


**PROCEDURA ABILITATIVA SEMPLIFICATA - P.A.S.**  
(art. 8, Allegato B) D.L.gs. 25 novembre 2024, n° 190

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 1.310,40 kWp A TERRA E RELATIVE  
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA,  
LOCALIZZATO NEL COMUNE DI MAGNAGO (MI)  
IN VIA FILZI**

Oggetto	PROGETTO DEFINITIVO	R14
Titolo	RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA	
		Cod.elab.

Data	Rev.	Descrizione	Eseguito	Verificato	Approvato
Gennaio 2026	00	Emissione per integrazioni	Giuseppe Esposito	Giuseppe Esposito	Giuseppe Esposito

<p>Progettazione:</p> <p><b>ingESP</b> engineer</p> <p><b>Studio Tecnico ing. Esposito</b></p> <p>Viale Kennedy, 11 - 81040 Curti (CE) e-mail: <a href="mailto:ing.esposito.giuseppe@gmail.com">ing.esposito.giuseppe@gmail.com</a> Tel. 0823 1875114 - Cell. 3939354887 Responsabile di progetto: Ing. Giuseppe Esposito <a href="http://www.ingesp.it">www.ingesp.it</a></p>		<p>GRUPPO di PROGETTAZIONE</p> <p>Ing. Giuseppe Esposito Dott. Antonella Pellegrino Ing. Enzo Luca Arcella Ing. Antonio Cotena Ing. Salvatore d'Aiello Ing. Giovanni Scarciglia Ing. Maria Simioli Ing. Mario Luca Piccolo Ing. Michele De Raggi Ing. Marco Palazzo</p>
--	---	---

<p>Richiedente:</p> <p><b>ARGOSOLAR 01 S.R.L.</b> P.IVA 13419250967 Via Podgora, 13 - 20122, Milano ( MI)</p>
---

## Sommario

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....</b>	<b>2</b>
2.1	Individuazione della metodologia di calcolo .....	2
2.2	Pioggia attesa al suolo per l'area in oggetto .....	4
2.3	Coefficienti di deflusso di progetto .....	7
2.4	Applicazione procedura dettagliata stima invarianza idraulica .....	7
2.4.1	Ietogramma di progetto .....	8
2.4.2	Metodologia di calcolo dei processi di infiltrazione .....	9
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>13</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento si pone l'obiettivo di osservare le prescrizioni e le metodologie previste dal R.R. n. 3/2025 della Lombardia ai fini della valutazione dell'invarianza idraulica per il progetto che prevede la realizzazione, nel comune di Magnago, di un impianto fotovoltaico a terra e relative opere di connessione, della potenza di 1.310,40 kWp. L'area destinata alla realizzazione dell'impianto Fotovoltaico (FV) si trova ad Est del comune di Milano.

L'estensione complessiva catastale dell'area nella disponibilità del proponente è di circa 2,5 ha, di cui circa 1,2 ha destinati alla realizzazione delle opere.

I moduli saranno posizionati su apposite strutture di sostegno in carpenteria metallica, installate mediante infissione nel terreno e senza realizzazione di basamenti o fondazioni, mantenendo pertanto inalterate le caratteristiche di permeabilità dell'area.

I moduli che verranno installati saranno disposti su tracker monoassiali.

Nello specifico si prevede l'installazione di:

- 77 tracker da 24 moduli;
- 14 tracker da 12 moduli;

Per la realizzazione del progetto proposto sarà necessario effettuare: la sistemazione dell'area attualmente libera, la posa delle fondazioni delle cabine e la posa dei collegamenti elettrici, l'installazione dei diversi manufatti (strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici per infissione, cabina utente, di consegna e cabina deposito – ufficio, due cabine di campo, recinzione e cancello di ingresso, pali di illuminazione e videosorveglianza).

## 2. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

### 2.1 Individuazione della metodologia di calcolo

L'approccio progettuale per l'*Invarianza Idraulica*, nella Regione Lombardia è indicato dal *"Regolamento Regionale 28 marzo 2025, n.3 "Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica e idrologica"* modifiche al *"Regolamento Regione Lombardia 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)"*, pubblicato sul BURL n. 48, suppl. del 27 Novembre 2017 e dal *"Regolamento Regione Lombardia 19 aprile 2019, n. 8 – "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)"*, pubblicato sul BURL n. 17, suppl. del 24 Aprile 2019.

La Regione Lombardia dispone che debbano essere soggetti alla disciplina sull'invarianza idraulica di cui all'art. 58 bis della L.R. 12/05 anche gli impianti solari che riducono la permeabilità dei suoli.

Secondo quanto previsto dall'Allegato C del R. R. 19 aprile 2019 - n. 8, il Territorio Comunale di San Martino dell'Argine è interno alla Zona di criticità idraulica B, ovvero a media criticità idraulica.

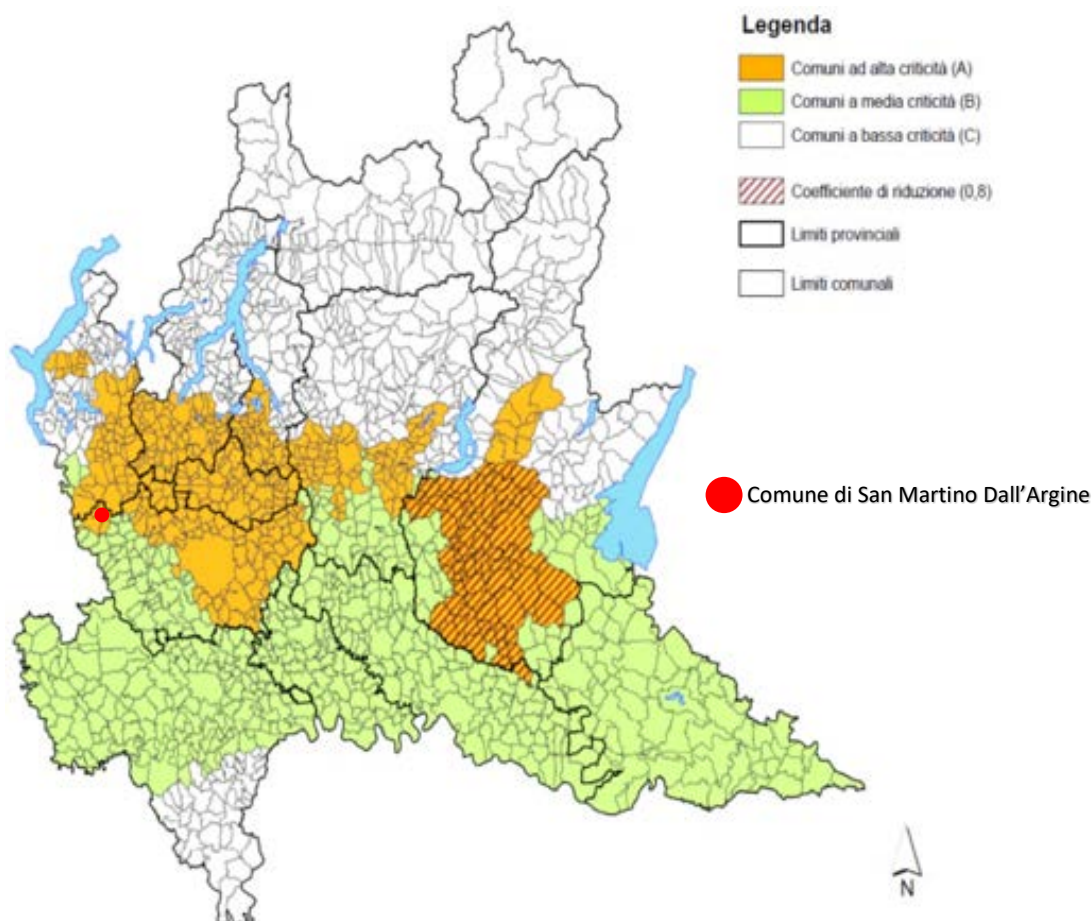


Figura 1. Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
Magnago	MI	A	

Il R.R. n. 7/2017, all'Art. 9, Comma 1 enuncia: *“Ai fini dell’individuazione delle diverse modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, gli interventi di cui all’articolo 3 richiedenti misure di invarianza idraulica e idrologica sono suddivisi nelle classi di cui alla tabella 1, a seconda della superficie interessata dall’intervento, nella quale rientrano anche le superfici occupate dagli interventi finalizzati al rispetto del presente regolamento e del coefficiente di deflusso medio ponderale, calcolato ai sensi dell’articolo 11, comma 2, lettera d), numero 2). Ai fini della definizione della superficie interessata dall’intervento, lo stesso deve essere considerato nella sua unitarietà e non può essere frazionato”.*

La procedura di calcolo da utilizzare per l’invarianza idraulica dipende dalla superficie d’intervento e ovviamente dalla criticità idraulica del Comune in cui si ricade.

Per il caso progettuale l’area totale di intervento è di circa 2,6 ha ricadente in area A, a media criticità, e come suggerisce la tabella seguente la modalità di calcolo da utilizzare per l’invarianza idraulica è la procedura dettagliata prevista dall’art. 11 e dall’Allegato G dello stesso R.R., tenendo presente le modifiche apportate a tale regolamento con il nuovo R.R. 28 Marzo 2025-n. 3 del 2025.

Tabella 1. Indicazioni per il calcolo dell’invarianza idraulica - R.R. n. 7/2017, modificato dal R.R. n.3/2025

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 1.310,40 kWp A TERRA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA,  
LOCALIZZATO NEL COMUNE DI MAGNAGO (MI) IN VIA FILZI - *Relazione di invarianza idraulica***

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

## 2.2 Pioggia attesa al suolo per l'area in oggetto

Per avere una valutazione generale delle grandezze idrauliche in gioco e, in particolare, della quantità di acqua meteorica che potenzialmente ricadrà sulla superficie dell'area di impianto, è stato utilizzato il foglio di calcolo fornito dalla Regione Lombardia ed in particolare dal Sito dell'ARPA Lombardia ([sidro.arpalombardia.it](http://sidro.arpalombardia.it)).

Tramite il foglio di calcolo si ottengono le *linee segnalatrici di possibilità pluviometrica* (LSPP) e la rappresentazione tabellare delle precipitazioni massime orarie attese, in funzione della durata e del tempo di ritorno per una determinata località (o tramite coordinate del punto).

L'art.11 comma 2 del Regolamento Regionale 7/2017, tenendo presente le modifiche che sono state apportate al seguente regolamento con il R.R. 28 Marzo 3/2025 indica la metodologia di calcolo dell'invarianza idraulica ed idrologica per il rispetto dei limiti di scarico in caso di interventi di impermeabilizzazione potenziale media o alta ricadenti negli ambiti territoriali di criticità media o alta (come nel caso in esame). Inoltre fornisce indicazioni in merito alla redazione del progetto di invarianza idraulica ed idrologica, per il quale devono essere assunti i seguenti valori di tempo di ritorno:

- *Tr=50 anni*: da adottare per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica ed idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse;
- *Tr=100 anni*: da adottare per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere come sopra dimensionate o per il dimensionamento e la verifica di eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati. Secondo quanto riportato nell'Allegato G del R.R., la procedura di calcolo dettagliata prevede di computare in dettaglio la trasformazione afflussi – deflussi di laminazione in progetto mediante la costruzione dello ietogramma di progetto tipo Chicago. Si tratta di un ietogramma di progetto ad intensità variabile la cui principale caratteristica consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione è congruente con quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica.

Il *tempo di ritorno* (*Tr*) delle piogge a cui si è fatto riferimento per lo studio dell'invarianza idraulica per il progetto in esame è pari a ***Tr = 50 a***.

La metodologia di calcolo utilizzata da Arpa Lombardia è la "*General Extreme Value (GEV)*" a tre parametri, come indicato nella seguente formula dell'altezza di pioggia "***h<sub>T</sub>***":

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

dove:

- $a_1$ = coefficiente pluviometrico orario;
- $n$ = coefficiente di scala;
- $D$ = durata vento.

Il parametro  **$w_t$**  (*fattore di crescita*) è dato dalla formula:

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

dove:

- $T$ =tempo;
- $\alpha$ = parametro di scala;
- $k$ = parametro di forma;
- $\varepsilon$ = parametro di posizione.

Il portale di Arpa Lombardia permette di ricavare tutti i parametri necessari a risolvere le formule precedenti individuando il sito in oggetto sulla cartografia GIS.

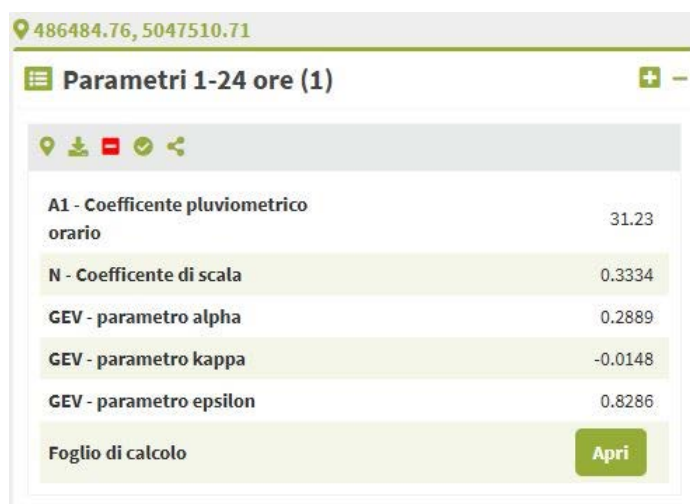


Figura 2. Parametri da utilizzare per la definizione delle LSPP – Fonte: [sidro.arpalombardia.it](http://sidro.arpalombardia.it)

Utilizzando i suddetti parametri, ed applicandoli al Foglio di Calcolo per un intervallo 1-24h si ottengono i valori di precipitazione per fascia oraria di durata dell'evento, a seconda del tempo di ritorno  $Tr$  considerato ( **$Tr = 50 a$**  per il caso studio).

Nella figura seguente sono riportati i dati forniti dal Foglio di calcolo per l'area in oggetto, comprese le linee segnatrici di probabilità pluviometrica (LSPP).

IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 1.310,40 kWp A TERRA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA,  
LOCALIZZATO NEL COMUNE DI MAGNAGO (MI) IN VIA FILZI - **Relazione di invarianza idraulica**



## Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Magnago*

Coordinate: .....

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) **50**

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 31,23

N - Coefficiente di scala 0,3334

GEV - parametro alpha 0,2889

GEV - parametro kappa -0,0148

GEV - parametro epsilon 0,8286

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore] **1**

Precipitazione cumulata [mm] **62,1**

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

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

Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/manual/isp.pdf>

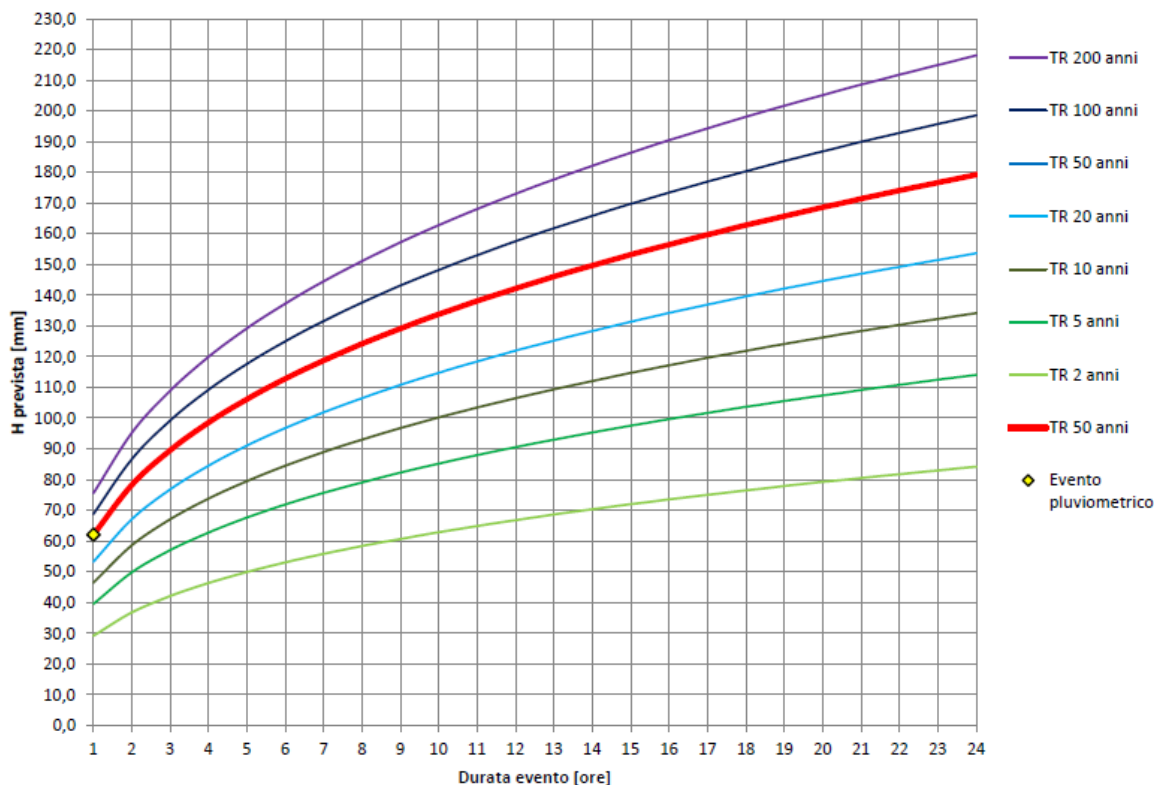
[http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf)

### Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,93477	1,26678	1,48968	1,70583	1,98905	2,20387	2,42012	1,98905497
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	29,2	39,6	46,5	53,3	62,1	68,8	75,6	62,1181868
2	36,8	49,8	58,6	67,1	78,3	86,7	95,2	78,2676278
3	42,1	57,1	67,1	76,8	89,6	99,3	109,0	89,5964901
4	46,3	62,8	73,9	84,6	98,6	109,3	120,0	98,6155887
5	49,9	67,7	79,6	91,1	106,2	117,7	129,3	106,232003
6	53,1	71,9	84,5	96,8	112,9	125,1	137,4	112,88972
7	55,9	75,7	89,0	101,9	118,8	131,7	144,6	118,843233
8	58,4	79,1	93,1	106,6	124,3	137,7	151,2	124,253598
9	60,7	82,3	96,8	110,8	129,2	143,2	157,2	129,229964
10	62,9	85,2	100,2	114,8	133,9	148,3	162,9	133,850122
11	64,9	88,0	103,5	118,5	138,2	153,1	168,1	138,171697
12	66,8	90,6	106,5	122,0	142,2	157,6	173,1	142,238708
13	68,7	93,0	109,4	125,3	146,1	161,9	177,7	146,085625
14	70,4	95,4	112,1	128,4	149,7	165,9	182,2	149,74001
15	72,0	97,6	114,8	131,4	153,2	169,8	186,4	153,224282
16	73,6	99,7	117,3	134,3	156,6	173,5	190,5	156,556958
17	75,1	101,7	119,6	137,0	159,8	177,0	194,4	159,753522
18	76,5	103,7	121,9	139,6	162,8	180,4	198,1	162,827076
19	77,9	105,6	124,2	142,2	165,8	183,7	201,7	165,788813
20	79,3	107,4	126,3	144,6	168,6	186,9	205,2	168,648379
21	80,6	109,2	128,4	147,0	171,4	189,9	208,6	171,414156
22	81,8	110,9	130,4	149,3	174,1	192,9	211,8	174,093474
23	83,0	112,5	132,3	151,5	176,7	195,8	215,0	176,692791
24	84,2	114,1	134,2	153,7	179,2	198,6	218,1	179,217823



### Linee segnatrici di probabilità pluviometrica





## 2.3 Coefficienti di deflusso di progetto

Il R.R. n. 3/2025, all'Art. 9, Comma 3bis indica i coefficienti da attribuire ad una determinata superficie scolante.

Tabella 2. Coefficienti di deflusso - R.R. n. 3/2025

Tipo di superficie	Coefficiente di deflusso ( $\psi$ )
tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture e pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi	1
tetti verdi, i giardini pensili e le aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del presente regolamento e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi, ove ne siano certificate la durabilità e la funzionalità nel tempo, nonché per i pannelli di impianti agri-voltaici o fotovoltaici	0,7
aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le aree verdi non sovrapposte a nuove solette comunque costituite e prive di sistemi di raccolta e convogliamento delle acque, le superfici incolte e quelle di uso agricolo	0,3
(*) A tale categoria di superficie appartengono le aree a verde tra le vele fotovoltaiche ed al di sotto di esse, essendoci ampio spazio aperto tra la superficie dei pannelli ed il piano campagna inerbito	

Per il calcolo del Coefficiente di deflusso in situazione di Progetto è stata eseguita la media ponderata dei coefficienti parziali relativi alle superfici nella situazione a fine lavori come riportata nella Tabella seguente.

Tabella 3. Stima del coefficiente di deflusso ponderale - R.R. n. 3/2025

Tipo di superficie	Area (mq)	Coefficiente di deflusso ( $\psi$ )	% su superficie totale	$\psi_{progetto}$ MEDIA PONDERATA
Impermeabile (cabinati e marciapiedi cabinati)	158,12	1	0,62	0,43
Semipermeabile (viabilità su stabilizzato e superficie pannellata)	8.270,20	0,7	32	
Permeabile (area a prato libera da moduli, cabine, etc.)	17.185,6	0,3	67	

## 2.4 Applicazione procedura dettagliata stima invarianza idraulica

Per il caso in esame il R.R. 3/2025 indica come procedura da utilizzare quella dettagliata, come si evince dalla Tabella 1. In particolare, la procedura dettagliata per il calcolo dei volumi di laminazione, che prevede di 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. Solitamente viene utilizzato 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.

#### 2.4.1 Ietogramma di progetto

Per lo ietogramma di progetto si è fatto riferimento a quello di Chicago che rappresenta il picco di intensità, le precipitazioni antecedenti e seguenti il picco ed i volumi totali.

Il picco può essere posizionato arbitrariamente all'inizio dell'evento, alla fine o in punto intermedio. Lo ietogramma Chicago è rappresentato dalle seguenti equazioni, funzioni del tempo e della posizione del picco:

$$\begin{aligned} i(t) &= n \cdot a \cdot \left( \frac{t_r - t}{k} \right)^{n-1} & t \leq t_r \\ i(t) &= n \cdot a \cdot \left( \frac{t - t_r}{1 - k} \right)^{n-1} & t_r < t \leq t_p \\ i(t) &= 0 & t > t_p \end{aligned}$$

dove:

- $i$  [mm/ora] = intensità di pioggia;
- $a$  [mm/ora] = parametro della linea segnalatrice di pioggia;
- $n$  [-] = coefficiente di scala della linea segnalatrice di pioggia;
- $t$  [ore] = istante temporale;
- $t_r$  [ore] = tempo di picco;
- $t_p$  [ore] = durata della precipitazione;
- $k$  [-] = coefficiente di posizioni.

Il picco dello ietogramma di progetto si verifica in generale all'istante  $tr=k \cdot \theta$ , interno alla durata complessiva dell'evento  $\theta$ , con  $0 \leq k \leq 1$ . La sua posizione all'interno della durata complessiva  $\theta$  dell'evento può essere scelta sulla base di indagini statistiche relative alla zona in esame, oppure come nel nostro caso in mancanza di informazioni si può porre  $k = 0,4$  valore medio che risulta dagli studi in materia riportati in letteratura.

Per la ricostruzione dello ietogramma, si è considerata una durata della pioggia di progetto pari a un'ora.

Dall'elaborazione di tali dati si ottiene pertanto lo ietogramma Chicago riportato di seguito in cui è riportata l'intensità di pioggia.

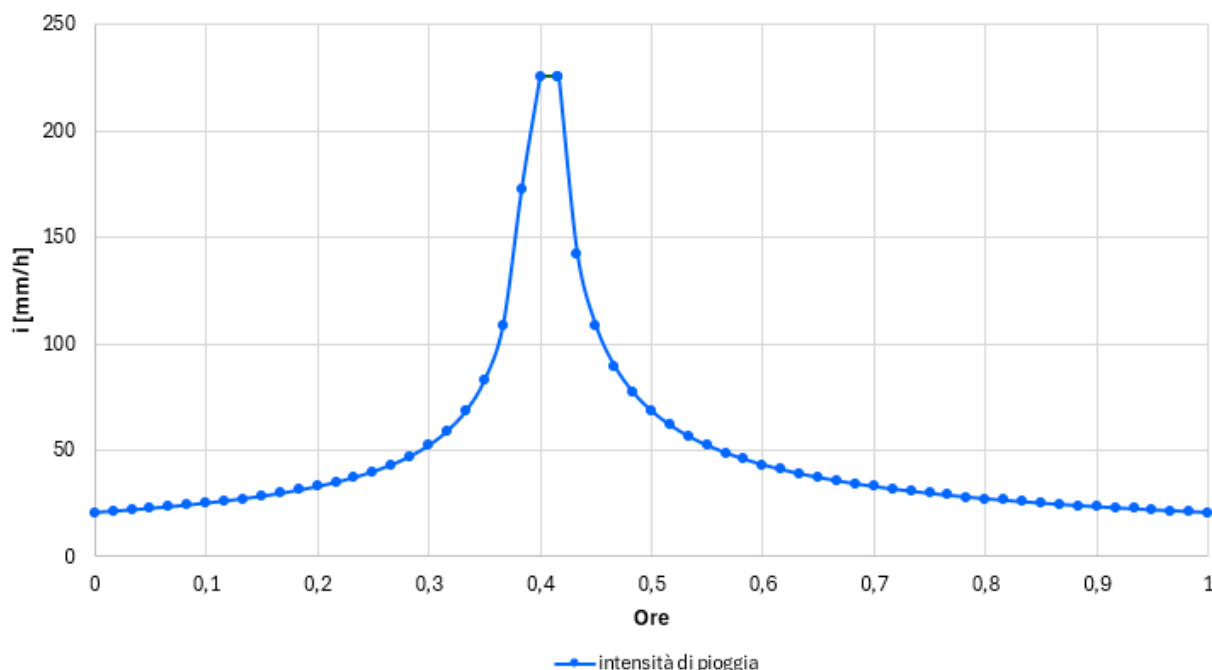


Figura 3. Grafico dell'intensità di pioggia

#### 2.4.2 Metodologia di calcolo dei processi di infiltrazione

Ai fini della valutazione dell'idrogramma di piena ed essendo lo ietogramma di pioggia direttamente incidente sull'area senza rete di drenaggio e, quindi, senza necessità di applicazione del modello afflussi-deflussi è stata effettuata la valutazione applicando il modello di Horton.

L'infiltrazione  $f(t)$  è definita come la portata per unità di superficie che all'istante  $t$  si infila nel sottosuolo ed è misurata, generalmente, in mm/ora in analogia all'intensità di pioggia.

Ferma restando la possibilità di adottare i metodi di calcolo indicati nella letteratura tecnica che si ritengono adeguati, una classe di modelli di infiltrazione particolarmente importante è quella dei cosiddetti modelli di Horton che, in base a numerose risultanze sperimentali, individua una legge decrescente di tipo esponenziale per rappresentare l'andamento nel tempo dell'infiltrazione  $f(t)$ .

Si riporta di seguito la relazione del modello con relativa rappresentazione grafica.

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

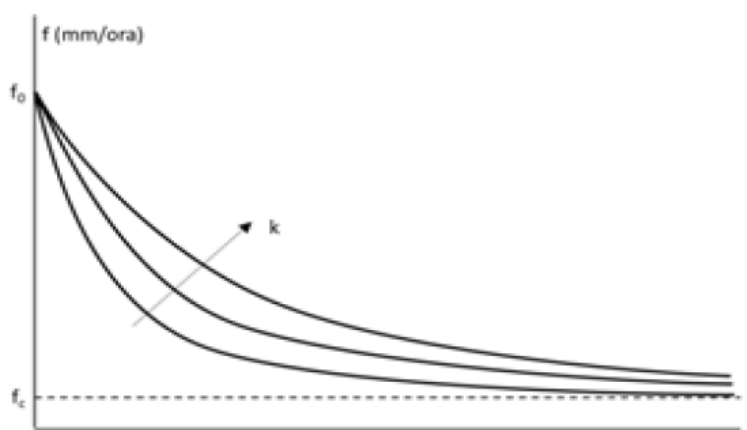


Figura 4. Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla

superficie disperdente

Tale legge esponenziale indica che l'infiltrazione decresce da un valore massimo iniziale  $f_0$ , che è legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico  $f_c$ , che eguaglia la conduttività idraulica a saturazione  $K_s$ , la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda. La rapidità dell'esponenziale, misurata dal parametro  $k$ , con cui l'infiltrazione tende al valore asintotico e anch'essa legata al tipo di suolo. L'andamento esponenziale risponde bene all'osservazione sperimentale che mostra come durante il processo di infiltrazione il suolo sia soggetto ad un progressivo fenomeno di saturazione che limita progressivamente il valore dell'infiltrazione.

È da sottolineare che l'infiltrazione segue tale andamento esponenziale quando la superficie di infiltrazione è alimentata da acqua in misura sovrabbondante rispetto all'infiltrazione stessa; in tal caso essa rappresenta propriamente la capacità di infiltrazione essendo commisurata al valore massimo a cui può arrivare l'infiltrazione istante per istante. Se, invece, l'adacquamento è minore della capacità di infiltrazione, cioè il suolo presenta nell'istante considerato una capacità di infiltrazione maggiore della portata idrica in arrivo sulla superficie, l'infiltrazione non può che assorbire la portata d'acqua disponibile mantenendosi quindi ad un valore minore della capacità di infiltrazione.

Prudenzialmente, quindi, nei calcoli di dimensionamento delle opere di infiltrazione è opportuno riferirsi al valore minimo asintotico  $f_c$  che residua dopo che sia sostanzialmente terminato il processo di saturazione del suolo. Tanto più che l'evento meteorico intenso può avvenire dopo piogge che hanno già contribuito a saturare il suolo.

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton, lo statunitense Soil Conservation Service (SCS) [1956], ora Natural Resources Conservation Service, propone le seguenti quattro classi (A, B, C e D) di suoli con copertura erbosa:

- **Classe A** - Scarsa potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
- **Classe B** - Potenzialità di deflusso 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 deflusso 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 deflusso 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.

Tabella 4. Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS (1956)

Classe suolo	$f_0$ [mm/ora]	$f_c$ [mm/ora]	$k$ [ore <sup>-1</sup> ]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Si riportano di seguito le caratteristiche litologiche dell'area riportate sulla carta geologica indicata sul geo portale regionale in cui si evince che l'area è costituita da ghiaie e sabbie.

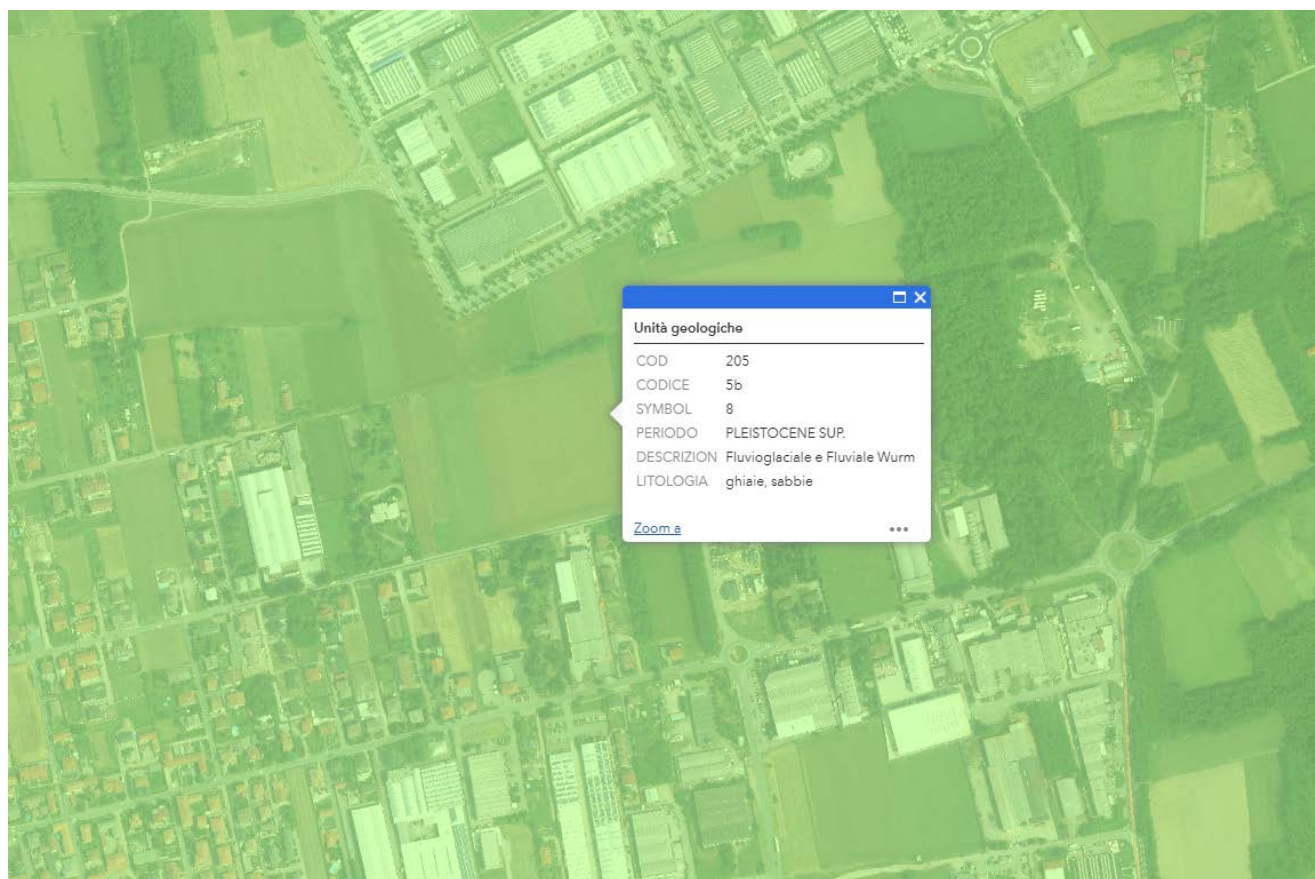


Figura 5. Carta geologica - Geoportale Regionale

Considerando la classificazione SCS, per l'area oggetto di intervento è stato considerato un suolo di tipo A.

Tabella 5. Classificazione terreni SCS (1956)

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso 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.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Applicando il modello di Horton è stato possibile ricavare la curva della capacità di infiltrazione considerando

le caratteristiche dei terreni e, quindi, per il sito oggetto di intervento.

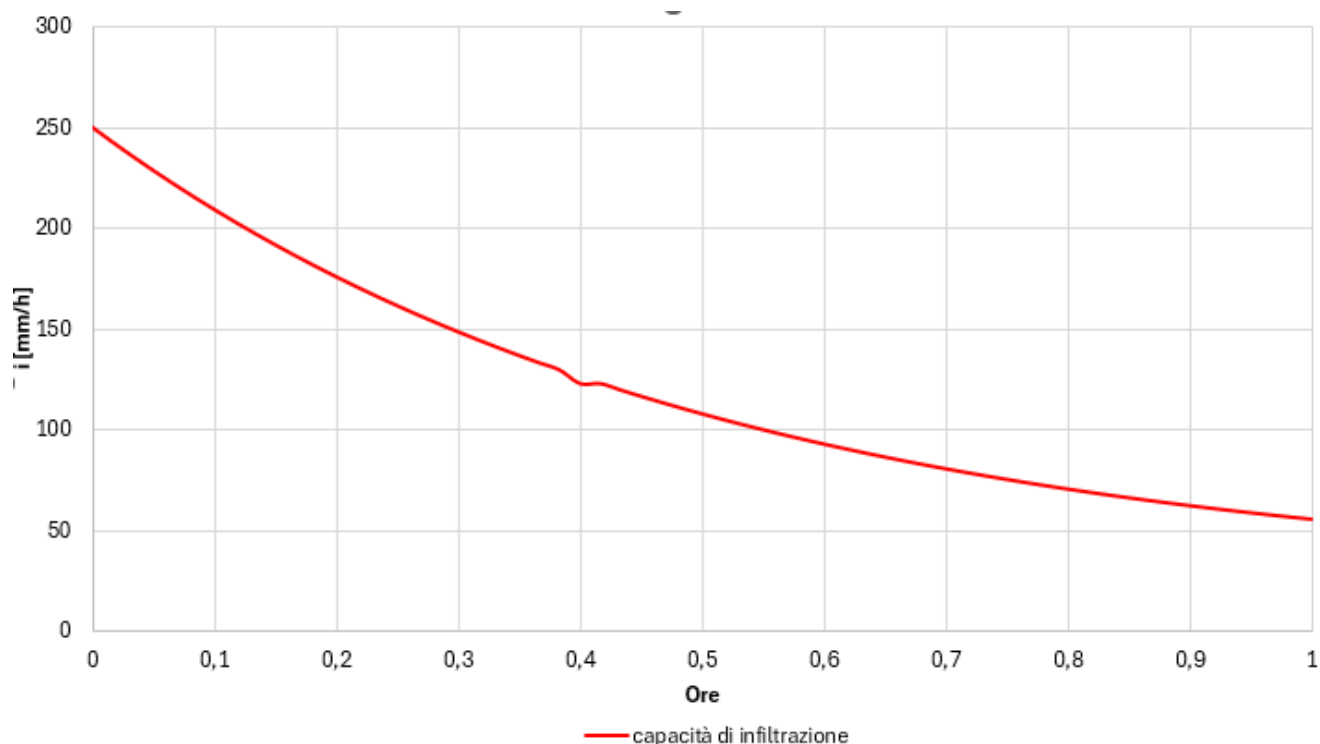


Figura 6. Capacità di infiltrazione dei terreni nell'area oggetto di intervento.

Si è, quindi, proceduto alla verifica confrontando l'intensità di pioggia con la capacità di infiltrazione del terreno ricavata dal modello di Horton. In particolare si è elaborato un grafico di raffronto (in curva denominato come *andamento infiltrazione*) da cui è possibile evincere che la capacità di infiltrazione del terreno riesce in ogni istante a garantire la penetrazione delle acque meteoriche negli strati profondi del terreno, e garantendo altresì il rispetto dell'invarianza idraulica dell'area, non necessitando la realizzazione di alcuna opera al fine di laminare la portata.

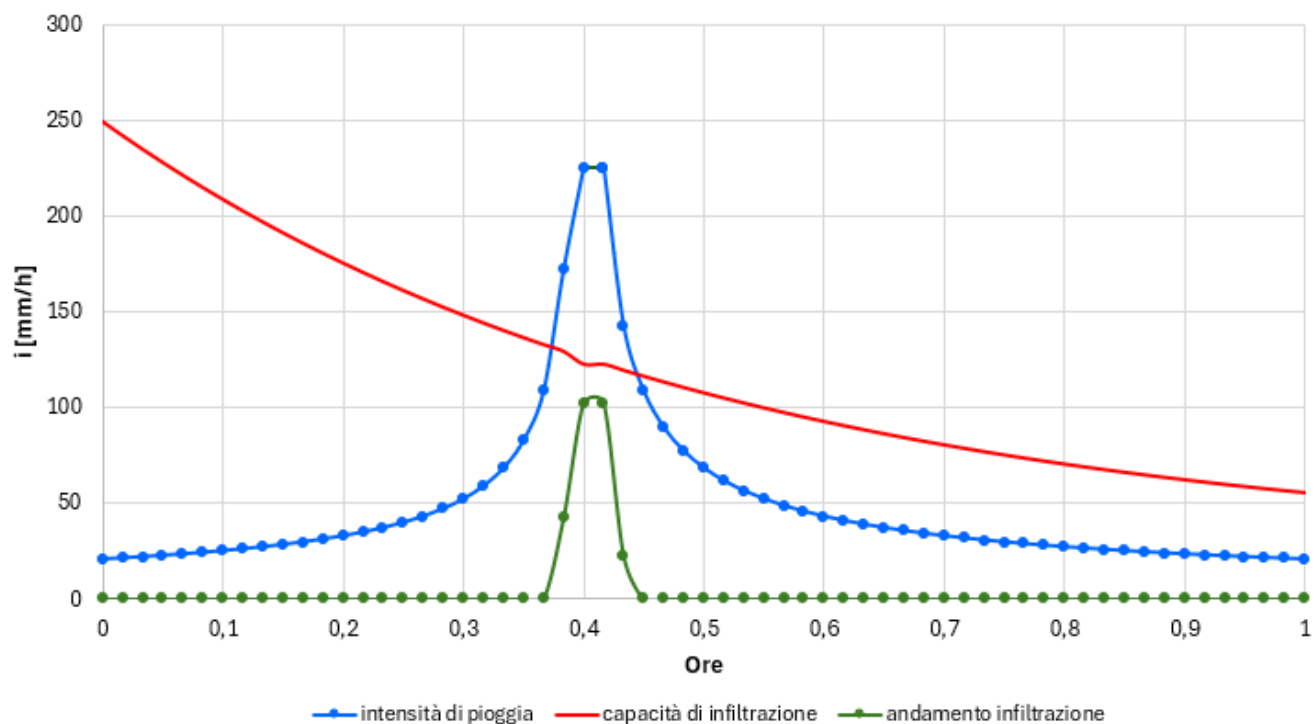


Figura 7. Andamento infiltrazione area oggetto di intervento

### 3. CONCLUSIONI

Dallo studio condotto sull'invarianza idraulica ai sensi del R.R. n. 7/2017, e sue modifiche con il R.R. n.3/2025, si è potuto constatare che l'intervento di progetto risulta compatibile per l'area oggetto di intervento e le superfici impermeabili da realizzare, costituite delle platee di fondazione e dei camminamenti perimetrali ai cabinati (per un totale di 158,12 mq, circa lo 0,62 % di superficie impermeabile) non comporteranno problemi dal punto di vista idraulico all'area oggetto intervento.