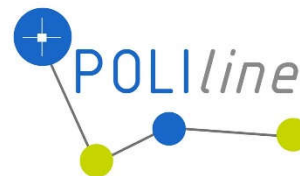




AGENZIA DEL DEMANIO



Agenzia del Demanio

Via Barberini, 38 - 00187 Roma

PROGETTISTA

POLIline Srl

+39 011 0466949

info@poliline.it

Corso Marconi, 20, Torino (TO)

PROGETTO

Ex Aula Bunker

SEDE PROGETTO

Via al Bassone, Como (CO)

Progettista architettonico
Arch. Andrea PALEARI

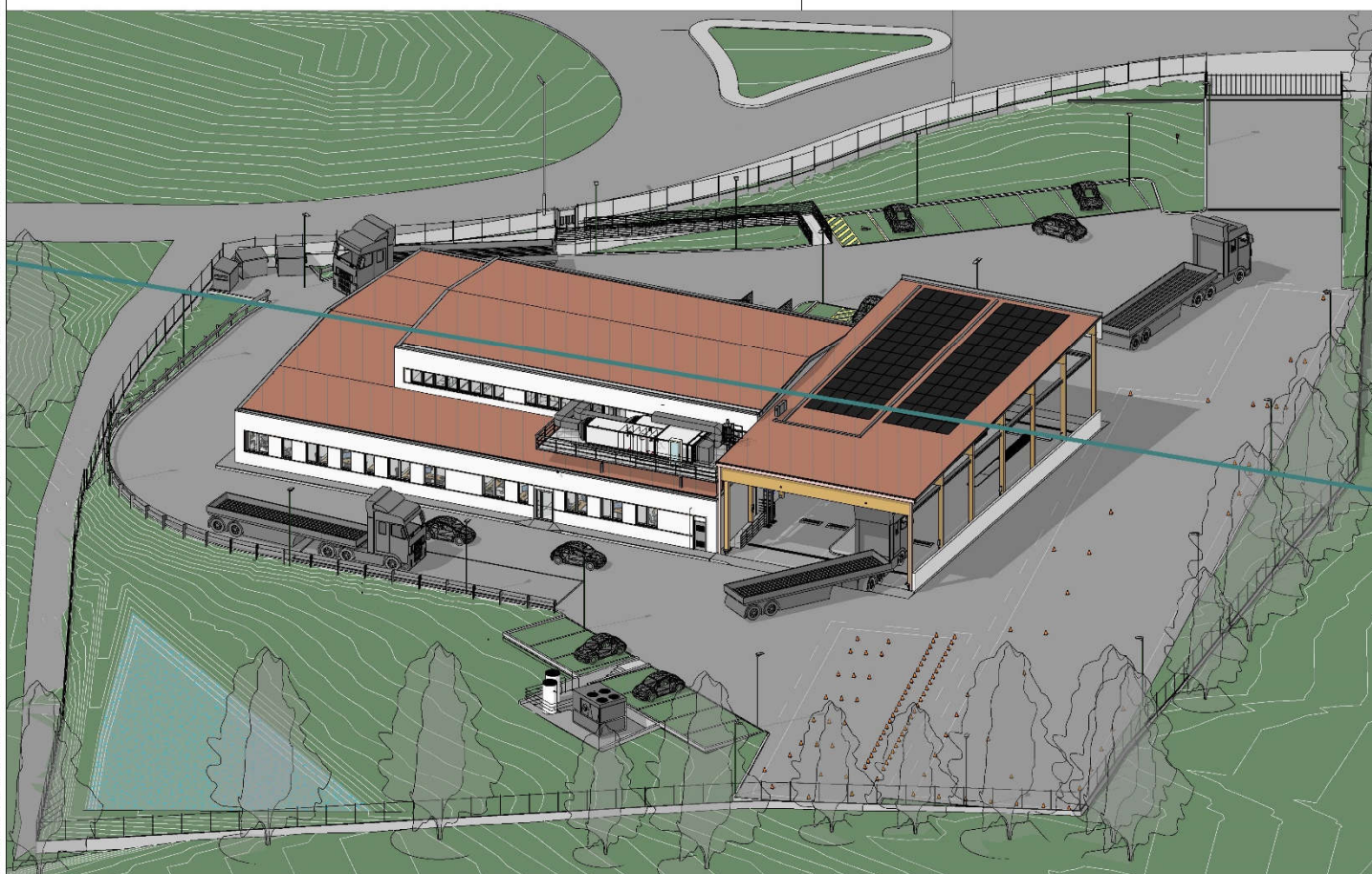
Prevenzione incendi
Arch. Anna TAPPERO

Geologo
Dott. Geol. Marco NOVO

Progettista strutture
Ing. Paolo BARD

Progettista impianti meccanici
Ing. Maurizio LANCINI

Progettista impianti elettrici
Ing. Pierfausto VALZELLI



TITOLO

Progetto Esecutivo

**Relazione di invarianza
idraulica**

NUMERO DISEGNO

**COB0331-ADM-CF0000001-
XX-RP-A-EA0008**

REV

0

04/05/2021

TAVOLA

RA.10

Sommario

Capitolo 1. Premesse	1
Capitolo 2. Stima delle portate e dimensionamento ai fini dell'invarianza	2
2.1. Riferimenti alla normativa vigente.....	2
2.2. Calcolo delle precipitazioni di progetto.....	5
2.3. Dimensionamento della vasca di laminazione.....	5
2.4. Descrizione della soluzione progettuale.....	8
2.5. Comportamento del bacino di laminazione ed infiltrazione.....	9
2.6. Dimensionamento delle componenti del sistema di drenaggio.....	12

Capitolo 1. Premesse

La presente Relazione Tecnica contiene i criteri ed i calcoli del dimensionamento del Progetto di invarianza idraulica ed idrologica, relativo agli interventi di Ristrutturazione edilizia dell'Ex-Aula Bunker sita in Via al Bassone nel Comune di Como (Figura 1).

Per lo smaltimento delle acque meteoriche sono state previste, come da Regolamento Regionale del 23/11/2017, 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), soluzioni volte a ridurre le portate immesse nei recettori. Nel caso in esame il ricettore è la rete delle acque bianche passante nella strada di campagna lungo il lato ovest del lotto di intervento, mentre le opere di invarianza idraulica sono costituite da un bacino di laminazione e infiltrazione a cielo aperto e fondo inerbito.

Il progetto è costituito dai seguenti elaborati:

- Relazione Tecnica (RG.15 – COB0331-ADM-CF0000001-XX-RP-Z-DA0015 – Relazione invarianza idraulica)
- Planimetrie, profili e particolari costruttivi (A.20 – COB0331-ADM-CF0000001-GF-DR-A-DA1010 – SdP_Invarianza idraulica ed idrologica)
- Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema (RG.16 – COB0331-ADM-CF0000001-XX-RP-Z-DA0015 – Piano di manutenzione)
- Asseverazione di conformità del progetto al Regolamento 7/2017

Il compendio demaniale è costituito da un immobile avente una superficie pari a circa 1900 m² che insiste su un'area di circa 8600 m².



Figura 1. Inquadramento area di intervento – immagine estratta da Google Earth – Fuori scala

Il Progetto si rende necessario a seguito della modifica delle superfici esistenti.

Di seguito sono riportati i dati utilizzati come base dei calcoli idraulici, una breve descrizione dei procedimenti e delle espressioni di calcolo adottate con i relativi risultati, ed una descrizione delle opere idrauliche e del loro funzionamento.

Capitolo 2. Stima delle portate e dimensionamento ai fini dell'invarianza

2.1. Riferimenti alla normativa vigente

Regione Lombardia ha emanato il Testo coordinato del regolamento regionale del 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, entrato in vigore il 28 novembre 2018. Il regolamento attuativo persegue l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo, riequilibra progressivamente il regime idrologico e idraulico naturale, al fine della riduzione quantitativa dei deflussi, l'attenuazione del rischio idraulico e la riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori tramite la separazione e gestione locale delle acque meteoriche non suscettibili di inquinamento. Il presente regolamento definisce, in attuazione dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio), criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica, che devono essere anche utilizzati dai regolamenti edilizi comunali per disciplinare le modalità per il conseguimento dei principi stessi, e specifica, altresì, gli interventi ai quali applicare tale disciplina ai sensi dell'articolo 58 bis, comma 2, della stessa L.R. 12/2005.

Il Regolamento definisce altresì, all'articolo 2:

- l'invarianza idraulica: principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione;
- l'invarianza idrologica: principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione.

Il territorio della Regione Lombardia è suddiviso in tre ambiti in cui sono inseriti i comuni, in base alla criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori. Ai sensi dell'art. 7, e come illustrato all'All. B (Figura 2) del R.R. 7/2017, ad ogni comune è associata una criticità:

- A: alta criticità
- B: media criticità
- C: bassa criticità

Nella tabella dell'Allegato C contenente l'elenco di tutti i comuni lombardi e relativa criticità idraulica, il comune di Como presenta un livello di **criticità idraulica A**.

All'art. 8 sono definiti i valori massimi ammissibile della portata meteorica scaricabile nei ricettori, ai fini del contenimento dell'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore stesso, dove per l'area A è pari a 10 l/s per ha. Il valore parametrico del volume minimo di invaso è pari a 800 l/s per ha, come definito dall'art. 12 comma 2.

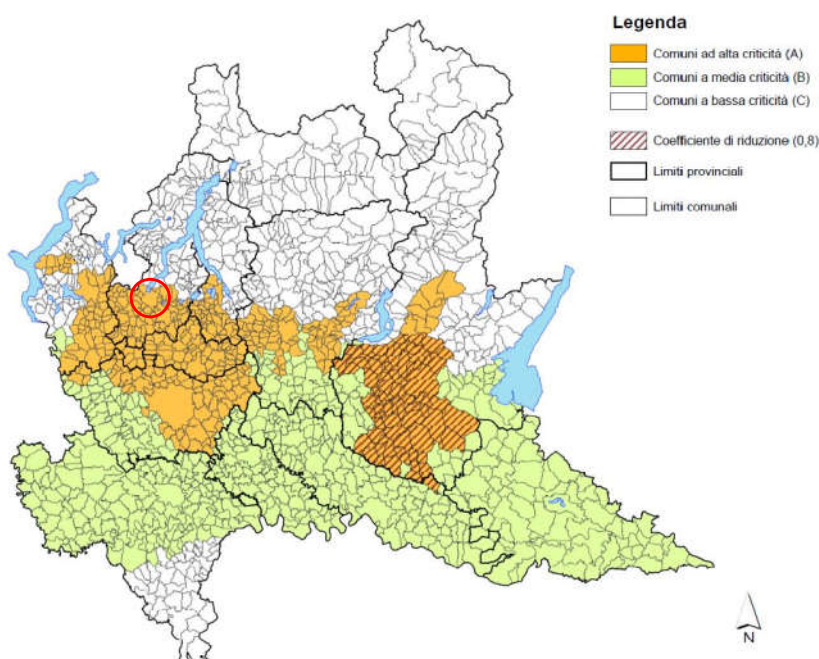


Figura 2. Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica (All. B del R.R. 7/2017)

All'art. 9 sono individuate le diverse modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, come indicato in Tabella 1.

Tabella 1. Modalità di calcolo da applicare per ogni classe di intervento (Art. 9 del R.R. 7/2017)

Tabella 1⁽²⁾

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 $\leq 0,03$ ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa da $> 0,03$ a $\leq 0,1$ ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	$\leq 0,4$	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media da $> 0,03$ a $\leq 0,1$ ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq) da $> 0,1$ a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq) da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	$> 0,4$	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		qualsiasi		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq) > 10 ha (> 100.000 mq)	$\leq 0,4$	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		$> 0,4$		

Le superfici oggetto di trasformazione, illustrate in Figura 3, prevedono la modifica delle stesse da permeabili a impermeabili e viceversa, a seconda degli interventi elencati:

- ampliamento rampa carrabile d'ingresso e percorso carrabile sui lati ovest e sud;
- ampliamento piazzale per la realizzazione delle piste di prova dei motocicli, sul lato sud-est del lotto;
- realizzazione di rampa pedonale (lato nord), cabina elettrica (lato nord-ovest) e piattaforma centrale termica (lato sud);
- realizzazione di posti auto in autobloccanti su superficie del piazzale esistente (lato nord fabbricato) e su area a prato (lato sud);
- realizzazione aree verdi a sostituzione della superficie del piazzale esistente.

Le modifiche al fabbricato e alla superficie rimanente dei piazzali non costituiscono superficie di trasformazione in quanto questa rientra nella superficie impermeabile esistente.

La superficie interessata dall'intervento è pari a **0,2024 ha**, e l'intervento ricade pertanto nella classe di intervento *Impermeabilizzazione potenziale media*, classificazione e modalità di calcolo definiti dall'art. 9 e tabella allegata.

Sulla base della tipologia di intervento (che richiede l'applicazione del suddetto Regolamento), delle dimensioni di intervento e della classe di criticità idraulica, si applica il metodo di calcolo delle "sole piogge".

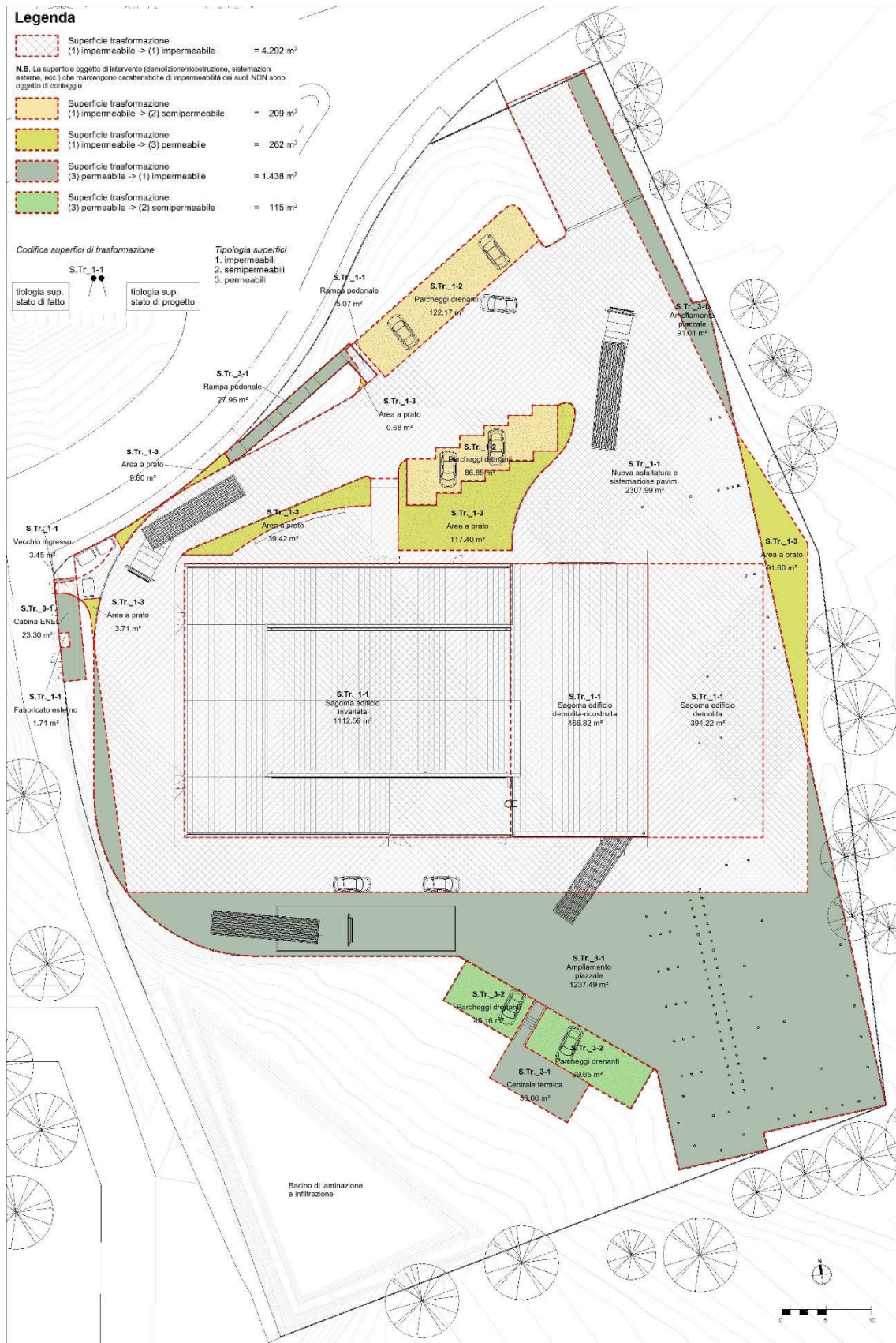


Figura 3. Le aree di trasformazione in relazione all'invarianza idraulica – Fuori scala

2.2. Calcolo delle precipitazioni di progetto

I parametri idrologici sono stati reperiti sul portale Idrologico Geografico di Arpa Lombardia, che sulla base di analisi statistiche ha prodotto la ricostruzione delle Linee segnalatrici della probabilità pluviometrica per l'intero territorio regionale.

Per il punto di intervento e per la durata 1-24 ore i parametri delle curve sono i seguenti:

- a = 32,22
- n = 0,331
- $\alpha = 0,2863$
- k = -0,006899
- $\varepsilon = 0,8326$

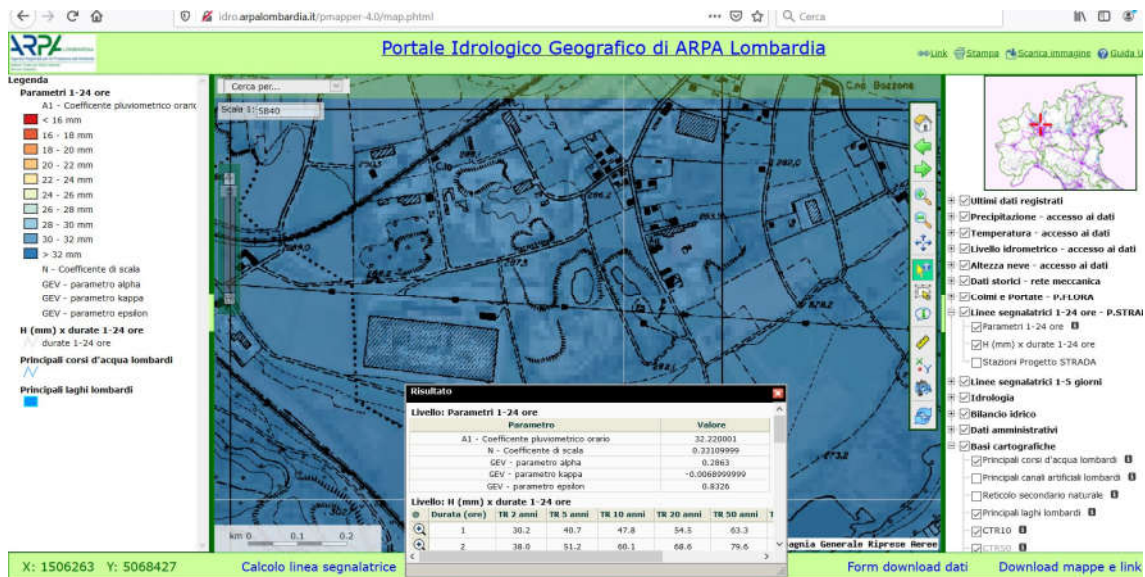


Figura 4. Dati desunti dal Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia

Per il Tempo di Ritorno di 50 anni la precipitazione di progetto di durata oraria è pari a:

$$H_{50} = 63,3 \text{ mm}$$

2.3. Dimensionamento della vasca di laminazione

Inizialmente è stato determinato il coefficiente di deflusso medio ponderale utilizzando la formula

$$\phi_{mp} = \frac{A_1 \cdot \phi_1 + A_2 \cdot \phi_2 + A_3 \cdot \phi_3}{A_{tot}}$$

Tabella 2. Superfici di trasformazione e coefficienti di deflusso

Ed applicando i seguenti valori base:

A1 = superfici impermeabili $\phi = 1$

A2 = superfici semi-permeabili $\phi = 0,7$

A3 = superfici permeabili $\phi = 0,3$

	A1	A2	A3	A _{tot}
	1438	324	262	2024
ϕ	1	0,7	0,30	

Il valore determinato è:

$$\varphi_{mp} = 0,86$$

Successivamente, utilizzando la formula di seguito è stata determinata la portata massima di scarico:

$$Q_{u,lim} = U_{lim} \frac{S}{10.000} \cdot \varphi_{mp}$$

$$Q_{u,lim} = 1,74 \text{ l/s}$$

con

$$U_{lim} = 10 \text{ l/s ha}$$

$$S = 2024 \text{ ha}$$

Per la determinazione della durata critica per l'invaso (D_w), corrispondente al tempo in cui la differenza tra volume in entrata e volume defluito è massima, è stato costruito un foglio di calcolo di durata tra 1 min e 24 ore, con le colonne rappresentate nella sottostante Tabella 3 (che riporta i primi 20 minuti dei 1440 calcolati).

Tabella 3. Durata critica per l'invaso

D (min)	hu (mm)	rd	h1 (mm)	h _{netta} (mm)	h _{netta} - hu	hdc	dw
0			63,3			80,98628	667
1	0,06	0,04		2,1809727	2,120973		
2	0,12	0,14		7,7518228	7,631823		
3	0,18	0,21		11,487182	11,30718		
4	0,24	0,26		14,376717	14,13672		
5	0,3	0,31		16,765592	16,46559		
6	0,36	0,35		18,818833	18,45883		
7	0,42	0,38		20,629349	20,20935		
8	0,48	0,41		22,255089	21,77509		
9	0,54	0,44		23,734841	23,19484		
10	0,6	0,46		25,095956	24,49596		
11	0,66	0,48		26,358503	25,6985		
12	0,72	0,51		27,537684	26,81768		
13	0,78	0,53		28,645311	27,86531		
14	0,84	0,54		29,690763	28,85076		
15	0,9	0,56		30,68162	29,78162		
16	0,96	0,58		31,624105	30,6641		
17	1,02	0,60		32,523392	31,50339		
18	1,08	0,61		33,383836	32,30384		
19	1,14	0,63		34,209142	33,06914		
20	1,2	0,64		35,002484	33,80248		

I valori calcolati sono stati sintetizzati sul diagramma d-h di Figura 4, nel quale sono riportati:

- I volumi in uscita per unità di superficie (hu);
- I volumi di ingresso per unità di superficie depurati dalle perdite idrologiche (h netta);
- La differenza tra le due suddette funzioni.

Lo stesso ha quindi consentito di calcolare un valore Dw corrispondente ad un Δh:

$$Dw = 667 \text{ min}$$

$$\Delta h = 80,98 \text{ mm}$$

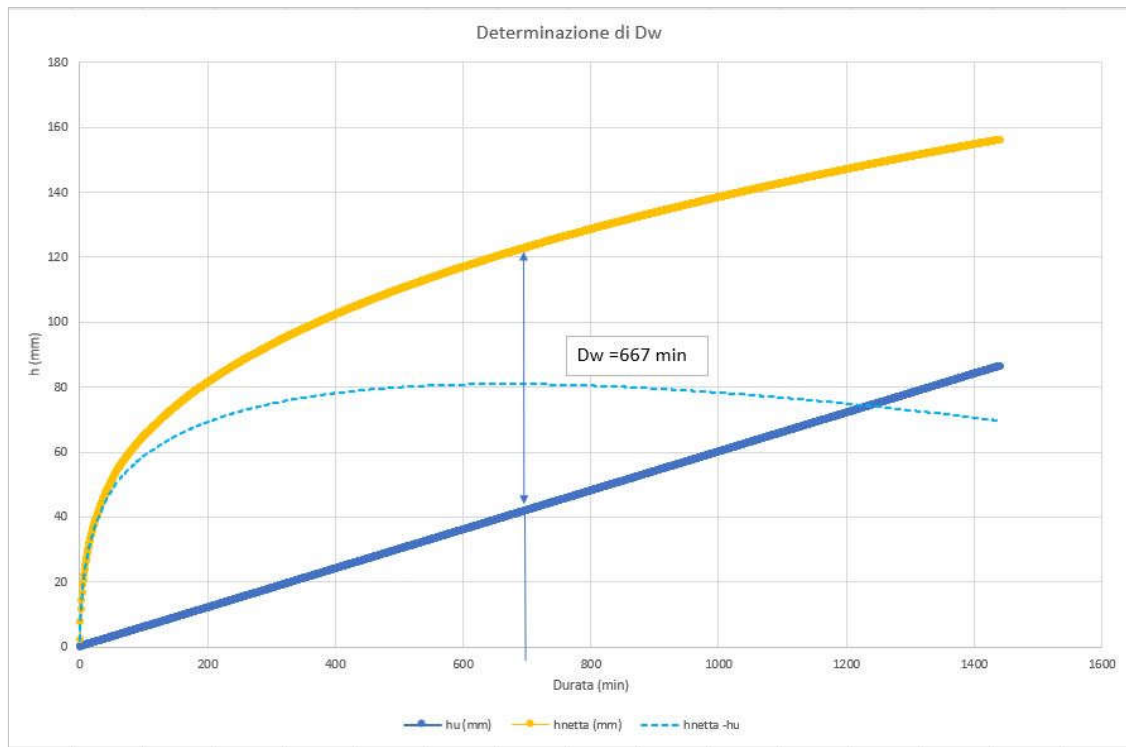


Figura 4. Diagramma di determinazione della durata critica

Con la formula:

$$W_m = \max (h_{netta} - h_u)_d \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot$$

Il volume dell'invaso di laminazione richiesto è pertanto:

$$W_m = 163,92 \text{ m}^3$$

Per confronto, il volume di invaso che rispetta i requisiti minimi, derivante dalla seguente formula:

$$W_0 = W_{rm} \cdot \frac{S}{10.000} \cdot \varphi_{mp}$$

dove

W_{rm} Valori parametrici del volume minimo di invaso (Requisito minimo) – Area A = 800 l/s per ha

S Superficie di intervento = A_{tot}

φ_{mp} coefficiente di deflusso medio ponderale

è pari a

$$W_0 = 139,47 \text{ m}^3$$

Il valore da utilizzare è quello massimo e pertanto con arrotondamento è pari a:

$$165 \text{ m}^3$$

2.4. Descrizione della soluzione progettuale

Con la finalità di ottemperare a quanto prescritto dal Regolamento vigente si è deciso di realizzare un bacino di laminazione ed infiltrazione con fondo inerbito, come illustrato nella Tavola A.20.

Di norma viene realizzato su un fondo permeabile con uno strato superficiale di terreno organico di spessore compreso fra 20 e 30 cm. Il bacino è generalmente asciutto e dopo l'accumulo piovoso si svuota entro poche ore o al massimo in due giorni. La superficie delle pareti e del fondo sono ricoperte da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare la struttura del bacino sia di esercitare un'azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque meteoriche, come nutrienti e metalli disciolti. Inoltre, le radici vegetali possono aumentare la capacità di infiltrazione di un terreno poiché creano nello stesso dei condotti preferenziali in cui l'acqua si infila.

Il bacino sarà posizionato nel lato sud-ovest rispetto al lotto di intervento nel settore più depresso dell'intera area di intervento.

Per un inserimento ottimale che consenta i volumi minimi di scavi/riporti è stato previsto a forma di triangolo rettangolo e limitato sui due cateti sud ed ovest, da arginelli in terra di riporto compattata, indicati dalla lettera A in figura, dell'altezza di 0,80 m; sull'ipotenusa è definito da superficie inclinata di raccordo con il terreno a monte del bacino stesso, indicata dalla lettera B in figura. Con la finalità di incentivare la sola infiltrazione dal fondo del bacino e di contrastare eventuali fenomeni di sifonamento dei contenimenti laterali, verrà previsto un setto di impermeabilizzazione in argilla. Le strutture presentano le dimensioni e le inclinazione dei pendii come illustrato in Figura 6.

La vasca avrà una superficie di circa 275 m² alla quota di 0,30 m dal fondo, in modo da garantire la disponibilità di un volume di 165 m³ ad una quota di invaso di 0,60 m dal fondo (capitolo successivo).

Le acque meteoriche raccolte convergono nel bacino passando prima da una canaletta, lettera C in figura, ovvero un tubo forato avente lo scopo di rallentare e distribuire uniformemente il flusso d'acqua, evitando in questo modo dilavamenti del terreno a causa di un flusso puntuale.

L'acqua raccolta nel bacino si disperderà mediante infiltrazione nel terreno fino al completo svuotamento, in preparazione del successivo evento meteorico.

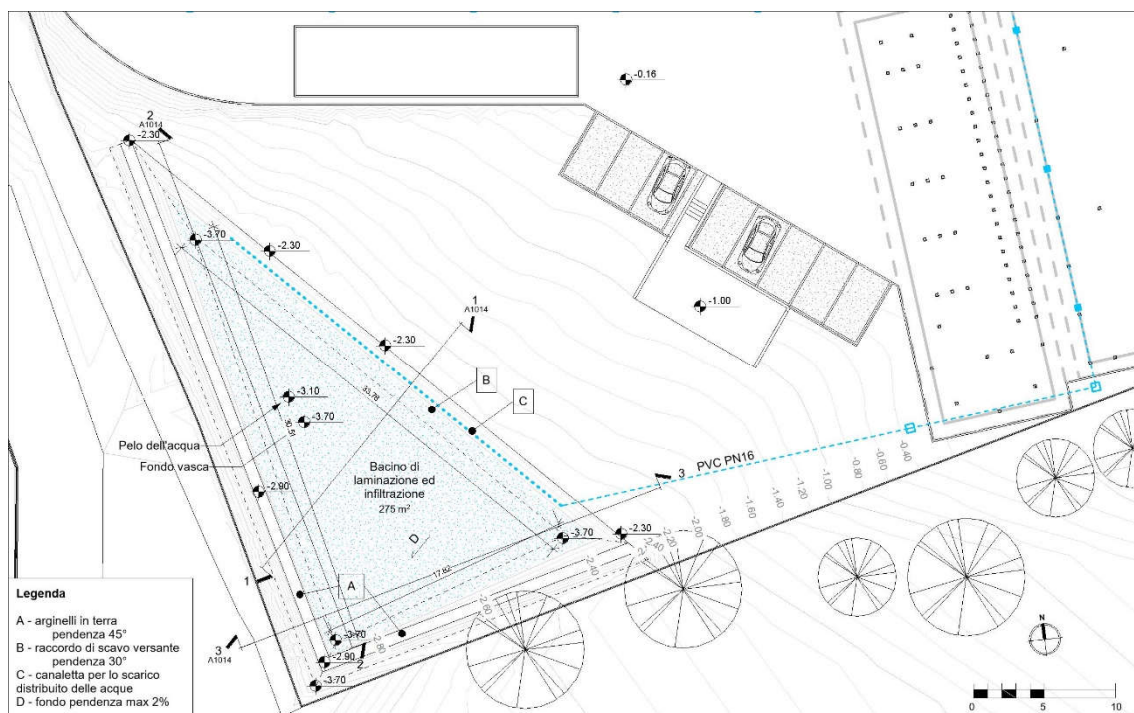


Figura 5. Planimetria raffigurante il bacino di laminazione e infiltrazione – Fuori scala

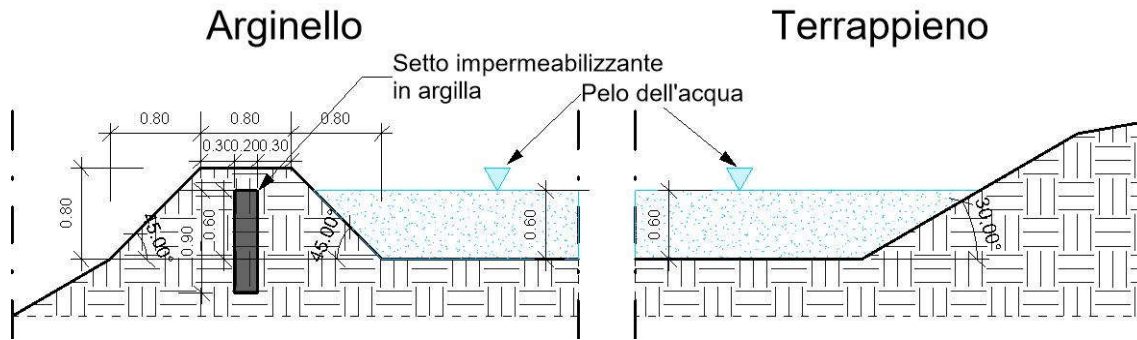


Figura 6. Dettaglio schematico delle strutture del bacino di laminazione e infiltrazione – Fuori scala

2.5. Comportamento del bacino di laminazione ed infiltrazione

Il dimensionamento del sistema di infiltrazione è stato verificato mettendo a sistema le portate in entrata, le portate infiltrate ed i volumi temporaneamente accumulati nel bacino.

Tale analisi è stata prodotta esplicitando la seguente funzione di continuità che rappresenta il bilancio delle portate entranti ed uscenti dal sistema:

$$dW = (Q_e - Q_i) \cdot \Delta_t$$

in cui

dW = volume invasato

Q_e = portata in ingresso

Q_i = portata infiltrata

Δ_t = intervallo di tempo

Per definire le portate di entrata è stato definito il tempo di corrivazione con la formulazione proposta dallo United States Departement of Agriculture e tarata anche per bacini piccoli o molto piccoli

$$t_c = \frac{(l \cdot 3,28)^{0,8} \cdot (S + 1)^{0,7}}{1140 \cdot Y^{0,5}}$$

in cui

t_c = tempo di corrivazione in ore

l = lunghezza del percorso idraulicamente più lungo (m)

S = volume massimo immagazzinabile dal bacino espresso come $\frac{1000}{CN} - 10$

Y = pendenza bacino in percentuale

$$t_c = \frac{(70 \cdot 3,28)^{0,8} \cdot (0 + 1)^{0,7}}{1140 \cdot 0,01^{0,5}} = 0,35 \text{ h} = 21 \text{ min}$$

Per la quantificazione degli afflussi è stato scelto uno ietogramma di progetto rettangolare che considera costanti le precipitazioni durante tutta la durata dell'evento. Considerando i parametri della LSP ed una durata critica pari al tempo di corrivazione, è stata determinata con la seguente formulazione:

$$i = a \cdot d^{n-1}$$

una intensità pari 65 mm/h, di poco superiore quindi alla precipitazione con TR50.

Con la finalità di definire in modo più realistico possibile, il prevedibile comportamento del bacino è stato considerato un modello di infiltrazione di Horton.

La funzione esponenziale scritta nella forma:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

consente infatti di valutare la variazione nel tempo dei fenomeni di infiltrazione che tengono conto della progressiva saturazione dei vuoti e che producono, a partire da un valore di infiltrazione iniziale (f_0), la decrescita fino ad un valore tendente ad un asintoto (f_c).

Sulla base del modello litostratigrafico dell'area (che è rappresentato dalla presenza di uno strato superficiale di sabbie medio grossolane e sabbie ghiaiose, caratterizzate da un coefficiente di permeabilità minimo di $2,5 \times 10^{-5}$ m/s) è stato cautelativamente scelto di assimilare i terreni alla classe B.

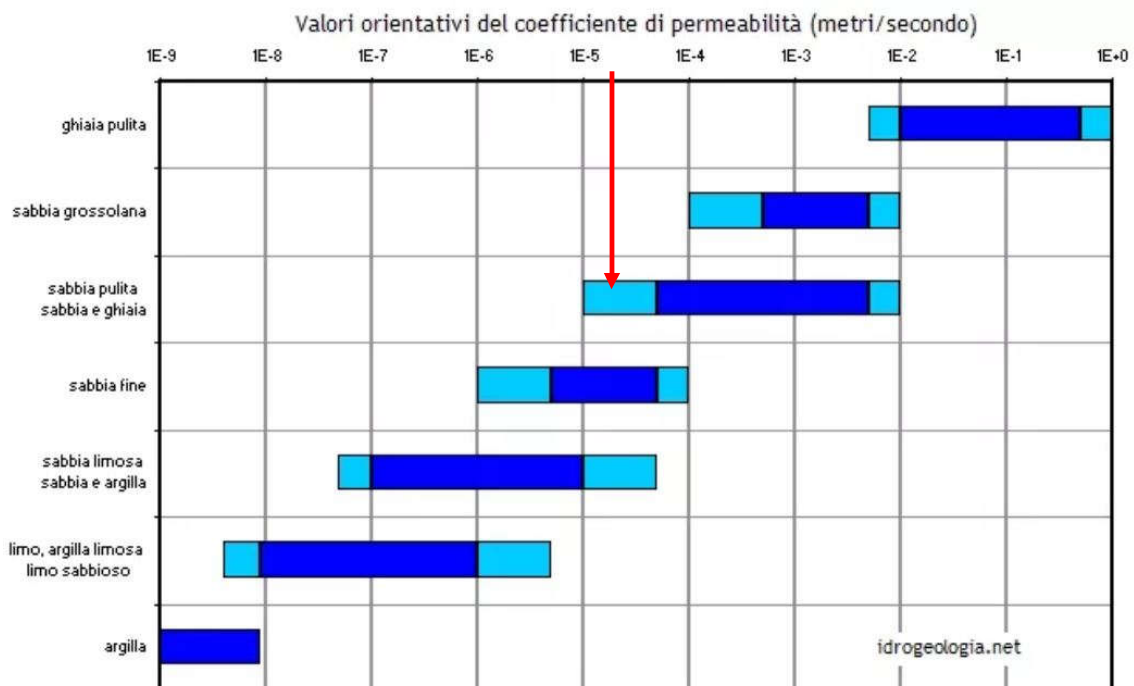


Figura 7. Valori orientativi del coefficiente di permeabilità

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.

Tabella 4. Parametri del modello di infiltrazione di Horton

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

Utilizzando i suddetti parametri la funzione utilizzata ed il relativo grafico sono i seguenti

$$f_t = 12,7 + 187,3 \cdot e^{-2t}$$

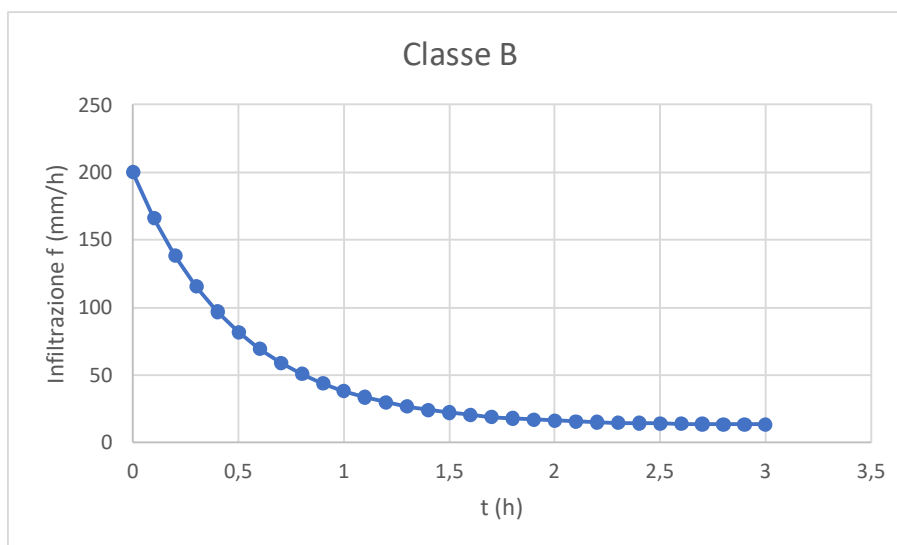


Figura 8. Funzione di infiltrazione utilizzata

Per sintetizzare il comportamento del bacino sono stati diagrammati in Figura 9:

- I volumi costanti in entrata corrispondenti alla portata di 21,9 l/s (V_e)
- I volumi cumulati di infiltrazione che a partire da valori di portata iniziali di circa 16 l/s, raggiungono rapidamente il massimo asintotico di circa 1 l/s (V_i)
- I volumi di laminazione nel bacino (DV)

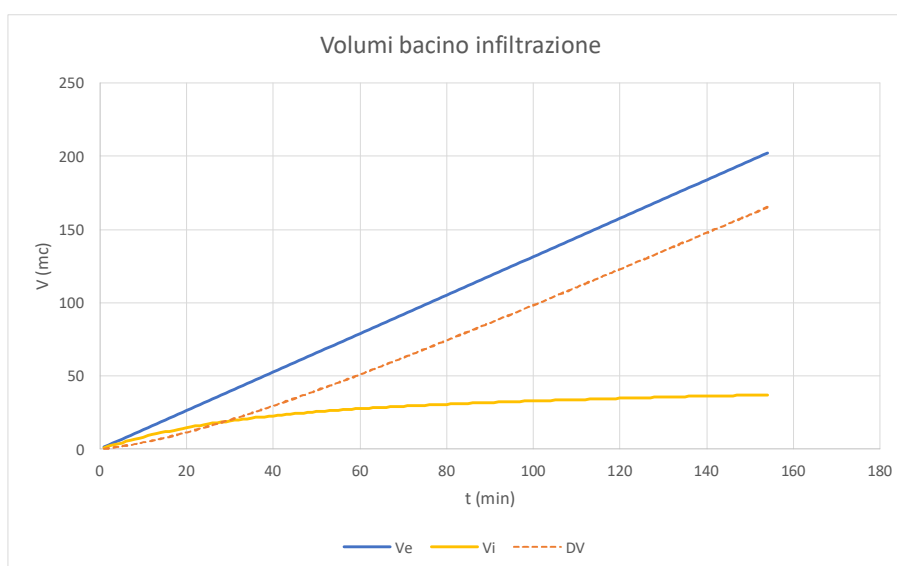


Figura 9. Curve a rappresentazione del comportamento del bacino di infiltrazione

Sulla base di tale modello il bacino è in grado di accogliere 165 m^3 di invaso con una lama d'acqua di 0,60 m, per tempi di alimentazione di intensità pari o superiore a 65 mm/h, fino a 154 minuti (2,5 ore circa).

In corrispondenza al suddetto limite temporale, il franco di sicurezza sulla massima quota di invaso è di 0,20 m, con volumi aggiuntivi di sicurezza di ulteriori circa 60 m^3 .

A conclusione degli apporti, i tempi di svuotamento del bacino di laminazione ed infiltrazione sono dati dal grafico di Figura 10 e pari a:

$$t_s = 43,27 \text{ ore}$$

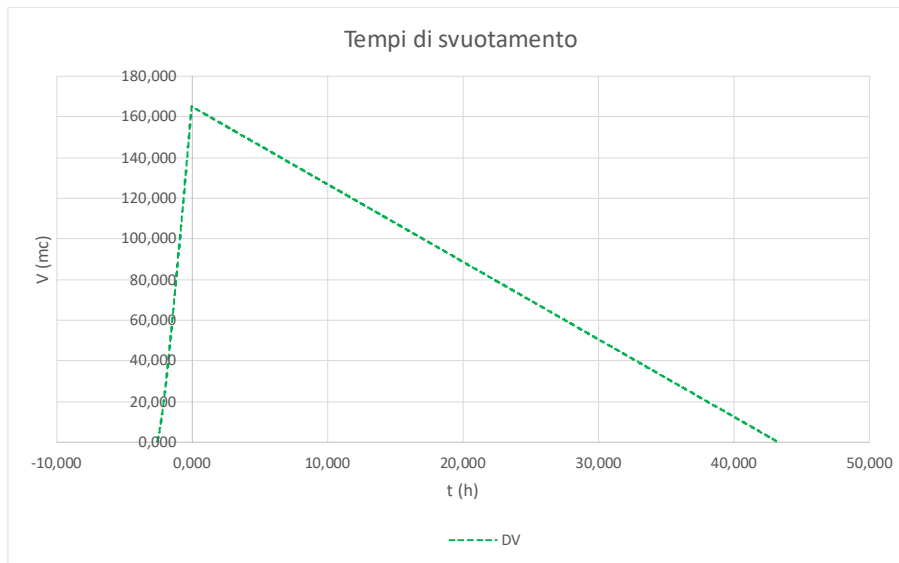


Figura 10. Tempi di svuotamento del bacino per effetto dell'infiltrazione

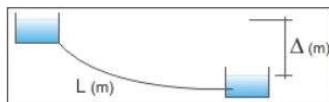
Essendo tale valore inferiore a 48 ore è pertanto adeguato al ripristino della funzionalità del sistema nei tempi definiti dal Regolamento.

Il sistema è anche verificato per intensità di precipitazione pari a TR 100 poiché a partire dal pozzetto d'ispezione è previsto l'inserimento tramite condotte a diametro tarato, una limitazione delle portate di adduzione a 21,9 l/s.

2.6. Dimensionamento delle componenti del sistema di drenaggio

Con la finalità di mantenere un limite massimo della portata di adduzione al bacino di infiltrazione così come precedentemente individuato (21,9 l/s), in considerazione di una pendenza tra i pozzetti di monte e di valle del 13% è stato determinato il seguente dimensionamento della tubazione in pressione (figura 10):

- tubazione PVC PN16
 - diametro esterno 90 mm
 - diametro interno 84,4 mm



$$\Delta = JL = \frac{10.675 Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.8704}} L$$

Dati di calcolo

D m = Diametro interno
 Q m³/s = Portata della condotta
 Δ m = Dislivello piezometrico
 C = Coefficiente di scabrezza
 L m = Lunghezza della condotta

[Tabella diametri interni tubazioni](#)

[Tabella coefficienti di scabrezza](#)

Coefficiente di scabrezza:

100 per tubi calcestruzzo
 120 per tubi acciaio
 130 per tubi ghisa rivestita
 140 per tubi rame, inox
 150 per tubi PE, PVC e PRFV

Figura 11. Dimensionamento della condotta di adduzione a portata limite