752680205	

Progettista	
Dott. Ing. Paolo LEONI Via Nazario Sauro, 1 - Desenzano D/G 25015 E-mail: info@leonipaolo.it PEC: paolo.leoni1@ingpec.eu Iscr. Ordine Ingegneri di Brescia A 6548 dal 20/03/2019	

INDICE

1 INTRODUZIONE 4

2 OGGETTO 6

3 INDIVIDUAZIONE AMBITO TERRITORIALE 7

4 SUPERFICI TOTALI E SCOLANTI 8

5 INDIVIDUAZIONE INTERVENTI RICHIESTI 10

6 CONTENUTI DEL PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA 12

7 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE 14

8 CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO 16

8.1 Linee segnalatrici 17

8.2 Dimensionamento della trincea drenante 18

8.3 Modello cinematico per il calcolo della durata critica dell'invaso 19

8.4 Ietogramma di progetto 21

8.5 Schematizzazione dei bacini e della rete di collettamento 23

8.6 Idrogramma di piena (Tr 100 anni) 30

8.7 Laminazione della piena e svuotamento 33

9 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI RACCOLTA E SMALTIMENTO ACQUE METEORICHE 35

10 PIANO DI MANUTENZIONE RIASSUNTIVO 40

10.1 Gestione e manutenzione della rete di drenaggio 40

10.2 Gestione e manutenzione della trincea drenanante 41

10.3 Manutenzione straordinaria 41

11 CONCLUSIONI 42

12 ALLEGATI 44

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 46

1 INTRODUZIONE

La presente valutazione di invarianza idraulica ed idrologica è stata redatta in conformità al Regolamento Regionale Lombardia n. 7 del 23 novembre 2017, così come modificato dal R.R. n. 9 del 23 luglio 2019, recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica, ai sensi dell'art. 58 bis della L.R. 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio).

Su incarico della società ESSEBI AUTOTRASPORTI s.r.l., con sede in via Toscanini n. 81 – 46043 Castiglione delle Stiviere (MN), è stata predisposta la presente relazione tecnica di verifica dell'invarianza idraulica, ai sensi dell'art. 6 del regolamento sopra citato.

L'intervento oggetto di studio riguarda un'area ubicata in Comune di Castiglione delle Stiviere (MN), in Strada vicinale Via Campagnola, individuata catastalmente al Foglio 13, mappali 26 e 27, per una superficie complessiva pari a 18.490 m².

L'intervento, riconducibile a una procedura di Sportello Unico Attività Produttive (SUAP), prevede la realizzazione di un nuovo piazzale destinato al ricovero di automezzi.

A seguito della trasformazione del suolo, è prevista una significativa impermeabilizzazione della superficie, con conseguente necessità di adottare idonee opere idrauliche per garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica, tramite sistemi di raccolta, accumulo e smaltimento delle acque meteoriche in sito.

Figura 1 - Estratto mappa catastale

2 OGGETTO

La presente relazione riguarda la verifica di invarianza idraulica richiesta dal Regolamento Regionale n. 7 del 23 novembre 2017, ai sensi dell'articolo 58 bis della Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio).

L'obiettivo della norma è quello di impedire un ulteriore aggravio e, in prospettiva, ottenere una progressiva riduzione delle portate circolanti nelle reti fognarie e nei corpi idrici superficiali all'occorrenza di eventi meteorici.

A tale scopo il regolamento individua come prioritaria l'adozione di modelli di gestione delle acque meteoriche che favoriscano lo smaltimento delle acque meteoriche in loco (dispersione negli strati superficiali del sottosuolo) o il loro riutilizzo per irrigazione del verde ovvero per altri usi compatibili con la qualità delle acque. Nel caso in cui, per il contesto in cui si colloca l'intervento, non sia possibile conseguire per intero lo smaltimento in sito e sia pertanto necessario attivare scarichi verso reti fognarie o corpi idrici superficiali, il regolamento definisce le portate limite consentite allo scarico.

Il presente caso oggetto di valutazione di compatibilità idraulica ed idrologica è riferito alle opere per la realizzazione di un nuovo piazzale per il ricovero di automezzi in Comune di Castiglione delle Stiviere (MN), in Strada vicinale Via Campagnola, sui mappali 26 e 27 del Foglio 13.

Il promotore dell'iniziativa è tenuto a realizzare lo studio di compatibilità idraulica ed idrologica relativamente alle aree che saranno occupate dalle nuove strutture, in quanto genereranno un aumento dell'impermeabilità dell'area in cui la stessa verrà realizzata.

Tale elaborato dovrà essere firmato da un tecnico abilitato, qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici, redatto conformemente alle disposizioni del presente regolamento e secondo i contenuti di cui all'articolo 10.

Nel presente caso non è previsto alcuno scarico in corpo idrico superficiale o in rete fognaria. Le acque meteoriche saranno smaltite esclusivamente tramite una trincea drenante di nuova realizzazione, posizionata lungo il perimetro del lotto, che garantirà accumulo e infiltrazione in sito. La relazione dimostrerà il corretto dimensionamento delle opere di infiltrazione e la verifica del rispetto dei requisiti minimi richiesti dal R.R. n. 7/2017 e s.m.i.

3 INDIVIDUAZIONE AMBITO TERRITORIALE

Ai sensi dell'art. 7 del R.R. il territorio regionale è suddiviso in 3 tipologie di aree, in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori:

a) aree A, ovvero ad alta criticità idraulica: aree che comprendono i territori dei comuni elencati nell'allegato C ricadenti, anche parzialmente, nei bacini idrografici elencati nell'allegato B;
b) aree B, ovvero a media criticità idraulica: aree che comprendono i territori dei comuni, elencati nell'allegato C, non rientranti nelle aree A e ricadenti, anche parzialmente, all'interno dei comprensori di bonifica e irrigazione;
c) aree C, ovvero a bassa criticità idraulica: aree che comprendono i territori dei comuni, elencati nell'allegato C, non rientranti nelle aree A e B.

Con riferimento all'Allegato C del Regolamento Regionale 23 novembre 2017 - n. 7, il Comune di **Castiglione delle Stiviere** è inserito in **area B** ovvero ad alta criticità idraulica:

Comune	*Provincia*	*Criticità idraulica*	*Coefficiente P*
CASTENEDOLO	BS	A	0,8
CASTIGLIONE D`ADDA	LO	B	
CASTIGLIONE D`INTELVI	CO	C	
CASTIGLIONE DELLE STIVIERE	MN	B	
CASTIGLIONE OLONA	VA	A	1
CASTIONE ANDEVENNO	SO	C	

Figura 2 - Estratto allegato C - Regolamento Regionale 23 novembre 2017 - n. 7, aggiornato in data 19/04/2019 con il R.R. n.8.

4 SUPERFICI TOTALI E SCOLANTI

La superficie interessata dall'intervento di nuova impermeabilizzazione è pari a **18.490 m²**.In tale superficie si prevedono le seguenti destinazioni e relative classi di impermeabilizzazione, suddivise per coefficiente di deflusso (C):

In accordo all'Art.11 del R.R. si attribuiscono i seguenti coefficienti di deflusso:

- 1.00 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture e pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;
- 0.7 per i tetti verdi, i giardini pensili, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del presente regolamento e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi;
- 0.3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le superfici incolte e quelle ad uso agricolo.

Descrizione	***Sup. Totale scolante*** **[m²]**	***Coeff. Deflusso*** **[-]**	***Sup. Scolante Impermeabile*** **[m²]**
Superficie ghiaiata	5426	0,3	1.628
copertura edificio	348,8	1	349
Superficie asflatata	11.595,2	1	11.595
fascia verde con mitigazioni ambientali	1120.0	0,3	336
Totale	**18.490**	**0,75**	**13.908**

La superficie totale scolante tiene in considerazione anche l'area occupata dalle opere di invarianza idraulica e idrologica che sono allocate nelle aree verdi (Volume massimo di invaso di circa 700 m^3).

La superficie scolante da considerare è di **18.490 m^2** a cui corrisponde coefficiente d'afflusso medio ponderale pari a **0,75**. Ne deriva che la superficie scolante impermeabile effettiva dell'intervento è pari a **13,908 m^2**.

Poiché la progettazione delle opere d'invarianza idraulica è da commisurare alle aree trasformate supera i 10.000 m^2, l'intervento presenta classe di intervento (articolo 9 del regolamento) «Impermeabilizzazione potenziale alta» ed è quindi adottabile la procedura di calcolo dettagliata (art.11 e allegato G R.R.7 e s.m.i.).

	Sup.totale Scolante		***Coeff. Deflusso***	***Sup. scolante impermeabile***	
Superficie interessata dall'intervento	**18'490**	**m^2**	0,75	1,39	ha_{imp}
Classe comune	**B**				
Requisiti minimi (volume di laminazione) [1]	**695**	**m^3**	a) per le aree A ad alta criticità idraulica di cui all'articolo 7: 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; b) per le aree B a media criticità idraulica di cui all'articolo 7: 500mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; c) per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7: 400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.		
Portata limite di scarico in (Qu,lim) [2]	**27,82**	l/s			

[2] Corrispondente a 20 l/s/ha_{imp}

5 INDIVIDUAZIONE INTERVENTI RICHIESTI

Sulla base di quanto esposto nei capitoli precedenti e in accordo all'Art. 9 del R.R., è ora possibile individuare gli interventi richiesti inserendo nella tabella seguente i dati di progetto illustrati precedentemente e di seguito riassunti:

- Coefficiente di deflusso medio ponderale: 0,75
- Superficie interessata dell'intervento: 1,8 ha
- Criticità idraulica: Area B

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO – AMBITI TERRITORIALI (articolo 7) – Aree A, B	Aree C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Figura 3 - Classificazione degli interventi richiedenti misure di invarianza idraulica ed idrologica e modalità di calcolo

Gli interventi previsti sono quelli indicati nell'Art.11 del R.R. che fornisce le linee guida per calcolare le precipitazioni attese a seconda dei diversi tempi di ritorno considerati e quindi le portate massime da convogliare nelle opere di laminazione.

Oltre alle verifiche richieste ed illustrate devono essere rispettati anche i requisiti minimi previsti dal comma 2 dell'articolo 12 che previsti dal R.R. n 7, secondo cui il volume minimo dell'invaso di laminazione corrisponde a *"**500 m³ per ettaro** di superficie scolante impermeabile dell'intervento moltiplicato per il coefficiente P di cui alla tabella riportata nell'allegato C"*. Per l'area presa in esame, il valore del coefficiente P corrisponde a **1,0**.

Il minimo volume di laminazione da garantire secondo il principio dei requisiti minimi, relativamente alla superficie scolante impermeabile occupata dall'intervento analizzato, corrisponde a **695 m^3**.

In questo caso:

- La rete delle acque meteoriche, che raccoglie le acque provenienti dalle coperture delle strutture, sarà costituita da tubazioni in PVC SN8. Le acque meteoriche saranno in seguito recapitate in una trincea drenante che svolge la duplice funzione di invaso di laminazione e infiltrazione delle acque raccolte.
- Il dimensionamento delle opere di laminazione e dispersione delle acque meteoriche è stato effettuato ipotizzando un coefficiente di permeabilità pari a 2x10-4 m/s.
- Per il dimensionamento delle opere idrauliche è stato considerato un evento meteorico prolungato nel tempo corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 100 anni;

6 CONTENUTI DEL PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA

Secondo quanto stabilito all'Art.10 del R.R. n.7, […] il progetto di invarianza idraulica ed idrologica deve essere corredato con i calcoli, le valutazioni, i grafici ed i disegni effettuati a livello di dettaglio corrispondente ad un progetto almeno definitivo, osservando le procedure e le metodologie di cui all'articolo 11 e deve contenere i seguenti elementi:

a) Relazione tecnica comprendente:

1. descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica ed idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico, costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico nel ricettore o di disperdimento nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo;
2. calcolo delle precipitazioni di progetto;
3. calcoli del processo di infiltrazione nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti;
4. calcoli del processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
5. calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione;
6. calcoli e relativi dimensionamenti di tutte le componenti del sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico (*eseguito con software di modellazione idraulica e idrologica SWMM*);
7. dimensionamento del sistema di scarico terminale, qualora necessario, nel ricettore nel rispetto dei requisiti ammissibili del presente regolamento

b) Documentazione progettuale di tipo grafico *(Tavole_Tav.b.nr);*

c) Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema di opere di invarianza idraulica ed idrologica e di recapito nei ricettori, secondo le disposizioni dell'articolo 13;

d) Carta d'identità del progettista delle opere di invarianza idraulica ed idrologica;

e) Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del presente regolamento, redatta secondo il modello di cui all'allegato E.

Per ogni intervento di cui all'art. 3, il progettista delle opere di invarianza idraulica ed idrologica, o il direttore lavori qualora incaricato, è tenuto a compilare il modulo di cui all'allegato D e a trasmetterlo mediante posta elettronica certificata al seguente indirizzo di posta certificata della Regione: invarianza.idraulica@pec.regione.lombardia.it.

Il modulo di cui all'allegato D è firmato digitalmente e va compilato a lavori conclusi, in modo che tenga conto di eventuali varianti in corso d'opera. Il caso in esame non rientra in tale tipologia.

In ogni caso, i contenuti del progetto di invarianza idraulica ed idrologica devono essere commisurati alla complessità dell'intervento da progettare.

7 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Il volume minimo di laminazione deve essere tale da garantire il rispetto dei requisiti minimi richiesti dal R.R. n.9 del 2019 previsti dal comma 2 dell'articolo 12 secondo cui, in questo caso, tale volume corrisponde a 695 m^3 come già dimostrato al capitolo 5 della presente relazione.

L'intervento prevede una classe di impermeabilizzazione potenziale alta e, considerato che il coefficiente di deflusso medio ponderale supera ampiamente il valore soglia di 0,4, il R.R. impone l'applicazione di una metodologia di calcolo dettagliata delle opere di laminazione e infiltrazione che si intende adottare.

Per il progetto dell'opera idraulica si adotterà, come valore del volume minimo di laminazione, il maggiore tra quelli calcolati con i due metodi: "requisiti minimi" e "metodo dettagliato".

L'opera di gestione delle acque meteoriche in progetto è costituita da una **trincea drenante** interrata, che svolge funzione di accumulo, laminazione e dispersione delle acque raccolte. La trincea si sviluppa per una lunghezza totale di 260 metri, suddivisa in due rami da 130 metri ciascuno, seguendo il perimetro dell'area di intervento per una migliore integrazione con le aree a verde e i sottoservizi.

La sezione della trincea è di tipo rettangolare, di dimensioni 2,5 m di larghezza per 2,5 m di altezza utile, e contiene al suo interno una tubazione forata in calcestruzzo con diametro interno di 1 m (sezione interna di 0,79 m^2), posata su letto di ghiaia grossolana, con rinfianco e rinterro eseguiti con lo stesso materiale, ad alta permeabilità.

La capacità di accumulo totale della trincea risulta di circa **701,5 m^3**, mentre la quota effettivamente disponibile per l'infiltrazione, tenuto conto di una porosità del 35%, è di circa **245,5 m^3**.

La portata di smaltimento per infiltrazione nel terreno naturale è stata stimata secondo la legge di Darcy, applicata nella forma:

1) $$Q = K \cdot J \cdot A$$

dove:

- **Q** è la portata infiltrata (m^3/s),
- **K** è la permeabilità del suolo (m/s), assunta pari a 5×10^{-5} m/s,
- **J** è il gradiente idraulico (adimensionale), assunto pari a 1,
- **A** è la superficie di contatto tra il volume drenante e il terreno naturale (m^2).
-

Dimensioni della trincea drenante			
Lunghezza in pianta	L	260	[m]
Ingombro in pianta	b	2,50	[m]
Altezza massima	DH	2,50	[m]
superficie occupata in pianta	S	650	[m^2]
Volume massimo di laminazione	**W_{max}**	**700**	**[m^3]**

Nel caso in esame, considerando una superficie di infiltrazione (fondo + pareti laterali) pari a circa 1.950 m^2, si ottiene una portata infiltrante **(Qinf) pari a 97,5 l/s.**

L'intero sistema non necessita di impianti di sollevamento e garantisce una gestione sostenibile delle acque meteoriche in linea con il principio di invarianza idraulica. La trincea sarà avvolta in geotessile filtrante per evitare l'intasamento e assicurare la durabilità dell'opera.

Si specifica che, in fase esecutiva, il committente potrà valutare l'utilizzo di tubazioni forate in materiale plastico (ad esempio PVC o PEAD) in sostituzione del tubo in calcestruzzo, purché di pari volume interno e caratteristiche funzionali equivalenti.

Analogamente, la rete di raccolta delle acque meteoriche potrà essere realizzata anche in tubazioni in calcestruzzo anziché in PVC SN8, mantenendo lo stesso schema funzionale e le dimensioni previste in progetto.

Per quanto concerne il dimensionamento del sistema di collettamento e trasporto delle acque meteoriche si rimanda al capitolo dedicato (Paragrafo 9).

8 CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

Nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale alta" in ambiti territoriali a criticità media o media si deve computare in dettaglio la trasformazione afflussi-deflussi del bacino fino alla sezione di ingresso nell'invaso di laminazione in progetto, in particolare adottando idonei criteri di scelta:

- dello ietogramma di progetto (di tipo Chicago) e della sua durata complessiva a partire dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area in esame;
- della procedura di calcolo dello ietogramma netto in funzione delle perdite idrologiche per accumuli iniziali e per infiltrazione, in relazione alle tipologie del suolo e dell'urbanizzazione in progetto;
- del modello di trasformazione afflussi netti-deflussi idoneo a rappresentare sia la formazione degli idrogrammi di piena nelle diverse sotto-aree, sia la loro propagazione e formazione dell'idrogramma complessivo Qe(t) in corrispondenza della sezione di ingresso nell'invaso di laminazione in progetto.

Lo studio idrologico-idraulico è stato eseguito utilizzando la versione 5.2 del modello numerico SWMM (Storm Water Management Model), sviluppato ed aggiornato dall'EPA (Agenzia Federale per la Protezione dell'Ambiente degli Stati Uniti), che descrive quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi sulla superficie di un bacino imbrifero e in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i collettori o i canali e gli altri elementi costituenti il sistema idraulico.

8.1 Linee segnalatrici

ARPA Lombardia fornisce i parametri della curva di possibilità pluviometrica valida per ogni località della Lombardia espressa nella forma:

2) $$h = a_1 \cdot w_t \cdot D^n$$

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

in cui:

- h è l'altezza di pioggia;
- D è la durata;
- a_1 è il coefficiente pluviometrico orario;
- w_t è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T;
- n è l'esponente della curva (parametro di scala);
- α, ε, k sono i parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate.

Per il sito oggetto di studio i valori desunti dal portale per il Comune di Castiglione delle Stiviere sono i seguenti:

a_1 = 27,18 n = 0,2621 α = 0,2721 ε = 0,8294 k = -0,0473

Si calcola quindi il valore w_t e le precipitazioni al variare delle durate e dei tempi di ritorno.

Figura 4 - dati LSPP (Portare Arpa)

8.2 Dimensionamento della trincea drenante

La verifica idrologica dell'opera è stata effettuata applicando la legge di Darcy, sulla base della permeabilità dei terreni ($K = 5\times10^{-5}$ m/s), del gradiente idraulico unitario (J = 1 m/m) e della superficie di contatto della trincea (fondo e pareti laterali), stimata pari a circa 1.950 m².

La portata potenziale di infiltrazione ottenuta risulta pari a **97,5 l/s**, a fronte di una superficie scolante di 13.908 m² e di un coefficiente medio di deflusso pari a 0,75.

Il volume utile drenante della trincea è stimato in 245,5 m³, calcolato applicando un coefficiente di porosità del 35% al volume geometrico complessivo pari a circa **701,5 m³.**

L'opera progettata garantisce quindi un'efficace compensazione idraulica dell'intervento, sia in termini di volume accumulabile che di capacità di smaltimento per infiltrazione, risultando conforme ai requisiti normativi previsti dal R.R. 7/2017.

8.3 Modello cinematico per il calcolo della durata critica dell'invaso

La determinazione dell'evento critico per l'invaso con il modello cinematico prevede la schematizzazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino a monte dell'invaso di laminazione (Alfonsi e Orsi [1987][3]).

Le ipotesi semplificate adottate in questo modello sono:

- Ietogramma netto pioggia a intensità costante;
- Curva aree e tempi lineare;
- Svuotamento a portata costante pari a Q_u (laminazione ottimale).

Sotto queste ipotesi, l'espressione del volume W invasato di laminazione si può scrivere in funzione della durata di pioggia θ, del tempo di corrivazione del bacino T_0, della portata uscente dall'opera di laminazione e infiltrazione Q_u, del coefficiente di afflusso ϕ , dell'area del bacino A e dei parametri *a* e *n* della curva di possibilità pluviometrica:

4) $$W = \varphi \cdot A \cdot a \cdot \theta^n + T_0 \cdot {Q_u}^2 \cdot \frac{\theta^{1-n}}{\varphi \cdot A \cdot a} - Q_u \cdot \theta - Q_u \cdot T_0$$

Risolvendo l'equazione 4) per diversi valori di durata (θ) è possibile stimare la durata di evento che rende massimo il volume di laminazione. Il grafico riportato in Figura 5 rappresenta l'insieme delle soluzioni dell'equazione di "Alfonsi e Orsi" relativa a diverse durate di evento meteorico considerando:

- tempo di ritorno Tr=50 anni;
- tempo di corrivazione della rete T_0 pari a 10 minuti;
- Valore di portata uscente $Q_u = Q_{u\ inf(t)}$ equivalente ad un valore di portata media scaricato dalla trincea drenante per infiltrazione nel sottosuolo.

Il valore di durata critica per l'opera di laminazione per questa applicazione è risultato inferiore ad un **1 ora**.

[3] Fonte: Fondamenti di costruzioni idrauliche (Gianfranco Becciu e Alessandro Paoletti)

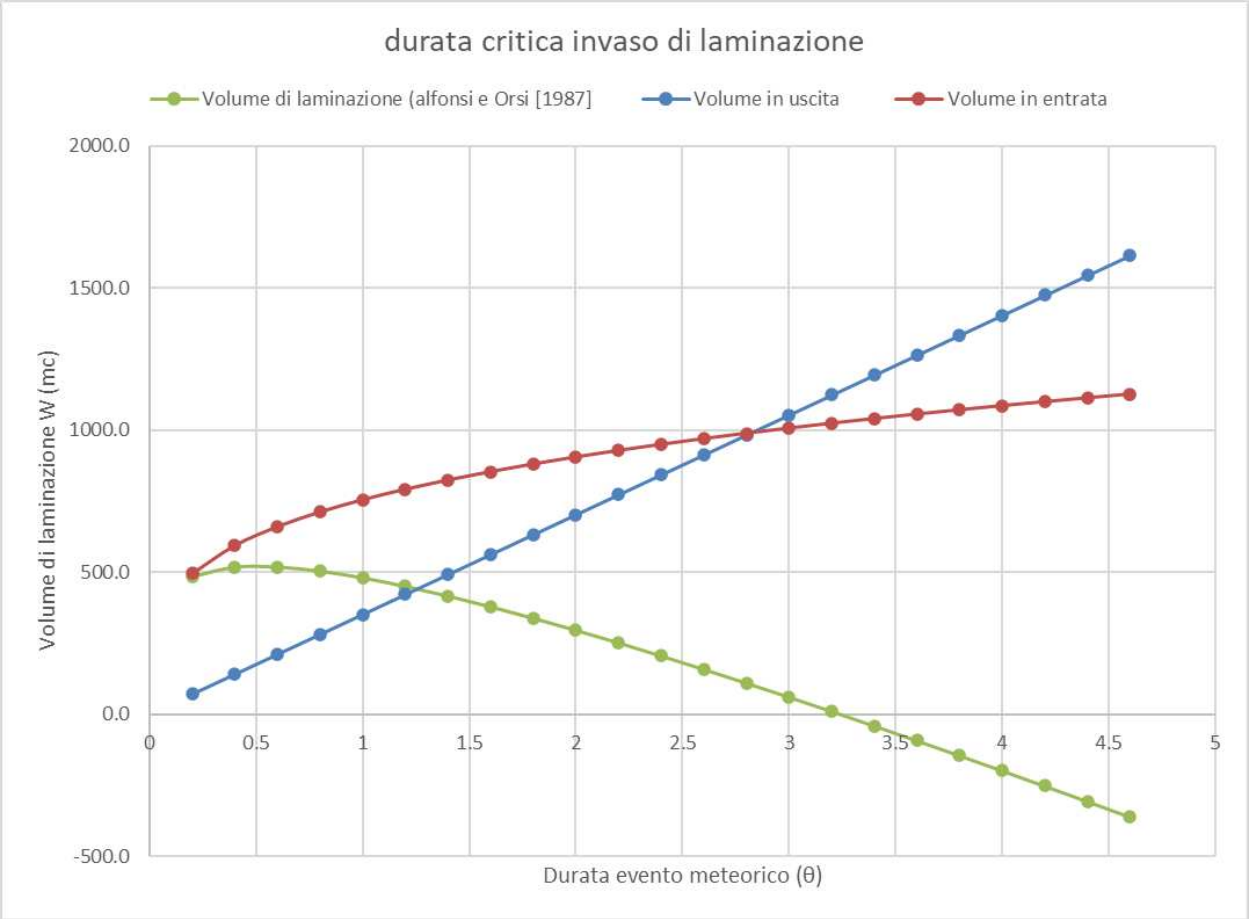

Figura 5 – Stima durata critica dell'invaso (Alfonsi e Orsi [1987])

Durata	Intensità di pioggia	Volume in uscita	Volume in entrata	Volume di laminazione (Alfonsi e Orsi [1987]
0.2	177.85	70.20	495	484.6
0.4	**106.64**	**140.40**	**593**	**518.0**
0.6	**79.06**	**210.60**	**660**	**518.6**
0.8	63.94	280.80	711	504.1
1	54.24	351.00	754	480.4
1.2	47.41	421.20	791	450.7
1.4	42.31	491.40	824	416.5
1.6	38.34	561.60	853	378.9
1.8	35.15	631.80	880	338.6
2	32.52	702.00	905	296.0

Soluzione numerica dell'equazione di Alfonsi e Orsi [1987]

8.4 Ietogramma di progetto

In base ai parametri della curva di possibilità pluviometrica, si assume come ietogramma di progetto quello di tipo Chicago con posizione del picco 0,5 e durata pari al valore di durata critica per l'opera di laminazione (θ_c=1 ora).

La principale caratteristica di questo tipo di ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media delle precipitazioni del suddetto è congruente con quella definita dalla LSPP. Lo ietogramma Chicago ha il vantaggio di essere poco sensibile alla variazione della durata di base. Infatti, la parte centrale dello ietogramma rimane la stessa per durate progressivamente maggiori.

Inoltre, esso contiene le piogge critiche per tutte le durate parziali minori della durata totale. Lo stesso ietogramma, pertanto, può essere utilizzato come ietogramma di progetto per tutti i sottobacini di un medesimo bacino, senza necessità di ricerca delle durate critiche di ognuno di essi, purché la durata totale dello ietogramma sia maggiore del tempo di corrivazione del bacino totale.

Per questa applicazione sono stati considerati gli ietogrammi di pioggia in forma discreta, cioè suddividendo la durata complessiva in intervalli di tempo finiti di Δt=5 minuti all'interno dei quali l'intensità di precipitazione è assunta costante.

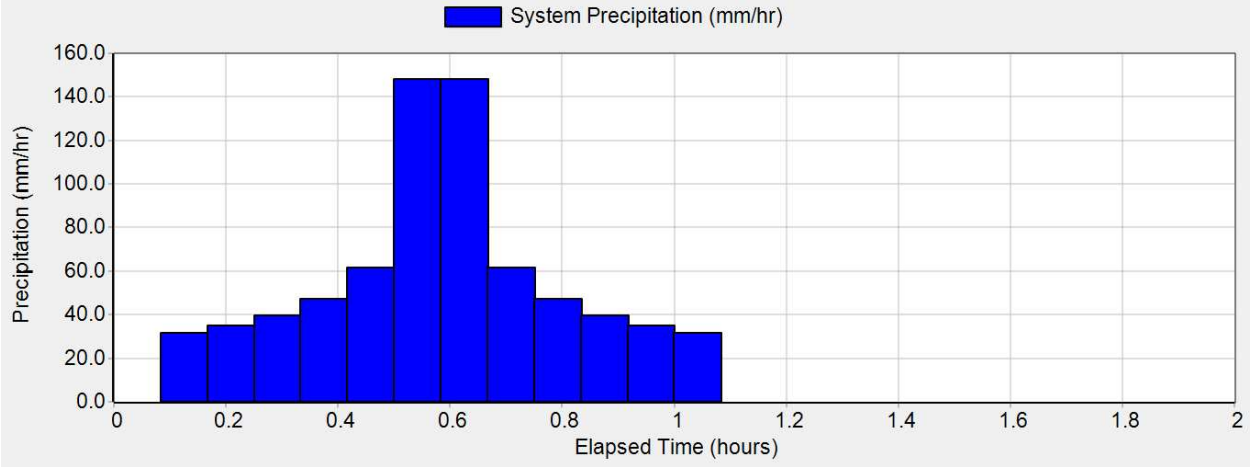

Figura 6 –Ietogramma di progetto di tipo Chicago per un evento pari al tempo di durata critica per l'opera di laminazione (1 ore) per Tr:100 anni.

8.5 Schematizzazione dei bacini e della rete di collettamento

La costruzione dell'idrogramma di piena in ingresso alle opere di laminazione, secondo il metodo della corrivazione, richiede la stima di un fattore C (o ϕ) chiamato coefficiente di deflusso in funzione delle caratteristiche morfologiche, tessiturali e di coperture vegetali.

Per semplicità, tutte le superfici scolanti sono state suddivisi in 25 aree scolanti o bacini di scolo con diverso grado di permeabilità che alimentano la rete di raccolta delle acque bianche in ingresso alla trincea drenante. Ciascun bacino è caratterizzato da una determinata dimensione ed è identificabile con un certo nome nel modello SWMM (Tabella 1).

In Tabella 2 e in Tabella 3 sono invece riportate le caratteristiche dei tratti della rete, ai quali è stata attribuita una scabrezza pari a 0,0125 s/$m^{1/3}$, e dei nodi che la compongono.

I collettori hanno pendenze comprese tra 0,5% e 0,8% e diametri variabili da DN200 a DN500. Nel modello non sono state inserite le tubazioni che collegano le caditoie ai rispettivi pozzetti di recapito(si rimanda alla Tavola grafica Tav b) allegata per particolari costruttivi e dettaglio della rete).

NB: Nel modello di SWMM realizzato la trincea drenante è stata suddivisa in due elementi identici indicati come "Storage" collegati da un tubo DN1000.

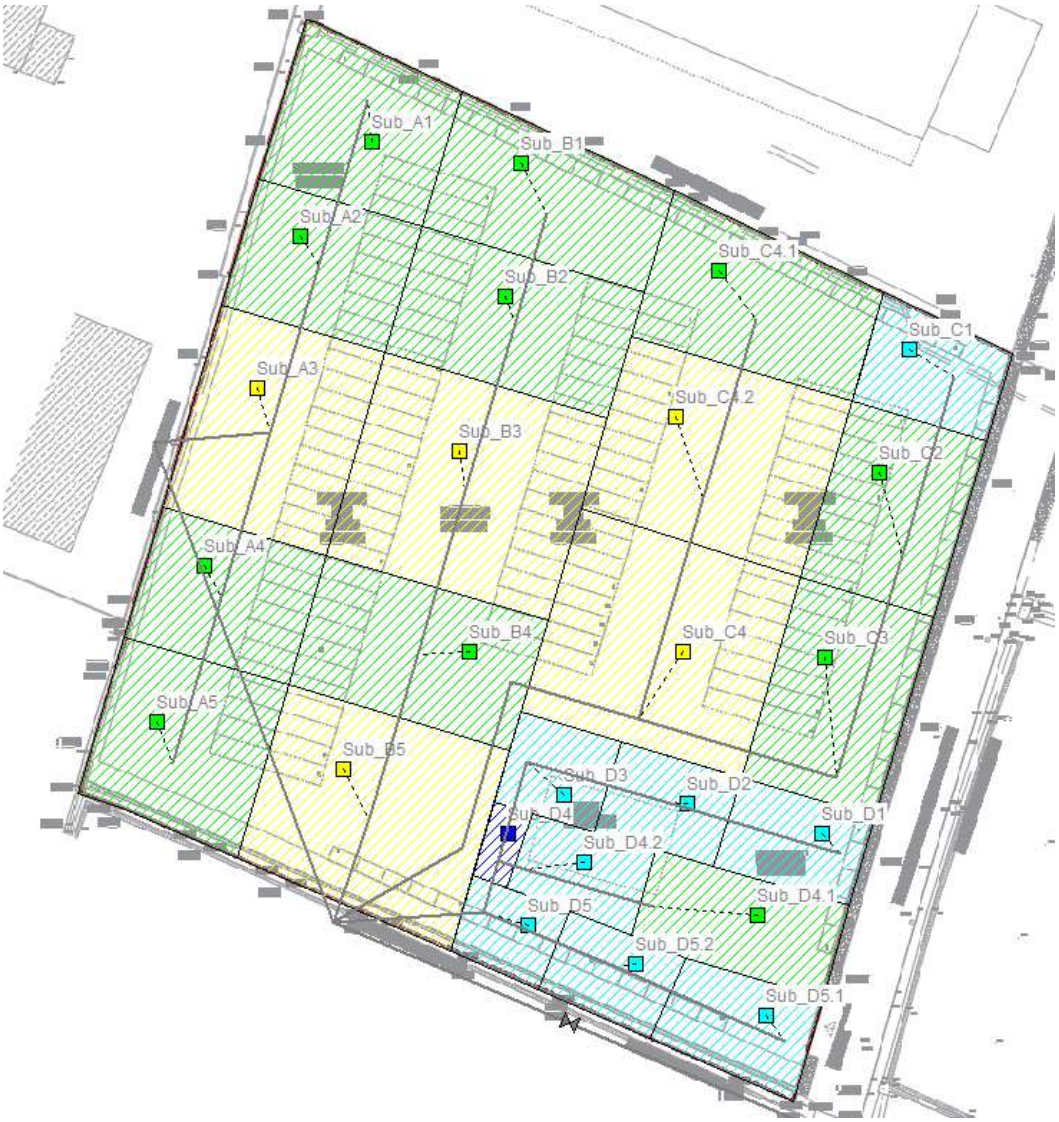

Figura 7 - Aree scolanti (bacini) afferenti alla rete di raccolta delle acque bianche in SWMM

Tabella 1 – Caratteristiche delle aree scolanti (bacini) nel modello SWMM

Nome del bacino nel modello SWMM	Area [ha]	Nodo d'ingresso in rete nel modello SWMM	Percentuale di bacino impermeabile (%)
Sub_A1	0.0795	A1	75
Sub_A2	0.0673	A2	75
Sub_A3	0.1087	A3	75
Sub_A4	0.07	A4	75
Sub_A5	0.0879	A5	75
Sub_B1	0.0862	B1	75
Sub_B2	0.0915	B2	75
Sub_B3	0.1472	B3	75
Sub_B4	0.0942	B4	75
Sub_B5	0.1356	B5	75
Sub_C1	0.0436	C1	75
Sub_C2	0.0775	C2	75
Sub_C3	0.0876	C3	75
Sub_C4	0.1465	C4	75
Sub_C4.1	0.0921	C4.1	75
Sub_C4.2	0.1263	C4.2	75
Sub_D1	0.0396	D1	75
Sub_D2	0.0352	D2	75
Sub_D3	0.0295	D3	75
Sub_D4	0.0087	D4	75
Sub_D4.1	0.0574	D4.1	75
Sub_D4.2	0.0333	D4.2	75
Sub_D5	0.0242	D5	75
Sub_D5.1	0.0442	D5.1	75
Sub_D5.2	0.0323	D5.2	75

Tabella 2 – Caratteristiche dei tratti della rete nel modello SWMM

Tratto della rete in SWMM	Lunghezza tratto [m]	Diametro collettore [m]	grado di Riempimento (h/D)
A1.1	30.0	0.25	0.62
A2.1	30.2	0.315	0.82
A3.1	12.9	0.4	0.94
A4.1	29.9	0.315	0.82
A5.1	30.0	0.25	0.66
B1.1	20.0	0.25	0.68
B2.1	30.4	0.315	0.7
B3.1	29.6	0.4	0.67
B4.1	29.9	0.4	0.73
B5.1	11.3	0.5	0.75
C1.1	32.5	0.25	0.5
C2.1	40.1	0.315	0.59
C3.1	35.9	0.4	0.75
C4.1	23.1	0.4	0.66
C4.1.1	32.5	0.25	0.92
C4.2.1	39.9	0.315	0.79
C5.1	30.0	0.4	0.8
C6.1	13.6	0.5	0.73
D1.1	31.8	0.2	0.58
D2.1	25.1	0.25	0.53
D3.1	18.0	0.315	0.82
D4.1	9.2	0.400	0.57
D4.1.1	23.1	0.25	0.89
D4.2.1	5.0	0.315	0.81
D5.1	4.5	0.5	0.75
D5.1.1	31.9	0.2	0.78
D5.2.1	25.0	0.315	0.9

Tabella 3 – Caratteristiche dei nodi della rete nel modello SWMM.

Nodo della rete in SWMM	Quota di fondo pozzetto (Nodo) [m][4]	Distanza dal fondo del pozzetto al piano campagna [m]
A1	-1.15	1.55
A2	-1.3	1.5
A3	-1.45	1.45
A4	-1.3	1.1
A5	-1.15	0.75
B1	-0.9	1.3
B2	-1	1.2
B3	-1.15	1.15
B4	-1.3	1.1
B5	-1.45	1.05
C1	-0.62	1.02
C2	-0.78	0.98
C3	-0.98	0.78
C4	-1.16	0.96
C4.1	-0.62	1.02
C4.2	-0.78	0.98
C5	-1.28	1.08
C6	-1.43	1.03
D1	-1	0.8
D2	-1.15	0.95
D3	-1.3	1.1
D4	-1.4	1
D4.1	-1.15	0.75
D4.2	-1.3	0.9
D5	-1.45	1.05
D5.1	-1.2	0.8
D5.2	-1.35	0.95

[4] Quote relative

DN	colore
200	
250	
315	
400	
500	

Figura 8 - Schema della rete di raccolta delle acque bianche in SWMM

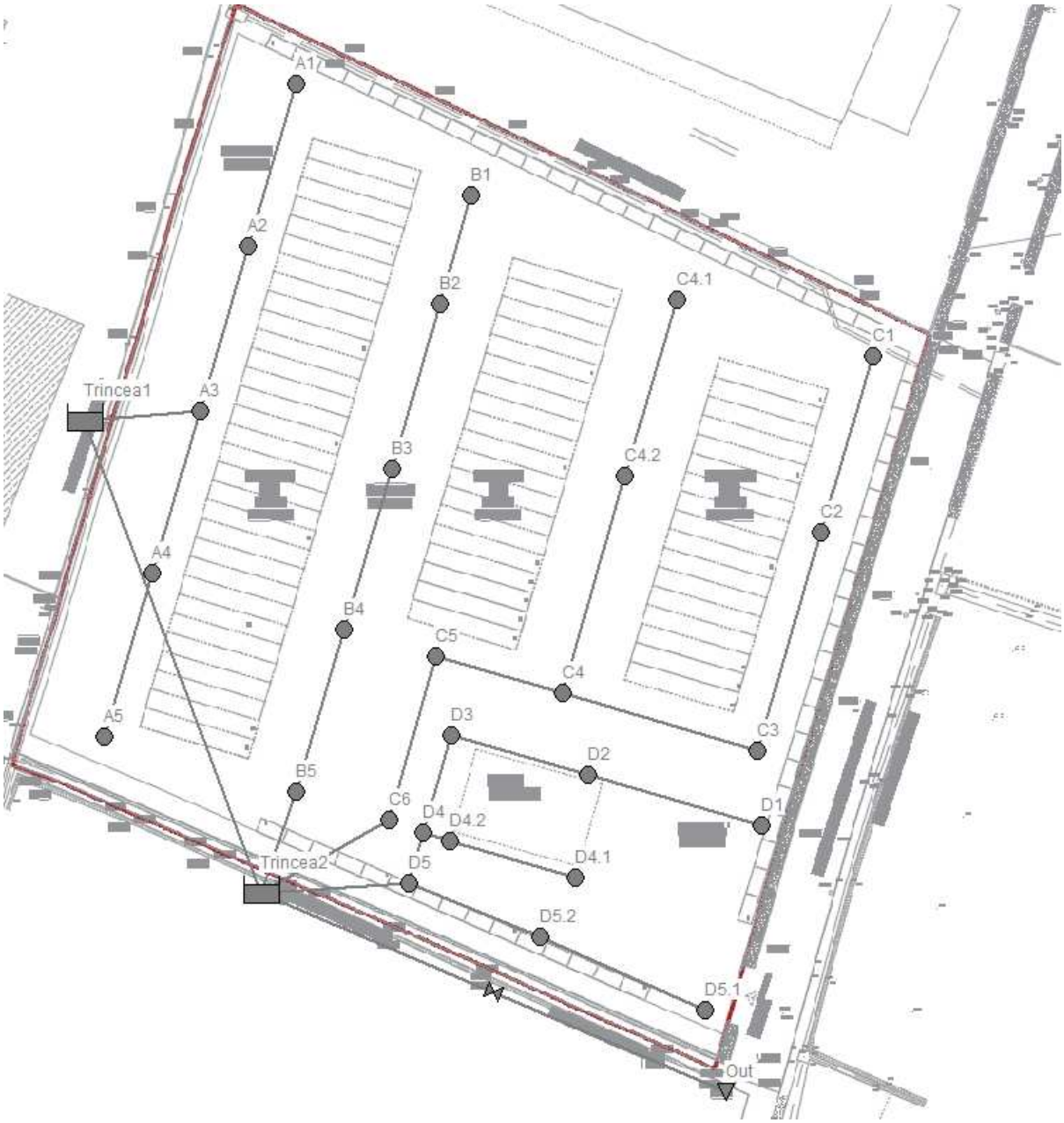

Figura 9 - Schema dei nodi della rete di raccolta delle acque bianche in SWMM

8.6 Idrogramma di piena (Tr 100 anni)

Il modello numerico SWMM effettua quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi sulla superficie del bacino di scolo analizzato che include coperture, piazzali e aree di manovra in ghiaia, in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo la rete di collettamento delle acque meteoriche e gli altri elementi costituenti il sistema idraulico.

La pioggia netta, calcolata tenendo conto delle perdite idrologiche, viene convertita in deflusso superficiale. Dal punto di vista matematico, il processo è rappresentato dalla soluzione di un sistema di equazioni differenziali che governano il bilancio della massa liquida (equazione di continuità) e della corrispondente energia meccanica (equazione del moto), sia per il deflusso che si sviluppa come lama d'acqua fluente sulla superficie di un'area elementare, sia per il flusso che si sviluppa in ciascun tronco elementare costituente la rete di raccolta delle acque bianche. Oltre a tali equazioni differenziali, il modello impone le condizioni al contorno attraverso ulteriori equazioni: identità del livello in tutti gli estremi dei tratti della rete che connettono lo stesso nodo, legame tra il livello raggiunto nei nodi, dimensione fisica delle confluenze e livelli idrici nei canali riceventi. Le condizioni iniziali nella rete vengono invece calcolate sulla base delle condizioni al contorno che riguardano i corpi riceventi e della portata iniziale in ogni tronco.

Gli idrogrammi in ingresso alla rete in corrispondenza delle sezioni di chiusura di ciascun sottobacino, e che sono restituiti dal modello, generano l'idrogramma complessivo risultato dalla sommatoria dei contributi di ciascun sottobacino, come descritti in Tabella 4 e Figura 10.

Tabella 4 – Trasformazione afflussi-deflussi per ciascun sottobacino stimato col modello SWMM

Nome bacino	Precipitazione totale (mm)	Infiltrazione totale (mm)	Deflusso totale (mm)	Volume di deflusso totale (10^6 lt)	Picco di portata in mc/s
Sub_A1	60.55	13.13	47.69	0.04	0.03
Sub_A2	60.55	13.13	47.7	0.03	0.02
Sub_A3	60.55	13.13	47.65	0.05	0.03
Sub_A4	60.55	13.13	47.7	0.03	0.02
Sub_A5	60.55	13.13	47.68	0.04	0.03
Sub_B1	60.55	13.13	47.68	0.04	0.03
Sub_B2	60.55	13.13	47.67	0.04	0.03
Sub_B3	60.55	13.13	47.61	0.07	0.05
Sub_B4	60.55	13.13	47.67	0.04	0.03
Sub_B5	60.55	13.13	47.62	0.06	0.04
Sub_C1	60.55	13.13	47.76	0.02	0.01
Sub_C2	60.55	13.13	47.69	0.04	0.02
Sub_C3	60.55	13.13	47.68	0.04	0.03
Sub_C4	60.55	13.13	47.61	0.07	0.05
Sub_C4.1	60.55	13.13	47.67	0.04	0.03
Sub_C4.2	60.55	13.13	47.63	0.06	0.04
Sub_D1	60.55	13.13	47.77	0.02	0.01
Sub_D2	60.55	13.13	47.79	0.02	0.01
Sub_D3	60.55	13.13	47.81	0.01	0.01
Sub_D4	60.55	13.13	47.9	0.00	0
Sub_D4.1	60.55	13.13	47.72	0.03	0.02
Sub_D4.2	60.55	13.13	47.79	0.02	0.01
Sub_D5	60.55	13.12	47.83	0.01	0.01
Sub_D5.1	60.55	13.13	47.75	0.02	0.01
Sub_D5.2	60.55	13.13	47.8	0.02	0.01

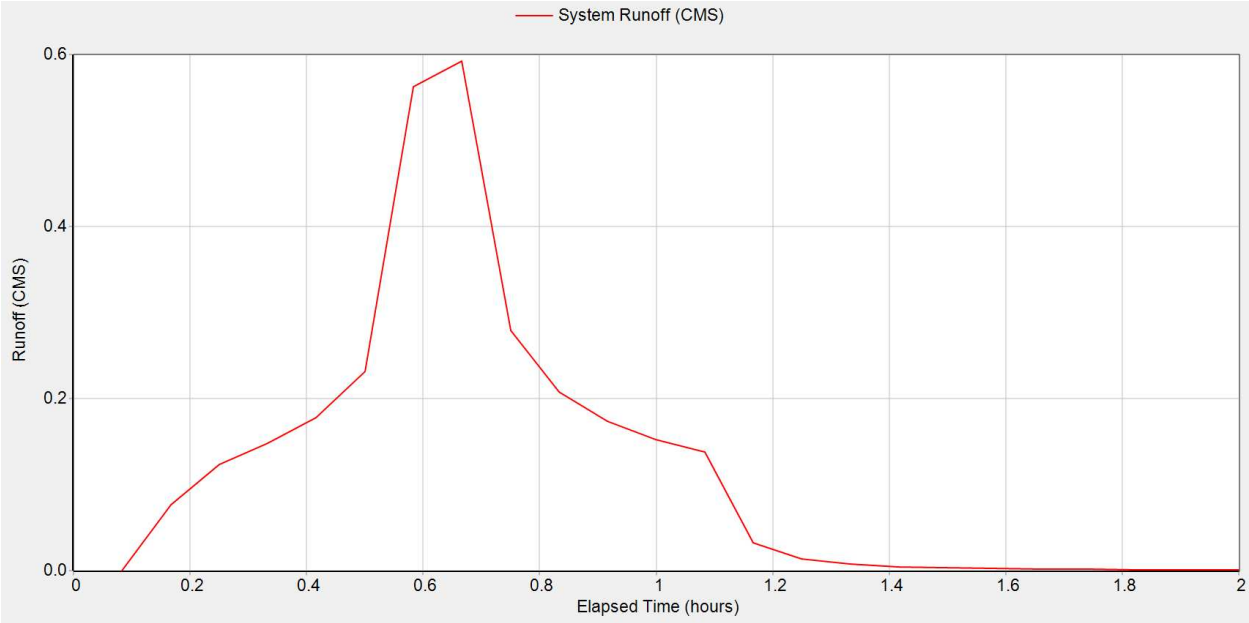

Figura 10 - – Rappresentazione grafica dell'idrogramma complessivo stimato con SWMM (per TR 100 anni).

Il metodo di calcolo scelto per l'implementazione del modello è il "Dynamic Wave", che definisce i parametri idraulici della rete in moto vario e, pertanto, tiene conto sia degli effetti di laminazione che delle condizioni dinamiche di monte e valle in ogni nodo della rete. Scegliendo questa opzione, vengono risolte in maniera completa le equazioni di Sain Venant e quindi vengono prodotti i risultati più accurati dal punto di vista teorico.

L'idrogramma risultante dalla sommatoria dei contributi di tutti i sottobacini ha un valore di portata massima pari a 590 l/s che viene raggiunto all'istante 00:40 dall'inizio dell'evento meteorico con tempo di ritorno pari a 100 anni.

8.7 Laminazione della piena e svuotamento

Il confronto tra l'idrogramma generato dal modello SWMM e le caratteristiche tecniche della trincea drenante conferma il rispetto del principio di invarianza idraulica.

L'idrogramma complessivo risultante dalla sommatoria dei contributi di ciascun sottobacino presenta una portata di picco massima pari a circa **590 l/s**, raggiunta al minuto 40 dall'inizio dell'evento meteorico con tempo di ritorno 100 anni.

La trincea drenante è dimensionata per garantire una portata di infiltrazione pari a circa **97,5 l/s** e un volume utile drenante pari a 245,5 m³, a fronte di un volume minimo richiesto dal regolamento regionale pari a **695 m³** (calcolato sulla base della superficie scolante equivalente).

Tuttavia, considerando il volume geometrico complessivo della trincea pari a circa **701,5m³**, e la capacità di smaltimento continua garantita dal sistema, si evidenzia che l'opera è in grado di accogliere e disperdere l'intera onda di piena simulata, mantenendo ampi margini di sicurezza.

Il sistema proposto consente pertanto di rispettare le condizioni di invarianza idraulica sia dal punto di vista del volume invasabile che della portata smaltibile nel sottosuolo, evitando qualsiasi immissione in corpi idrici superficiali o reti fognarie esistenti.

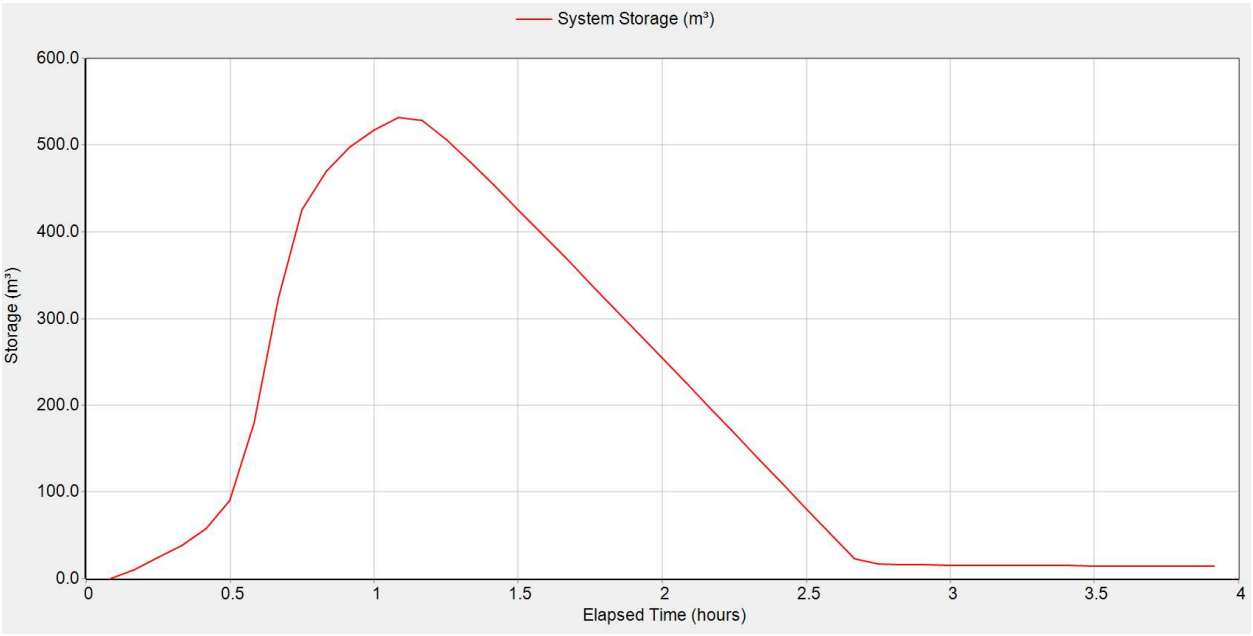

Figura 11 – Determinazione del Volume di massimo invaso per un evento meteorico di durata pari a 1 ora (Tr 100 anni).

L'opera risulta verificata anche per eventi piovosi di maggiore intensità (Tr 100 anni):

- Volume 530 m^3
- Grado di riempimento 75%

Inoltre, dalle elaborazioni eseguite con il modello SWMM, riassunti nei grafici sopra riportati (Figura 11) , si osserva che il tempo complessivo di svuotamento della trincea drenante è di poco superiore alle **2,5 ore**, come rappresentato nel grafico dell'idrogramma riportato nella figura precedente. Questo dato conferma ulteriormente la capacità dell'opera di ripristinare rapidamente la disponibilità del volume invasabile, anche in caso di eventi successivi ravvicinati.

Si evince inoltre che, come richiesto dal Regolamento Regionale, il tempo di svuotamento dei volumi calcolati non supera le 48 ore, in modo da rispristinare la capacità di laminazione in un tempo adeguato, nel caso avvenga un secondo evento meteorico a breve distanza temporale.

9 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI RACCOLTA E SMALTIMENTO ACQUE METEORICHE

Le aree coperte hanno pendenze diversamente orientate e quindi si prevede la raccolta dei pluviali dei tetti in linee dedicate in PVC dirette verso la rete fognaria di gestione e convogliamento delle acque meteoriche dedicata. Le acque meteoriche dei piazzali non rientrano tra le acque di prima pioggia e di lavaggio soggette a regolamentazione secondo il Reg. Reg. 4/2006 visto che nell'area non sono svolte attività produttive riconducibili all'art. 3 comma 1 del suddetto Regolamento sul tema acque di prima pioggia.non sono previste vasche di prima pioggia.Il sistema di raccolta delle acque meteoriche del nuovo piazzale è costituito da una rete di collettamento in **tubazioni in PVC SN8**, posate con pendenze comprese tra 0,5% e 0,8%, collegate a caditoie e pozzetti distribuiti sull'intera superficie impermeabile dell'intervento.

La rete è progettata per intercettare le acque provenienti dalle aree asfaltate, dalle superfici ghiaiate e dalle coperture, convogliandole efficacemente verso le testate della trincea drenante, dove avviene il successivo smaltimento per infiltrazione nel sottosuolo.

I collettori previsti hanno diametri variabili da DN200 a DN500, e sono stati dimensionati per garantire un'adeguata portata di deflusso anche in occasione di eventi meteorici intensi, con tempo di ritorno centenario. I tratti di rete e i relativi nodi sono stati modellati nel software SWMM, che ha restituito il corretto dimensionamento idraulico della rete e il comportamento dinamico del sistema in condizioni di piena.

Il materiale impiegato per le condotte, PVC SN8, garantisce una buona resistenza meccanica, durabilità e facilità di posa. Tuttavia, in fase esecutiva, potrà essere valutato l'impiego di tubazioni in calcestruzzo vibrocompresso, qualora ne sia dimostrata la compatibilità idraulica e funzionale con il progetto.

Il sistema di raccolta opera completamente a gravità e non prevede l'utilizzo di impianti di sollevamento, semplificando le attività di gestione e manutenzione nel tempo.

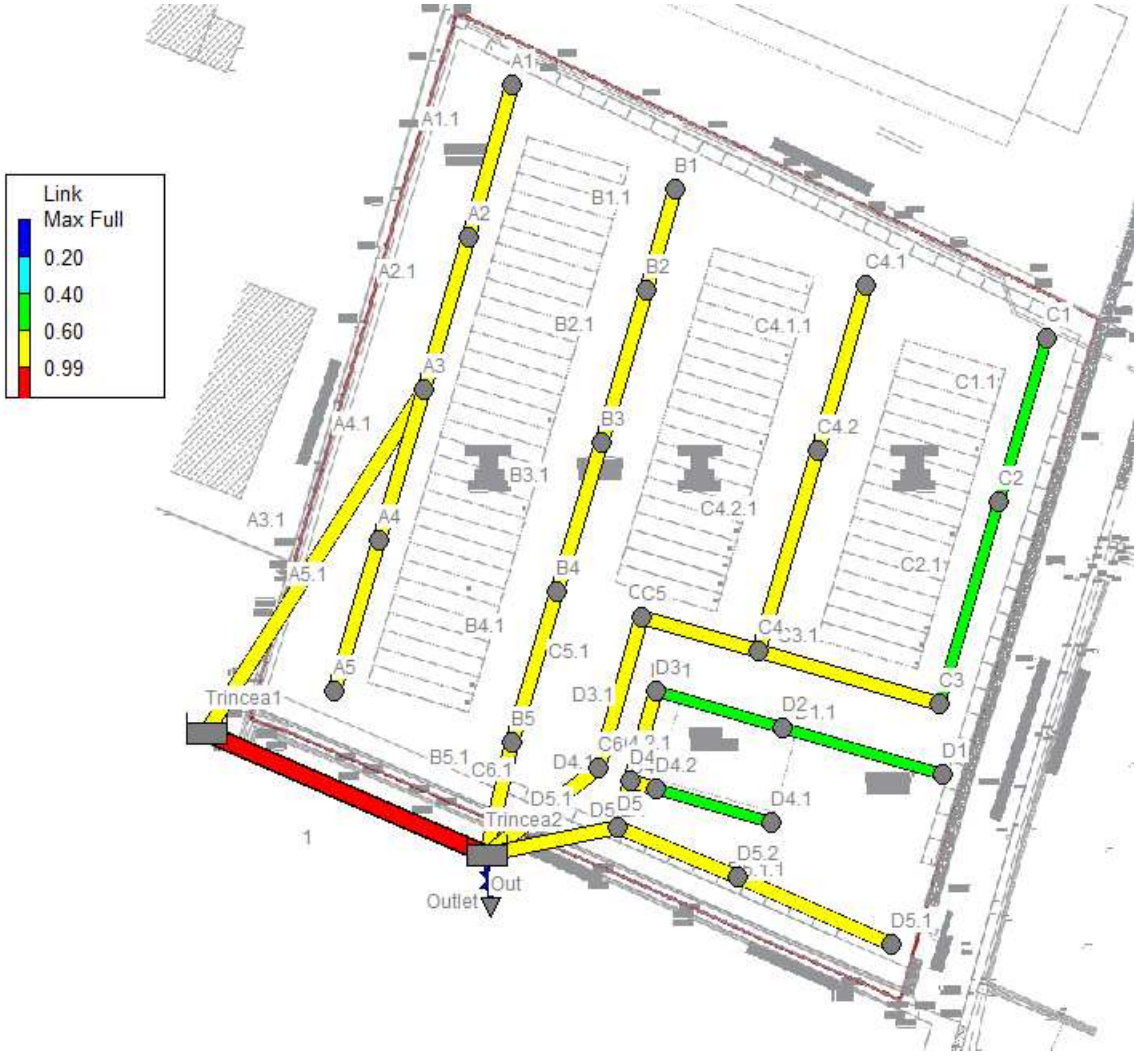

Figura 12 - Grado di riempimento della rete con evento Tr 100 anni

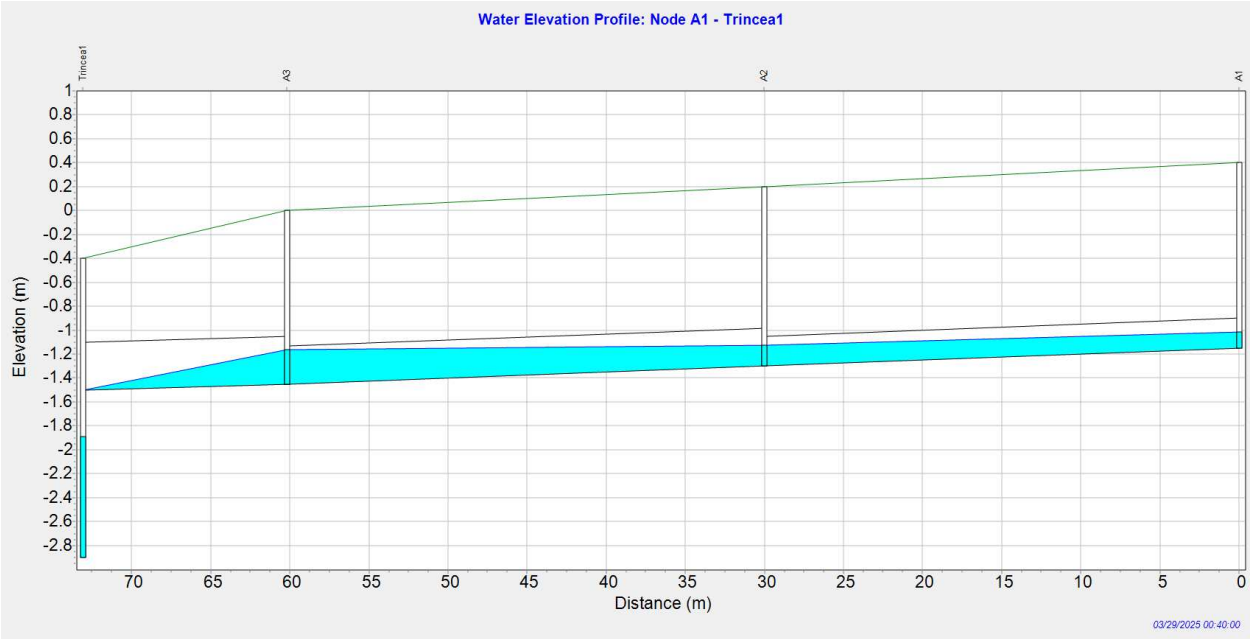

Figura 13 - Ramo B-Trincea

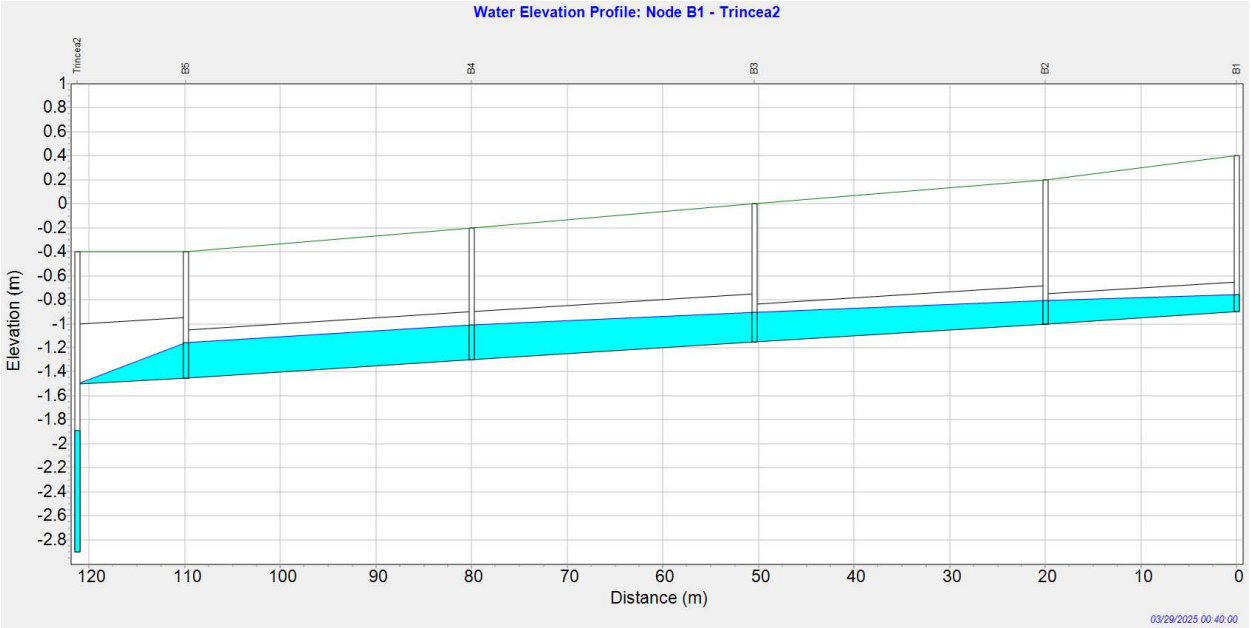

Figura 14 - Ramo B-Trincea

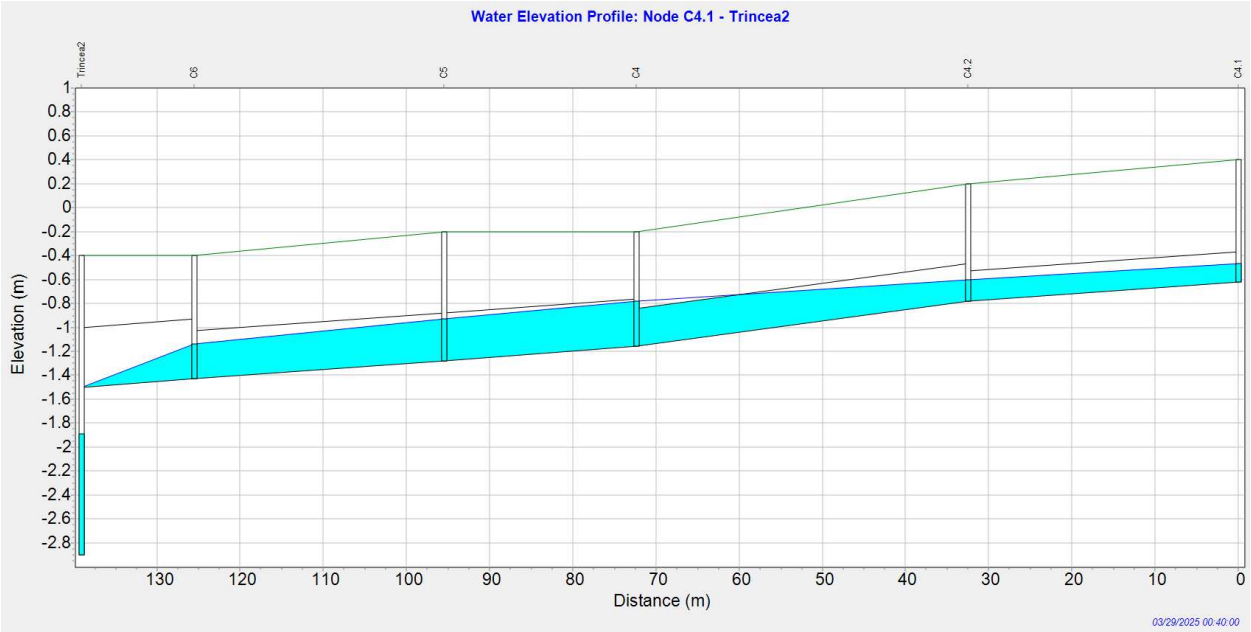

Figura 15 – Ramo C-Trincea

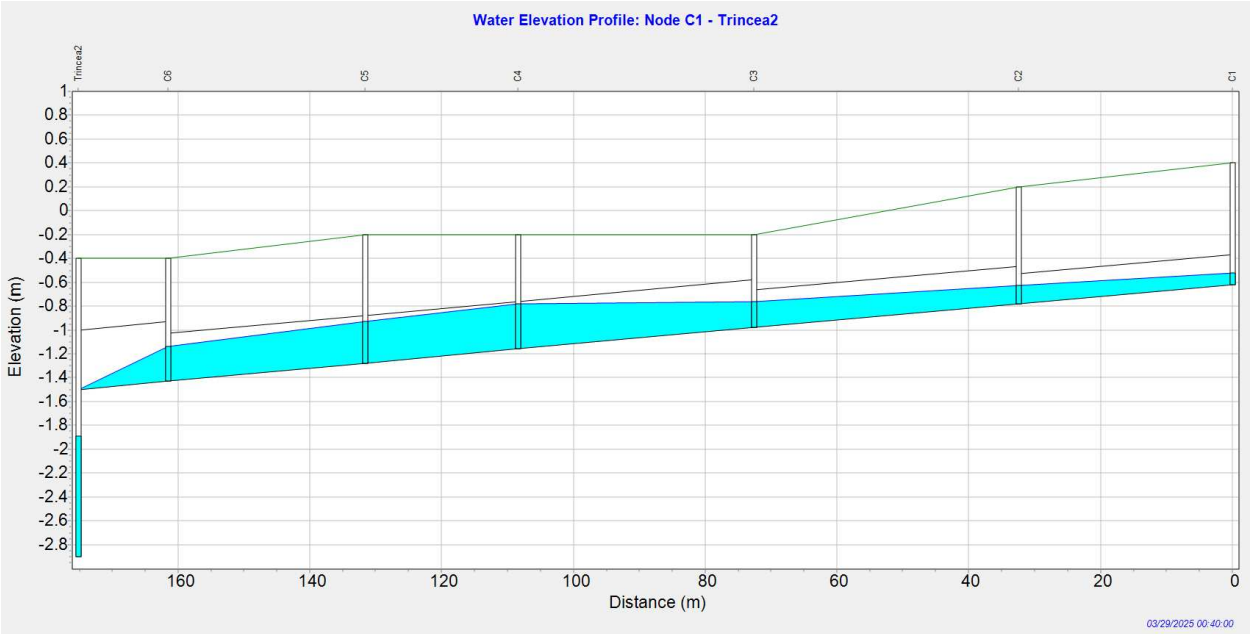

Figura 16 – Ramo C-Trincea

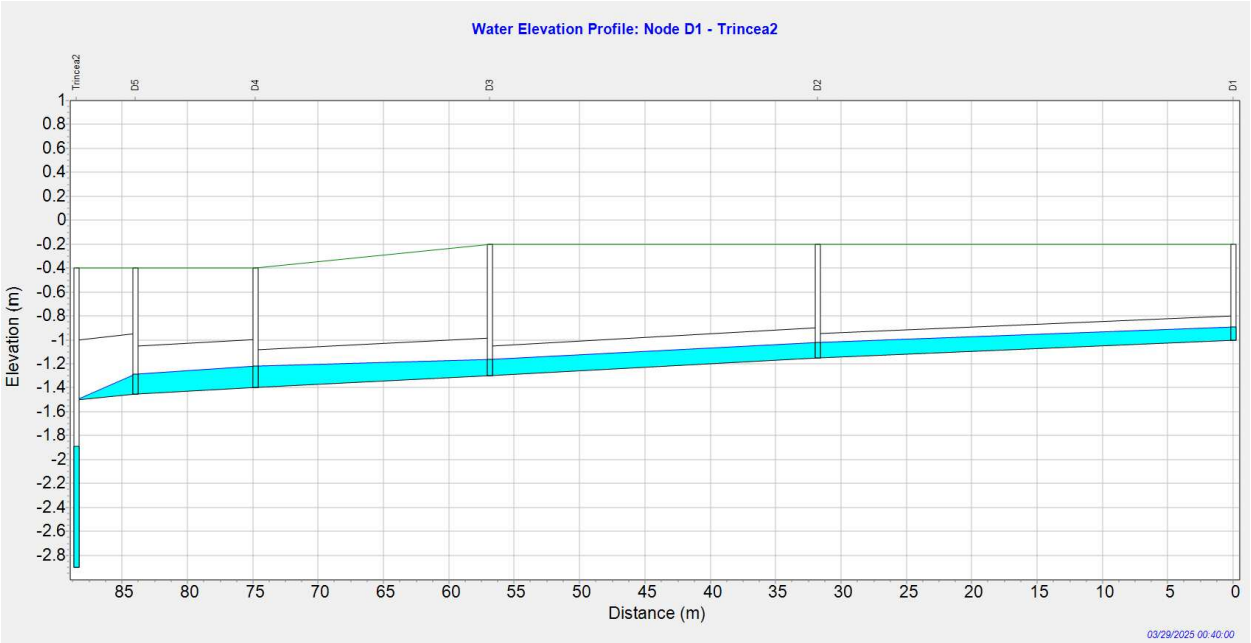

Figura 17 - Ramo D-Trincea

10 PIANO DI MANUTENZIONE RIASSUNTIVO

Il Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria costituisce lo strumento operativo fondamentale per consentire al titolare di programmare l'esercizio e la gestione delle strutture di infiltrazione e della loro durabilità ed efficacia nel tempo.

Il dimensionamento delle opere di laminazione deve discendere da un progetto idraulico dettagliato e specifico basato sui dati effettivi del sito di interesse e deve comprendere anche un piano di gestione e manutenzione, nonché l'indicazione degli interventi atti al mantenimento delle caratteristiche di progetto dell'opera.

Il Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema di opere di invarianza idraulica ed idrologica e di recapito nei ricettori, secondo le disposizioni dell'articolo 13, è redatto con un dettaglio conforme alla complessità dell'opera alla quale si riferisce.

I costi di gestione e di manutenzione ordinaria e straordinaria ai fini dell'efficienza nel tempo dell'intero sistema ricadono interamente ed esclusivamente sul titolare.

Si dovranno seguire le indicazioni dei Libretti di uso e manutenzione forniti dal costruttore.

10.1 Gestione e manutenzione della rete di drenaggio

Per quanto riguarda il pericolo di occlusione dei tubi di collegamento tra invaso e rete, si prevede:

- un periodico controllo del tubo di collegamento, oltre che delle altre strutture, con frequenza tanto maggiore quanto minore è il suo diametro;
- gli scarichi a gravità devono essere equipaggiati con dispositivi atti ad impedire che gli eventuali stati di piena o sovraccarico del ricettore possano determinare rigurgiti nella rete di drenaggio e nelle strutture di infiltrazione e laminazione preposte all'invarianza idraulica e idrologica.

10.2 Gestione e manutenzione della trincea drenanante

Gli interventi necessari ad assicurare il corretto duraturo funzionamento di questo sistema di laminazione e infiltrazione sono:

- Controllo annuale dello stato del materiale drenante e del livello di intasamento, con eventuale rimozione di sedimenti superficiali;
- Ispezione del tubo drenante: ogni 2 anni, verifica della continuità e integrità della tubazione forata interna;
- Verifica del geotessile filtrante: ogni 5 anni o in caso di anomalie funzionali (stasi prolungata dell'acqua, odori, vegetazione anomala);

10.3 Manutenzione straordinaria

Qualsiasi intervento di ripristino della funzionalità idraulica (sostituzione di tratti danneggiati, svuotamento completo della trincea, rifacimento del letto drenante) sarà eseguito secondo necessità, previa valutazione tecnica.

11 CONCLUSIONI

Sono state eseguite le verifiche idrologiche-idrauliche della rete considerando un evento meteorico corrispondente ad un tempo di ritorno di 100 anni.

Le acque meteoriche scolate da tutte le aree dello stabilimento, che nel modello risulta composto da vari sottobacini, confluiscono all'interno della rete di collettamento delle acque bianche che le conduce alla trincea drenante.

Seguendo le metodologie sopra esposte, sono stati stimati gli idrogrammi defluenti dalle coperture e dai piazzali per l'evento pluviometrico assegnato e quindi la portata in transito istante per istante nella rete fino allo scarico.

I risultati della simulazione rivelano inoltre, l'assenza di insufficienze idrauliche nella rete; infatti, il massimo grado di riempimento nei suoi diversi tratti dei collettori principali è compreso tra 0,50 e 0,95.

Anche per quanto riguarda trincea drenante, i risultati ai quali si è pervenuti evidenziano un suo corretto dimensionamento poiché essa è in grado di contenere un volume d'acqua maggiore di quello richiesto per soddisfare il requisito di invarianza idraulica.

Gli interventi di contenimento e controllo delle acque meteoriche sono stati dimensionati in modo da rispettare i valori di portata limite di cui all'articolo 8, assumendo i seguenti valori di tempi di ritorno:

1. T = 50 anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica ed idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti;
2. T = 100 anni: tempo di ritorno da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere come sopra dimensionate; il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

Il tempo di svuotamento delle opere di laminazione è abbondantemente inferiore alle 48 ore richieste nel Regolamento Regionale all'articolo 11, comma 2, lettera f.

Tempo di ritorno	**Tr**	**100**	**anni**
Volume dell'opera di laminazione	W_{max}	700	[m^3]
Volume nell'istante di massimo invaso	W(Tr)	530	[m^3]
Grado di riempimento massimo	G	75	%
Tempo di svuotamento	t_{svuot}	2,5	[ore]

12 ALLEGATI

- b) Elaborati grafici progettuali, Tavole *Tav.b.1 e Tav.b.2;*
- c) Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema di opere di invarianza idraulica ed idrologica e di recapito nei ricettori;
- d)Documenti d'identità del progettista
- e) Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del presente regolamento, redatta secondo il modello di cui all'**allegato E**;
- Documenti d'identità del committente.

Desenzano , 3 Aprile 2025

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Becciu G. e Paoletti A., 2018. *Fondamenti di costruzioni idrauliche*, Utet, Scienze tecniche.
- Citrini D. e Noseda G., 1987. *Idraulica*, Casa Editrice Ambrosiana.
- EPA United States Environmental Protection Agency. *Storm Water Management Model User's Manual*, Version 5.1 September 2015.
- Ferro V., 2002. *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, ISBN 88-386-0895-4
- Moisello U., 1998. *Idrologia Tecnica*, Edizioni La Goliardica Pavese s.r.l., ISBN 88-7830-269-4
- Regione Lombardia. *Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n. 7.* Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio di invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio).
- Soil Conservation Service (SCS), 1956, *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology.
- Watt W.E. and Chow K.C.A.,1985. *A general expression for basin lag time*, Canadian Journal of Civil Engineering, 12, 294-390.