

# REGIONE LOMBARDIA

## PROVINCIA DI BRESCIA

### COMUNE DI CALVISANO



## PROGETTO D'INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

### RELAZIONE



Elaborato

## SUAP PER AMPLIAMENTO PIAZZALI

L.R. 12/2005 – L.R. 04/2016 – R.R. 7 del 23.11.2017 – R.R. 8 del 19.04.2019

<b>Committente</b>	<b>DI.MA s.r.l.</b>		
<b>Estensore</b>	 <b>A. &amp; P. sas</b>		
<b>Informazioni documento</b>			
<b>Operazione</b>	<b>Soggetto</b>	<b>Data</b>	
<b>Redatto</b>	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	25.07.2023	
<b>Approvato</b>	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	01.08.2023	
<b>File</b>	relazione invarianza.docx		
<b>Commessa</b>	2023.06.216		

	01010101010 110110110011 111011101101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	geologia geotecnica e dati	Relazione	Luglio 2023	1	1 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

## INDICE

1. Introduzione.....	3
2. Inquadramento geografico .....	5
3. Inquadramento idrologico .....	7
3.1. Ietogramma di progetto.....	11
3.1.1. Calcolo del tempo di corrivazione.....	13
4. Classificazione intervento .....	15
5. Inquadramento idrogeologico e piezometrico.....	18
5.1. Distanza da pozzi idropotabili .....	20
5.2. Prova di permeabilità .....	21
5.2.1. Interpretazione della Prova di permeabilità.....	23
6. Calcolo degli afflussi - metodo dettagliato .....	24
6.1. Calcolo dell'idrogramma di progetto .....	28
7. Calcolo dei deflussi.....	31
7.1. Calcolo della dispersione .....	31
7.1.1. Descrizione della trincea .....	31
7.2. Calcolo della laminazione .....	33
7.3. Calcolo del tempo di svuotamento .....	35
8. Dimensionamento dei bacini di laminazione .....	36
9. Verifica bacino .....	37
10. Dimensionamento impianto di raccolta acque.....	38
11. Manutenzione .....	41

## 1. INTRODUZIONE

La nuova Legge regionale sulla difesa del suolo, sulla prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e sulla gestione dei corsi d'acqua (l.r. n. 4 del 15 marzo 2016) ha come scopo principale l'attenuazione del livello di rischio idrogeologico al fine della tutela dei cittadini e delle attività economiche, attraverso iniziative capaci di mettere in sicurezza il territorio. La legge specifica e disciplina le attività di competenza di Regione Lombardia riguardanti la difesa del suolo, la gestione dei corsi d'acqua e del demanio idrico nel territorio regionale. Inoltre, stabilisce gli strumenti utili a realizzare tali attività per raggiungere gli obiettivi legati alla difesa del suolo, alla gestione del demanio idrico fluviale e al riassetto idraulico e idrogeologico. I principali temi che la legge affronta sono:

- gestione coordinata del reticolo idrico minore, di competenza comunale, e dei reticoli principale e consortile
- rispetto dell'invarianza idraulica, dell'invarianza idrogeologica e del drenaggio urbano sostenibile
- attività di polizia idraulica nel demanio idrico fluviale
- manutenzione continuata e diffusa del territorio, dei corsi d'acqua, delle opere di difesa del suolo, delle strutture e dei sistemi agroforestali di difesa del suolo
- ripristino delle condizioni di maggiore naturalità dei corsi d'acqua, recupero delle aree di pertinenza idraulica e riqualificazione fluviale
- riordino delle competenze sulla navigazione interna delle acque
- nuove competenze in tema di difesa del suolo per i Consorzi di bonifica e irrigazione.

Nel caso in studio, il tema d'interesse riguarda l'invarianza idraulica e idrologica che in sintesi consiste nella limitazione dei deflussi delle acque verso il reticolo idrico in caso di realizzazione di nuovi edifici civili e industriali, di parcheggi e strade e di interventi di riqualificazione. Nello specifico l'articolo di riferimento è il n.7 che introduce il concetto ed apporta modifiche al testo della legge regionale n.12/2005 (Legge per il Governo del Territorio). Al comma 5, l'articolo fa riferimento al Regolamento contenete i metodi e i criteri per il rispetto

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	3 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

dell'invarianza idraulica ed idrogeologica. Il Regolamento è stato pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia il 28 novembre 2017 e quindi pienamente operativo dal 28 maggio 2018. Con la delibera della Giunta Regionale n.IX/128 del 21/05/2018 l'applicazione è stata prorogata di ulteriori 6 mesi per tutti gli interventi ad esclusione delle nuove costruzioni/opere. Questa tematica è infatti dibattuta da diversi anni, ed ha preso forza dopo la direttiva del Parlamento europeo del Consiglio 23 ottobre 2000, n. 2000/60/CE in materia di acque e dal decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 che ne rappresenta l'attuazione. La legge regionale 4/2016 disegna un ulteriore passo nella direzione della riduzione del rischio idraulico. Oltre alla legge sopracitata si è fatto riferimento alla legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 (Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche), alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio), al PTUA 2016.

L'emanazione della D.G.R. X/1314 del 25/02/2019 recante "DISPOSIZIONI SULL'APPLICAZIONE DEI PRINCIPI DELL'INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA. MODIFICHE AL REGOLAMENTO REGIONALE 23 NOVEMBRE 2017, N. 7 (REGOLAMENTO RECANTE CRITERI E METODI PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA AI SENSI DELL'ARTICOLO 58 BIS DELLA LEGGE REGIONALE 11 MARZO 2005, N. 12" ha proposto l'introduzione di importanti modifiche al Regolamento Regionale n.7, in particolare per quanto concerne la classificazione dei comuni e le eventuali riduzioni dei requisiti minimi nei casi di dispersione sul suolo o nel sottosuolo. La D.G.R. di cui sopra è stata recepita dal Regolamento Regionale 8 approvato dal Consiglio Regionale il 19.04.2019.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	4 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è localizzata nel settore orientale del territorio comunale di Calvisano, lungo il margine S di Carpenedolo, all'altezza del civico n. 16, così come rappresentato in Figura 1. L'intervento interesserà il Foglio 40, Mappali 94 92 67 66 65 e il Foglio 39, mappali 22 parte e 21 parte dell'NCT del Comune di Calvisano (BS). Per il dettaglio completo sulle specifiche del progetto si rimanda agli elaborati redatti dallo Studio Urbanistica & Servizi.

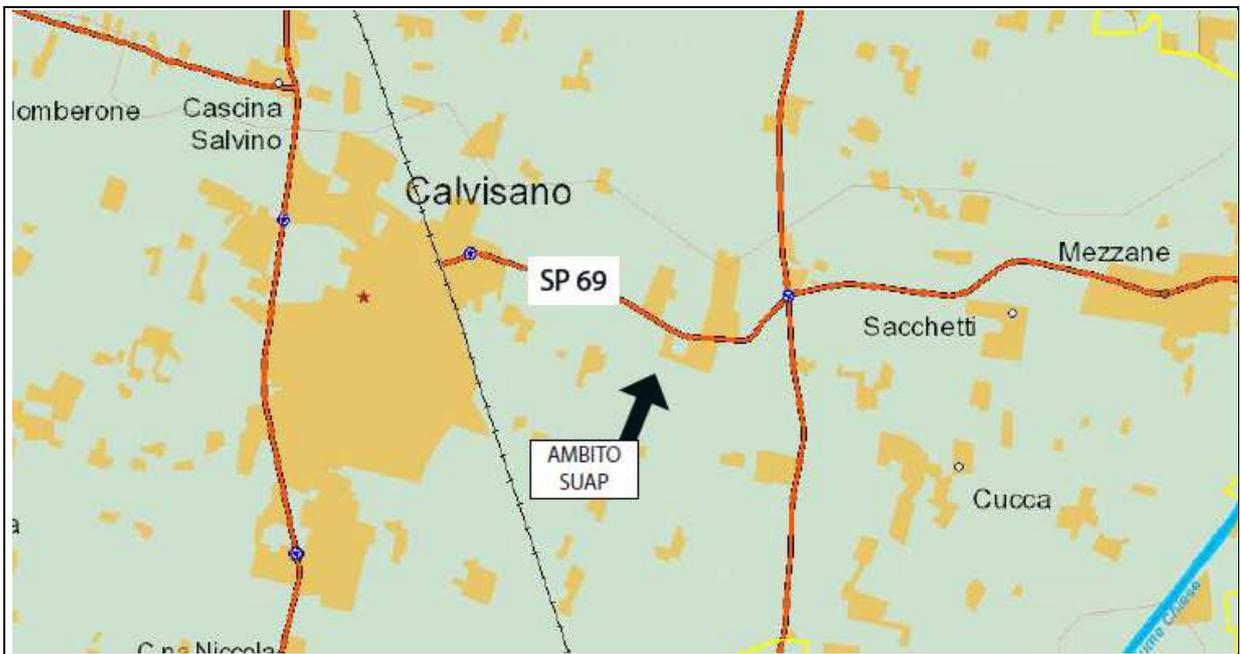


Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

Il progetto prevede la realizzazione di nuove aree destinate allo stoccaggio di prodotti già lavorati da destinare alla vendita, oltre ad alcuni fabbricati. Il calcolo delle superfici permeabili e impermeabili è stato ricavato dalle indicazioni contenute negli elaborati di progetto. In particolare l'area impermeabile, ascrivibile alla somma delle superfici occupate dal nuovo piazzale, depositi, parcheggi, è pari a 47617 m<sup>2</sup> mentre l'area verde sarà 17032 m<sup>2</sup>. Il calcolo è stato effettuato sulla planimetria di progetto. In Figura 2 è indicata la distribuzione dell'indice di permeabilità dove il retino rosso indica le superfici impermeabili, quello verde le superfici permeabili (verde profondo escluso dall'applicazione del regolamento).

 geologia geotecnica e dati	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	5 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

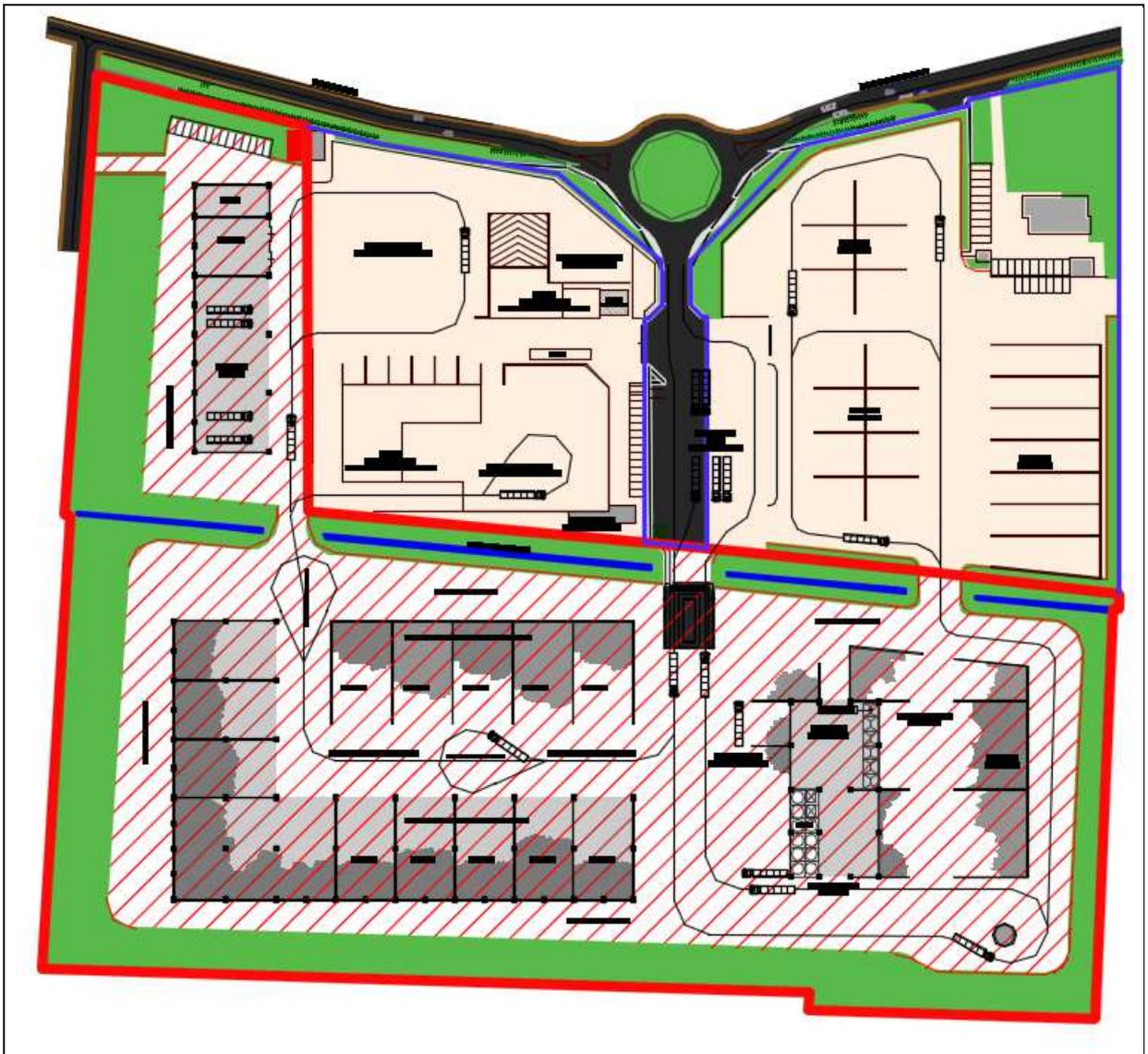


Figura 2 – Indice di permeabilità (rosso=impermeabile, verde=permeabile)

 geologia geotecnica e dati	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	6 di 42	
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

### 3. INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Per qualsiasi valutazione di tipo idrologico è necessario eseguire una quantificazione degli apporti, ovvero delle precipitazioni ritenute significative. Infatti non tutte le precipitazioni concorrono nel calcolo, in quanto eventi prolungati e di modesta entità, come la maggior parte dei casi, non sviluppano quantitativi significativi da smaltire. Sono infatti le cosiddette "precipitazioni intense" che forniscono la principale sollecitazione idrometeorologica sul territorio; la loro previsione è un requisito essenziale per valutare il rischio idrologico dal punto di vista strettamente alluvionale. Per eseguire queste elaborazioni sono indispensabili serie storiche di osservazioni che attualmente sono condotte da diversi enti sul territorio. I dati raccolti devono poi essere elaborati statisticamente e probabilisticamente per potere individuare la distribuzione spaziale e temporale dei valori delle precipitazioni, e i probabili valori futuri di notevole intensità. I più importanti dati, normalmente raccolti nelle reti pluviometriche dei vari servizi idrologici nazionali, riguardano le precipitazioni giornaliere misurate ogni 24 ore e le registrazioni continue. Da queste registrazioni continue vengono ricavate le precipitazioni di notevole intensità di varia durata. Elaborando probabilisticamente i valori delle precipitazioni di notevole intensità si ricavano le relazioni che permettono di formulare previsioni sui valori particolarmente intensi, in funzione della durata e per un prefissato tempo di ritorno  $T_r$ . Va specificato che il tempo di ritorno  $T_r$  è l'intervallo massimo di tempo, in anni, che può trascorrere probabilisticamente affinché il valore di una precipitazione o di un'altra grandezza idrologica possa essere uguagliato o superato. Il tempo di ritorno è pertanto un indicatore di rischio e il suo valore è prefissato dal progettista. Le informazioni sulla pluviometria dell'area di interesse, sono riassunte nei parametri "a" ed "n" della curva segnalatrice di possibilità climatica, che relaziona le altezze di pioggia con le durate di pioggia per un dato tempo di ritorno, attraverso la nota formula:

$$h = a t^n$$

dove:

$h$  è l'altezza di pioggia espressa in mm;

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	7 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

$t$  é la durata dell'evento in ore;

$a$  (mm/ora) ed  $n$  sono i parametri caratteristici della curva.

Per curva di possibilità climatica si intende quella curva che rappresenta l'insieme dei punti con la stessa probabilità di non essere superati. Per la determinazione della *curva segnalatrice di probabilità pluviometrica* relativa all'area d'interesse, si é eseguita un'elaborazione statistica dei dati pluviometrici della stazione più rappresentativa, attraverso i dati del servizio meteorologico di Arpa. Attraverso l'applicativo dell'Agenzia di protezione dell'Ambiente é possibile definire i diversi parametri idrologici necessari all'elaborazione per tutto il territorio lombardo. Per i dettagli teorici e statistici utilizzati nell'applicativo si rimanda alle note informative del sito [idro.arpalombardia.it](http://idro.arpalombardia.it). L'analisi dei dati é stata effettuata mediante *la prima legge asintotica del massimo valore di Gumbel* con la quale, data una serie di valori sufficientemente grande della variabile idrologica considerata ( $x$ ), si determina la probabilità di non superamento legata al tempo di ritorno:

$$P(x) = e^{-e^{-y}}$$

dove:

$P(x)$  : probabilità di non superamento della variabile idrologica  $x$ ;

$y = \alpha(x - N)$  : variabile ridotta associata alla variabile idrologica  $x$  ;

$\alpha = 1.283 / \sigma$  : parametro della distribuzione stimato con il metodo dei momenti;

$N = x - 0.450\sigma$  : parametro della distribuzione stimato con il metodo dei momenti;

$x = \sum_i x_i / n$  : media delle osservazioni  $x_i$ , in numero pari a  $n$ ;

$\sigma = ((\sum_i x_i^2 / n - 1) - (\sum_i x_i / n(n - 1)))^{1/2}$  : scarto quadratico medio del campo osservato.

Mediante la relazione  $P_{(x)} = (Tr - 1)/Tr$  si lega il tempo di ritorno con la probabilità di non superamento. Tale legge é stata applicata per le piogge della durata di 10, 15, 20, 30, minuti e 1, 3, 6, 12 e 24 ore, ottenendo le rispettive altezze di pioggia massima con tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni, per la stazione pluviografica considerata. Nel campo bilogaritmico la curva segnalatrice di possibilità climatica ha una forma lineare, con coefficiente angolare pari ad "n" ed ordinata corrispondente ad un tempo unitario pari ad "a". E' quindi

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	8 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

possibile procedere al calcolo di tali curve, per i diversi tempi di ritorno, stimando i parametri "a" ed "n" tramite regressione lineare con il metodo dei minimi quadrati. I risultati delle interpolazioni e le curve segnalatrici di possibilità climatica per la stazione considerata e per i diversi tempi di ritorno sono di seguito riportati (Figura 3).

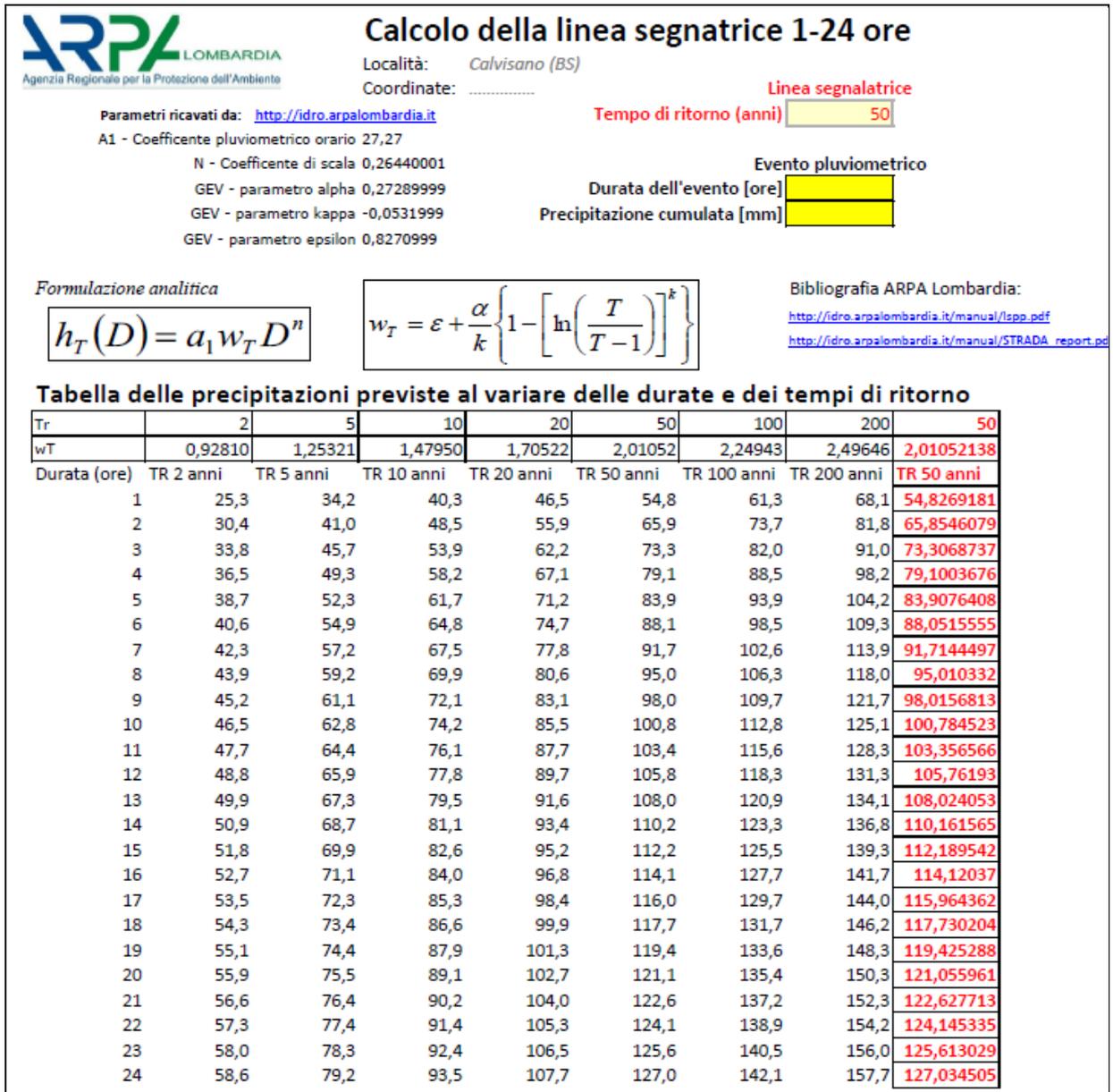


Figura 3 - Calcolo della linea segnalatrice

La rappresentazione delle curve è riportata in Figura 4. Considerate le finalità dello studio, il contesto in cui è inserito l'insediamento, le condizioni al contorno e i disposti normativi l'evento meteorico di riferimento ha **tempo di ritorno di 50 anni**.

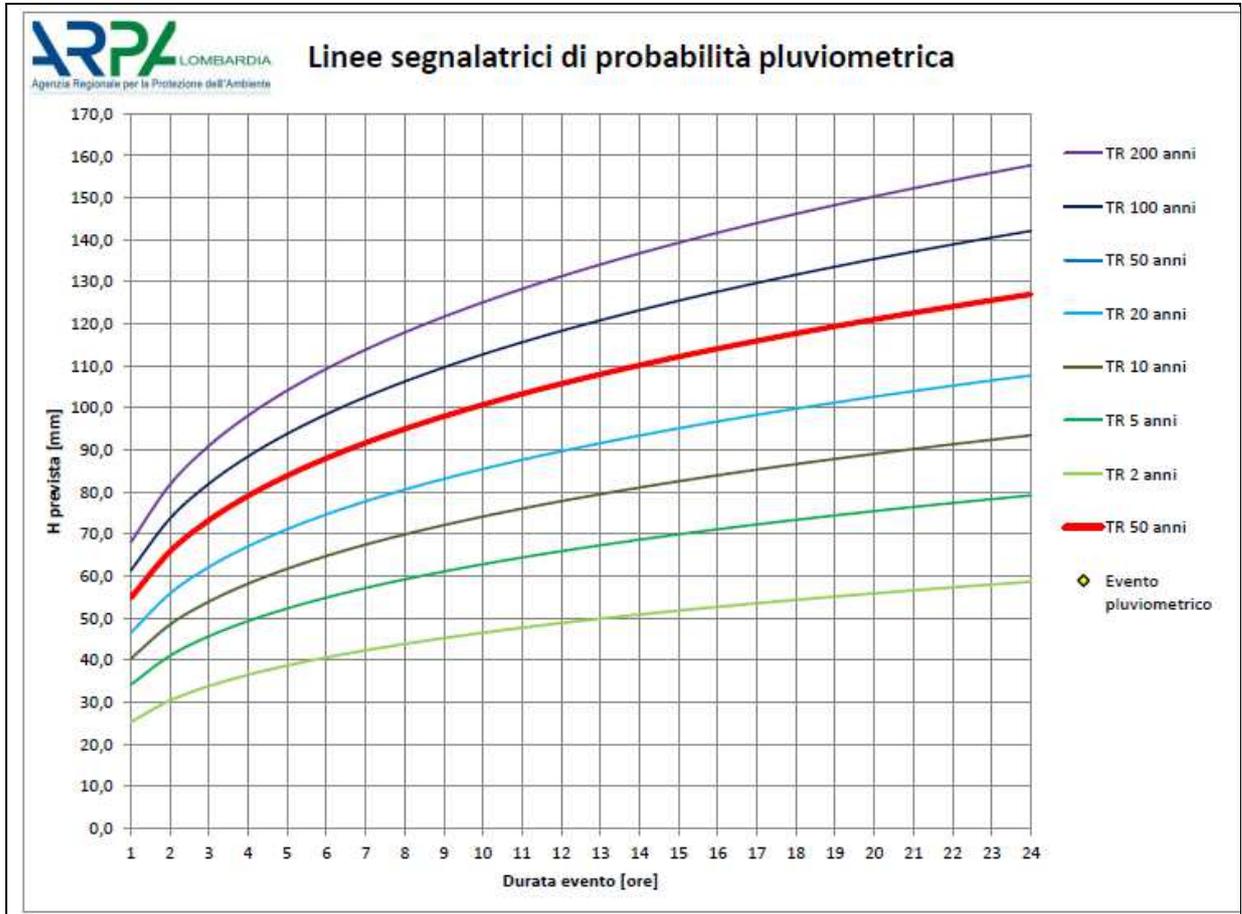


Figura 4 - Rappresentazione della linea segnalatrice

La pioggia di riferimento va poi riferita al bacino in studio, che in questo caso è molto contenuto e corrisponde al nuovo insediamento. Per ottenere i valori di piogge più brevi di un'ora si può ricorrere alle indicazioni riportate nell'allegato G della D.G. R. n.X/6829 che propongono la seguente espressione per il caso in studio:

$$h = 56.81 \times t^{0.5}$$

In Figura 5 è rappresentato l'andamento cumulativo delle precipitazioni calcolato sull'intero lotto in studio.

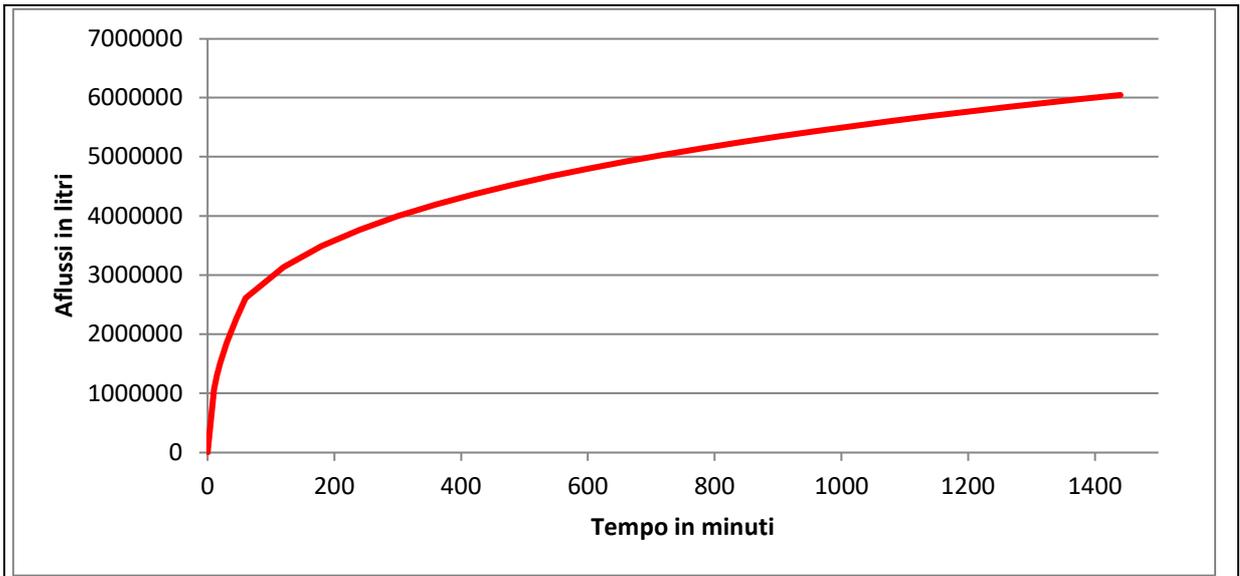


Figura 5 - Andamento degli afflussi sul lotto con tempo di ritorno pari a 50 anni

### 3.1. Ietogramma di progetto

Per la determinazione degli eventi meteorologici di progetto è stato utilizzato uno ietogramma di tipo Chicago, caratterizzato da un picco di intensità massima  $i_{max}$  e da una intensità media uguale a quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica; se tale curva è espressa con la consueta formula monomia a due parametri  $[h(t)=a \cdot t^n]$ , l'intensità  $i(t)$  è data dalle equazioni:

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left( \frac{t_r - t}{\kappa} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left( \frac{t - t_r}{1 - \kappa} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \geq t_r$$

dove  $t_r$  è l'istante di tempo in cui si verifica il picco. La posizione del picco all'interno della durata complessiva dell'evento può essere scelta sulla base di indagini statistiche relative alla zona in esame oppure si può porre pari a 0,4, valore medio che risulta dagli studi in materia riportati in letteratura. L'intensità massima è stata calcolata per un intervallo pari a 6 minuti, ovvero nell'ordine del tempo di corrvazione. Lo ietogramma Chicago rappresenta una pioggia critica per tutte le durate, nel senso che a tutte le durate corrisponde la stessa probabilità

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	11 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

cumulata. Quindi nel dimensionamento di una rete di scolo è possibile utilizzare un unico ietogramma Chicago per tutte le sezioni. Inserendo nella formula i valori di  $a$ ,  $n$  e la durata dell'evento è possibile determinare in modo univoco la funzione  $i(t)$ . La pioggia di durata 1 ora (o inferiore) risulta la più gravosa in termini di portate istantanee, mentre piogge di durata maggiore possono essere critiche ai fini della laminazione. In Figura 6 si riporta lo ietogramma di progetto tipo Chicago discretizzato (10 minuti) per tempo di ritorno pari 50 anni di durata 1 ora utilizzato per le simulazioni idrauliche. In Figura 7 si riporta lo ietogramma di progetto tipo Chicago discretizzato per precipitazioni fino a 12 ore. Nel primo grafico il picco lo si ha nella porzione centrale con un'altezza di circa 34.3 mm in 10 minuti, nel secondo caso 25.0 mm sempre in 10 minuti. Sulla base di questi ietogramma sono stati calcolati gli idrogrammi corrispondenti a ciascuna area, per le diverse condizioni.

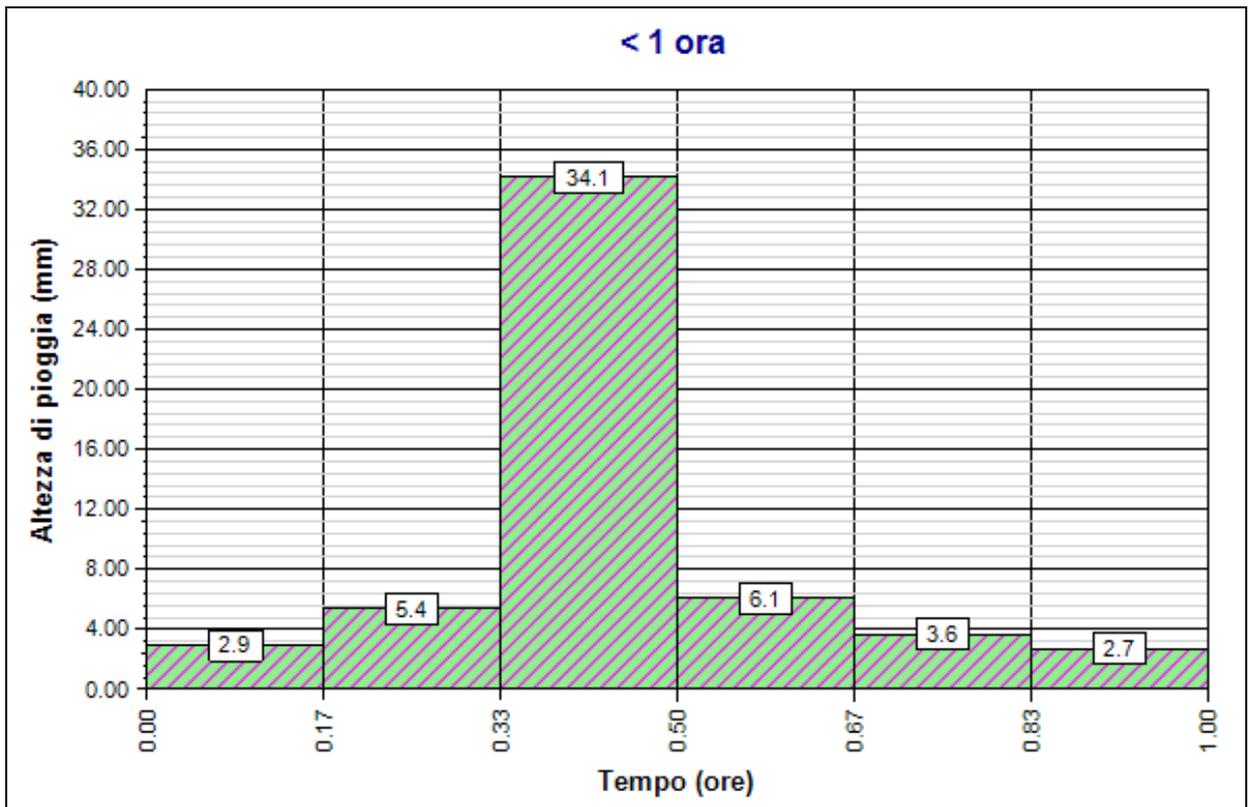


Figura 6 - Ietogramma Chicago piogge inferiori a 1 ora

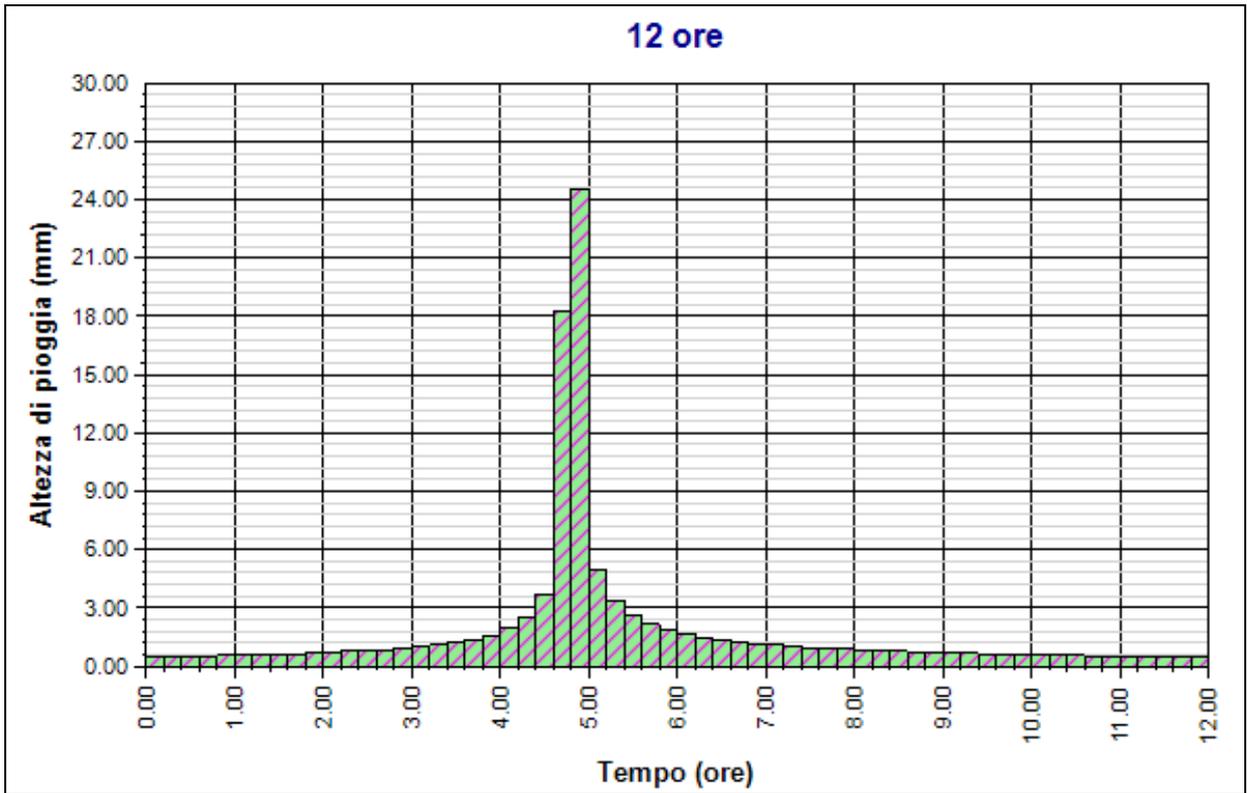


Figura 7 - Ietogramma Chicago piogge fino a 12 ore

### 3.1.1. Calcolo del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione corrisponde all'intervallo di tempo impiegato da una ipotetica particella d'acqua a percorrere l'intero bacino, partendo dal punto più lontano sino a giungere alla sezione di chiusura. Il sistema di raccolta acque è molto semplice e prevede la messa in opera di gronde oltre ad alcune caditoie e condotte per raggiungere i bacini di raccolta. Come è noto la durata della pioggia di riferimento corrisponde al tempo di corrivazione, che in caso di bacini urbani generalmente è molto ridotto. Dall'istante  $t_c$  in poi alla portata defluente  $Q$  contribuisce tutto il bacino e quindi  $Q$  assume il suo valore massimo. La portata rimane costante fino al momento in cui si esaurisce l'evento piovoso. Considerando che il bacino di raccolta è completamente impermeabilizzato si pone convenzionalmente il tempo di corrivazione pari a 10 minuti. Il valore è coerente con la situazione in esame dove la distanza maggiore tra l'ingresso nelle condotte di scolo e la chiusura del bacino sarà di circa 100/150 metri. Considerando velocità media nell'ordine di circa 0.50 m/s nelle condotte ed un tempo di ruscellamento sui

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	13 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

piazzali ( $t_0$ ) nell'ordine dei 5/6 minuti il valore trova coerenza con quanto proposto (circa 10 minuti).

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	14 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

## 4. CLASSIFICAZIONE INTERVENTO

Il Regolamento Regionale indica le modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto dell'invarianza idraulica e idrologica attraverso i disposti dell'articolo 9. I parametri da valutare riguardano la superficie dell'intervento, il coefficiente di deflusso medio ponderale e l'ambito territoriale in cui si inserisce l'intervento. In riferimento a quest'ultimo aspetto il territorio regionale è stato suddiviso in tre macro aree in funzione del livello di criticità dei bacini dei corsi d'acqua recettori. Le aree sono le seguenti (Figura 8):

- Aree A - alta criticità idraulica
- Aree B - media criticità idraulica
- Aree C - bassa criticità idraulica

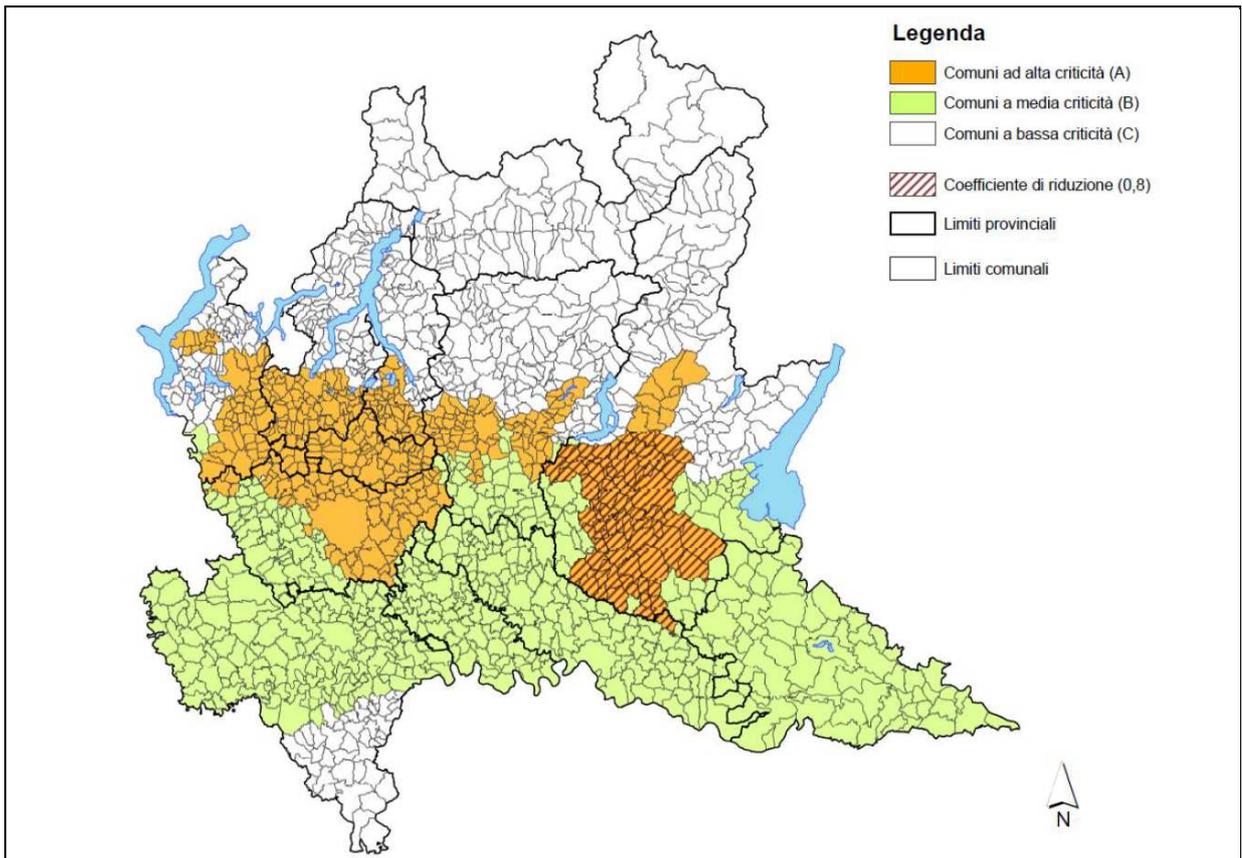


Figura 8 - Classificazione criticità idraulica

**Il comune di Calvisano ricade nella classe A, ovvero ad alta criticità.**

Il Regolamento Regionale 8 ha introdotto un coefficiente riduttivo (coefficiente P) per

 01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	15 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

alcuni comuni della classe A, che per il sito in studio vale 0.8. Trattandosi di una nuova espansione urbanistica si applicano i disposti dell'articolo 7 comma 5 del Regolamento Regionale: "Indipendentemente dall'ubicazione territoriale, sono assoggettate ai limiti e alle procedure indicati nel presente regolamento per le aree A di cui al comma 3, anche le aree lombarde inserite nei PGT comunali come ambiti di trasformazione o anche come piani attuativi previsti nel piano delle regole." Altro parametro che entra nella matrice di classificazione è la superficie di intervento, che risulta pari a 47617 m<sup>2</sup>, ovvero la superficie complessiva con mutata permeabilità. Infine è stato calcolato il coefficiente di deflusso medio ponderale che rappresenta il risultato dei diversi apporti per tipologia di superficie (impermeabile, semipermeabile, permeabile) che nel caso in studio sono così suddivisi (Il Regolamento Regionale 8 esclude il permeabile dall'applicazione dell'invarianza):

47617 m<sup>2</sup> superficie impermeabile (x1)

Il coefficiente di deflusso medio ponderale risultante è pari a 1. Le modalità di calcolo da applicare per ogni intervento sono definite nella Tabella 1 dell'art. 9 (Figura 9).

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFF. DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITA' DI CALCOLO		
			AMBITI TERRITORIALI (ARTICOLO 7)		
			AREA A - B	AREA C	
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0.03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi art.12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	Da > 0.03 a ≤ 0.1 ha (da > 300 a ≤ 1000 mq)	≤ 0.4	Requisiti minimi art.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)	

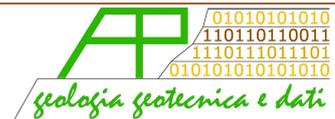
Figura 9 – Tabella 1 - RR 08/2019

In generale il regolamento prescrive che nel caso di impermeabilizzazione potenziale media, in ambiti territoriali a criticità alta o media, deve essere adottato il metodo delle sole piogge, ferma restando la facoltà del professionista di adottare la procedura di calcolo

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	16 di 42
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

dettagliata. Nel caso di impermeabilizzazione potenziale alta, in ambiti territoriali a criticità alta o media, deve essere adottata la procedura di calcolo dettagliata. Il caso in studio ricade nella classe 2 e quindi la procedura da adottare è quella del metodo delle sole piogge. I sistemi di laminazione devono inoltre rispettare i criteri minimi di dimensionamento così come definiti dall'art.12:

- aree A alta criticità idraulica: 800 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile
- aree B media criticità idraulica: 500 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile
- aree C bassa criticità idraulica: 400 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	17 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

## 5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E PIEZOMETRICO

Il territorio in esame appartiene al settore centrale della Pianura Padana la cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi. Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali, denotando una accentuata subsidenza. L'assetto geologico dell'area è stato determinato durante il Quaternario continentale dagli intensi eventi deposizionali che hanno portato a colmamento il bacino Padano. In particolare, ci si riferisce al Pleistocene e all'Olocene, in cui la nota climatica dominante fu rappresentata da un ripetuto alternarsi di climi caldi e freddi, con una netta tendenza al progressivo raffreddamento, reso evidente con l'avvento delle glaciazioni. I depositi dell'abitato comunale di Calvisano sono legati alle dinamiche caratteristiche dell'ambiente fluvioglaciale e fluviale riferibili come età al Wurm e costituenti il **"livello fondamentale della pianura"** (fg<sup>w</sup>).

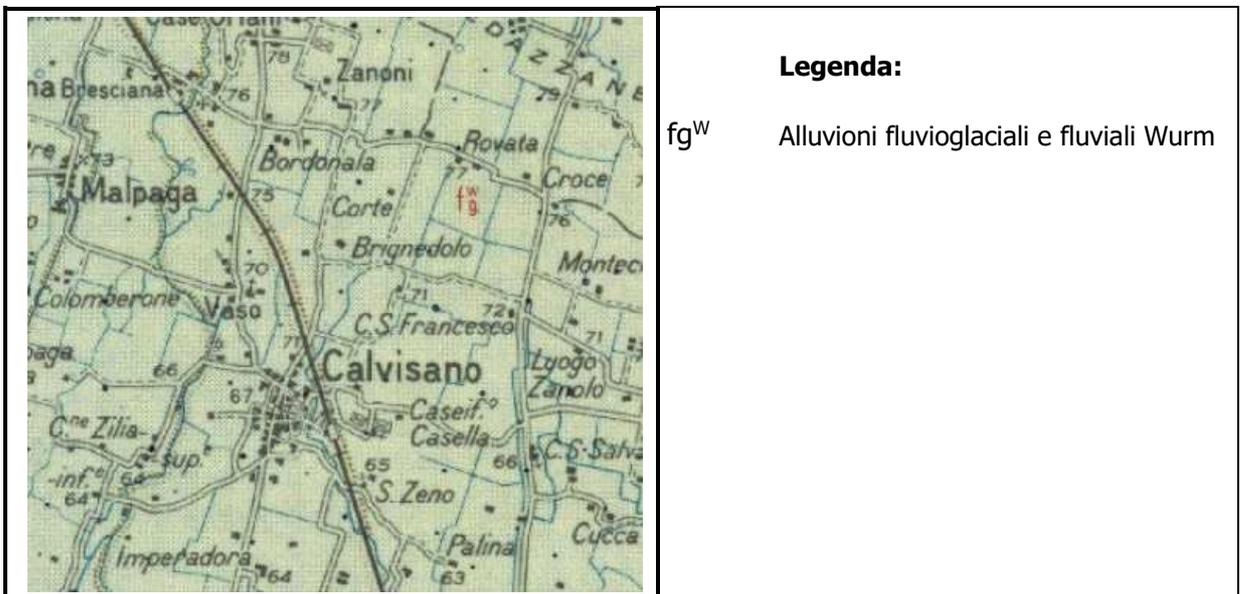


Figura 10 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia (Foglio di Brescia)

La fase fluviale würmiana ha originato l'ultimo esteso colmamento della pianura nel Pleistocene. La successiva fase erosiva, iniziata nell'Olocene, è responsabile della zona

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	18 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

ribassata delimitata da scarpate entro cui oggi scorrono i principali fiumi padani. Nel dettaglio l'area in esame si colloca in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali e fluviali wurmiani (fg<sup>w</sup> – cfr. Figura 10), che in questo settore sono caratterizzati da ghiaie associate a limi e sabbie, passanti a ghiaie e sabbie pulite in profondità. Morfologicamente l'area risulta pianeggiante, posta sul livello fondamentale della pianura, alla quota indicativa di circa 68.00 m.s.m., con cadente topografica verso S e gradiente nell'ordine dello 0.2%. L'idrografia al contorno è rappresentata sostanzialmente dalla rete irrigua e scolante. Dal punto di vista idraulico l'area risulta esterna alle fasce fluviali delimitate dal Piano Pai, ovvero le aree inondate in caso di piene con tempi di ritorno diversi, ed è esterna alle zone allagabili perimetrare dal PGRA 2022. La litostratimetria dell'area è stata desunta da studi effettuati nella zona, e dai sondaggi eseguiti in sito. L'assetto stratigrafico si configura conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dalla dinamica fluvioglaciale e fluviale legata ad ambienti ad alta energia, con significative variazioni d'alveo e ad elevata competenza. Al di sotto di una copertura di circa 1.20/1.50 metri costituita essenzialmente da suolo e limi e limi sabbiosi, si rilevano alternanze di sabbie e ghiaie sabbiose sino a circa 16 m da p.c. (stratigrafia di pozzi limitrofi - Figura 11).



Figura 11 – Stratigrafia pozzo (da gis RL)

Durante i sondaggi la falda è stata rilevata a circa 2.70 metri da p.c. attuale. Dai dati riportati nella cartografia idrogeologica a corredo del PGT si può notare come l'area in esame ricada tra l'isopieza 65 e 64 (Figura 12) ad indicare una soggiacenza di circa 3.00 metri.



Figura 12 – Stralcio della Carta Idrogeologica (da PGT)

## 5.1. Distanza da pozzi idropotabili

Il comune di Calvisano ad oggi non ha una rete acquedottistica con un pozzo comunale.

Nelle immediate vicinanze sono presenti pozzi a servizio dei centri isolati.

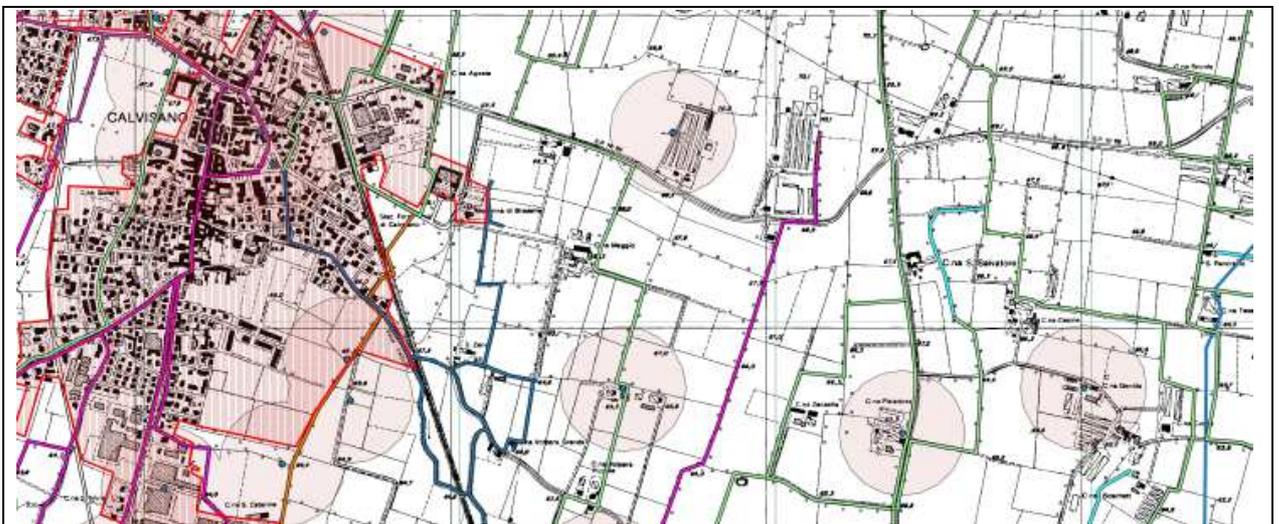


Figura 13 – Stralcio carta dei vincoli da PGT

L'estensore della componente geologica ha voluto inserire cartograficamente un'area di rispetto a questa tipologia di pozzo, sempre con raggio pari a 200 metri come indicato nella normativa di riferimento: D.P.R. n° 236 del 24 maggio 1988, recepito dalla Regione Lombardia nella deliberazione di Giunta Regionale n° 6/15137 dell'1 agosto 1996 e richiamato dalle

 01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	20 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

disposizioni contenute nel D.LGS. 152/99 e successive modifiche e integrazioni (D.LGS. 258/00). Nella zona di rispetto (200 metri con criterio geometrico) valgono le prescrizioni contenute nel comma 5 art. 5 del D.LGS. 258/00. Tuttavia la normativa si riferisce ai pozzi che forniscono acque potabili a terzi, tipicamente i pozzi ad uso acquedottistico, e non ai pozzi privati. Ad ogni buon conto l'area in studio è esterna anche alle fasce di rispetto dei pozzi idropotabili ad uso privato (Figura 13).

## 5.2. Prova di permeabilità

In sito sono è stata eseguita una prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto nell'area in studio. Le prove in pozzetto consentono di determinare in modo molto semplice la permeabilità di un terreno superficiale al di sopra del livello della falda idrica. Operativamente si realizza uno scavo, lo si riempie d'acqua e si valuta la portata necessaria per mantenere un livello costante (prove a carico costante) o si valuta l'abbassamento dell'acqua all'interno dello scavo (prove a carico variabile). Il pozzetto di prova può essere di forma quadrata o circolare e le dimensioni possono essere scelte basandosi sugli strumenti di scavo disponibili. In linea di principio comunque le dimensioni devono aumentare all'aumentare delle dimensioni dei granuli del terreno. In particolare il lato del quadrato (nel caso di pozzetti a base quadrata) o il diametro del cerchio (per pozzetti circolari) deve essere superiore a 5/10 volte la dimensione della frazione granulometrica significativa. La profondità del pozzetto è a discrezione dell'operatore. Occorre comunque evitare di avvicinarsi eccessivamente alla superficie di falda perché, secondo le raccomandazioni AGI, deve risultare (Figura 14):

$$H \geq 7 \cdot h$$

Nella prova a carico variabile si porta il livello dell'acqua alla quota  $h_1$  e poi si misura in quanto tempo l'acqua scende al livello  $h_2$ . Nel caso in esame, considerata la natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa dei depositi, è stato posizionato un tubo aperto da 200 mm di diametro spinto ad una profondità di circa 2.00 metri da p.c.. E' stata scelta questa profondità in modo da caratterizzare gli strati dove avverrà la dispersione.

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	21 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

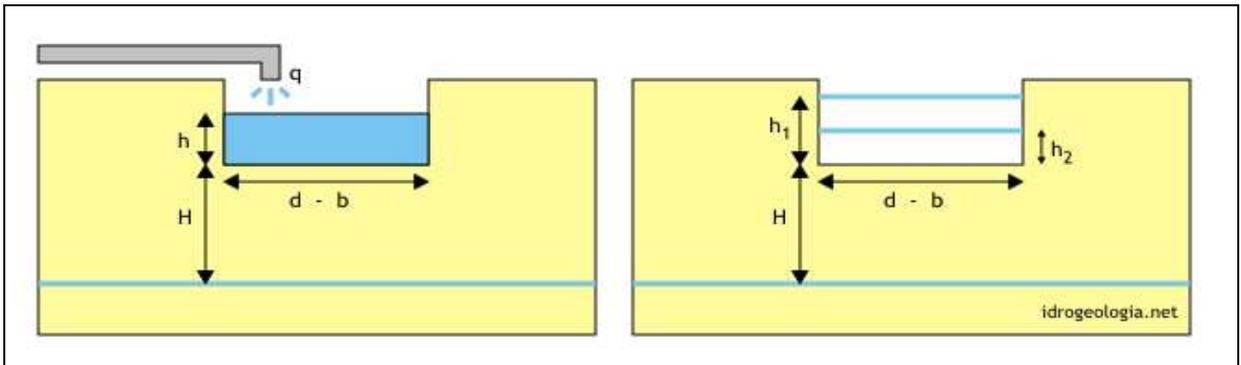


Figura 14 – Schema per prove di permeabilità a carico costante e variabile

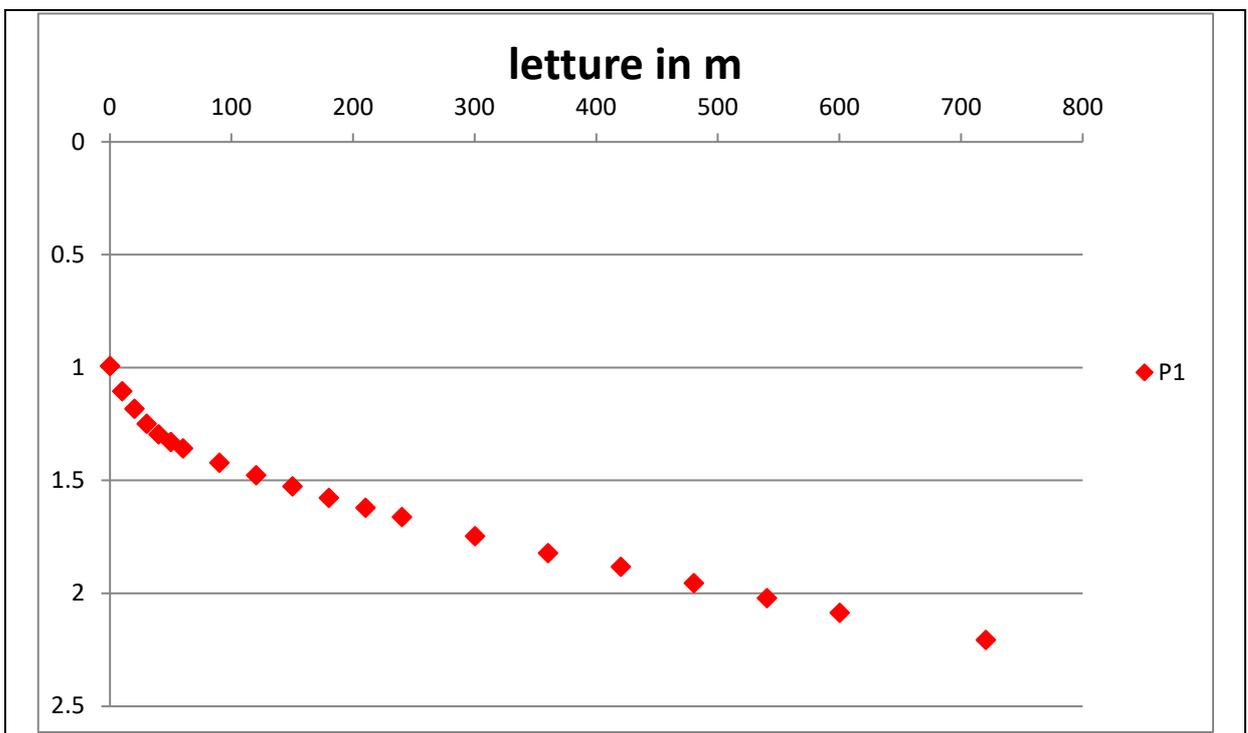


Figura 15 – Andamento abbassamenti da bocca pozzetto

Vista la profondità non è stato possibile realizzare un pozzetto con pareti libere, ma è stato inserito il tubo per di ridurre gli eventuali errori dovuti al franamento delle pareti dello scavo nel corso della prova. Il tubo è stato poi riempito di acqua, avendo cura di effettuare la saturazione dei depositi sottostanti, e in seguito sono stati misurati i tempi di abbassamento del livello all'interno del tubo. La prova ha avuto una durata di 20 minuti ovvero fino all'esaurimento del battente. I grafici degli abbassamenti rilevati in campagna sono riportati in Figura 15. L'andamento è coerente con le evidenze di campagna relative alla litologia rilevata negli scavi.

### 5.2.1. Interpretazione della Prova di permeabilità

La formula tipica riportata nelle raccomandazioni AGI per il calcolo della permeabilità  $k$  è la seguente:

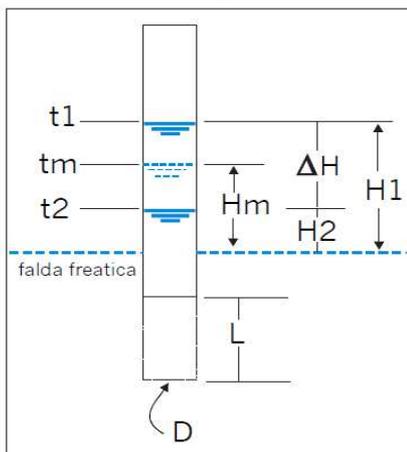
$$k = \frac{d}{32} \cdot \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{h_m}$$

dove:

- $h_m$  = altezza media dell'acqua nel pozzetto ( $h_m > d/4$ );
- $h_1 - h_2$  = abbassamento;
- $t_2 - t_1$  = intervallo di tempo;
- $d$  diametro pozzetto.

Tuttavia la formula e le modalità di prova sopra riportate prevedono la realizzazione di uno scavo con pareti permeabili. Nel caso in studio per impedire franamenti e per avere una forma regolare del pozzetto di prova è stato inserito un tubo in PVC che di fatto ha reso impermeabili del superfici laterali, permettendo la percolazione solo dal fondo. Per questo motivo appare più opportuno utilizzare le classiche formule impiegate per le prove in foro di sondaggio (prova Lefranc) con lunghezza della tasca pari a 0.00 metri:

#### Schema della prova Lefranc



Per le prove a carico costante la conducibilità idraulica è:

$$K = Q / CH$$

$Q$  = portata a regime ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )

$H$  = carico idraulico a regime (cm)

$C$  = coefficiente di forma (cm), in funzione della tasca inferiore di diametro  $D$  e lunghezza  $L$

Per prove a carico idraulico variabile la conducibilità idraulica è:

$$K = AdH / C dt Hm$$

$A$  = area di base della tasca filtrante

$dH = H_1 - H_2$  = differenza di carico idraulico

$dt = t_2 - t_1$  = intervallo di tempo corrispondente a  $dH$

$Hm$  = carico idraulico corrispondente al tempo medio  $(t_1 + t_2) / 2$

$C$  = coefficiente di forma

**Nel caso di foro aperto inferiore:**

$$C = 2.85 D$$

La permeabilità calcolata con la formula sopra riportata restituisce il seguente valore:

$$k = 4.7 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	23 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

## 6. CALCOLO DEGLI AFFLUSSI - METODO DETTAGLIATO

La progressiva impermeabilizzazione delle superfici incide sugli afflussi secondo due elementi fondamentali:

- riduzione della capacità filtrante del terreno con conseguente aumento della portata ai recapiti finali
- riduzione dei tempi di corrivazione

Il primo aspetto è ben rappresentato dall'immagine di Figura 16 dove si può notare che il passaggio ad ambienti via via più impermeabili comporta una riduzione importante dell'infiltrazione ed un incremento del ruscellamento, che convoglia le acque nel reticolo idrico. A livelli maggiori di impermeabilizzazione le dispersioni per infiltrazione diminuiscono ulteriormente sino a valori nell'ordine del 5%.

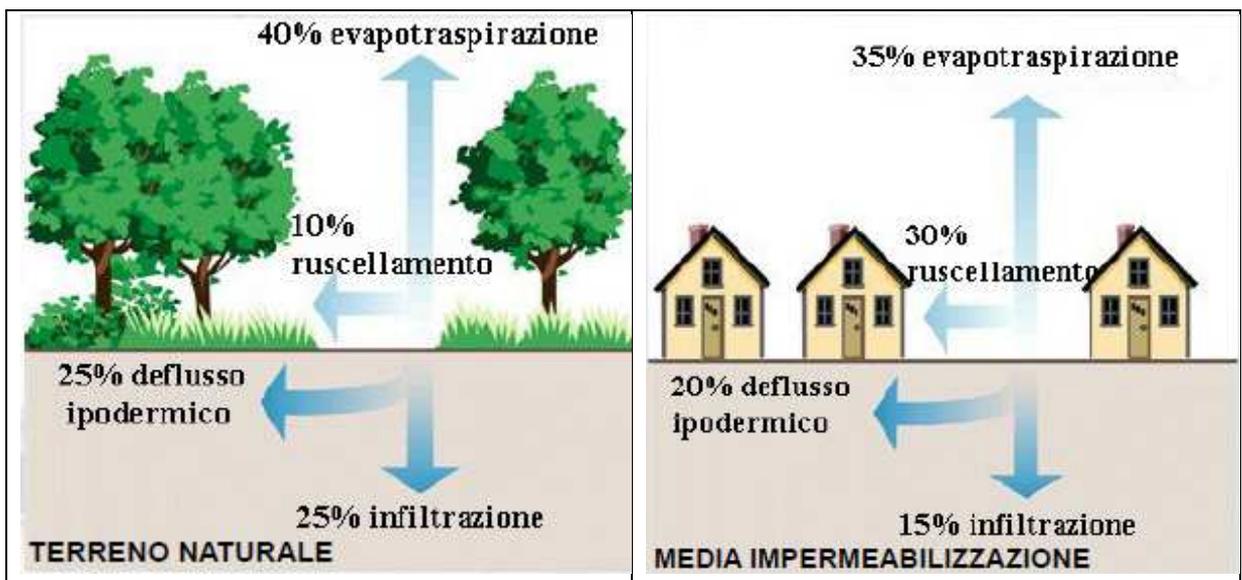


Figura 16 - Percentuali di recapito delle acque meteoriche

La riduzione del tempo di corrivazione determina invece una maggiore velocità delle acque di ruscellamento e quindi colmi di piena più rapidi ed importanti. La procedura dettagliata prevede uno studio idrologico del deflusso sulla superficie di trasformazione che deve essere condotto facendo riferimento ai tradizionali modelli afflusso-deflusso riportati in letteratura. Nel regolamento è citato (solo a titolo esemplificativo) il metodo cinematico (altresì detto della

 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	24 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

corrivazione) con ietogramma Chicago e infiltrazione secondo il modello di Horton. Solo una parte della precipitazione si trasforma in deflusso superficiale sul bacino. Questa parte viene chiamata precipitazione efficace e lo ietogramma corrispondente ietogramma efficace. La parte restante non produce deflusso a causa delle cosiddette perdite idrologiche dovute a vari fenomeni come l'evaporazione, l'intercettazione fogliare, l'immagazzinamento in avvallamenti, l'infiltrazione nel terreno ecc. I fenomeni più rilevanti da un punto di vista quantitativo sono solitamente gli ultimi due spesso gli unici di cui si tiene conto. Si definisce quindi, pioggia/precipitazione totale (o pioggia/precipitazione lorda) l'intera quantità di pioggia che cade sul bacino durante l'intero evento meteorico. Si definisce pioggia/precipitazione efficace la sola quota parte della precipitazione totale che genera il deflusso diretto (ovvero il deflusso superficiale e quello sottosuperficiale più rapido). Il metodo proposto dal Soil Conservation Service (SCS) stima le perdite per infiltrazione ipotizzando che il volume perduto fino ad un certo istante sia legato al volume massimo S immagazzinabile dal terreno a saturazione dalla stessa relazione di proporzionalità che lega il volume defluito  $P_e$  (pioggia efficace) al volume affluito  $P_1$  (pioggia totale) fino allo stesso istante. Questa ipotesi, completata dall'introduzione di una perdita iniziale  $I_a$  (initial abstraction) che tiene in considerazione tutte le perdite che avvengono prima che il deflusso abbia inizio (come ad esempio l'immagazzinamento nelle depressioni superficiali), porta al calcolo della pioggia efficace attraverso la seguente equazione:

$$P_e = \begin{cases} 0 & \text{se } P_1 \leq I_a \\ \frac{(P_1 - I_a)^2}{P_1 - I_a + S} & \text{se } P_1 > I_a \end{cases}$$

Il volume S (espresso in mm) è ricavato in funzione del parametro CN (Curve Number), caratteristico della tipologia e dell'uso del suolo attraverso la seguente espressione:

$$S = 254 \times (100/CN - 1)$$

I valori di Cn sono riportati nella tabella di Figura 17 riferiti ad una condizione antecedente di umidità del suolo "intermedia" (AMC-II). Per quanto riguarda le condizioni di umidità antecedenti, si considera l'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico, individuando tre diverse categorie di condizioni d'umidità: AMC-I (secco), AMC-II (intermedio) e

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	25 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

AMC-III (umido).

Tipo di copertura (Uso di suolo)	Gruppo idrologico			
	A	B	C	D
<b>TERRENO COLTIVATO</b>				
Senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
<b>TERRENO DI PASCOLO</b>				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
<b>PRATERIE</b>				
Buone condizioni	30	58	71	78
<b>TERRENI BOSCOSE O FORESTATI</b>				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI</b>				
Buone condizioni con almeno il 75% con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (Impermeabilità 72%)	81	88	91	93
<b>AREE RESIDENZIALI Impermeabilità media %</b>				
Impermeabilità media 65%	77	85	90	92
Impermeabilità media 38%	61	75	83	87
Impermeabilità media 30%	57	72	81	86
Impermeabilità media 25%	54	70	80	85
Impermeabilità media 20%	51	68	79	84
<b>PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI</b>				
	98	98	98	98
<b>STRADE</b>				
Pavimentata con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Figura 17 - Valori di CN per i diversi tipi di suolo

Nella tabella è introdotto un nuovo parametro, ovvero il gruppo idrologico, che rappresenta di fatto la propensione di un suolo ad assorbire acqua dipendendo fortemente dalla conducibilità idrica. Le nuove direttive approvate a livello regionale per la redazione dei piani di classifica (DGRV n.79 del 2011), fanno riferimento al metodo USDA-NRCS per la definizione del Gruppo Idrologico (capitolo 7 del "National Engineering Handbook", parte 630). Tale metodo è stato rivisto dall'USDA nel 2007 e, successivamente, nel 2009. È a quest'ultima versione che si è preferito fare riferimento, in quanto risulta essere un metodo più preciso e completo, che prevede come parametri di *input*, oltre alla permeabilità (Ksat) dello strato meno permeabile,

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	26 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

anche la profondità della falda, secondo lo schema riportato nella Figura 18.

Depth to water impermeable layer <sup>1/</sup>	Depth to high water table <sup>2/</sup>	K <sub>sat</sub> of least transmissive layer in depth range	K <sub>sat</sub> depth range	HSG <sup>3/</sup>
<50 cm [<20 in]	—	—	—	D
50 to 100 cm [20 to 40 in]	<60 cm [<24 in]	>40.0 µm/s (>5.67 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	A/D
		>10.0 to ≤40.0 µm/s (>1.42 to ≤5.67 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	B/D
		>1.0 to ≤10.0 µm/s (>0.14 to ≤1.42 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	C/D
		≤1.0 µm/s (≤0.14 in/h)	0 to 60 cm [0 to 24 in]	D
	≥60 cm [≥24 in]	>40.0 µm/s (>5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	A
		>10.0 to ≤40.0 µm/s (>1.42 to ≤5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	B
		>1.0 to ≤10.0 µm/s (>0.14 to ≤1.42 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	C
		≤1.0 µm/s (≤0.14 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	D
>100 cm [>40 in]	<60 cm [<24 in]	>10.0 µm/s (>1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	A/D
		>4.0 to ≤10.0 µm/s (>0.57 to ≤1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	B/D
		>0.40 to ≤4.0 µm/s (>0.06 to ≤0.57 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	C/D
		≤0.40 µm/s (≤0.06 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	D
	60 to 100 cm [24 to 40 in]	>40.0 µm/s (>5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	A
		>10.0 to ≤40.0 µm/s (>1.42 to ≤5.67 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	B
		>1.0 to ≤10.0 µm/s (>0.14 to ≤1.42 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	C
		≤1.0 µm/s (≤0.14 in/h)	0 to 50 cm [0 to 20 in]	D
>100 cm [>40 in]	>10.0 µm/s (>1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	A	
	>4.0 to ≤10.0 µm/s (>0.57 to ≤1.42 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	B	
	>0.40 to ≤4.0 µm/s (>0.06 to ≤0.57 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	C	
	≤0.40 µm/s (≤0.06 in/h)	0 to 100 cm [0 to 40 in]	D	

Figura 18 - Criteri per la determinazione del Gruppo Idrologico USDA

Data la natura granulometrica dei depositi superficiali il sito è stato classificato come di gruppo B. Per le elaborazioni di seguito descritte sono stati considerati i seguenti valori di curve

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	27 di 42
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

number:

impermeabile – 98

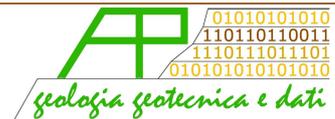
## 6.1. Calcolo dell'idrogramma di progetto

Per costruire l'idrogramma conseguente ad un certo ietogramma occorre procedere con un modello matematico di trasformazione afflussi-deflussi. Una classe particolarmente importante di modelli è quella dei modelli lineari stazionari in cui la relazione ingresso uscita è descritta da un'equazione differenziale lineare a coefficienti costanti. Il modello cinematico o metodo della corrivazione è un modello afflussi-deflussi che mette in conto, nel calcolo dei deflussi di piena, esclusivamente il fenomeno di trasferimento della massa liquida, ovvero la pioggia efficace che si forma in un generico punto sulla superficie del bacino trasla semplicemente verso la sezione di chiusura in un tempo prefissato, dipendente dalle caratteristiche del percorso idraulico che unisce il punto di formazione del deflusso alla sezione di chiusura. Il modello pertanto prescinde dai fenomeni di laminazione della massa liquida lungo il percorso o imputabili ad un momentaneo accumulo in alcune zone (per esempio quelle più depresse) del bacino. Il metodo si basa sul presupposto che l'evento meteorico inizi istantaneamente e continui con intensità costante nel tempo mentre la portata uscente aumenta sino ad un tempo pari al tempo di corrivazione  $t_c$ , quando l'area  $A_b$  di tutto il bacino contribuisce al deflusso. La portata al colmo sarà espressa dalla seguente equazione:

$$Q_{c,T} = \psi ARF i_T(t_c)A_b$$

- $Q_{c,T}$  = portata al colmo con tempo di ritorno  $T$ . Le unità di misura sono date dal prodotto delle unità di misura di  $i$  e  $A_b$ .
- $\psi$  = coefficiente di afflusso (o coeff. adimensionale di proporzionalità)
- $ARF$  = coefficiente di ragguaglio all'area
- $i_T(t_c)$  = intensità media di precipitazione di durata  $t_c$  e tempo di ritorno  $T$  (ad esempio ricavata da curva di possibilità pluviometrica)
- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino
- $A_b$  = area del bacino

Sulla base di quanto esposto sono stati calcolati gli idrogrammi del bacino impermeabile per piogge fino ad un'ora (Figura 19).

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	28 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

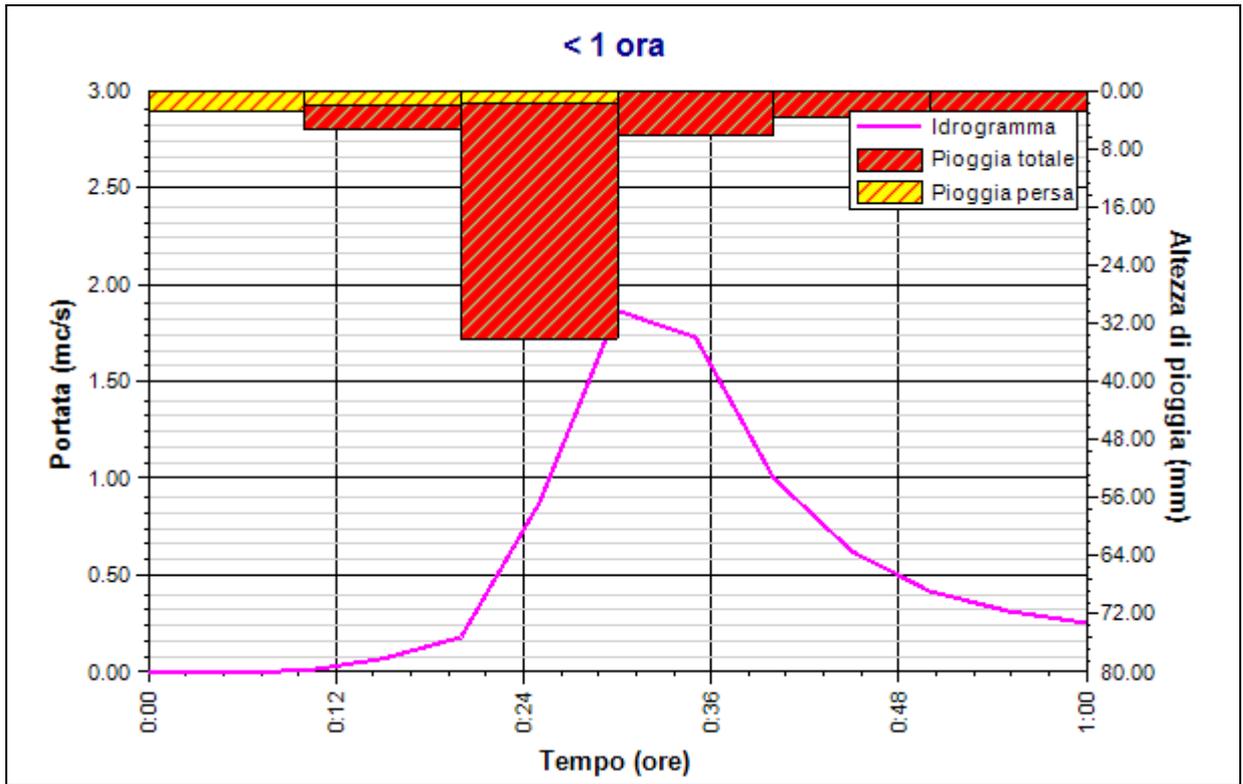


Figura 19 - Idrogramma di progetto piogge fino ad un'ora

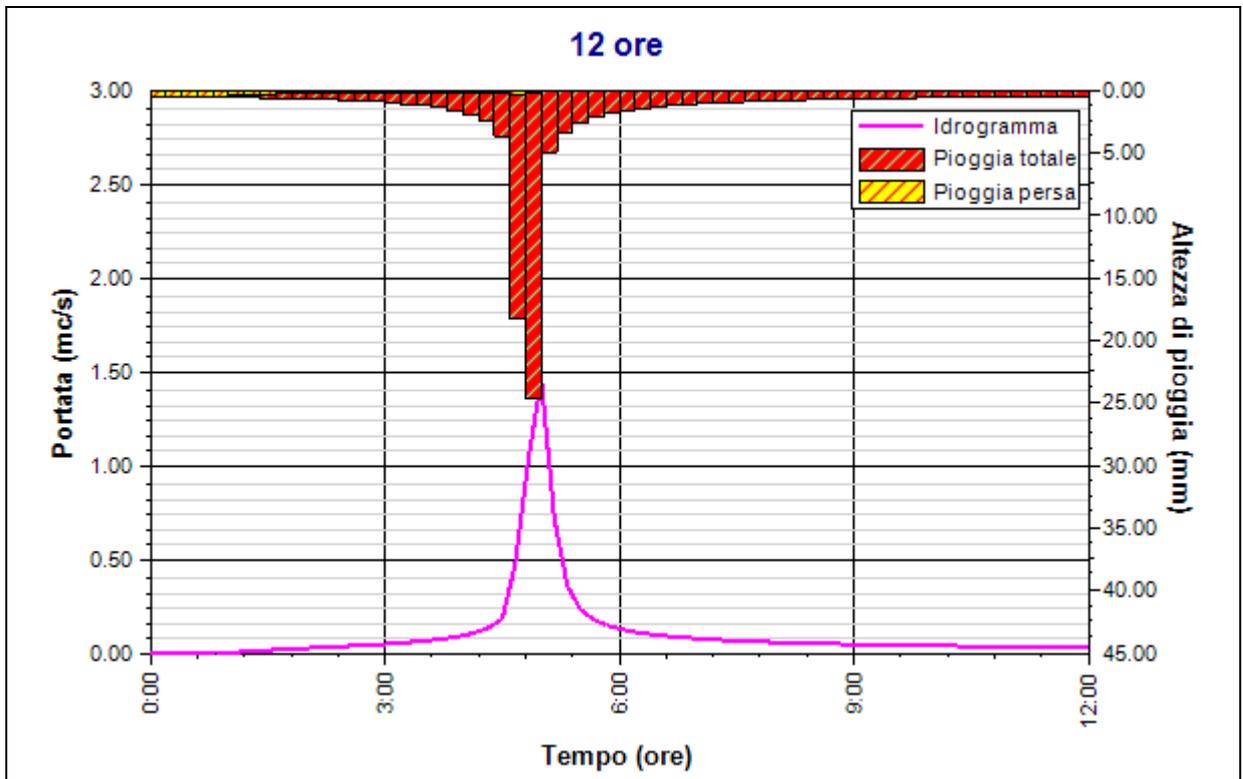
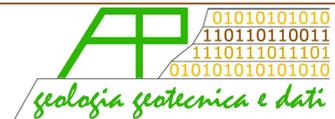


Figura 20 - Idrogramma di progetto piogge fino a 12 ore

Si può notare che la portata di picco raggiunge circa 1850 l/s. Sulla base della medesima procedura è stato calcolato l'idrogrammi per piogge fino a 12 ore (Figura 20). Si può notare che la portata di picco raggiunge 1450 l/s. Risulta chiaro che l'evento critico in termini di portata istantanea riguarda le piogge con durata sino ad un'ora.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	30 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

## 7. CALCOLO DEI DEFLUSSI

Nel sito in progetto si prevede lo scarico delle acque meteoriche attraverso dispersione nel primo sottosuolo attraverso trincee drenanti e per infiltrazione diretta dalle aree drenanti. Come indicato nei capitoli precedenti la soluzione prospettata è coerente con le condizioni idrogeologiche del sito, vista la buona permeabilità. Le opere di dispersione non intercetteranno la falda.

### 7.1. Calcolo della dispersione

La portata di infiltrazione può essere stimata in prima approssimazione attraverso la relazione di Darcy:

$$Q_{inf} = k J A$$

dove

k = coefficiente di permeabilità del substrato [mc/s]

J = cadente piezometrica [m/m]

A = superficie netta infiltrante [mq]

Per i calcoli è stato utilizzato il valore di permeabilità medio misurato cautelativamente ridotto del 20% e quindi pari a  $3.7 \times 10^{-5}$  m/s. E' prevista la realizzazione di trincee con sezione di 5.00x2.20 e lunghezza di 500 m. All'interno saranno alloggiati tre tubo disperdenti da 1.00 m di diametro. Nell'equazione sopra riportata l'incognita diventa pertanto la portata (Q), dal momento che tutte le altre variabili sono note. La capacità di dispersione totale risultante è pari a 92.5 l/s.

#### 7.1.1. Descrizione della trincea

Le trincee saranno realizzate mediante la messa in opera di elementi in PVC o in cemento di diametro pari a 100 cm opportunamente forati, appositamente progettati per lo stoccaggio e lo smaltimento delle acque meteoriche. Trattasi di moduli componibili con lunghezza pari a 1.00 metro o superiore, collare di incastro e generosa foratura lungo l'intero sviluppo (Figura 21).

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	31 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

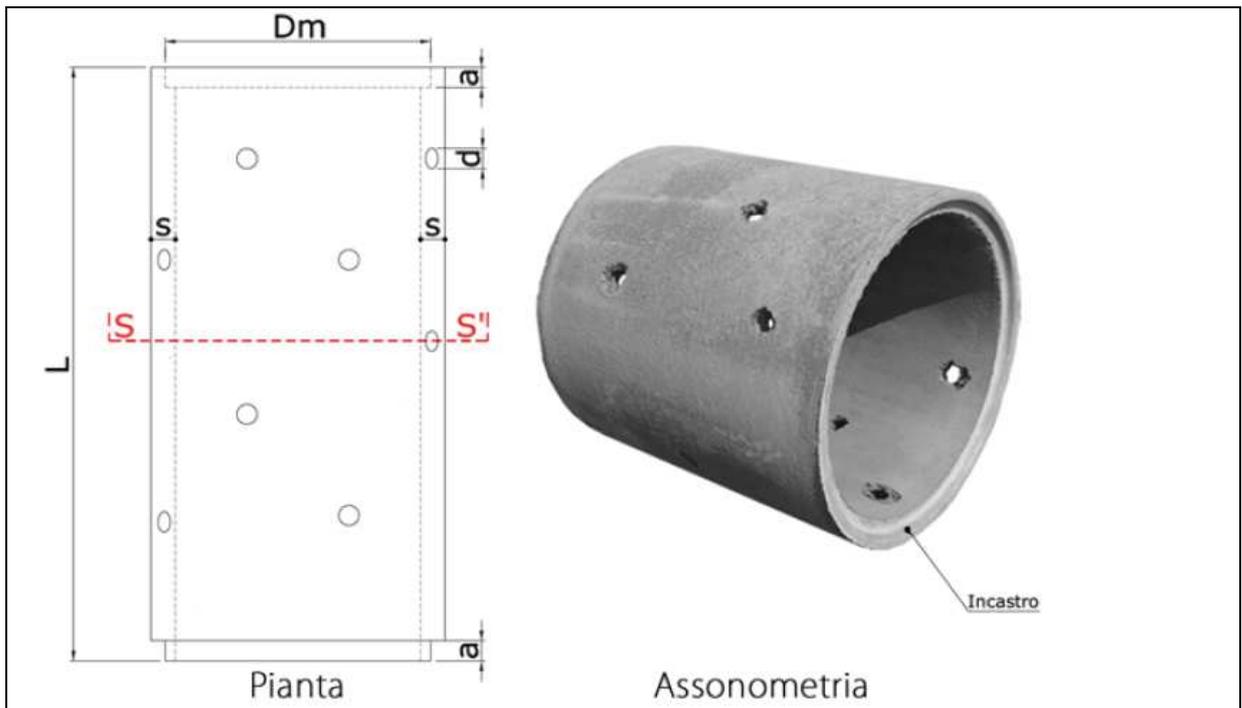


Figura 21 – Schema tipo tubazione drenante

I tubi saranno posati su un letto di almeno 50/60 cm di ghiaia grossolana a granulometria uniforme. Il rinfilanco del tubo sarà effettuato con materiale grossolano molto uniforme (ghiaia o pietrisco lavato senza sabbia). Le trincee saranno poi ricoperte con tessuto non tessuto e quindi con terreno per il rimodellamento morfologico previsto. Il tessuto non tessuto dovrà essere posato tra il materiale drenante ed il terreno naturale in modo da evitare l'intasamento dei vuoti del drenaggio. Il tessuto non tessuto dovrà avere una permeabilità pari ad almeno  $1 \times 10^{-4}$  m/s (Figura 22). Questo sistema garantisce buoni standard di resistenza ai carichi verticali, ed è compatibile con l'uso che se ne farà dell'area sovrastante. La funzione di laminazione e dispersione è schematizzata in Figura 23. All'inizio, alla fine e in posizioni intermedie della trincea saranno posizionati dei pozzetti che permetteranno la diffusione delle acque all'interno del tubo e il collettamento con la rete di raccolta. All'inizio e alla fine della trincea dovranno essere posizionati dei pozzetti ispezionabili per la manutenzione dell'opera.

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	32 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

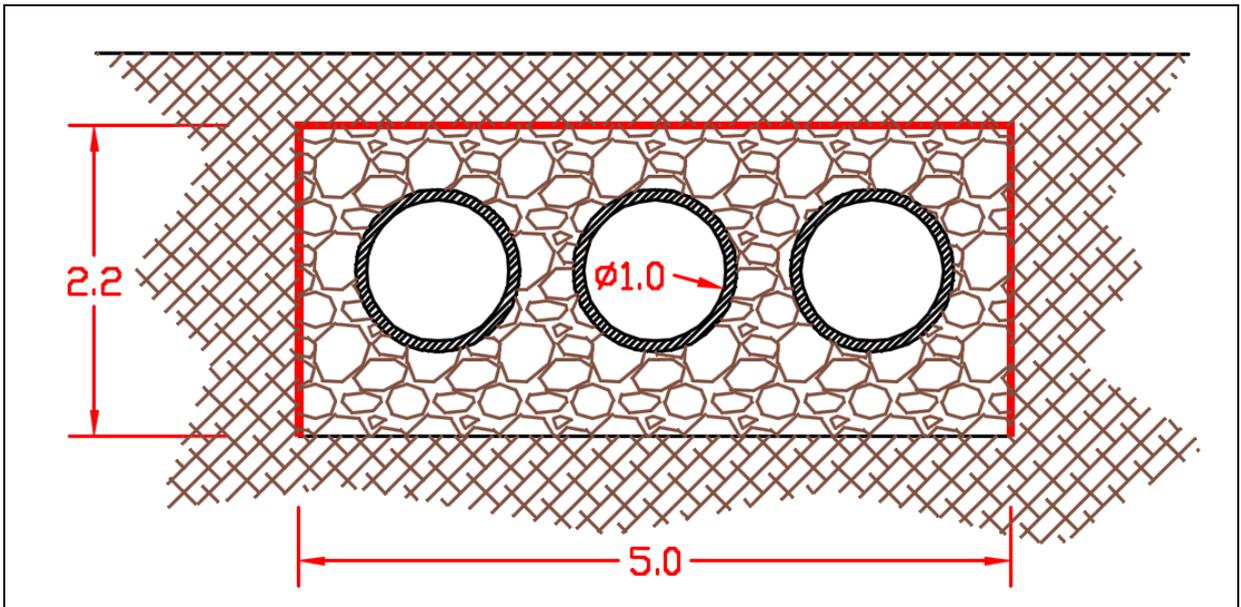


Figura 22 – Sezione trincea in m

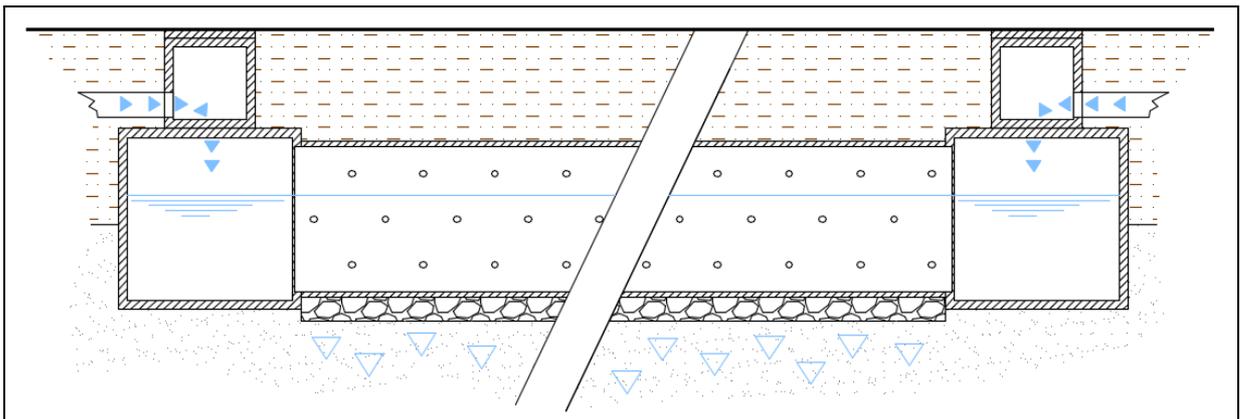


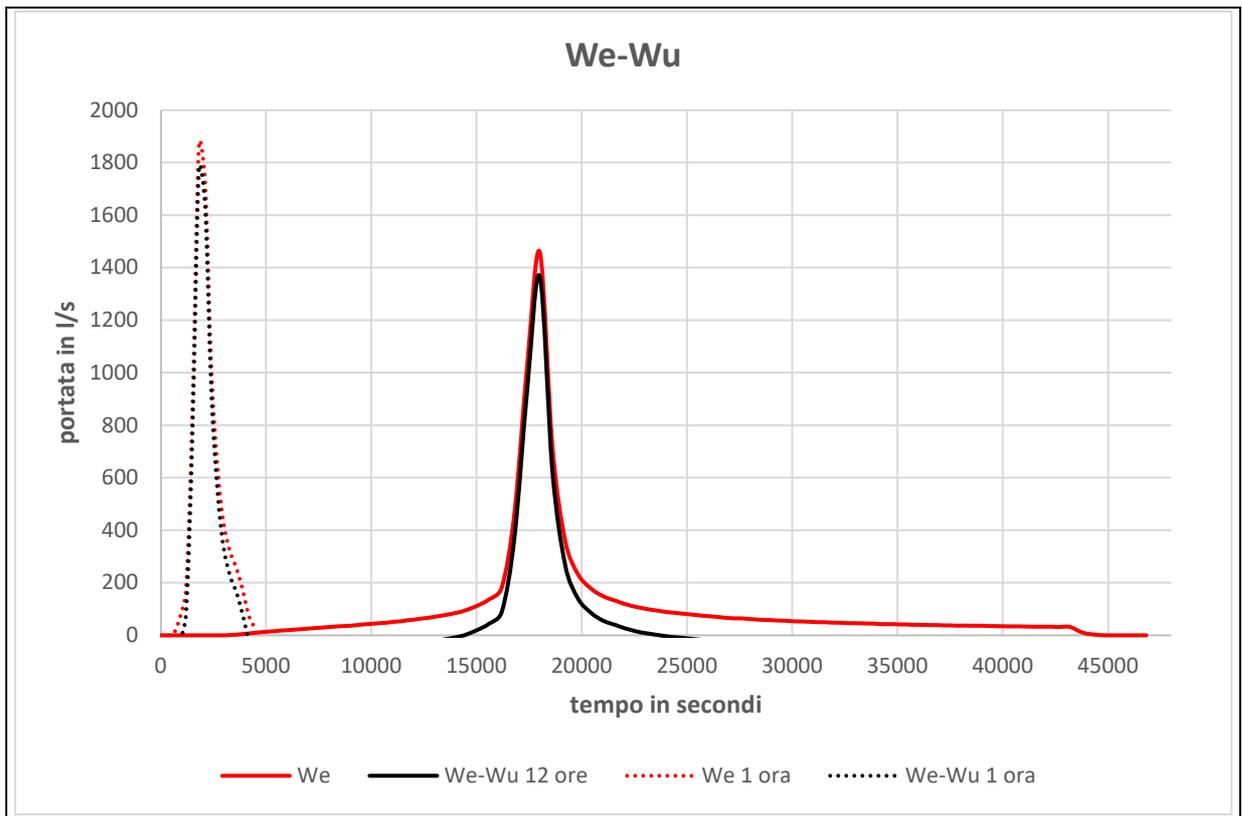
Figura 23 – Schema di funzionamento

## 7.2. Calcolo della laminazione

E' prevista la realizzazione di trincee drenanti entro cui confluiranno le acque provenienti dai pluviali e dai piazzali previo trattamento di prima pioggia. Le aree permeabili assolveranno direttamente alla funzione di laminazione, immagazzinando acque all'interno della massicciata. Considerato che lo scarico sarà attivo sin dall'inizio delle precipitazioni la portata sopra calcolata sarà decurtata in modo costante dagli afflussi. Il volume invasato  $W$  sarà dato dall'Equazione  $W = (W_e - W_u)_d$  dove Il volume da assegnare all'invaso è il valore cumulato nella durata  $d$  della differenza tra i contributi degli afflussi ( $W_e$ ) e dei deflussi ( $W_u$ ). L'idrogramma risultante è

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	33 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

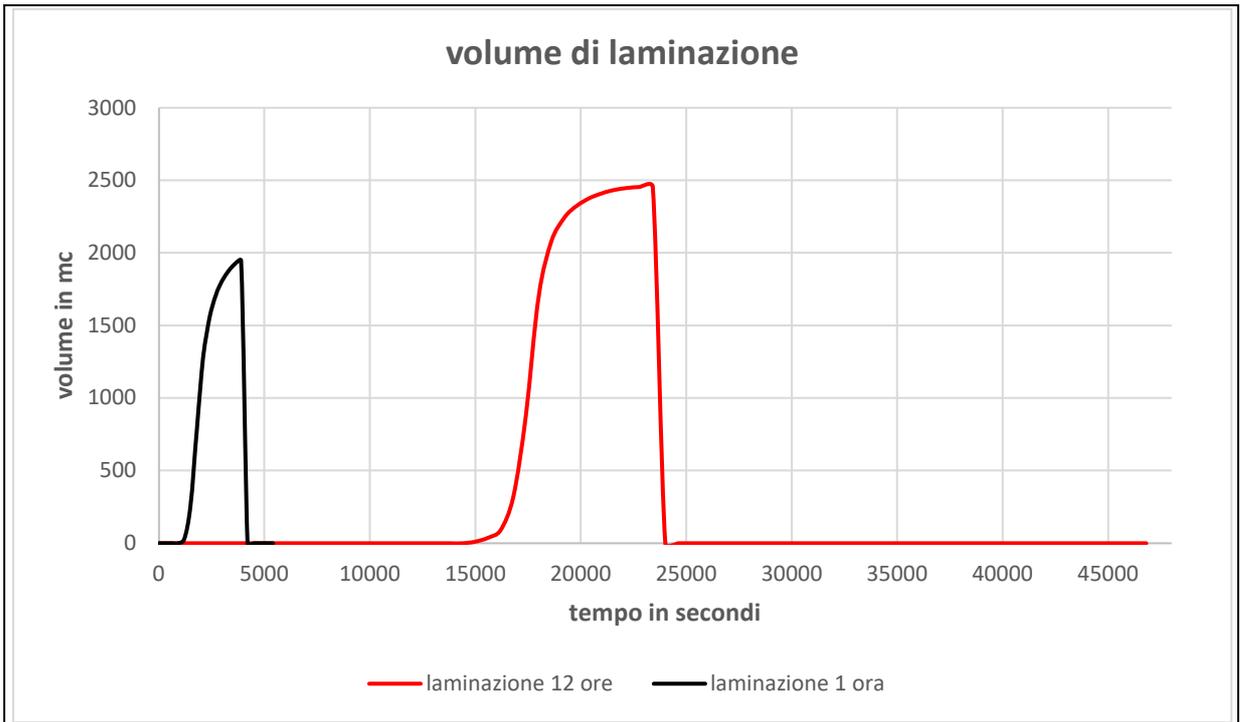
riportato in Figura 24 che raggruppa entrambi gli eventi considerati con una portata in uscita costante di 92.5 l/s. Sulla base di quanto esposto in precedenza è stato calcolato il volume di laminazione necessario ad immagazzinare l'eccedenza non smaltita dai sistemi di deflusso attivati.



**Figura 24 - Idrogramma di progetto**

Il volume di laminazione è stato ottenuto direttamente dal grafico di Figura 25. L'evento critico ai fini della laminazione è quello legato alle piogge prolungate. **Il volume minimo del bacino di laminazione deve essere pari a 2457 m<sup>3</sup>.** Sulla base dell'art 12 del regolamento Regionale così come modificato dal Regolamento Regionale 8 i requisiti minimi delle vasche di laminazione per le aree A devono avere un volume di 800 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile. Il volume dei requisiti minimi è pari a  $47617 \times 1 \times 800 / 10000 = 3809 \text{ m}^3$ . Essendo previsto, come metodo di smaltimento delle acque, l'infiltrazione nel primo sottosuolo, è possibile effettuare una riduzione del 30 % sui volumi dei requisiti minimi. Il volume così ridotto è pari a 2666 m<sup>3</sup>.

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	34 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					



**Figura 25 – Volumi di laminazione**

Nel caso in studio i volumi relativi ai minimi risultano superiori a quanto calcolato. Secondo i disposti normativi dovrà essere preso a riferimento il maggiore tra i due valori. I volumi minimi I volumi di laminazione saranno quindi i seguenti:

$$2666 \text{ m}^3 \text{ (minimi)} > 2457 \text{ m}^3 \text{ volume calcolato}$$

### 7.3. Calcolo del tempo di svuotamento

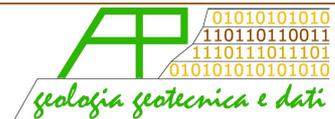
Allo svuotamento del bacino di laminazione contribuirà la dispersione nel sottosuolo con una portata massima di 92.5 l/s. Il volume massimo di invaso (2666 m³) potrà essere svuotato in circa 8 ore e quindi ampiamente entro i termini previsti dalla normativa (48 ore).

## 8. DIMENSIONAMENTO DEI BACINI DI LAMINAZIONE

I volumi di laminazione saranno ricavati per la totalità all'interno delle trincee drenanti e nei serbatoi delle acque di prima pioggia. Nel dettaglio i volumi sono stati quantificati come di seguito elencato, nell'ipotesi di raggiungere il totale riempimento del sistema:

- 500 metri di trincea drenante con sezione 5.00x2.20 m con 3 tubazioni disperdenti diametro 1.0 m e riempimento in ghiaia/pietrisco con porosità del 35% per un totale di 2585 m<sup>3</sup>.
- Serbatoi acque di prima pioggia calcolati sulla superficie dei piazzali per i primi 5 mm di precipitazione: 34000x0.005 per un volume totale di 170 m<sup>3</sup>

Il volume totale è dato dalla somma dei volumi sopra indicati: 2585+170=2755 m<sup>3</sup>, sufficiente a garantire i minimi richiesti dal Regolamento (2666 m<sup>3</sup>). Nel calcolo non è stata considerata in via conservativa la quota immagazzinata nelle caditoie, tubazioni di collegamento alla linea principale etc. Inoltre i cumuli di inerti fungeranno da ulteriore serbatoio delle precipitazioni; questo effetto non è stato calcolato e valutato in via cautelativa. Lo schema planimetrico dell'impianto è riportato nelle tavole allegate.

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	36 di 42	
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

## 9. VERIFICA BACINO

L'art. 11 del Regolamento Regionale prevede la verifica dei franchi di sicurezza delle opere realizzate con un tempo di ritorno pari a 100 anni. Al fine di verificare la rispondenza alla normativa vigente è stata valutata la curva delle differenze positive tra afflussi e deflussi (Figura 26) e il dettaglio delle sole differenze positive (Figura 27). Si nota che il volume di laminazione necessario assomma a circa 2906 m<sup>3</sup>, superiore al massimo invaso previsto (2755 m<sup>3</sup>). Le eccedenze allagheranno i piazzali con un battente nell'ordine di pochi millimetri (<5) e quindi trascurabile ai fini della sicurezza delle persone e della stabilità dei manufatti. **Il bacino è verificato ai fini del regolamento Regionale.**

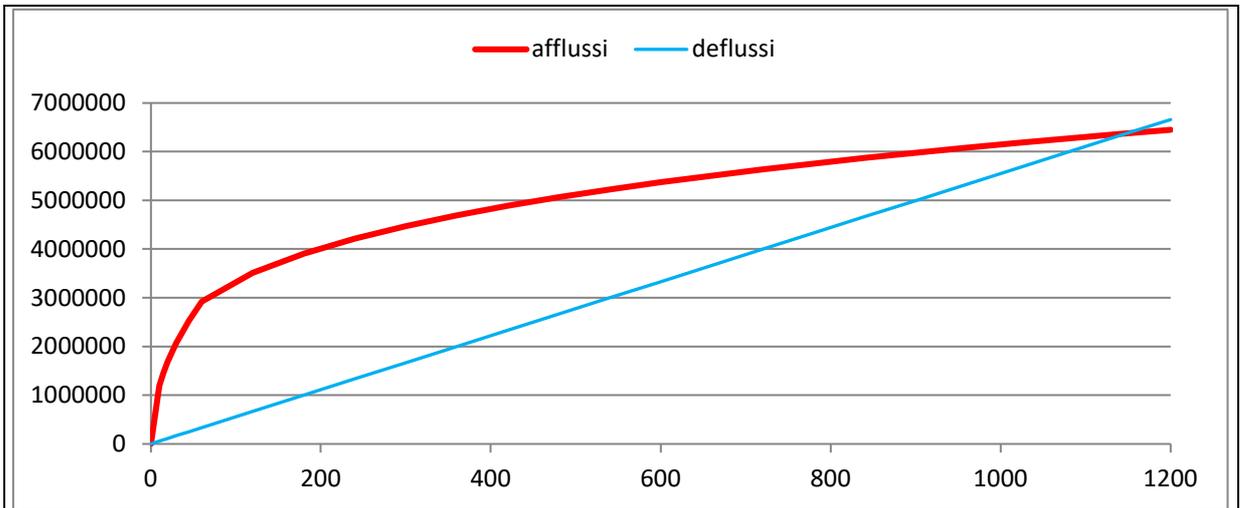


Figura 26 - Andamento afflussi-deflussi con Tr=100 anni

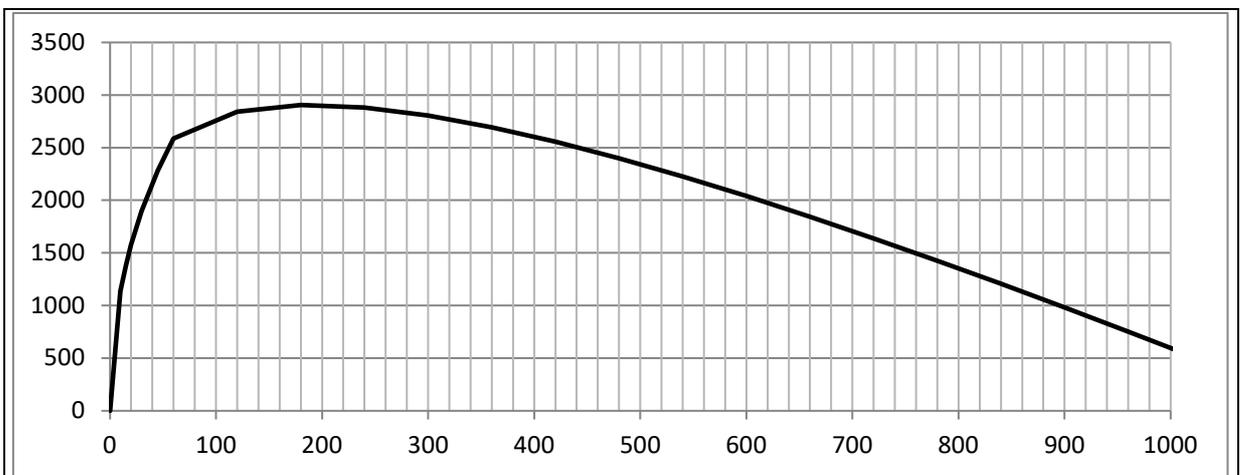


Figura 27 – Differenze positive – volume di laminazione

## 10. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI RACCOLTA ACQUE

La planimetria degli scarichi e dei sistemi di raccolta è riportata nel seguente elaborato cartografico:

### Tavola 1 - Planimetria di progetto

Il sistema di raccolta acque è molto semplice e prevede la messa in opera di gronde e pluviali per raggiungere i bacini di laminazione. Come è noto la durata della pioggia di riferimento corrisponde al tempo di corrivazione, che in caso di bacini urbani generalmente è molto ridotto. Il tempo di corrivazione si definisce come il tempo necessario alla particella d'acqua di percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura dove viene eseguito il calcolo della portata seguendo il percorso idraulicamente più lungo. Nei sistemi di drenaggio urbano il tempo di corrivazione  $T_c$  viene generalmente definito come la somma di due contributi: il tempo di ingresso in rete  $T_i$  e il tempo di percorrenza della rete  $T_r$ :  $T_c = T_i + T_r$

Il tempo di ingresso in rete è il tempo che la particella d'acqua piovuta in un generico punto impiega per entrare nel sistema di drenaggio mentre il tempo di rete indica l'intervallo di tempo che la particella ormai entrata in rete impiega per raggiungere la sezione di chiusura, sulla base della velocità che la particella si suppone avere all'interno dell'impiuvio. Per il progetto in questione, vista la dimensione modesta dell'edificio può essere convenzionalmente preso un tempo di corrivazione pari a 10 minuti. Per ottenere l'altezza di pioggia di un evento intenso di 10 minuti con tempo di ritorno di 50 anni si può ricorrere alla formula di Bell rappresentata dalla seguente espressione:

$$h_{dt}/h_{60t} = 0.56 \times d^{0.25} - 0.5$$

Utilizzando l'altezza di pioggia riferita a 10 minuti si ottiene il seguente valore di portata massima in uscita dal bacino impermeabile (piazzale+coperture): **Q = 1865 l/s (tempo di ritorno 50 anni)**. L'altezza di pioggia attesa in 10 minuti è stata calcolata pari a 22.38 mm. Il dimensionamento delle tubazioni a pelo libero è stato eseguito facendo riferimento alla scala di deflusso di moto uniforme per le correnti a pelo libero.

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	38 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

Tale ipotesi di lavoro è sufficientemente attendibile in quanto, per tratti omogenei di condotta, si ha uniformità di portata smaltita, diametro, pendenza del fondo, scabrezza, sempreché, come accade nel caso presente, le condizioni al contorno di valle non siano tali da generare significativi rigurgiti e la portata in ingresso da monte non determini la saturazione dell'imbocco. La formula di moto uniforme impiegata è quella di Chézy:  $V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$

dove:

V= velocità media (m/s)

R = A/P= raggio idraulico (m)

A= area bagnata, ovvero l'area della sezione trasversale della corrente (m<sup>2</sup>)

P= perimetro bagnato (m)

i= pendenza del fondo del canale

$\chi$ = coefficiente di scabrezza

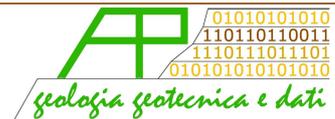
il coefficiente di scabrezza è stato valutato secondo la formula di Gauckler-Strickler ovvero:  $\chi = K_s R^{1/6}$

dove K<sub>s</sub> rappresenta il parametro di scabrezza di Gauckler-Strickler. Si ottiene pertanto:

$$Q = c \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Per il coefficiente di scabrezza c della tubazione in PVC si è utilizzato il valore di 120, valido per tubazioni di PVC, PE o plastica. Per il calcolo delle diverse linee può essere utilizzata la tabella di Figura 28 che rappresenta la portata di una tubazione con riempimento del 80%. Il dimensionamento sarà fatto sulla base della superficie scolante raccolta da ciascuna linea.

Le acque provenienti dalle coperture saranno indirizzate direttamente alla trincee drenante mentre quelle provenienti dai piazzali dovranno transitare sino al volume di riferimento nel sistema di prima pioggia. Il calcolo delle tubazioni sarà eseguito in fase esecutiva.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	39 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

DN		Pendenza										
		5 %	3 %	2,5 %	2 %	1,5 %	1 %	0,8 %	0,6%	0,4%	0,2 %	0,1 %
100	Q	14,68	11,37	10,38	9,28	8,04	6,56	5,87	5,08	4,15	2,94	2,08
	V	2,18	1,69	1,54	1,38	1,19	0,97	0,87	0,75	0,62	0,44	0,31
125	Q	26,61	20,61	18,82	16,83	14,58	11,90	10,64	9,22	7,53	5,32	3,76
	V	2,53	1,96	1,79	1,60	1,38	1,13	1,01	0,88	0,72	0,51	0,36
150	Q	43,27	33,52	30,60	27,37	23,70	19,35	17,31	14,99	12,24	8,65	6,12
	V	2,86	2,21	2,02	1,81	1,56	1,28	1,14	0,99	0,81	0,57	0,40
200	Q	93,19	72,19	65,90	58,94	51,04	41,68	37,28	32,28	26,36	18,64	13,18
	V	3,46	2,68	2,45	2,19	1,89	1,55	1,38	1,20	0,98	0,69	0,49
250	Q	168,97	130,88	119,48	106,87	92,55	75,57	67,59	58,53	47,79	33,79	23,90
	V	4,01	3,11	2,84	2,54	2,20	1,79	1,61	1,39	1,14	0,80	0,57
300	Q	274,76	212,83	194,29	173,78	150,49	122,88	109,91	95,18	77,72	54,95	38,86
	V	4,53	3,51	3,20	2,87	2,48	2,03	1,81	1,57	1,28	0,91	0,64
350	Q	414,46	321,04	293,07	262,13	227,01	185,35	165,78	143,57	117,23	82,89	58,61
	V	5,02	3,89	3,55	3,18	2,75	2,25	2,01	1,74	1,42	1,00	0,71
400	Q	591,74	458,36	418,42	374,25	324,11	264,63	236,70	204,98	167,37	118,35	83,68
	V	5,49	4,25	3,88	3,47	3,01	2,46	2,20	1,90	1,55	1,10	0,78
500	Q	1072,89	831,06	758,65	678,56	587,65	479,81	429,16	371,66	303,46	214,58	151,73
	V	6,37	4,94	4,51	4,03	3,49	2,85	2,55	2,21	1,80	1,27	0,90
600	Q	1744,64	1351,40	1233,65	1103,41	955,58	780,23	697,86	604,36	493,46	348,93	246,73
	V	7,19	5,57	5,09	4,55	3,94	3,22	2,88	2,49	2,03	1,44	1,02

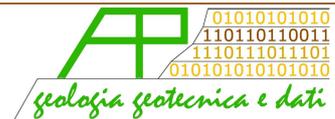
Figura 28 – Portate tubazioni in PVC

## 11. MANUTENZIONE

In riferimento all'art.13 del Regolamento Regionale, la manutenzione è fondamentale per garantire il mantenimento in efficienza delle strutture e degli elementi realizzati per le funzioni di drenaggio delle acque meteoriche; serve ad assicurare alle strutture stesse un periodo di vita più lungo, permettendo di intervenire periodicamente nell'individuazione di eventuali malfunzionamenti che, se trascurati, ne potrebbero pregiudicare irrimediabilmente le funzioni. Si ricorda che i costi di gestione e manutenzione, sia ordinaria che straordinaria, ricadono interamente ed esclusivamente sul proprietario dell'opera.

A seconda delle tipologie di elementi di drenaggio si presentano ovviamente livelli differenti di complessità nella manutenzione. La prima e più semplice distinzione riguarda sicuramente gli **interventi ordinari**, da svolgersi periodicamente seguendo un calendario prestabilito, dagli **interventi straordinari**, necessari al ripristino delle funzioni in caso di malfunzionamento, guasto o successivamente ad eventi meteorici o di altra natura (per esempio terremoti, sversamenti abusivi, incidenti rilevanti) che interessino direttamente o indirettamente le strutture. Si possono inoltre distinguere, per alcune tipologie di soluzioni quali le aree di ritenzione vegetate e le fitodepurazioni, gli **interventi di supporto** necessari all'attecchimento delle essenze vegetate nelle primissime fasi della vita degli impianti, non più necessari quando gli invasi avranno raggiunto la fase in esercizio con il completo equilibrio delle componenti ecologiche presenti.

Per quanto riguarda gli interventi che prevedono la rimozione dei sedimenti occorrerà prevedere adeguate operazioni di pulizia *ad-hoc* in relazione alle caratteristiche fisico-chimiche del sedimento e alla sua potenzialità inquinante. Rispetto a quanto descritto, risulta evidente che a seconda del livello e complessità degli interventi di manutenzione gli stessi potranno essere svolti da personale con formazione adeguata. Tutto ciò dovrà essere realizzato seguendo un programma di manutenzione periodico strutturato secondo un piano nel quale siano individuate le diverse attività da svolgere e i relativi soggetti incaricati. Per quanto

	01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
		Relazione	Luglio 2023	1	41 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900					

concerne il progetto specifico le attività di verifica e controllo possono essere riassunte nei seguenti punti:

- Verifica del corretto afflusso delle acque
- Verifica dell'integrità degli elementi strutturali
- Pulizia scorrimento
- Piccola manutenzione edile

Di seguito è riportata la matrice del piano di manutenzione.

attività	cadenza	Esecutore	Osservazioni
Verifica corretto afflusso alla trincea	Semestrale	Titolare	Verifica visiva
Verifica integrità strutturale trincea	Quinquennale	Titolare	Verifica visiva
Verifica integrità strutturale pozzetti	Quinquennale	Titolare	Verifica visiva
Rimozione detriti grossolani dai pozzetti	Annuale o su segnalazione	Titolare	
Rimozione detriti grossolani da pozzetto trincea	Annuale o su segnalazione	Titolare	
Rimozione detriti fini da pozzetto trincea	Triennale o su segnalazione	Personale specializzato	
Sostituzione elementi ammalorati	Su segnalazione	Personale specializzato	

**Dr. Geol. Corrado Aletti**

Seniga 01.08.2023



 geologia geotecnica e dati	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Luglio 2023	1	42 di 42
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

