

Dott. Marco Sala  
GEOLOGO



**COMUNE DI PINAROLO PO**

Provincia di Pavia

**COSTRUZIONE CAPANNONE IN C.A.P. PER RICOVERO ATTREZZI AGRICOLI  
IN PINAROLO PO – VIA CÀ DEI GIORGI - C.na CAPSONA**

**RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA e IDROLOGICA**

**Committente:**

Sig.  
Remigio FORNI

**Dott. Marco Sala**  
**GEOLOGO**  
**GEOLOGIA APPLICATA E AMBIENTALE - GEOTECNICA**  
Via Della Maiolica n.4 – 27057 Varzi (PV)  
Tel. 340.5417043 – E-mail geol.marco.sala@gmail.com  
PEC marco.sala@pec.epap.it  
Ordine dei Geologi della Lombardia n.1574 AP  
C.F. SLA MRC 83C01 F205S – P.IVA 02488590189

**Redatto da:**



Varzi (PV), aprile 2025

## INDICE

---

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....>>	4
2.0 Invarianza Idraulica.....>>	5
2.1 Metodologia di calcolo.....>>	5
2.1.1 Aree di criticità idraulica.....>>	6
2.1.2 Portata meteorica scaricabile nei ricettori.....>>	9
2.1.3 Elementi di calcolo.....>>	10
2.2 Analisi dell'Invarianza Idraulica per l'intervento in progetto.....>>	12
2.2.1 Stato di fatto e descrizione dell'intervento.....>>	12
2.2.2 Condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche locali.....>>	13
2.2.3 Calcolo del volume di laminazione.....>>	15
2.2.3.1 Procedura dettagliata.....>>	20
2.2.4 Volumi di progetto.....>>	29

## 1.0 Premessa

---

Nella presente relazione, redatta per conto del Sig. Remigio Forni, si illustrano i risultati del calcolo del volume di laminazione necessario per il rispetto del principio dell'Invarianza Idraulica e Idrologica per quanto riguarda lo scarico delle acque meteoriche del progetto per la realizzazione di un nuovo capannone agricolo su un terreno sito presso le esistenti strutture aziendali di proprietà in Comune di Pinarolo Po (PV), via Cà dei Giorgi, Cascina Capsona.

Tale valutazione deriva dal fatto che i processi di urbanizzazione hanno determinato la diminuzione delle superfici filtranti in una determinata area o, all'inverso, all'aumento delle superfici impermeabili. Questo fenomeno è in grado di aumentare il deflusso meteorico che si riversa nei recettori superficiali che spesso non sono più in grado di far defluire correttamente la portata. Per evitare tale prospettiva, da vari Enti, viene regolamentato il vincolo dell'Invarianza Idraulica ed Idrologica.

Con il termine di invarianza idrologica si intende quel processo per il quale sia le portate che i volumi di deflusso meteorico non debbano essere maggiori di quelli preesistenti. In linea del tutto generale, la verifica d'invarianza idraulica e idrologica prevede che la nuova portata generata dalla modifica urbanistica sia minore o uguale a quella preesistente, ovvero inferiore ai valori massimi ammessi da norma o accettati dall'ente gestore il corpo idrico ricettore.

Il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica è stato stabilito all'art. 58 bis della Legge Regionale (Regione Lombardia) n.12 del 11.03.2005 (*Legge per il governo del territorio*) e attuato nel Regolamento Regionale n.7 del 23.11.2017, modificato e integrato dal Regolamento Regionale n.8 del 19 aprile 2019 "*Disposizioni sull'applicazione dei principi di 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 'Legge per il governo del territorio')*" che definisce i criteri e metodi affinché l'invarianza idraulica sia osservata.

## **1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Lo studio è stato condotto in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente:

- L.R. n.12 11.03.2005 *“Legge per il governo del territorio”*;
- L.R. n.4 15.03.2015 *“Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”*;
- R.R. n.7 23.11.2017 *“Regolamento recante i criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)”*;
- R.R. n.8 19.03.2019 *“Disposizioni sull’applicazione dei principi di 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 ‘Legge per il governo del territorio’)”*;
- R.R. n.3 28.03.2025 *“Disposizioni sull’applicazione dei principi dell’invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2007, n.7 (Regolamento Regolamento recante i criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 ‘Legge per il governo del territorio’)”*;
- <http://www.regione.lombardia.it>;
- <http://www.adbpo.it>;
- [www.geoportale.regione.lombardia.it](http://www.geoportale.regione.lombardia.it);
- [www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it).

## 2.0 Invarianza Idraulica

---

### 2.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Come già espresso il concetto di invarianza idraulica presuppone la realizzazione, nelle aree che subiranno una perdita di permeabilità in seguito alle trasformazioni in progetto, di interventi il cui scopo è quello di mantenere invariata la portata superficiale defluente verso l'esterno. Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi idrici in eccesso, rispetto alle condizioni pre-trasformazione, o laminando le portate. In quest'ultimo caso, si opera praticamente realizzando vasche di accumulo temporaneo, la cui funzione è quella di trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici, per rilasciarla quindi gradualmente con una portata prestabilita.

L'art. 5 del R.R. n.7 23.11.2017 (modificato dal R.R. n.8 19.03.2019 e dal R.R. n.3 del 28.03.2025) prescrive che il controllo e la gestione delle acque pluviali debba essere effettuato, ove possibile, per mezzo di opere che siano in grado di garantire l'infiltrazione, l'evapotraspirazione e il riuso delle acque, cioè, di favorire lo smaltimento delle acque meteoriche con sistemi naturali. Lo scarico in un corpo idrico ricettore, naturale o artificiale, deve avvenire solo a valle di invasi di laminazione dimensionati per rispettare le portate massime ammissibili.

Nel caso in cui sia necessario realizzare volumi di laminazione, le acque devono essere smaltite secondo le priorità decrescenti di cui all'art. 5, comma 3:

- a) *mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto;*
- b) *mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale;*
- c) *scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata di cui all'articolo 8;*
- d) *scarico in fognatura, con i limiti di portata di cui all'articolo 8.*

### **2.1.1 Aree di criticità idraulica**

Secondo il comma 3 dell'Art.7 del Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7 della Regione Lombardia, l'intero territorio regionale è stato suddiviso in diverse tipologie di aree in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori. Tali aree sono le seguenti:

- *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;*
- *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;*
- *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.*

Il livello di criticità rappresenta l'elemento di diversificazione dei limiti allo scarico che sono in funzione delle caratteristiche delle aree di formazione e di possibile scarico delle acque meteoriche del loro possibile effetto in considerazione della capacità idraulica dei tratti soggetti ad incremento di portata e dei tratti a valle.

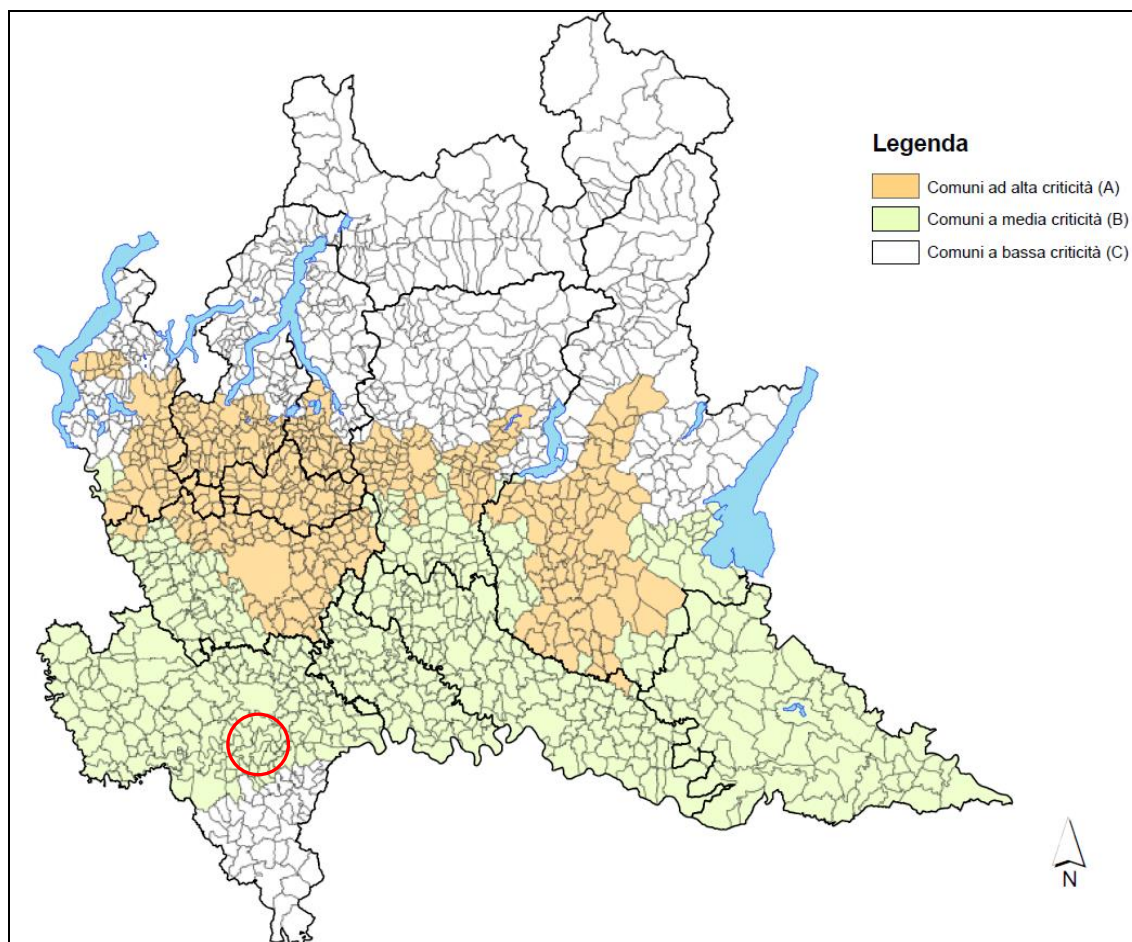
Le figure seguenti riportano il contenuto dell'Allegato B sopracitato (fig. 1) e la classificazione del comune dell'area d'interesse all'interno dell'Allegato C (fig. 2 e fig. 3), riportante l'“*Elenco dei Comuni ricadenti nelle aree ad alta, media e bassa criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del regolamento*”.

**Allegato B - Elenco dei bacini idrografici o delle porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica e cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica**

Bacini idrografici e porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica:

- Arno-Rile-Tenore
- Lambro (escluso il bacino a nord del lago di Pusiano), fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di Melegnano
- Seveso, compreso il canale Redefossi fino alla sua confluenza nella Roggia Vettabbia
- Garbogera
- Pudiga
- Nirone
- Guisa
- Lura
- Bozzente
- Fontanile di Tradate
- Gradaluso
- Olona, fino al nodo idraulico di Conca Fallata
- Lambro meridionale, fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di Locate Triulzi
- Molgora
- Trobbie
- Lesina
- Mella
- Garza
- Morletta
- Morla
- Zerra
- Longherone
- Miola
- Garzetta
- Rio Torto
- Torrente Toscio
- Lago di Annone
- Fossa Spagnola e Borgofrancone
- Cherio, a partire dal lago di Endine
- Boesio
- Gandaloglio
- Dordo
- Quisa
- Cosia

**Figura 1:** Allegato B – Elenco dei bacini idrografici o delle porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica e cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica – Regol. reg. 23/11/2017 – n. 7 della Regione Lombardia.



**Figura 2:** Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica.

Comune	Provincia	Criticità idraulica
PIEVE SAN GIACOMO	CR	B
PIGRA	CO	C
<b>PINAROLO PO</b>	<b>PV</b>	<b>B</b>
PIOLTELLO	MI	A
PISOGNE	BS	C

**Figura 3:** Allegato C - Elenco dei Comuni ricadenti nelle aree ad alta, media e bassa criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del regolamento, illustrante i comuni ricadenti nelle aree ad alta (A), media (B) e bassa (C) criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del Regol. reg. 23/11/2017 (Lombardia).

La zona oggetto di studio ricade in un'area a **criticità idraulica di livello B (a media criticità)**.



### **2.1.2 Portata meteorica scaricabile nei ricettori**

In riferimento ai valori massimi ammissibili allo scarico ( $u_{lim}$ ), disciplinati all'art. 8, comma 1 del R.R. 23.11.2017, n.7 è previsto quanto segue:

1. *Gli scarichi nel ricettore sono limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore stesso e comunque entro i seguenti valori massimi ammissibili ( $u_{lim}$ ):*
  - a) *per le aree A di cui al comma 3 dell'articolo 7: 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;*
  - b) *per le aree B di cui al comma 3 dell'articolo 7: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;*
  - c) *per le aree C di cui al comma 3 dell'articolo 7: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.*
2. *Il gestore del ricettore può imporre limiti più restrittivi di quelli di cui al comma 1, qualora sia limitata la capacità idraulica del ricettore stesso ovvero ai fini della funzionalità del sistema di raccolta e depurazione delle acque reflue. [...]"*.

I valori di portata unitaria sono i limiti superiori ammessi allo scarico e il gestore del ricettore può imporre limiti più restrittivi, “qualora sia limitata la capacità idraulica del ricettore stesso ovvero ai fini della funzionalità del sistema di raccolta e depurazione delle acque reflue.”

**Nel caso specifico, il limite  $u_{lim}$  è fissato in 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile.** Nell'art. 11 del R.R. sono definite le metodologie di calcolo per il rispetto dei limiti allo scarico di cui all'articolo 8.

### **2.1.3 Elementi di calcolo**

Il progetto di invarianza idraulica e idrologica deve rispettare i seguenti elementi:

#### **Tempo di ritorno:**

**$Tr = 50$  anni:** tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani.

**$Tr = 100$  anni:** tempo di ritorno da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere dimensionate e 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”*.

#### **Precipitazioni di progetto:**

Le piogge di progetto devono assumere i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica riportati da ARPA Lombardia per tutte le località del territorio regionale; nel caso si adottino valori diversi devono derivare dall'analisi di dati ufficiali più specifici per la località oggetto dell'intervento, dichiarare l'origine e la validità.

#### **Processo di infiltrazione:**

Nella progettazione degli interventi di invarianza idraulica e idrologica è necessario valutare la soggiacenza della superficie piezometrica rispetto al piano campagna e se la falda è a quota sufficientemente inferiore al piano campagna per poter infiltrare una parte dell'afflusso meteorico oppure no. In ogni caso il progetto di invarianza idraulica e idrologica deve valutare ogni possibilità di incentivare l'infiltrazione delle acque meteoriche afferenti da superfici non suscettibili di inquinamento allo scopo di tendere alla restituzione delle stesse ai naturali processi di infiltrazione preesistenti all'intervento. Il progetto deve conseguentemente valutare la realizzazione di strutture di infiltrazione quali aree verdi di infiltrazione, trincee drenanti, pozzi drenanti, cunette verdi, pavimentazioni permeabili, adeguate a tale obiettivo.

Se l'infiltrazione di una parte dell'afflusso meteorico è possibile o invece è da escludere in funzione:

- A) della qualità delle acque meteoriche in relazione alla loro compatibilità con la tutela qualitativa delle falde;
- B) della stabilità dei versanti o del sottosuolo;
- C) della possibile interferenza con le fondazioni o anche i piani interrati degli edifici esistenti.

L'analisi dell'infiltrabilità dei deflussi superficiali deve basarsi sulle conoscenze e su quanto previsto dagli strumenti di pianificazione regionali e provinciali di settore, nonché nella componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT del comune.

Nel calcolo del processo di infiltrazione devono essere adottati valori cautelativi dei coefficienti di permeabilità che tengano conto della progressiva tendenza all'intasamento dei materassi permeabili e conseguente riduzione dei coefficienti di permeabilità.

#### **Idrogramma netto di piena:**

Il calcolo dell'idrogramma netto di piena deve prevedere:

1. la valutazione delle perdite idrologiche per il calcolo dell'idrogramma netto di piena può prevedere i seguenti valori del coefficiente d'afflusso:
  - 1.1. pari a 1 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, tetti verdi e giardini pensili sovrapposti a solette comunque costituite e pavimentazioni continue quali strade, vialetti, parcheggi;
  - 1.2. pari a 0.7 per le pavimentazioni drenanti o semipermeabili, quali strade, vialetti, parcheggi;
  - 1.3. pari a 0.3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo.

È importante sottolineare che i coefficienti di deflusso così definiti devono essere adottati per la stima della superficie scolante impermeabile interessata dall'intervento, valutando il coefficiente di deflusso medio ponderale rispetto alle superfici delle tre suddette categorie.

## **2.2 ANALISI DELL'INVARIANZA IDRAULICA PER L'INTERVENTO IN PROGETTO**

### **2.2.1 Stato di fatto e descrizione dell'intervento**

L'area in esame è situata nella estrema porzione nord-orientale del territorio comunale di Pinarolo (fig. 1) in un ambito prettamente caratterizzato da attività agricole solo localmente interessato da insediamenti di carattere rurale.



**Figura 1:** Foto satellitare con ubicazione area in esame (Google Earth).

Il sedime è catastalmente individuato dal Mappale n.251 del Foglio n.2 del Comune di Pinarolo Po. In corrispondenza dell'area insistono le esistenti strutture di proprietà.

Il progetto prevede la realizzazione, nella porzione di sedime posta a Nord/Nord-Est rispetto agli esistenti fabbricati, di un nuovo capannone agricolo in c.a.p. con pianta rettangolare con dimensioni planimetriche di mq 40.0 x 20.0 circa ed elevazione analoga agli esistenti fabbricati di analoga tipologia, da adibire a ricovero attrezzi agricoli.

La superficie impermeabilizzata totale dell'intervento è così suddivisa:

- nuove superfici scolanti da coperture: **800.0 m<sup>2</sup>**
- nuovi parcheggi, spazi di manovra e accesso: **0.0 m<sup>2</sup>**

La superficie permeabile totale dell'intervento è così suddivisa:

- aree verdi, pavimentazioni drenanti: **0.0 m<sup>2</sup>**

Alle superfici impermeabili (tetti, strade e piazzali) si applica il coefficiente d'afflusso come previsto nel Regolamento Regionale. Le aree verdi non sono connesse alla rete di collettamento delle acque meteoriche e pertanto non sono soggette all'applicazione del regolamento come indicato dall'art. 3, comma 7bis, lettera c) del Regolamento Regionale 7/2017 così come modificato dal Regolamento Regionale 8/2019, che riporta come *"Non sono soggetti all'applicazione del presente regolamento, in particolare [...] gli interventi relativi alla realizzazione di aree verdi di qualsiasi estensione, se non sovrapposte a nuove solette comunque costituite e se prive di sistemi di raccolta e convogliamento delle acque, anche se facenti parte di un intervento di cui ai commi 2, 2 bis lettera a), e 3"*.

### **2.2.2 Condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche locali**

Le indagini geognostiche realizzate dallo scrivente nel sito dell'intervento, a supporto della progettazione dello stesso, hanno evidenziato la presenza di una sequenza di depositi alluvionali che dalla superficie può essere schematizzata come segue:

Orizzonte stratigrafico	Profondità da / a (m)	Natura dello strato	Descrizione litologica
<b>Livello I</b>	0.00 / -4.00÷-4.60	coesivo	Argille limose sormontate e superficialmente frammiste a materiali di riporto
<b>Livello II</b>	-4.00÷-4.60 / -5.80÷-6.80	coesivo	Alternanze di argille limose e limi argillosi
<b>Livello III</b>	-5.80÷-6.80 / -7.40÷-7.80	incoerente	Sabbie limose ed argillose con ciottoli eterometrici più o meno abbondanti
<b>Livello IV</b>	oltre -7.40÷-7.80	incoerente	Sabbie e sabbie ghiaiose con ciottoli eterometrici e possibile presenza di ghiaietto in matrice fine argilloso-limosa più o meno abbondante

Dal punto di vista idrogeologico locale, l'area in esame risulta caratterizzata dalla presenza di una prima falda freatica sita a profondità di ordine plurimetrico dal piano campagna, come già espresso regolata principalmente dagli afflussi meteorici stagionali e dalle pratiche agricole irrigue nelle campagne circostanti l'abitato di Pinarolo Po. Nella carta di *Inquadramento Idrogeologico* allegata allo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale e redatta dal Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi, luglio 2010, la soggiacenza della falda in corrispondenza dell'area è segnalata ad una quota di circa 59 metri s.l.m., corrispondente a profondità di circa 3 metri dal piano campagna.

Tale livello è suscettibile di variazioni anche significative ed in riferimento ad esso, come indicato nella Relazione Geologica contenuta nello studio a supporto del P.G.T. comunale *“si ritiene logico porre la falda freatica ad una profondità superiore a 5m rispetto al piano campagna; tuttavia, il possibile instaurarsi di locali falde sospese nei livelli porosi sconsiglia, come già menzionato, la realizzazione di scantinati e piani interrati senza opportuni accorgimenti progettuali atti all'impermeabilizzare e alla salvaguardia dei fabbricati”*. A tal proposito durante l'esecuzione delle indagini in sito (settembre 2024) è stata rilevata indirettamente presenza di acqua in corrispondenza di entrambi i fori di prova, a quote di circa -5.0/-6.0m dall'attuale piano campagna.

La falda principale risulta invece presente a profondità di ordine decametrico e risulta ospitata in un acquifero sigillato rispetto a quello soprastante da un livello di *“argille limose grigie estremamente plastiche nella parte superiore e via via più ricche di frazione limoso-sabbiosa verso il basso; si tratta di un orizzonte litologico relativamente continuo e a permeabilità estremamente bassa ( $k < 10^{-8}$  m/s)”*.

### **2.2.3 Calcolo del volume di laminazione**

Il calcolo del volume di laminazione per il dimensionamento è stato eseguito, nel rispetto del Regolamento Regionale, adottando la procedura dettagliata in quanto per l'intervento in progetto, in ragione delle caratteristiche dello stesso, non sono applicabili i requisiti minimi.

Essendo l'intervento in esame ricadente nella classe 2 il calcolo è stato eseguito per il **tempo di ritorno della precipitazione  $T_r$  pari a 50 anni** per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica ed in aggiunta con **tempo di ritorno della precipitazione  $T_r$  pari a 100 anni** utile per la successiva verifica dei franchi di sicurezza delle necessarie opere di laminazione; tali valori benché si ritengano estremamente elevati per le fognature, sono stati fissati nel Regolamento Regionale n. 7 del 23.11.2017 e succ. mod. e int..

#### **2.2.3.1 PROCEDURA DETTAGLIATA**

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

- dello ietogramma di progetto 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 della 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  $Q_e(t)$  in corrispondenza della sezione di ingresso nell'invaso (o nel complesso degli invasi) di laminazione in progetto.

A titolo solo indicativo, si utilizza sovente:

- uno ietogramma di progetto tipo Chicago avente una durata poco superiore al tempo di corrivazione del bacino sotteso dall'invaso;
- la stima del processo di infiltrazione indicato nell'articolo 11, comma 2, lettera c), numeri da 1 a 6 del regolamento, o l'adozione dei coefficienti di deflusso indicati nell'articolo 11, comma 2, lettera d) del regolamento;
- il modello di trasformazione aree – tempi (metodo di corrivazione) del bacino afferente all'invaso di laminazione.

Il dimensionamento dell'invaso (o degli invasi) di laminazione avviene poi applicando le equazioni seguenti al fine di computare l'idrogramma uscente  $Q_u(t)$  dalla bocca (o dall'insieme delle bocche) di scarico dell'invaso (o degli invasi) e quindi verificare il rispetto del valore della massima portata ammissibile nel caso in esame (articolo 8 del regolamento) e del tempo massimo di svuotamento (articolo 11, comma 2, lettera f)).

I fattori che influiscono sull'effetto di laminazione operato da un invasore di tipo statico sono il volume massimo in esso contenibile, la sua geometria e le caratteristiche delle opere di scarico.

Il processo di laminazione nel tempo  $t$  è descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

- legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso:

$$Q_u = Q_u[H(t)]$$



- curva d'invaso, esprime il legame geometrico tra il volume invasato ed il battente idrico  
H nell'invaso:

$$W = W[H(t)]$$

dove  $Q_e(t)$  rappresenta la portata entrante,  $Q_u(t)$  quella complessivamente uscente dall'insieme delle opere di scarico e/o di infiltrazione e/o di riuso,  $W(t)$  il volume invasato,  $H(t)$  il battente idrico nell'invaso.

Nota l'onda di piena entrante  $Q_e(t)$  e note le funzioni riferite alle effettive caratteristiche geometriche ed idrauliche della bocca o delle bocche di scarico ed all'effettiva geometria dell'invaso, l'integrazione del sistema consente di calcolare le tre funzioni incognite  $Q_u(t)$ ,  $H(t)$  e  $W(t)$ .

Il calcolo viene riferito ad un evento di piena entrante  $Q_e(t)$  selezionato come «evento di progetto» e cercando le soluzioni dimensionali affinché la portata uscente  $Q_u(t)$  sia sempre inferiore o al massimo uguale al preassegnato limite massimo  $Q_{u \max}$  indicato nell'articolo 8 del regolamento.

Il sistema composto dalle tre equazioni è integrabile in forma chiusa solo quando le relazioni e l'onda di piena in ingresso all'invaso siano rappresentabili mediante funzioni analitiche. Più frequentemente, la portata in ingresso all'invaso è una funzione non esprimibile analiticamente, come nel caso di un'onda di piena conseguente ad una pioggia reale; oppure il legame volume invasato battente idrico può essere notevolmente complicato a causa della geometria dell'invaso. Infine, anche la legge di efflusso può essere non facilmente rappresentabile, come ad esempio si verifica nel caso in cui si hanno diversi dispositivi in uscita, di caratteristiche differenti e predisposti per entrare in funzione a diverse quote idriche. In tutti questi casi il sistema delle equazioni deve essere integrato numericamente alle differenze finite.

Una volta risolto il sistema di equazioni e quindi calcolate le funzioni incognite  $Q_u(t)$ ,  $H(t)$  e  $W(t)$ , se ne possono individuare i rispettivi valori massimi  $Q_{u \max}$ ,  $H_{\max}$  e  $W_{\max}$ , verificando che essi siano compatibili con i vincoli assegnati.

Tali valori massimi si verificano nella fase di decrescita della piena entrante e in particolare nell'istante in cui la portata in uscita  $Q_u$  diventa pari alla portata entrante  $Q_e$ ; infatti quando tali due portate coincidono, l'equazione di continuità mostra che nello stesso istante vale  $dW/dt = 0$ , che indica la condizione di massimo  $W_{max}$  della funzione  $W(t)$ , con conseguente condizione di massimo anche delle funzioni  $Q_u(t)$  e  $H(t)$  dati i legami biunivoci che legano tali funzioni al volume di invaso  $W$ .

Riportando in un grafico le onde entranti e uscenti da un invaso generico, il massimo volume d'invaso  $W_{max}$  è dato dall'area compresa tra le due curve fino al raggiungimento della portata uscente massima  $Q_{u\ max}$ . Si osserva che l'effetto di laminazione consiste sia nella riduzione della portata al colmo uscente  $Q_{u\ max}$  rispetto alla portata al colmo entrante  $Q_{e\ max}$ , sia nello sfasamento temporale tra i due colmi con un benefico rallentamento complessivo della piena uscente rispetto a quella entrante.

## IETOGRAMMA DI PIOGGIA

Definizione ietogramma di pioggia -		
Durata pioggia di progetto ( $\theta$ )	1,00	ore
Coefficiente di posizione ( $r$ )	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo percentuale	

*Nota: Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017, suggerisce l'utilizzo della seguente tabella:*

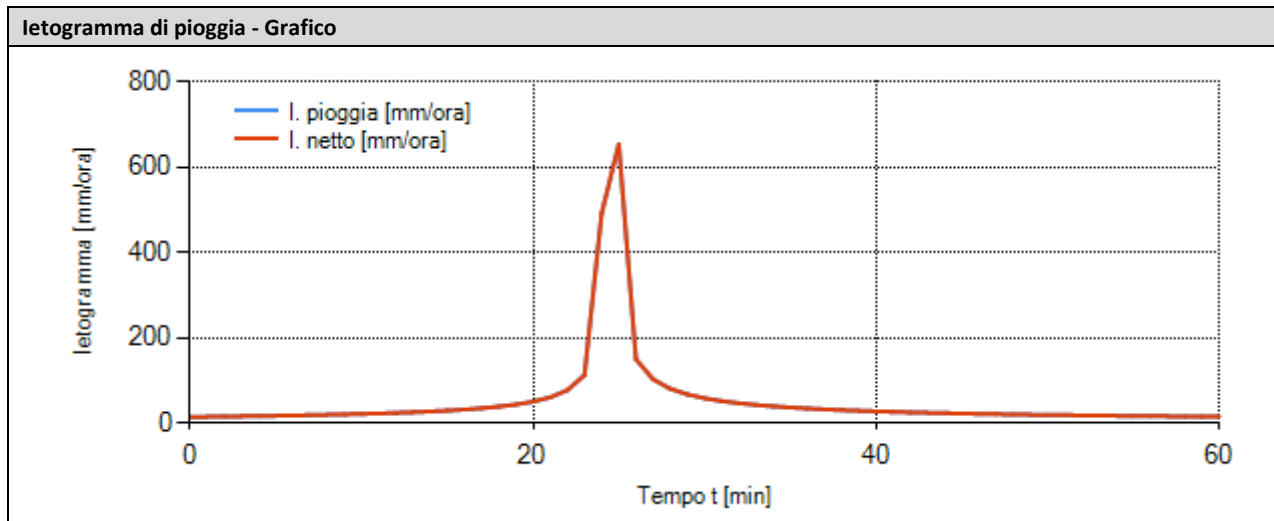
*In cui le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:*

Classe A Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.



Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari		
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	15,65	15,65
1	16,11	16,11
2	16,61	16,61
3	17,15	17,15
4	17,73	17,73
5	18,37	18,37
6	19,06	19,06
7	19,81	19,81
8	20,65	20,65
9	21,57	21,57
10	22,61	22,61
11	23,77	23,77
12	25,09	25,09
13	26,60	26,60
14	28,35	28,35
15	30,41	30,41
16	32,88	32,88
17	35,90	35,90
18	39,70	39,70
19	44,65	44,65
20	51,43	51,43
21	61,44	61,44
22	78,08	78,08
23	113,38	113,38
24	491,79	491,79
25	653,38	653,38
26	150,63	150,63
27	103,74	103,74
28	81,62	81,62
29	68,33	68,33
30	59,32	59,32
31	52,74	52,74
32	47,70	47,70
33	43,68	43,68

34	40,40	40,40
35	37,66	37,66
36	35,33	35,33
37	33,33	33,33
38	31,58	31,58
39	30,03	30,03
40	28,66	28,66
41	27,43	27,43
42	26,32	26,32
43	25,32	25,32
44	24,40	24,40
45	23,56	23,56
46	22,79	22,79
47	22,07	22,07
48	21,41	21,41
49	20,79	20,79
50	20,22	20,22
51	19,68	19,68
52	19,18	19,18
53	18,70	18,70
54	18,26	18,26
55	17,83	17,83
56	17,44	17,44
57	17,06	17,06
58	16,70	16,70
59	16,36	16,36
60	16,03	16,03

Definizione ietogramma di pioggia -		
Durata pioggia di progetto ( $\theta$ )	1,00	ore
Coefficiente di posizione ( $r$ )	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo percentuale	

*Nota: Il Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017, suggerisce l'utilizzo della seguente tabella:*

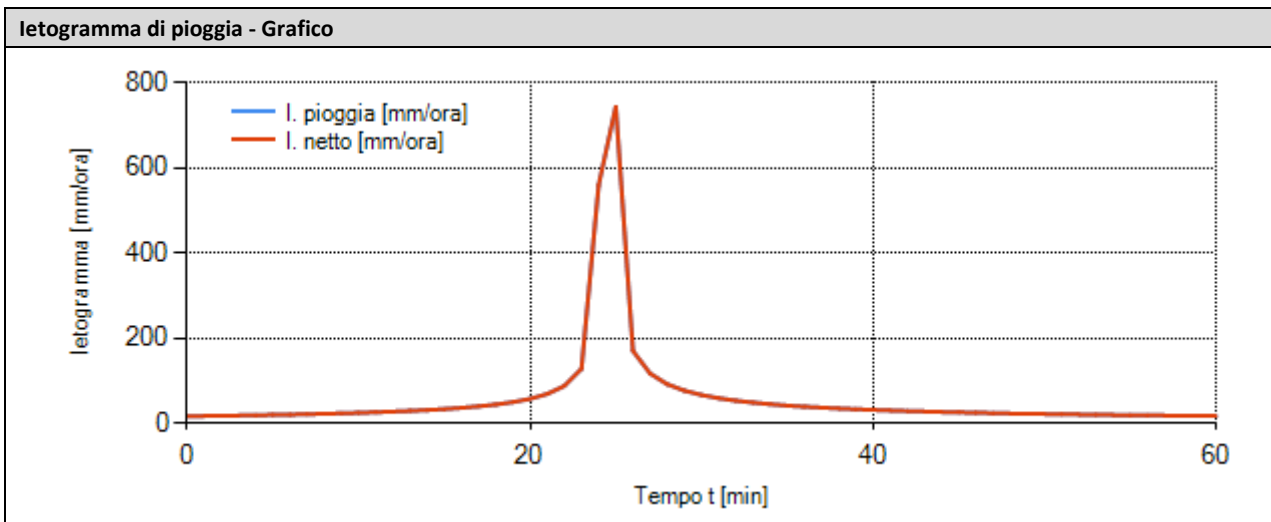
*In cui le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:*

Classe A Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.



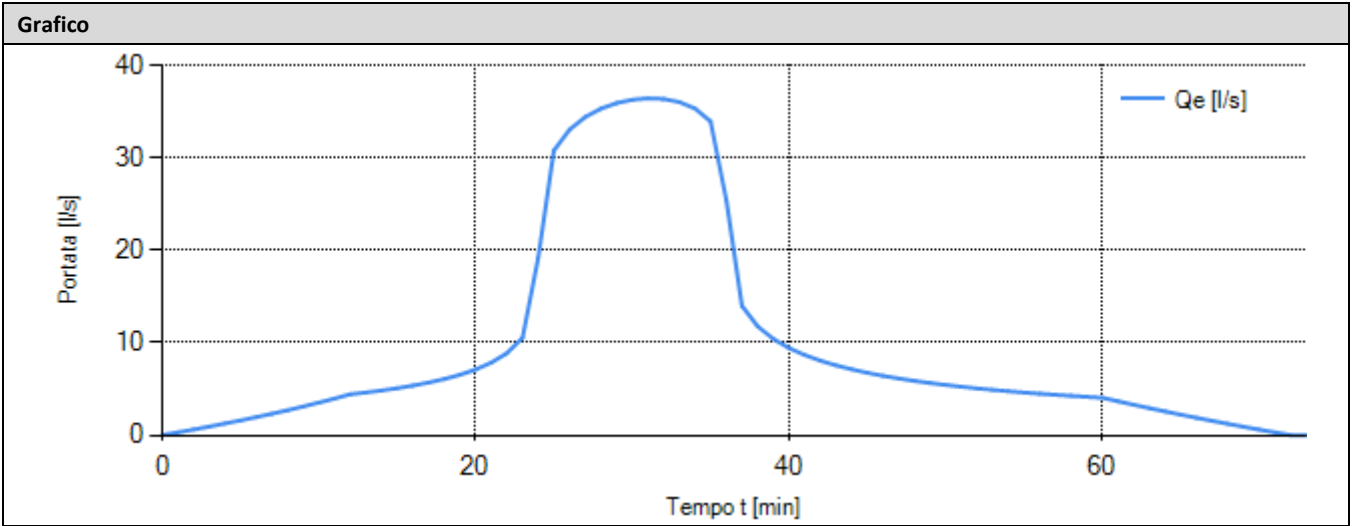
Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari		
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	17,81	17,81
1	18,33	18,33
2	18,90	18,90
3	19,51	19,51
4	20,18	20,18
5	20,90	20,90
6	21,68	21,68
7	22,54	22,54
8	23,49	23,49
9	24,54	24,54
10	25,72	25,72
11	27,04	27,04
12	28,54	28,54
13	30,26	30,26
14	32,25	32,25
15	34,60	34,60
16	37,41	37,41
17	40,85	40,85
18	45,17	45,17
19	50,80	50,80
20	58,52	58,52
21	69,90	69,90
22	88,84	88,84
23	129,00	129,00
24	559,52	559,52
25	743,36	743,36
26	171,38	171,38
27	118,03	118,03
28	92,87	92,87
29	77,74	77,74
30	67,49	67,49
31	60,01	60,01
32	54,27	54,27
33	49,70	49,70

34	45,97	45,97
35	42,85	42,85
36	40,20	40,20
37	37,92	37,92
38	35,93	35,93
39	34,17	34,17
40	32,61	32,61
41	31,21	31,21
42	29,95	29,95
43	28,80	28,80
44	27,76	27,76
45	26,80	26,80
46	25,92	25,92
47	25,11	25,11
48	24,36	24,36
49	23,66	23,66
50	23,00	23,00
51	22,39	22,39
52	21,82	21,82
53	21,28	21,28
54	20,77	20,77
55	20,29	20,29
56	19,84	19,84
57	19,41	19,41
58	19,00	19,00
59	18,61	18,61
60	18,24	18,24



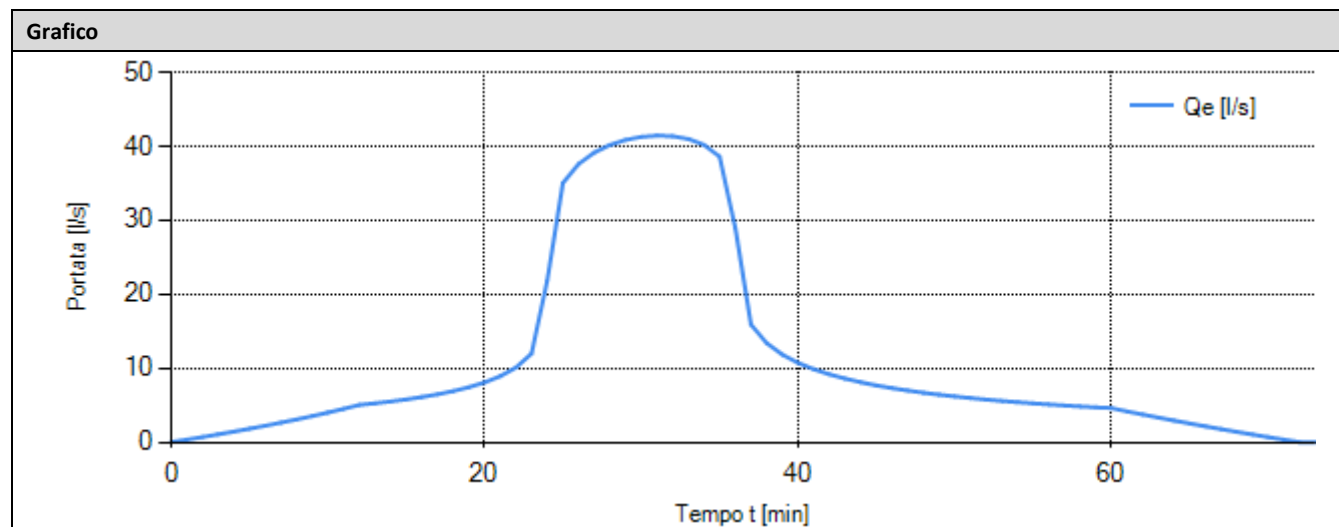
IDROGRAMMA DI PIENA

Area			
Tipo area		Area impermeabile	
Superficie		800,0	m²
Coefficiente di afflusso		$\phi$ 1,00	-
Tempo corrivazione		$t_c$ 12	min



Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Portata $Q_e$ [l/s]	0,00	0,30	0,61	0,92	1,25	1,59	1,95	2,31	2,70	3,10
Tempo [min]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Portata $Q_e$ [l/s]	3,52	3,96	4,42	4,62	4,83	5,08	5,36	5,68	6,07	6,53
Tempo [min]	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Portata $Q_e$ [l/s]	7,10	7,84	8,86	10,53	19,17	30,79	33,06	34,42	35,32	35,92
Tempo [min]	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Portata $Q_e$ [l/s]	36,28	36,43	36,37	36,04	35,34	33,93	25,47	13,98	11,78	10,41
Tempo [min]	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Portata $Q_e$ [l/s]	9,43	8,67	8,06	7,55	7,12	6,75	6,42	6,13	5,87	5,64
Tempo [min]	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Portata $Q_e$ [l/s]	5,43	5,24	5,06	4,90	4,75	4,61	4,48	4,36	4,25	4,14
Tempo [min]	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Portata $Q_e$ [l/s]	4,04	3,66	3,28	2,92	2,56	2,22	1,88	1,55	1,23	0,91
Tempo [min]	70	71	72							
Portata $Q_e$ [l/s]	0,60	0,30	0,00							

Area			
Tipo area	Area impermeabile		
Superficie		800,0	m <sup>2</sup>
Coefficiente di afflusso	$\phi$	1,00	-
Tempo corrivazione	$t_c$	12	min



Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Portata $Q_e$ [l/s]	0,00	0,34	0,69	1,05	1,43	1,81	2,21	2,63	3,07	3,52
Tempo [min]	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Portata $Q_e$ [l/s]	4,00	4,50	5,03	5,25	5,50	5,78	6,10	6,47	6,90	7,43
Tempo [min]	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Portata $Q_e$ [l/s]	8,07	8,92	10,09	11,98	21,82	35,03	37,61	39,16	40,18	40,87
Tempo [min]	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Portata $Q_e$ [l/s]	41,28	41,45	41,37	41,00	40,21	38,61	28,98	15,91	13,40	11,85
Tempo [min]	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Portata $Q_e$ [l/s]	10,73	9,87	9,17	8,59	8,10	7,68	7,30	6,98	6,68	6,42
Tempo [min]	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Portata $Q_e$ [l/s]	6,18	5,96	5,76	5,58	5,41	5,25	5,10	4,96	4,84	4,72
Tempo [min]	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Portata $Q_e$ [l/s]	4,60	4,16	3,74	3,32	2,92	2,52	2,14	1,76	1,39	1,04
Tempo [min]	70	71	72							
Portata $Q_e$ [l/s]	0,68	0,34	0,00							

**2.2.4 Volumi di progetto****PROCEDURA DETTAGLIATA - Tempo di ritorno 50 anni**

Superfici impermeabilizzate [m <sup>2</sup> ]	Durata critica [h]	Volume di laminazione totale W <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> ]
Superfici coperte 800.0 ( $\phi = 1$ )	1.00	36.06

**PROCEDURA DETTAGLIATA - Tempo di ritorno 100 anni**

Superfici impermeabilizzate [m <sup>2</sup> ]	Durata critica [h]	Volume di laminazione totale W <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> ]
Superfici coperte 800.0 ( $\phi = 1$ )	1.00	41.85

In considerazione dell'applicazione della procedura dettagliata, per il progetto dei sistemi di smaltimento/laminazione occorre pertanto adottare il maggiore tra i volumi precedentemente calcolati di 36.06 m<sup>3</sup> (per Tr= 50 anni) e di 41.85 m<sup>3</sup> (per Tr= 100 anni) e quello ottenuto dall'applicazione dei requisiti minimi, di 40.00 m<sup>3</sup>.

Per la laminazione di tale volume di acqua è prevista la realizzazione di una vasca in terra di adeguate dimensioni, per il dimensionamento del franco di sicurezza della quale occorrerà considerare un volume pari a 41.85 m<sup>3</sup>.

Varzi (PV), aprile 2025



Dott. Geol. Marco SALA