

Studio Tecnico
Ing. Luca Fornoni
Via Vittorio Emanuele II n.1 - 25039 Travagliato (BS)
Tel.-Fax 030 660237 - e.mail: info@studiofornoni.com

RELAZIONE TECNICA

VERIFICA DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Oggetto:

Relazione tecnica di verifica del rispetto del principio dell'invarianza idraulica degli interventi di nuova costruzione dell'area ADT21 Trivellini Ovest, in via Volturno, Brescia (BS) – committente: Real Energy srl.



Il progettista

Ing. Luca Fornoni

Commessa: 24-004M	Data: gennaio 2024
Committente: Real Energy srl	nome file: 24-004M-relp.doc
Progetto: Verifica Idraulica	revisione:
Località: Brescia (BS)	data revisione:

INDICE GENERALE

1.	PREMESSA	3
1.1.	Generalità	3
1.2.	Inquadramento territoriale.....	4
2.	CALCOLO DELLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA	5
2.1.	Normativa di riferimento	5
2.2.	Definizione dei parametri del lotto	6
2.3.	Calcolo delle precipitazioni di progetto.....	9
2.4.	Calcolo dell'idrogramma netto.....	12
2.5.	Calcolo del volume di laminazione	13
2.6.	Verifica del volume di laminazione	15
2.7.	Dispositivi idraulici per il drenaggio sostenibile	16
2.8.	Dimensionamento del sistema di infiltrazione	18
2.9.	Dimensionamento del sistema di drenaggio	22
2.10.	Verifica del tempo di svuotamento degli invasi	24
3.	CONCLUSIONI.....	25

1. PREMESSA

1.1. *Generalità*

La presente relazione presenta in ottemperanza all'art.10 del Regolamento della Regione Lombardia del 23 novembre 2017, n.7:

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

1.2. **Inquadramento territoriale**

L'intervento in oggetto riguarda la realizzazione delle opere di invarianza per la nuova costruzione dell'ADT21 Trivellini Ovest in via Volturno a Brescia (BS).



Figura 1: Individuazione area del lotto

Lo studio geologico associato all'intervento indica per l'area valori di permeabilità medio alti, che costituiscono un'unità idrogeologica definita ghiaioso sabbiosa. La permeabilità si attesta su valori dell'ordine di $=10^2 / 10^3$ m/s indicando l'area come idonea allo smaltimento delle acque meteoriche tramite pozzi perdenti.

2. CALCOLO DELLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA

2.1. *Normativa di riferimento*

Il calcolo dell'invarianza idraulica è stato eseguito secondo le disposizioni contenute del D.G.R. n.7 del 23/11/2017 e successivi. I comuni della regione sono suddivisi in tre classi di criticità idraulica a ciascuna delle quali è associata una portata di scarico limite e un volume minimo di invaso per ettaro di superficie impermeabile del lotto:

Criticità	A	A*	B	C	
q_u	10	10	20	20	l/s ha _{imp}
V_{minimo}	800	640	500	400	m ³ ha _{imp}

Figura 2: Disposizioni di portata di scarico e volume minimo per ogni area di criticità

Gli interventi in base alla superficie di intervento e al coefficiente di deflusso ponderale sono suddivisi in quattro categorie a cui è associato, in base alla criticità idraulica dell'area di appartenenza, un metodo di calcolo:

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

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

Per il calcolo del coefficiente di deflusso si utilizzano i valori:

1	Per tutte le aree interessate da tetti, coperture e pavimentazioni continue di strade, vialetti e parcheggi
0,7	Per i 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 e parcheggi
0,3	Per tutte le sottoaree permeabili di qualsiasi tipo comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le superfici incolte, a giardino non collettato e ad uso agricolo

Figura 4: Valori standard del coefficiente di deflusso

2.2. Definizione dei parametri del lotto

Il Comune di Brescia si trova in livello di criticità A* ovvero a alta criticità idraulica. Tuttavia l'area di intervento si trova in un ambito di trasformazione per cui in base all'art. 7 comma 5 dell'R.R. n.7 del 2017 sono da utilizzarsi i limiti e le procedure delle zone ad alta criticità A. L'intervento riguarda un'area totale di 4328,07m² così suddivisa tra aree permeabili, impermeabili e semidrenanti:

S_{totale}	4328,07	m²
S_{impermeabile}	1252,50	m²
S_{drenanti}	2371,79	m²
S_{semidrenanti}	0,00	m²
S_{non collettate}	703,78	m²

Figura 5: Superficie di riferimento del lotto

In base alle superfici rilevate è stato calcolato il coefficiente di deflusso del lotto per mezzo della formula pratica:

$$\phi = \phi_{imp} * IMP + \phi_{imp} * (1 - IMP)$$

AREA	SUPERFICIE	AREE IMPERMEABILI	AREE PERMEABILI	AREE SEMIPERMEABILI	AREE NON COLLETTATE
-	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
Sup. Lotto	4328,07	1252,50	2371,79	0,00	703,78
	PERCENT.	28,9%	54,8%	0,0%	16,3%
	COEF. DEFL.	1,00	0,30	0,70	0,00
		COEFFICIENTE DEFLUSSO			0,454
		SUPERFICIE INTERVENTO			3624,29
		SUPERFICIE IMPERMEABILIZZATA			1964,04

Figura 6: Calcolo del coefficiente di deflusso per il lotto

I dati caratterizzanti l'area di intervento riassunti nella tabella seguente indicano l'utilizzo come modalità di calcolo il metodo delle sole piogge:

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

Figura 7: Metodo di calcolo indicato dalla normativa per l'intervento in oggetto

2.3. Calcolo delle precipitazioni di progetto

I dati di pioggia per il calcolo della portate di progetto per il dimensionamento delle opere idrauliche sono stati estrapolati dal sito <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml> per il luogo in esame.

Durata (ore)	ALTEZZE PRECIPITAZIONI						
	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	26,3	35,5	41,7	47,8	55,8	61,9	68,1
2	31,9	43,1	50,6	57,9	67,6	75,0	82,5
3	35,7	48,2	56,6	64,9	75,7	84,0	92,3
4	38,7	52,2	61,3	70,2	82,0	90,9	100,0
5	41,2	55,5	65,3	74,7	87,2	96,8	106,4
6	43,3	58,4	68,7	78,6	91,8	101,8	111,9
7	45,2	61,0	71,7	82,1	95,8	106,2	116,8
8	46,9	63,3	74,4	85,2	99,4	110,2	121,2
9	48,5	65,4	76,8	88,0	102,7	113,9	125,3
10	49,9	67,3	79,1	90,6	105,7	117,3	129,0
11	51,2	69,1	81,2	93,0	108,6	120,4	132,4
12	52,5	70,8	83,2	95,3	111,2	123,4	135,7
13	53,7	72,4	85,1	97,4	113,7	126,2	138,7
14	54,8	73,9	86,9	99,5	116,1	128,8	141,6
15	55,9	75,4	88,5	101,4	118,3	131,3	144,4
16	56,9	76,7	90,1	103,2	120,5	133,6	147,0
17	57,8	78,0	91,7	105,0	122,5	135,9	149,5
18	58,8	79,3	93,1	106,7	124,5	138,1	151,9
19	59,6	80,5	94,6	108,3	126,4	140,2	154,2
20	60,5	81,6	95,9	109,8	128,2	142,2	156,4
21	61,3	82,7	97,2	111,3	129,9	144,1	158,5
22	62,1	83,8	98,5	112,8	131,6	146,0	160,6
23	62,9	84,9	99,7	114,2	133,3	147,8	162,6
24	63,6	85,9	100,9	115,5	134,8	149,6	164,5

Figura 8: Altezze massime di precipitazione per i vari tempi di ritorno per la stazione di riferimento

La normativa indica come tempo di ritorno di riferimento il *TR 50 anni* per il dimensionamento delle opere di invarianza di idraulica e idrologica per un accettabile grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti umani e un *TR 100 anni* per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere dimensionate con il *TR 50 anni* e per il dimensionamento delle opere anche non strutturali di protezione dei beni insediativi, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

Per la definizione della portata affluente sul bacino in questione con un tempo di ritorno di 50 anni è necessario ricavare i parametri a e n associati alla curva di possibilità pluviometrica per tale tempo di ritorno. La linea segnalatrice di pioggia è espressa nella forma:

$$h = at^n$$

dove:

- h = altezza di pioggia [mm]
- a = coefficiente pluviometrico
- t = tempo di pioggia [h]
- n = coefficiente di scala

Per le altezze massime di precipitazione rilevate nella stazione di riferimento si ottengono per i vari tempi di ritorno le curve segnalatrici riportate nel seguente grafico:

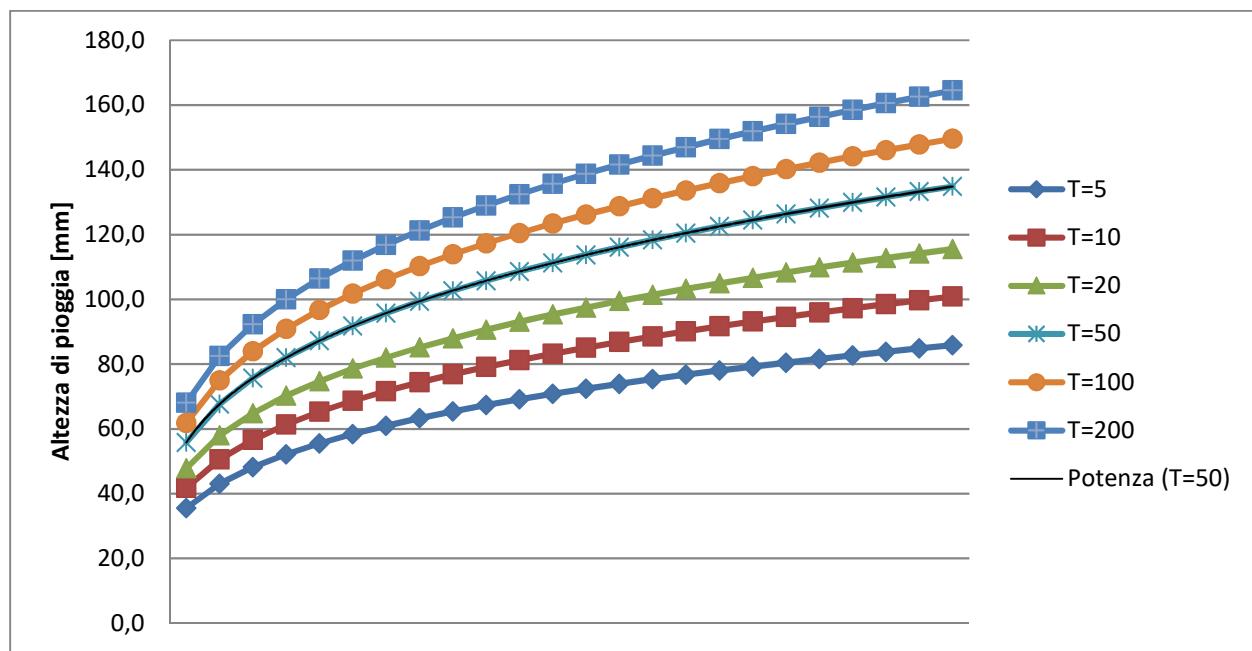


Figura 9: LSPP per la stazione di riferimento

Per stimare i coefficienti a e n relativi alla curva di T_r definita si può utilizzare il metodo dei minimi quadrati ricorrendo all'espressione lineare che si ottiene estraendo il logaritmo dall'equazione della linea segnalatrice di pioggia espressa in forma logaritmica:

$$\log_{10} h = \log_{10} a + n \log_{10} t$$

Nel piano $\log h$ / $\log t$ infatti l'equazione rappresenta una retta di coefficiente angolare n che intercetta l'asse delle ordinate nel punto $(0, \log a)$. Note le N coppie di valori $t, h(t)$ riferite ad un

determinato tempo di ritorno, i termini della retta ($\log a$, n) possono essere calcolati approssimando tale retta con la retta di interpolazione dei minimi quadrati.

$$n = \frac{N \sum_{m=1}^N (\log t \cdot \log h) - \sum_{m=1}^N (\log t) \cdot \sum_{m=1}^N (\log h)}{N \sum_{m=1}^N (\log t)^2 - (\sum_{m=1}^N \log t)^2}$$

$$\log a = \frac{\sum_{m=1}^N (\log h) \cdot \sum_{m=1}^N (\log t)^2 - \sum_{m=1}^N (\log t) \cdot \sum_{m=1}^N (\log t) \cdot (\log h)}{N \sum_{m=1}^N (\log t)^2 - (\sum_{m=1}^N \log t)^2}$$

Presi i dati di precipitazione per un tempo di ritorno pari a T=50 anni:

ALTEZZE PRECIPITAZIONI						
Tempi di ritorno [anni]	Durata di scroscio [h]					
	1	2	3	4	5	6
50	55,8	67,6	75,7	82,0	87,2	91,8
	7	8	9	10	11	12
	95,8	99,4	102,7	105,7	108,6	111,2
	13	14	15	16	17	18
	113,7	116,1	118,3	120,5	122,5	124,5
	19	20	21	22	23	24
	126,4	128,2	129,9	131,6	133,3	134,8

Figura 10: Altezze massime di precipitazione presso la stazione con un Tr 50 anni

Applicando i log alle durate e alle altezze e invertendo il logaritmo di a si ottengono i valori di n e a seguenti:

Tr 50anni	
$n_{>1h}$	0,278
$n_{<1h}$	0,500
a	55,788

Figura 11: Parametri a e n della LSPP con T 50anni

Per cui è possibile scrivere per ogni durata di tempo la curva segnalatrice di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 50 anni per il lotto in oggetto come:

$$h = 55,79 t^{0.28} \quad \text{per durate } > 1h$$

$$h = 55,79 t^{0.50} \quad \text{per durate } < 1h$$

2.4. Calcolo dell'idrogramma netto

Tra i metodi di stima probabilistici per il calcolo della portata di deflusso Q_c proposti in letteratura, date le modeste dimensioni dell'area, è stato scelto il metodo razionale, che assume la precipitazione descritta dalla curva di possibilità pluviometrica scelta uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo.

La formula di calcolo è la seguente:

$$Q_c = S * u = S * \Phi * a * T_c^{n-1}$$

dove:

- S è la superficie del lotto [ha]
- u è il coefficiente udometrico [l/s ha]
- Φ è il coefficiente di deflusso
- a e n sono I parametri ricavati dalla LSPP di riferimento
- T_c è il tempo di corrievazione [ore]
- La portata per superficie drenata, calcolata attraverso il metodo della corrievazione che consente la trasformazione dell'afflusso al bacino in deflusso superficiale. Il tempo di corrievazione è stato stimato, per piccole superficie di riferimento, in:
 - 2 min: tempo di ingresso della goccia d'acqua all'interno della tubazione di collettamento;
 - 2 min: tempo di arrivo della goccia d'acqua al punto di raccolta;

Per il lotto in esame è stata ricavata la seguente portata di piena:

TEMPO DI CORRIEVATIONE					
AREA	SUPERFICIE	TEMPO T_{ing}	TEMPO T_{rete}	TEMPO DI CORRIEVATIONE	
-	[m ²]	[min]	[min]	[h]	
Sup. Lotto	4328,07	2	6	0,14	

PIOGGIA NETTA					
AREA	SUPERFICIE	AREE IMPERMEABILI	AREE PERMEABILI	AREE SEMIPERMEABILI	AREE NON COLLETTATE
-	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
Sup. Lotto	4328,07	1252,50	2371,79	0,00	703,78
PERCENT.		28,9%	54,8%	0,0%	16,3%
COEF. DEFL.	1,00	0,30	0,70	0,00	
		COEFFICIENTE DEFLUSSO			0,454
		SUPERFICIE INTERVENTO			3624,29
		SUPERFICIE SCOLANTE INTERVENTO			1964,04

PORTATE TOTALI ACQUE BIANCHE						
AREA	SUPERFICIE	ϕ	PIOGGIA TOTALE	Coefficiente Udometrico	PORTATA TOTALE	
-	[m ²]	[l]	a [mm/h ⁻ⁿ]	n	u [l/s*ha]	Q_c [l/s]
Sup. Lotto	4328,07	0,454	55,79	0,50	188,50	81,58

Figura 12: Portata di deflusso per il lotto

2.5. **Calcolo del volume di laminazione**

Le acque meteoriche derivanti dalle precipitazioni saranno convogliate in dispositivi di laminazione e infiltrazione localizzati all'interno del lotto. La portata massima in immissione q_u per la criticità dell'area servita, è pari a $10/l/s$ per ogni ettaro di superficie impermeabile. In questo caso, considerando le superfici impermeabili, la portata massima in immissione è pari a:

$$1. Q_u = 10 \text{ l/s/ha} * 427.19 \text{ m}^2 * \Phi_1 = 1.96 \text{ l/s} \quad \text{per il lotto}$$

Come indicato dalla normativa, per il dimensionamento del volume è stato utilizzato il metodo delle sole piogge che si basa sulle seguenti assunzioni:

- L'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- L'onda uscente è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale) e commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni della normativa.

Sulla base di queste ipotesi il volume evidenziato è dato, per ogni durata di pioggia, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione. Quindi, il volume massimo ΔW che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S * \emptyset * a * D^n - S * u_{lim} * D$$

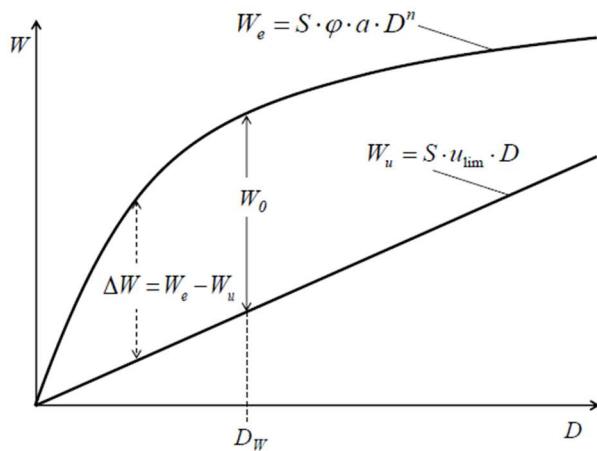


Figura 13: Individuazione dell'evento critico con il metodo delle piogge e del corrispondente volume critico

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, si ricava la durata critica D_W per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione W_0 :

$$D_W = \left(\frac{Q_{u,lm}}{S * \phi * a * n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = S * \phi * a * D_W^n - Q_{u,lm} * D_W$$

Il tempo di svuotamento delle vasche t_{svuot} è dato dalla seguente formula:

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + Q_{in}}$$

Per il caso in esame si ottiene quindi il seguente volume di laminazione:

S_{impermeabile}	0,1253	ha
a	55,79	mm/ora ⁻ⁿ
n	0,28	-
q_u	10	l/s*ha
Q_u	1,96	l/s

D_w	7,55	h
W₀	138,70	m ³

Figura 14: Calcolo del volume di laminazione per il lotto

2.6. Verifica del volume di laminazione

Il volume calcolato con il metodo delle sole piogge, o con il metodo di calcolo dettagliato esplicitato nella normativa, deve in ogni caso essere superiore al valore calcolato con il metodo dei minimi in accordo all'art.12 del Regolamento Regionale 7/2017 e successivi aggiornamenti.

Criticità	A	A*	B	C	
q_u	10	10	20	20	l/s ha _{imp}
V_{minimo}	800	640	500	400	m ³ ha _{imp}

Figura 15: Requisiti minimi per area di criticità

Per il lotto in esame in base al volume minimo di invaso e al volume di calcolo, si è ottenuta la seguente verifica:

Verifica da art. 12		
Valore	800	m ³ *ha _{imp}
Volume Minimo	157,12	m ³
Volume msp	138,70	m ³
Verifica	NEGATIVA	$V_{min} < V_{msp}$
Volume opere	157,12	m ³

Figura 16: Verifica del volume di invaso per il lotto

Risultando il volume di calcolo con il metodo delle sole piogge negativo alla verifica dei requisiti minimi, il volume delle opere di infiltrazione da realizzare è almeno pari al volume calcolato con il metodo delle sole piogge.

2.7. Dispositivi idraulici per il drenaggio sostenibile

Secondo il regolamento regionale, il controllo e la gestione delle acque pluviali deve essere effettuato, ove possibile, mediante sistemi che garantiscono l'infiltrazione, l'evapotraspirazione e il riuso. La realizzazione di uno scarico delle acque pluviali in un corpo ricettore è realizzata qualora la capacità di infiltrazione dei suoli risulti essere inferiore rispetto all'intensità delle piogge intense. Lo smaltimento dei volumi invasati deve avvenire secondo il seguente ordine decrescente di priorità:

- mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, lavaggi o di pavimentazione e di auto;
- 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 PGT comunale;
- mediante lo scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata previsti per l'area in oggetto;
- mediante lo scarico in fognatura, con i limiti di portata suddetti.

Le strutture di laminazione rappresentano la famiglia più numerosa tra le tecniche di mitigazione dei colmi di piena. Esse possono essere classificate in base a diversi criteri:

- funzione assolta: detenzione o ritenzione
- posizione rispetto alla rete drenante: transito (in linea) o cattura (fuori linea)
- posizione rispetto al piano campagna: superficiale o sotterranea

Nel dettaglio si hanno opere di detenzione quando tutti i deflussi o parte di essi vengono temporaneamente invasati e contemporaneamente rilasciati attraverso gli scarichi nel sistema di drenaggio di valle con portata limitata nei limiti prescritti. In questo caso il volume invasato è trattenuto solo temporaneamente nell'invaso e l'onda laminata uscente da esso si sviluppa nel corso dello stesso evento meteorico. Nel caso di ritenzione, invece tutti i deflussi o parte di essi vengono invasati, generalmente per un lungo periodo, e non vengono rilasciati durante l'evento meteorico nel ricettore in quanto le acque accumulate vengono smaltite mediante infiltrazione, evaporazione o riuso. In questo caso quindi il volume invasato è trattenuto a lungo o permanentemente nell'invaso e l'eventuale scarico si sviluppa dopo l'evento meteorico, senza contribuire alla formazione della piena a valle. Questi possono venire progettati per mantenere

all'interno un certo volume di acque (bacini umidi, wetland) con una vasca permanente che consente lunghi tempi di residenza idraulica, permettendo così di raggiungere elevati rendimenti di rimozione degli inquinanti, oppure possono essere disegnati in maniera da svuotarsi completamente (bacini asciutti). Sono considerati invasi di transito (in linea), gli invasi, in cui tutti i deflussi derivanti dall'area scolante entrano direttamente nell'invaso e contemporaneamente escono dallo stesso passando attraverso una o più bocche di scarico limitanti la portata consegnata a valle. Mentre sono invasi di cattura (fuori linea), quelli in cui l'invaso è posto in derivazione rispetto al condotto o canale convogliante i deflussi derivanti dall'area scolante e viene interessato solo per portate in arrivo maggiori di un valore di soglia prefissato. Infine secondo la posizione sono invasi sotterranei i serbatoi chiusi costruiti in situ o prefabbricati, al di sotto del piano campagna e non visibili dall'esterno. La funzione da essi assolta è quella di laminazione (detenzione o ritenzione), a volte può essere previsto il trattamento delle acque. Gli invasi superficiali invece sono opere costituite da aree aperte già esistenti o appositamente create, visibili dall'esterno e almeno in parte destinabili ad altre finalità nei periodi asciutti. Possono essere aree naturali, artificiali o miste e possono anche integrare la funzione idraulica con la depurazione delle acque mediante sistemi vegetati (wetlands, cunette vegetate, filter strips).

Viste le caratteristiche idrogeologiche dell'area in oggetto è stato deciso di disporre opere con funzione di laminazione e infiltrazione.

2.8. Dimensionamento del sistema di infiltrazione

Il ricettore nel caso di utilizzo di pozzi perdenti è il suolo. La portata in uscita dal sistema è valutata in base alla permeabilità del terreno ospitante e la superficie disperdente a contatto con lo stesso. Il sistema di infiltrazione è costituito da una batteria di cerchi in calcestruzzo dotati di fori per la dispersione nel terreno circostante dell'acqua meteorica. La capacità di infiltrazione può essere stimata in prima approssimazione attraverso la relazione di Darcy:

$$Q_{inf} = k * J * A_f$$

Dove:

- Q_f = portata infiltrata [m^3/s]
- k = coefficiente di permeabilità [m/s]
- J = cadente piezometrica [m/m]
- A_f = superficie netta d'infiltrazione considerata

La valutazione del volume statico filtrante è stata condotta sulla base delle seguenti ipotesi:

- la cadente piezometrica J è data da:

$$J = \frac{L + z}{L + \frac{z}{2}} \left[\frac{m}{m} \right]$$

Dove L indica la distanza tra la falda e il fondo del pozzo e z l'altezza utile del pozzo;

- il valore della permeabilità del terreno k , può essere assunto cautelativamente in questo caso pari a $k=5,0*10^{-4}$ m/s;
- la superficie netta d'infiltrazione per il sistema statico è considerata pari alla superficie dell'anello circolare di larghezza $z/2$ a favore di sicurezza considerando la perdita di capacità di infiltrazione della base del pozzo nel tempo.

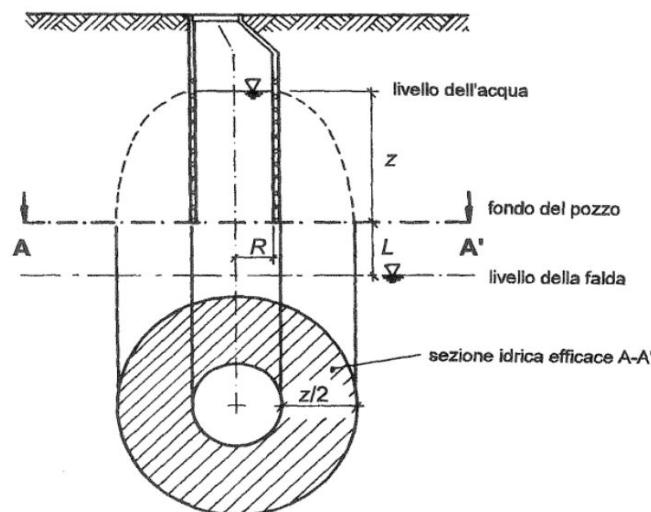


Figura 17: Schema tipo di un pozzo filtrante

I pozzi previsti per il lotto sono così dimensionati:

<i>Diametro interno pozzo</i>	<i>Di</i>	2,00	<i>m</i>
<i>Altezza utile pozzo</i>	<i>Hi</i>	2,00	<i>m</i>
<i>Coeff. Permeabilità</i>	<i>K</i>	5,0E-04	<i>m/s</i>
<i>Larghezza corona esterna drenante</i>	<i>L</i>	1,50	<i>m</i>
<i>Base drenante</i>	<i>h</i>	2,00	<i>m</i>
Volume assorbito da un pozzo		22,61	<i>m</i> ³
Volume accumulato da un pozzo		27,95	<i>m</i> ³
Volume totale per pozzo		50,55	<i>m</i>³
<i>Volume da smaltire</i>		157,12	<i>m</i> ³
<i>Numero pozzi</i>		6,0	n
Volume totale accumulo		167,68	<i>m</i>³
Volume totale		303,32	<i>m</i>³
<i>Velocità media</i>	<i>V_{med}</i>	0,0005	<i>m/s</i>
<i>Area di flusso</i>	<i>A</i>	9,42	<i>m</i>²
<i>Portata di flusso</i>	<i>Q</i>	0,02826	<i>m</i>³/s
Tempo di svuotamento	<i>T_{svuot}</i>	2,98	h

Figura 18: Dimensionamento pozzo perdente

La portata in uscita calcolata per il sistema di pozzi predisposto risulta essere pari a Q_u 28,26l/s, che indica una portata in uscita q_u pari a circa 145l/s*ha_{imp}. Conseguentemente il volume ricavato con il metodo delle sole piogge per l'opera di invarianza risulta essere pari a 49,76m³.

Il sistema di pozzi definito ha capacità di invaso pari a 167,68m³ dati dalla somma del volume proprio del pozzo di diametro 2m e altezza 2m e dal volume assorbito dalla corona drenante di ghiaia da 1.5m e dalla base drenante di altezza 2m calcolata con un indice dei vuoti pari al 30%. La capacità di invaso del pozzo risulta pertanto superiore al volume di laminazione calcolato con il metodo dei minimi e del volume necessario determinato in base alle caratteristiche geologiche locali.

Il volume totale da invasare deve risultare maggiore o al più uguale al volume minimo al volume calcolato con il metodo delle sole piogge, di calcolo o dei minimi, verificato ai requisiti minimi di cui esposto ai capitoli precedenti, inoltre deve essere verificato per il funzionamento con eventi pluviometrici con tempo di ritorno T=100anni. Per soddisfare tale richiesta è necessario un sistema composto da $n=6$ pozzi disperdenti con le caratteristiche di cui sopra. Il

volume totale invasabile e infiltrabile dal pozzo risulta infatti essere pari a:

$$V = 50,55m^3 * 6 = 303,32m^3$$

Tale volume è superiore al volume necessario ex normativa per cui non risulta necessario inserire una vasca di laminazione con scarico a portata limitata in fognatura.

Al fine di assicurare una più lunga vita ai pozzi si consiglia di inserire sull'ultimo tratto di collettore in arrivo al pozzo stesso un pozzetto di calma.

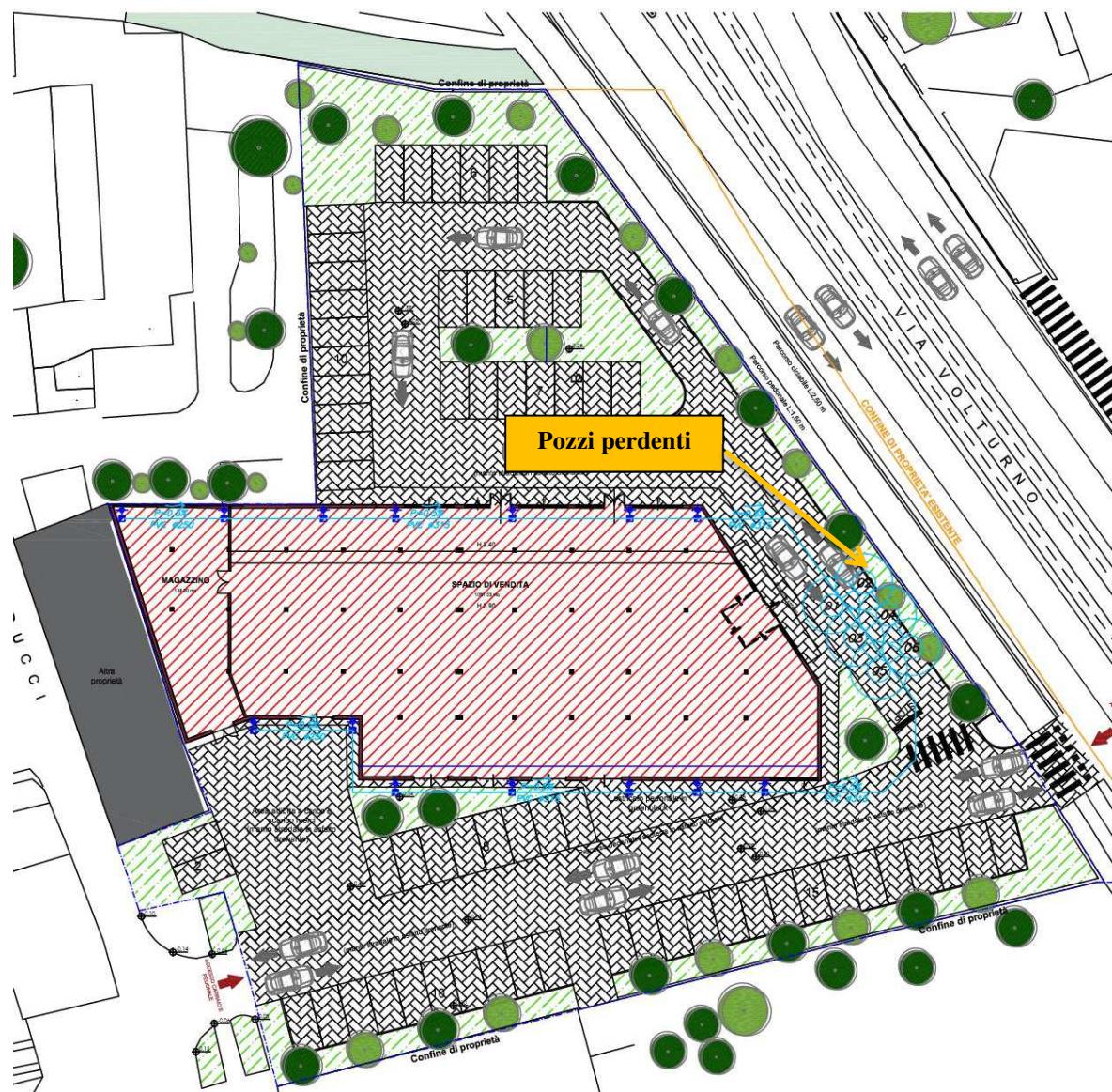


Figura 19: Localizzazione delle opere di laminazione

2.9. Dimensionamento del sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio è stato progettato con il metodo della corrievazione.

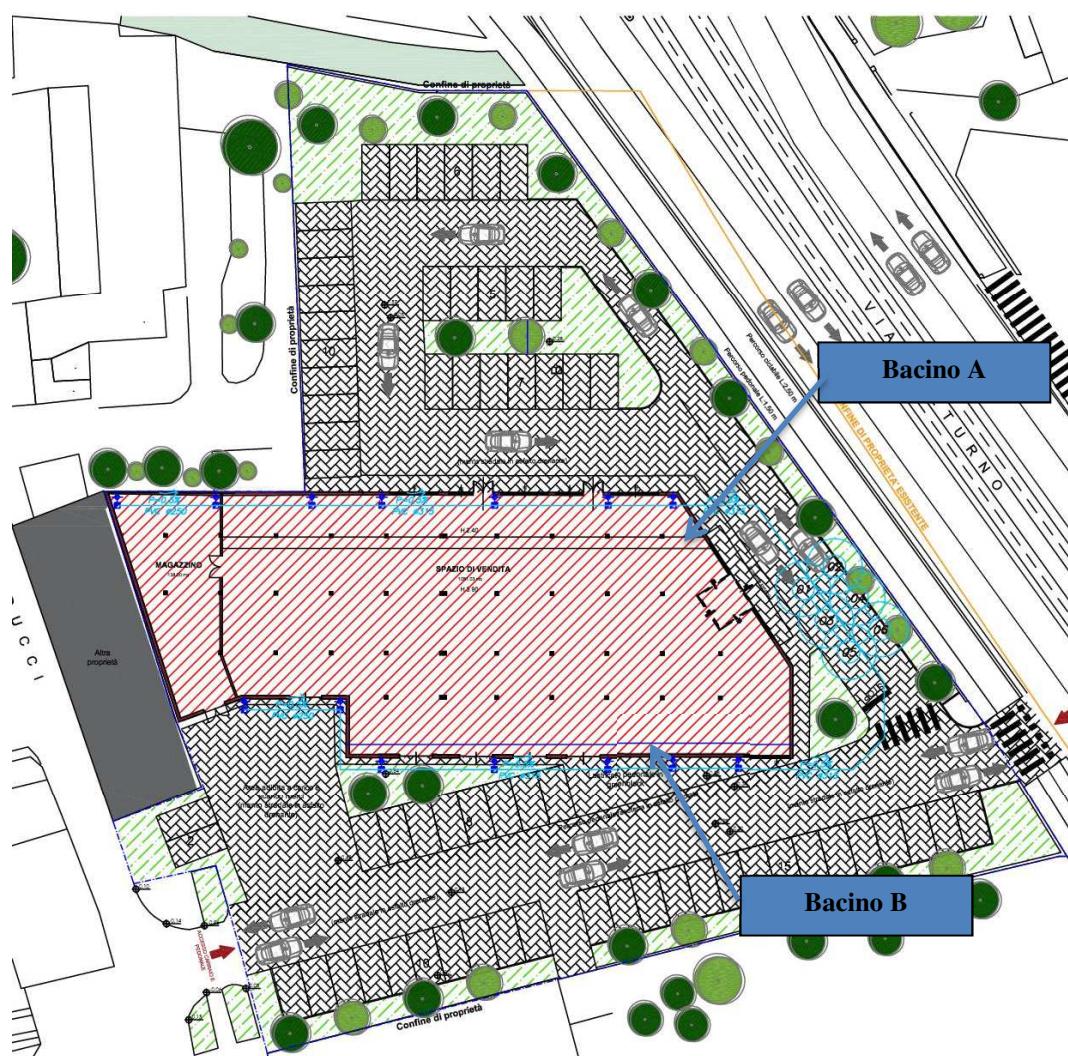


Figura 20: Individuazione dei sottobacini di calcolo

Nel prospetto seguente sono riassunti i risultati ottenuti per ciascun bacino e il diametro necessario per ciascuna linea utilizzando un tubo rigido per fognatura in PVC SN4 con coefficiente di Gaukler Strickler K_s considerabile pari a $100m^{1/3}/s$ e pendenza i pari a $0,005m/m$ e le relative verifiche di grado di riempimento r e velocità in condotta v_{Rhmax} .

<i>tronco</i>	<i>S_{tronco}</i>	Φ	D_{int}	D_{est}	L	k_s	i	Q_c	r	v_{Rhmax}
	<i>ha</i>		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	$m^{1/3}/s$	m/m	l/s	%	<i>m/s</i>
a	0,06	0,90	0,299	0,315	70,0	100	0,005	40,08	46	1,23
b	0,06	0,90	0,299	0,315	80,0	100	0,005	39,42	45	1,22

Figura 21: Dimensionamento del sistema di drenaggio

Per diametri modesti come quelli risultati il grado di riempimento è considerato accettabile per valori prossimi al 50% e con velocità compresa tra 0,5m/s e 1,5m/s, quindi i collettori risultano verificati.

2.10. Verifica del tempo di svuotamento degli invasi

In base all'art.11 del Regolamento Regionale deve essere verificato anche il tempo di svuotamento che deve essere inferiore alle 48h, in modo da ripristinare la capacità di invaso quanto prima possibile. Qualora il rischio sui beni associati al lotto sia alto, considerando una seconda precipitazione entro le 48h è possibile prevedere misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni stessi in funzione della tipologia degli invasi e della locale situazione morfologica e insediativa.

Il tempo di svuotamento di ciascun pozzo, ricavata la portata di flusso data dalla velocità media di smaltimento moltiplicata per l'area di flusso, è dato dal rapporto tra il volume del singolo pozzo e la portata di flusso stessa:

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_U + Q_{in}}$$

Il tempo di svuotamento di ciascun pozzo risulta quindi pari a 2,98 ore per cui la verifica risulta soddisfatta.

Verifica da art. 11, comma 2, lettera f		
T _{svuot}	2,98	h
t _{min}	48	h
Verifica	POSITIVA	

Figura 22: Verifica del tempo di svuotamento dell'invaso del lotto

3. CONCLUSIONI

L'intervento in oggetto per la verifica dei requisiti di invarianza idraulica richiesti dal Regolamento Regionale del 23 Novembre 2017 n°7 e successivi, necessita della realizzazione delle seguenti opere:

- Sistema di raccolta delle acque pluviali e convogliamento verso il ricettore finale;
- n°6 pozzi di infiltrazione ad anelli prefabbricati del diametro interno di 200cm e altezza utile (dall'ingresso del tubo al fondo del pozzo) pari a 200cm, poggianti su uno strato di pietrame e pietrisco, con granulometria varia tra i 15mm e i 60mm, di spessore minimo 200cm e cinti da un anello di pietrisco di 150cm di spessore con granulometria decrescente dall'interno all'esterno per facilitare il deflusso delle acque ponendo uno strato di tessuto non tessuto a separazione dal terreno. I pozzi devono essere posati ad una distanza di almeno 3m dalle fondazioni dell'edificio. Per incrementarne la durabilità nel tempo e agevolarne la manutenzione è consigliato porre un pozzetto di calma e ispezione sulla tubazione in ingresso al pozzo.