

---

Comune di Suisio  
Provincia di Bergamo

Relazione tecnica - Progetto di Invarianza Idraulica  
relativo all'intervento di realizzazione nuovi edifici residenziali nell'ambito del  
"Piano Attuativo Atr 8 comparto B - residenziale" sui terreni siti in  
via De Gasperi  
R.R. N° 7/2017 e R.R. N° 8/2019

**Committente:**

SC Immobiliare S.r.l.  
Via San Rocco, 283 - Calusco D'Adda (Bg)

Dott. Norberto Invernici  
geologo  
N° Iscr. O.R.G.L. 990

Bergamo, 29 Novembre 2021



## Indice

1.0 Premessa	2
1.1 Caratteristiche sintetiche del progetto	2
2.0 Permeabilità del terreno dell'area di intervento	4
2.1 Trincea esplorativa e prova di permeabilità a carico variabile	4
2.2 Prove di permeabilità entro dreno verticale installato fino a - 30 m da p.c.	6
3.0 Tempi di ritorno ed individuazione parametri di possibilità climatica delle precipitazioni intense di riferimento	7
4.0 Dimensionamento del sistema di dispersione/laminazione	10
5.0 Piano di manutenzione delle opere di invarianza idraulica Art. 13 RR 8/2019	13

## 1.0 Premessa

Il seguente rapporto illustra i caratteri geologici ed idrogeologici dei terreni siti in via De Gasperi, in comune di Suisio (Bg), interessati dall'intervento di realizzazione nuovi edifici residenziali nell'ambito del "Piano Attuativo Atr 8 comparto B - residenziale" e si configura quale relazione tecnica del progetto di invarianza idraulica finalizzato alla verifica del dimensionamento del sistema del sistema di dispersione/laminazione delle acque meteoriche di dilavamento delle coperture e delle superfici impermeabilizzate delle aree trasformate. **Alla presente relazione tecnica viene allegato il Modulo E (firmato e timbrato dallo scrivente) mentre il Modulo D dovrà essere timbrato/firmato dal professionista incaricato della DL e trasmesso alla Regione Lombardia tramite applicato INVID, dopo la fine lavori. Per la predisposizione del presente documento si è fatto riferimento al regolamento regionale RR 8/2019.**

### 1.1 Caratteristiche sintetiche del progetto

L'area di intervento è sita in via De Gasperi, in comune di Suisio (Bg), individuata catastalmente al foglio 9 mappali 3514 -3515 - 3513 - 3512 - 3511 alle coordinate lat/lon WGS84 45.662723, 9.498567, alla quota di 240 m.s.l.m. caratterizzato da alta criticità idraulica secondo l'Allegato C del RR 8/2019:

**Allegato C - Elenco dei Comuni ricadenti nelle aree ad alta, media e bassa criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del regolamento**

Comuni ricadenti nelle aree ad alta (A), media (B) e bassa (C) criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del regolamento:

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
SUISIO	BG	A	1

**L'intervento prevede la formazione di nuovi edifici residenziale su un'area non trasformata.**

**Le superfici interessate dall'intervento, così come da indicazioni fornite dal Geom. Cavadini, sono le seguenti:**

- **Superficie complessiva del lotto: 2031,1 mq**
- **Superficie impermeabilizzata con coefficiente deflusso 1: 1298 mq**
- **Superficie a verde profondo drenante: 615 mq**
- **Superficie a verde pensile collettato (verde su solette box ecc): 118 mq**

Durante gli eventi meteorici le superfici generano un diverso contributo alla trasformazione delle precipitazioni in deflussi idrici superficiali che dipende essenzialmente dalla permeabilità intrinseca della superficie, dalla irregolarità, dalla presenza di vegetazione e dall'acclività. Per le aree urbanizzate o di prevista urbanizzazione, salvo più dettagliate valutazioni, il RR 8/2019 impone i seguenti coefficienti di trasformazione dei deflussi (art. 11, c. 2.d):

- pari a 1 per tutte le sottoaree interessate da tetti, coperture, tetti verdi e giardini pensili sovrapposti solette comunque costituite e pavimentazioni continue quali strade, vialetti, parcheggi;
- pari a 0,7 per le pavimentazioni drenanti o semipermeabili, quali strade, vialetti, parcheggi;
- pari a 0,3 per le sottoaree permeabili di qualsiasi tipo, escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo;

Per l'area in esame il coefficiente afflusso medio ponderale calcolato è pari a 0,67, arrotondato a 0,7, su una superficie complessiva di 2031.1 mq, pertanto la classe d'intervento si configura come: "2 - impermeabilizzazione potenzialmente media" (Tabella 1 del R.R. 8/2019) con coefficiente di deflusso medio ponderale qualsiasi e nelle verifiche di invarianza possono pertanto essere adottate le verifiche con il metodo delle sole piogge previsto dall'art. 11, del RR 8/2019. Per il caso in esame, adottando il metodo delle sole piogge con dispersione negli orizzonti superficiali del suolo, il RR 8/2019 consente una riduzione del 30% dei volumi minimi di invaso (art. 11, comma 2, lettera e).

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO 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		
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)	
		da > 10 ha (> 100.000 mq)	> 0,4		

Il Progettista dell'intervento ha previsto di disperdere le acque meteoriche delle aree trasformate mediante infiltrazione nel suolo attraverso dreni verticali spinti fino a 30 m di profondità (considerata la presenza di livelli limosi argillosi superficiali impermeabili), così come rappresentato nella Tavola "Schema fognatura" che, assieme alle seguenti verifiche, costituisce il progetto di invarianza idraulica, alla quale si rimanda per i dettagli. Per verificare la capacità dei terreni a sostenere l'esercizio di un impianto di dispersione delle acque meteoriche sono state pertanto eseguite specifiche prove di permabilità, le cui modalità ed i relativi esiti sono illustrati nel paragrafo successivo, secondo le prescrizioni dell'Allegato F del RR 8/2019. Considerato pertanto che per le verifiche sarà adottato il metodo delle sole piogge e che le acque saranno disperse nel suolo per infiltrazione (con stima della permabilità attraverso specifiche prove in sito), il RR 8/2019 consente, ai sensi dell'Allegato F, punto 2) "Metodologie di calcolo dei

**processi di infiltrazione" la riduzione del 30% dei volumi minimi di laminazione indicati nell'art. 11, comma 2), Lettera e).**

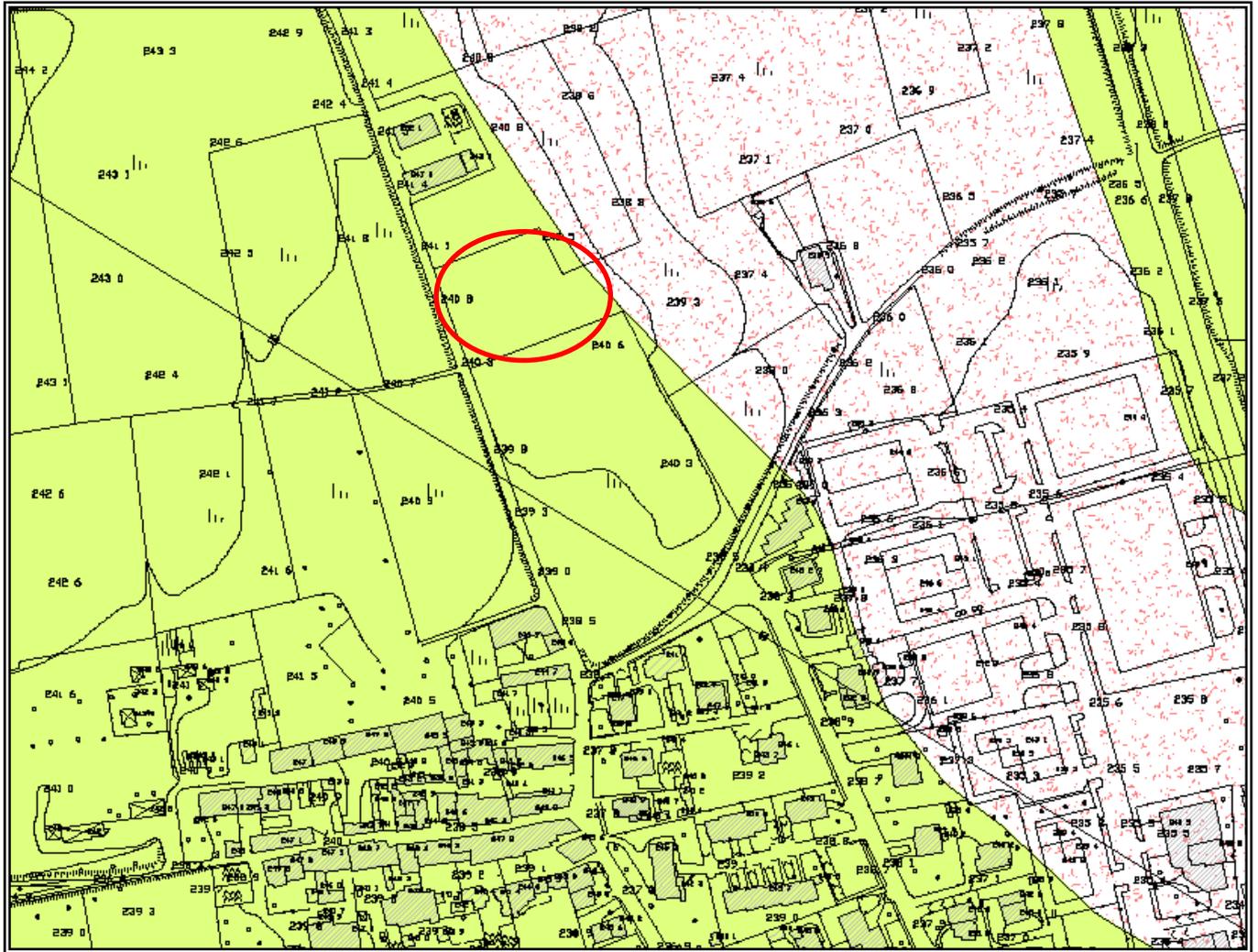
## 2.0 Permeabilità del terreno dell'area di intervento

Al fine di avere un quadro sufficientemente dettagliato dell'assetto idrogeologico degli orizzonti superficiali dei terreni oggetto di studio, sono state eseguite prove di permeabilità a carico variabile sia in trincea superficiale, sia in dreno verticale profondo, seguendo le procedure di seguito illustrate.

### 2.1 Trincea esplorativa e prova di permeabilità a carico variabile

Al fine di avere un quadro sufficientemente dettagliato dell'assetto idrogeologico degli orizzonti superficiali dei terreni oggetto di studio, sono state eseguite prove di permeabilità a carico variabile entro n° 2 trincee esplorative, scavate fino a circa - 5 m da p.c., per stimare il coefficiente di permeabilità del sottofondo.

<b>Trincea esplorativa T1</b>		
Profondità da piano campagna (m)	Descrizione	Immagine
0 - 0,60	Terreno di coltivo limoso argilloso bruno	
0,60 - 5,00	Limo argilloso bruno e livelli di argilla limosa	
<b>Trincea esplorativa T2</b>		
Profondità da piano campagna (m)	Descrizione	Immagine
0 - 0,80	Terreno di coltivo limoso argilloso bruno	
0,80 - 5,00	Limo argilloso bruno e rari livelli di argilla limosa	



-  Accumuli detritici di origine antropica (DTA)
-  Depositi detritici di versante (DTV)
-  Depositi alluvionali attuali o recenti (AL)
-  Depositi alluvionali antichi (ALA)
-  Depositi fluviali-colluviali delle paleoincisioni sul Pianalto
-  Unità di Cantù – Pleistocene Superiore (CAN)
-  Unità di Carvico – Pleistocene Sup.re – Medio (CAR)
-  → Unità di Medolago – Pleistocene Medio (MED)
-  Ceppo Poligenico – Pleistocene Medio (C.P.)
-  Ceppo del Brembo – Pleistocene Inferiore (C.B.)

Stralcio della carta geologica dello studio geologico di PGT  
Non in scala

--	--	--

Al fondo delle trincee sono state eseguite le prove di permeabilità a carico variabile, per valutare il coefficiente di permeabilità sottofondo.

Le condizioni necessarie perché le prove siano significative sono le seguenti:

- il terreno deve essere saturato preventivamente in modo da stabilire un regime di flusso permanente;
- la profondità dei pozzi di prova deve essere pari a circa 1/7 dell'altezza del fondo dal livello di falda;
- il diametro (o il lato di base) del pozzetto deve essere almeno 10 - 15 volte il diametro massimo della granulometria media del terreno;
- il terreno sia omogeneo, isotropo e con coefficiente di permeabilità

$$k > 10^{-6} \text{ m/s}$$

- Coefficiente di permeabilità K

Il coefficiente di permeabilità k viene calcolato con le seguenti relazioni:

$$k = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1 + \left(2 \frac{h_m}{b}\right)}{\left(27 \frac{h_m}{b} + 3\right)}$$

con

hm = altezza media dell'acqua nel pozzetto (hm > d/4);

b = lato della base del pozzetto.

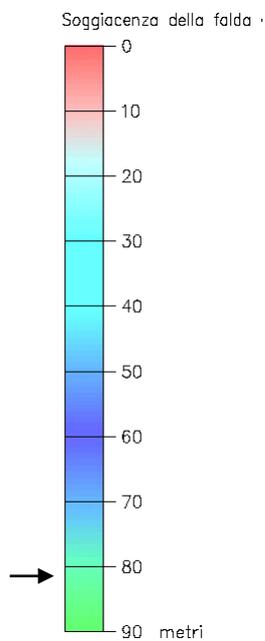
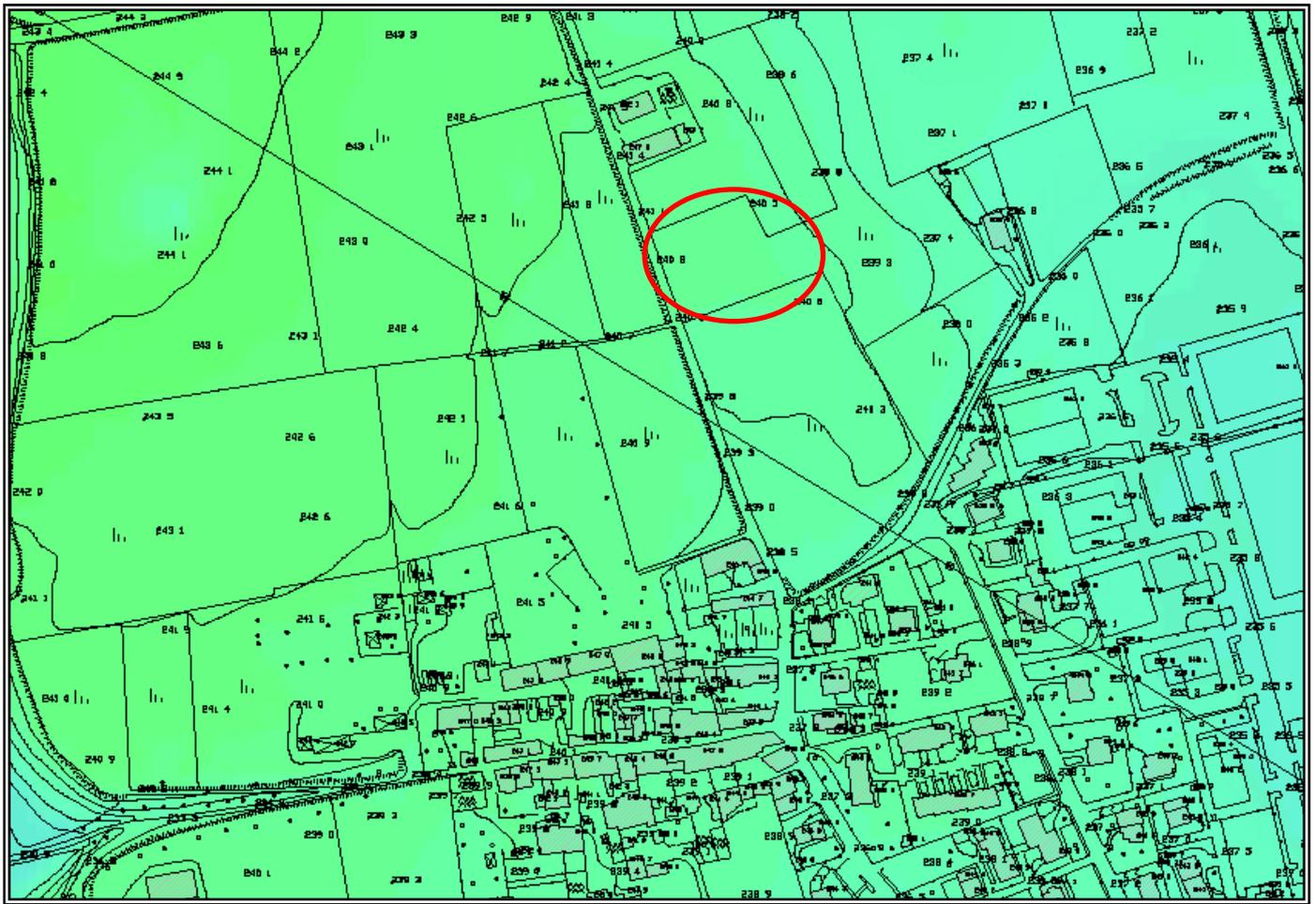
t2-t1 = intervallo di tempo;

h2-h1 = variazione di livello dell'acqua nell'intervallo t2-t1 .

***I risultati forniti dalle prove di permeabilità a carico variabile hanno consentito di verificare che i terreni di sottofondo non sono adatti a sostenere l'esercizio di un impianto di dispersione acque meteoriche, considerato che non è stato possibile concludere la prova di permeabilità perché il terreno non assorbe e pertanto i valori del coefficiente di permeabilità stimare i seguenti valori di permeabilità K media:***

$$K < 1 * 10^{-8} \text{ cm/s}$$

Considerato l'esito negativo delle prove di permeabilità in sito, si è fatto ricorso ad ulteriori prove di permeabilità a carico variabile, eseguite entro dreno verticale installato alla profondità di - 30 m da piano campagna, previa esecuzione sondaggio meccanico a distruzione di nucleo. Come espressamente richiesto dalla Committenza per tali verifiche non si sono avvalse di prove originali in sito ma sono stati utilizzati i dati riferiti alle prove eseguite sul lotto immediatamente confinante, idrogeologicamente analogo al lotto in esame.



Stralcio della carta di soggiacenza della falda dello studio geologico di PGT  
Non in scala

## 2.2 Prove di permeabilità entro dreno verticale installato fino a - 30 m da p.c.

Per verificare la presenza di terreni con permeabilità adeguata a sostenere l'esercizio di impianto di dispersione delle acque meteoriche di dilavamento nei terreni posti oltre la quote di - 5 m da piano campagna, è stato eseguito, a cura della Committenza, sul lotto immediatamente adiacente, un sondaggio meccanico a distruzione di nucleo entro il quale è stato successivamente installato un dreno verticale in PVC microfessurato per eseguire le prove di permeabilità. Durante l'esecuzione del sondaggio meccanico è stata rilevata la stratigrafia del sottofondo che può essere schematizzata secondo la seguente tabella:

Sondaggio a distruzione di nucleo	
Profondità da piano campagna (m)	Descrizione
0 - 14,80	Argilla limosa
14,80 - 30,00	Ghiaia limosa argillosa alternata a livelli di conglomerato fratturato

Nel foro di sondaggio è stato successivamente inserito un dreno verticale in PVC microfessurato fino a - 30 m di profondità, di diametro 125 mm e con filtri posti tra 12 e 30 m da piano campagna (apertura filtri 1,5 mm).

Durante l'esecuzione del sondaggio è stata individuata la presenza di una falda temporanea sospesa con superficie libera attestantesi alla quota - 27,40 m da piano campagna. È stato possibile procedere all'esecuzione di prove di permeabilità a carico costante nel dreno installato, per stimare i coefficienti di permeabilità degli orizzonti drenanti presenti a profondità superiori ai 14,8 m da piano campagna. Allo scopo è stata attrezzata la prova con cisterne di acqua e relative tubazioni per l'immissione nel dreno, misurando contemporaneamente i tempi e, a mezzo sondino freaticometrico, i livelli dinamici della falda. Sono stati immessi 2.000 litri di acqua nel dreno installato (mediante opportuni accorgimenti) nel tempo di 9 minuti primi e 28 secondi (9' 28") registrando al contempo una stabilizzazione del livello piezometrico alla quota di - 22,40 m da piano campagna (innalzamento di 5 m). Il dreno è in grado di garantire l'infiltrazione di 3,5 l/s.

Le verifiche condotte hanno consentito di stimare, per i terreni presenti oltre i - 14,8 m di profondità, una permeabilità media  $K$  pari a  $4 \cdot 10^{-4}$  m/s

$$K = 7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Prove di permeabilità Lefranc a carico variabile	
Quota in ma da p.c.	K (m/sec)
Da - 0 a - 14,80 m	$10^{-7} \div 101^{-8}$ - Terreni non adatti dispersione
Da - 14,80 a - 30,00 m	$7* 10^{-4}$ m/s - Terreni adatti alla dispersione

Prova di permeabilità in foro di sondaggio a carico costante				
Profondità prova(m)	Lunghezza filtro(m)	Altezza acqua in foro(m)	Portata (l/s)	Permeabilità (m/s)
27	5	22,4	4	0,000714
27	5	22,4	4	0,000714
27	5	22,4	4	0,000714
27	5	22,4	4	0,000714
27	5	22,4	4	0,000714

Diametro del foro (mm):	125	Profondità della falda dal p.c. (m):	27,4
Permeabilità media (m/s):	7,14E-4		

Su tale valore di permeabilità potrà pertanto essere valutato il corretto dimensionamento del sistema di dispersione delle acque meteoriche nel suolo che, proveniente dalle coperture, dalla viabilità interna e dalle aree variamente impermeabilizzate.

### 3.0 Tempi di ritorno ed individuazione parametri di possibilità climatica delle precipitazioni intense di riferimento

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, ovvero la determinazione del rapporto che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. Per quanto riguarda il tempo di ritorno si è fatto riferimento all'art. 11, c. 2.a.1, che prevede un tempo di ritorno  $T_r = 50$  anni per conseguire un accettabile grado di sicurezza in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani. Non ricorrendone i presupposti poiché non sono implementabili franchi di sicurezza, non sono attuate verifiche con tempi di ritorno  $T_r=100$  anni. L'altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, è l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale ed impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) ed in assenza di perdite. Per la caratterizzazione pluviometrica dell'area, relativamente agli eventi di breve durata e di forte intensità utili per il dimensionamento delle opere in progetto, si sono utilizzati i parametri pubblicati da ARPA Lombardia e determinati interpolando le serie storiche più rappresentative del bacino padano nell'ambito del progetto INTERREG IV/A STRADA (Strategie di Adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero),

ricavate dagli eventi estremi annuali con durata di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore. È stato scelto l'impiego dei dati ARPA in quanto rappresentativi di serie più complete rispetto a quelle sinora utilizzate come riferimento (es. quelle pubblicate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po) e perché non sono disponibili in zona serie storiche per estremi annuali di piogge con durata inferiore all'ora. La relazione statistica che lega l'altezza delle precipitazioni  $h$  (in mm) alla durata  $d$  (in ore) ed al tempo di ritorno  $T$  (in anni), nota come curva di possibilità pluviometrica, come implementata nel progetto STRADA è data dalla seguente espressione

$$h_T = a_T \cdot w_T \cdot d^{n_T}$$

nella quale i parametri  $a$  ed  $n$ , funzione di  $T$ , sono stimati sulla base delle serie storiche di dati disponibili. Attraverso il valore  $w_T$  sono implementati i valori dei parametri e dei quantili della distribuzione GEV ( $\alpha$ ,  $k$  ed  $\varepsilon$ ), che permettono sia la determinazione della massima altezza di pioggia per i vari tempi di ritorno, sia la valutazione del tempo di ritorno di un evento estremo occorso.

Il valore  $w_T$  è così determinato:

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

Nel progetto STRADA si è ipotizzato che per qualunque durata  $d$  i valori di  $h$  seguano la distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel, il cui uso è molto diffuso per regolarizzare serie empiriche di valori estremi. Secondo tale modello, la probabilità  $P$  di non superamento di un generico valore dell'altezza di pioggia  $h$ , di assegnata durata  $d$ , è esprimibile con la seguente espressione:

$$P_{(h_t)} = e^{-e^{-\alpha_t (h_t - u_t)}}$$

dove:

- $h_t$  = massima altezza di pioggia di durata  $t$ ;
- $P$  = probabilità con cui  $h$  può verificarsi;
- $\alpha_t$  e  $u_t$  = parametri che caratterizzano la legge di distribuzione

L'intensità di funzione  $\alpha$  e l'estremo atteso  $u$  dipendono dalla media  $e$  dallo scarto quadratico medio attraverso le relazioni:

Parametri 1-24 ore

Parametro	Valore
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	30.67
N - Coefficiente di scala	0.29660001
GEV - parametro alpha	0.29750001
GEV - parametro kappa	-0.015699999
GEV - parametro epsilon	0.82349998

H (mm) x durate 1-24 ore

Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	28.6	39.1	46.2	53.0	62.0	68.8	75.6
2	35.1	48.0	56.7	65.1	76.1	84.5	92.9
3	39.6	54.2	63.9	73.4	85.8	95.3	104.8
4	43.2	59.0	69.6	79.9	93.5	103.8	114.1
5	46.1	63.0	74.4	85.4	99.9	110.9	121.9
6	48.7	66.5	78.5	90.2	105.4	117.0	128.7
7	51.0	69.6	82.2	94.4	110.4	122.5	134.7
8	53.0	72.5	85.5	98.2	114.8	127.4	140.2
9	54.9	75.0	88.6	101.7	118.9	132.0	145.1
10	56.6	77.4	91.4	104.9	122.7	136.2	149.8
11	58.3	79.6	94.0	107.9	126.2	140.1	154.0
12	59.8	81.7	96.4	110.8	129.5	143.7	158.1
13	61.2	83.7	98.8	113.4	132.6	147.2	161.9
14	62.6	85.5	101.0	115.9	135.6	150.5	165.5
15	63.9	87.3	103.1	118.3	138.4	153.6	168.9
16	65.1	89.0	105.1	120.6	141.0	156.5	172.1
17	66.3	90.6	106.9	122.8	143.6	159.4	175.3
18	67.4	92.2	108.8	124.9	146.1	162.1	178.3
19	68.5	93.7	110.5	126.9	148.4	164.7	181.1
20	69.6	95.1	112.2	128.9	150.7	167.3	183.9
21	70.6	96.5	113.9	130.8	152.9	169.7	186.6
22	71.6	97.8	115.4	132.6	155.0	172.1	189.2
23	72.5	99.1	117.0	134.3	157.1	174.3	191.7
24	73.4	100.4	118.5	136.0	159.1	176.5	194.1

## Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: Via De Gasperi - Suisio (Bg)  
 Coordinate: WGS84 - X: 9.498567 - Y: 45.662723, **Linea segnatrice**  
**Tempo di ritorno (anni)** 50

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>  
 A1 - Coefficiente pluviometrico orario 30.67  
 N - Coefficiente di scala 0.2966  
 GEV - parametro alpha 0.2975  
 GEV - parametro kappa -0.01569  
 GEV - parametro epsilon 0.8234

**Evento pluviometrico**  
 Durata dell'evento [ore] 1  
 Precipitazione cumulata [mm] 62

Formulazione analitica

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

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

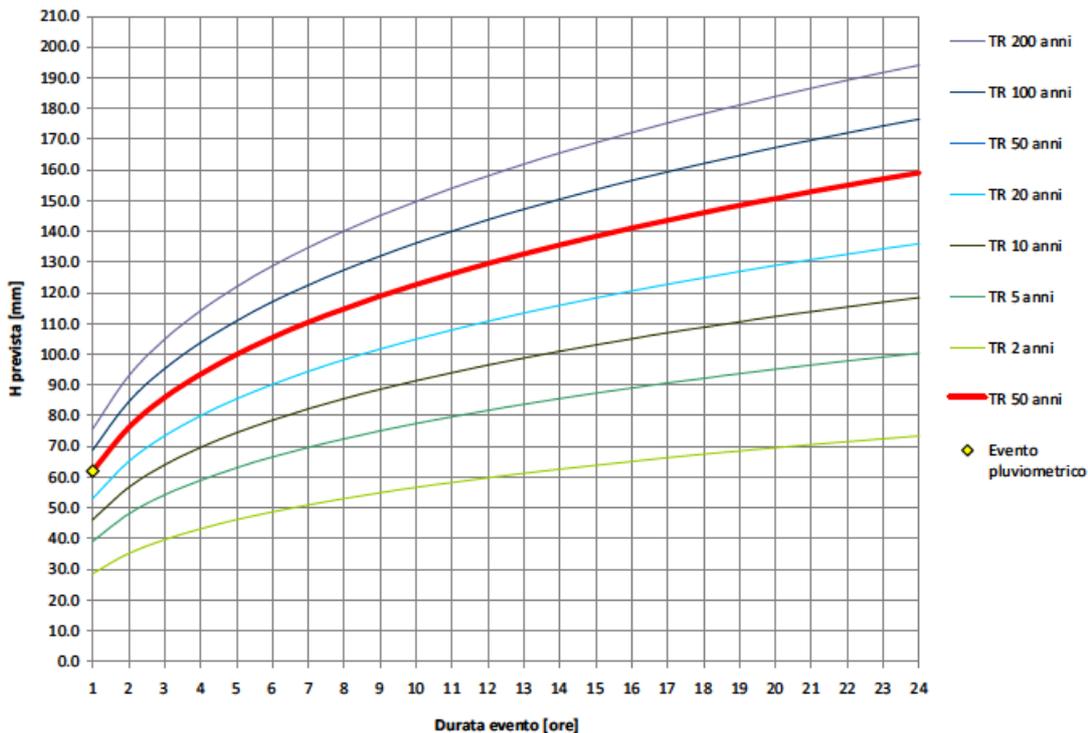
Bibliografia ARPA Lombardia:

<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	0.93275	1.27492	1.50484	1.72795	2.02050	2.24254	2.46621	2.02049686
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	28.6	39.1	46.2	53.0	62.0	68.8	75.6	61.9686386
2	35.1	48.0	56.7	65.1	76.1	84.5	92.9	76.1127568
3	39.6	54.2	63.9	73.4	85.8	95.3	104.8	85.8392905
4	43.2	59.0	69.6	79.9	93.5	103.8	114.1	93.4852188
5	46.1	63.0	74.4	85.4	99.9	110.9	121.9	99.8818226
6	48.7	66.5	78.5	90.2	105.4	117.0	128.7	105.431799
7	50.9	69.6	82.2	94.4	110.4	122.5	134.7	110.364153
8	53.0	72.5	85.5	98.2	114.8	127.4	140.2	114.822883
9	54.9	75.0	88.6	101.7	118.9	132.0	145.1	118.905046
10	56.6	77.4	91.4	104.9	122.7	136.2	149.7	122.679488
11	58.3	79.6	94.0	107.9	126.2	140.1	154.0	126.196999
12	59.8	81.7	96.4	110.7	129.5	143.7	158.1	129.496226
13	61.2	83.7	98.8	113.4	132.6	147.2	161.9	132.607337
14	62.6	85.5	101.0	115.9	135.6	150.5	165.5	135.554372
15	63.9	87.3	103.0	118.3	138.4	153.6	168.9	138.356836
16	65.1	89.0	105.0	120.6	141.0	156.5	172.1	141.030791
17	66.3	90.6	106.9	122.8	143.6	159.4	175.3	143.58964
18	67.4	92.2	108.8	124.9	146.0	162.1	178.3	146.044693
19	68.5	93.6	110.5	126.9	148.4	164.7	181.1	148.405595
20	69.6	95.1	112.2	128.9	150.7	167.2	183.9	150.680639
21	70.6	96.5	113.9	130.7	152.9	169.7	186.6	152.877016
22	71.6	97.8	115.4	132.6	155.0	172.0	189.2	155.001008
23	72.5	99.1	117.0	134.3	157.1	174.3	191.7	157.058133
24	73.4	100.4	118.5	136.0	159.1	176.5	194.1	159.053273

### Linee segnatrici di probabilità pluviometrica



$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{1.283}{\alpha} \\ \mu = u + \frac{0.5772}{\alpha} \end{array} \right.$$

Il metodo dei momenti fornisce per i parametri  $\alpha$  e  $u$  le seguenti stime:

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\alpha} = \frac{1.283}{\bar{\sigma}} \\ \hat{u} = \bar{\mu} - 0.450\bar{\sigma} \end{array} \right.$$

dove la media e lo scarto quadratico medio sono ricavabili dal campione analizzato.

Poiché l'elaborazione statistica è effettuata sul massimo valore che in un anno assume la grandezza  $h$ , è possibile legare la probabilità  $P$  al tempo di ritorno  $T$ , definito come il numero di anni in cui, mediamente,  $h$  è superato una sola volta. La relazione che lega il tempo di ritorno  $T$  alla probabilità  $P$  è la seguente:  $T = \frac{1}{1-P}$

la legge di Gumbel assegna alla pioggia  $h_t(T)$  di durata  $t$ , con tempo di ritorno  $T$ , il valore:

$$h_t(T) = \bar{u}_t - \frac{1}{\bar{\alpha}_t} \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

dove  $\bar{\alpha}_t$  e  $\bar{u}_t$  sono i parametri caratteristici della distribuzione relativa alla pioggia di durata  $t$ , valutabili con il metodo dei momenti.

Prefissato quindi un tempo di ritorno  $T$ , si sono calcolate le altezze di pioggia per le varie durate (1, 3, 6, 12, 24 ore) introducendo di volta in volta i parametri  $\alpha$  ed  $u$  calcolati sui campioni rappresentativi disponibili per le durate stesse (ricavati dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano - Parte I, tabella III, come integrati dai dati delle stazioni meteorologiche di recente introduzione e sintetizzati nel progetto STRADA).

I valori di altezza di pioggia così ottenuti, posti sul piano  $\log h$ ,  $\log d$ , sono stati interpolati tramite una retta, adottando il metodo dei minimi quadrati. In tal modo si sono ottenuti, per tempi di ritorno caratteristici, i valori dei parametri  $\alpha$ ,  $n$  e **GEV** ( $\alpha$ ,  $k$  ed  $\epsilon$ ) delle curve di possibilità pluviometrica per ogni singola stazione meteorologica.

Successivamente è stata effettuata una analisi spaziale delle precipitazioni di breve durata e forte intensità tramite l'individuazione delle linee **iso-n**, **iso- $\alpha$** , **iso-GEV** ( $\alpha$ ,  $\kappa$  ed  $\epsilon$ ) relative ad un tempo di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200.

Considerando la modesta dimensione delle aree scolanti, con tempo di corrivazione ampiamente inferiore all'ora, i valori sopra riportati e ricavati utilizzando dati disponibili con durata dell'evento meteorico di 1, 3, 6, 12, 24 ore forniscono

valori di altezze di pioggia inferiori rispetto a quelli determinati con parametri di possibilità climatica ricavati da serie storiche di precipitazioni intense di durata inferiore all'ora.

Non essendo disponibile un'analisi spaziale con parametri di possibilità climatica ricavati da serie storiche di precipitazioni intense di durata inferiore all'ora, in quanto non vi sono sufficienti dati per effettuare l'analisi spaziale, nel RR 8/2019 viene avviato a ciò stabilendo che, nel caso di utilizzo dei parametri derivati dal progetto STRADA e a prescindere dai tempi di ritorno, debba essere impiegato un valore prefissato di  $n_{50}=0,50$ .

#### 4.0 Dimensionamento del sistema di dispersione/laminazione

Nel caso di "Impermeabilizzazione potenziale alta", come il caso in esame, in ambiti territoriali a criticità alta o media si può adottare il metodo delle sole piogge come riportato nell'Allegato F del RR 8/2019. In tal caso 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 affussi-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. La portata costante entrante è quindi pari a

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1}$$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n$$

in cui  $S$  è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso,  $\varphi$  è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo calcolabile con i valori standard esposti nell'articolo 11, comma 2, lettera d) del regolamento (quindi  $S \cdot \varphi$  è la superficie scolante impermeabile dell'intervento),  $D$  è la durata di pioggia,  $a = a_1 w_T$  e  $n$  sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica (desunti da ARPA Lombardia come esposto al paragrafo 1 del presente allegato) espressa nella forma:

$$h = a \cdot D^n = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

L'onda uscente  $Q_u(t)$  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 sulle portate massime ammissibili di cui all'articolo 8 del regolamento. La portata costante uscente è quindi pari a:

$$Q_{u,lim} = S \cdot \varphi \cdot u_{lim}$$

e il volume complessivamente uscito nel corso della durata  $D$  dell'evento è pari a:

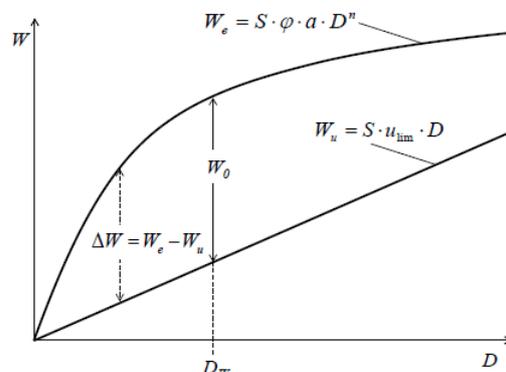
$$W_u = S \cdot \varphi \cdot u_{lim} \cdot D$$

in cui  $Q_{u,lim}$  è la portata specifica limite ammissibile allo scarico, di cui all'articolo 8 comma 1 del regolamento.

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di 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  $\Delta W$  che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica  $D$  (invaso di laminazione) è pari a:

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

La figura seguente mostra graficamente la curva  $W_e(D)$ , concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta  $W_u(D)$  e indica come la distanza verticale  $\Delta W$  tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata  $D_w$  critica per la laminazione.



Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata  $D$  la differenza  $\Delta W = W_e - W_u$ , si ricava la durata critica  $D_w$  per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione  $W_0$ :

$$D_w = \left( \frac{Q_{u,lim}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - Q_{u,max} \cdot D_w$$

Se si considerano per le varie grandezze le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica:

- $W_0$  in [m<sup>3</sup>]
- $S$  in [ha]
- $a$  in [mm/ora<sup>n</sup>]
- $n$  in [ore]
- $D_w$  in [ore]
- $Q_{u,lim}$  in [l/s]

le equazioni diventano:

$$D_w = \left( \frac{Q_{u,lim}}{2.78 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,lim} \cdot D_w$$

Verifiche invarianza idraulica - Metodo sole piogge - Art. 11 RR 8/2019

SUPERFICI		TOT		
TOTALE	2031,1			
IMPERMEABILE	1298	1298	1	1298
VERDE DRENANTE	615	615	0	0
SEMI-PERMEABILE	118	118	0,7	82,6
	SOMMA	2031		1381
	PHI TOT	0,70		

maggiore 60 min

minore 60 min

Qu 10,5 l/s  
 A 0,2032 ha  
 phi 0,7  
 a 62  
 n 0,2966  
 Wo 1,3 mc

Wo = Volume di invaso

We = volume entrante

Wu = volume uscente

Dw 0,59 ore  
 1/n-1 -1,421666193

35,59 minuti

DW = Durata evento critico

n/n-1 -0,421666193  
 Qu/A phi a n 4,014252803

Wo sole piogge 53,1 mc

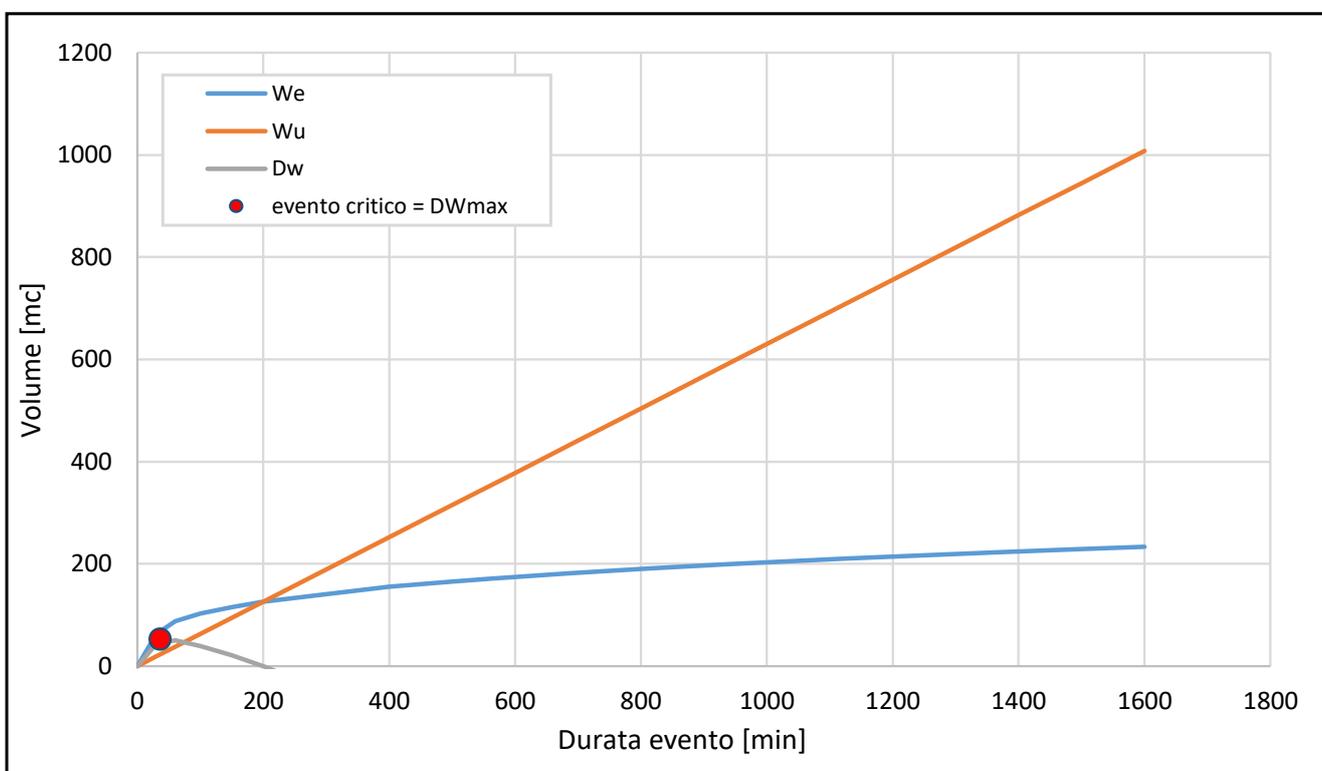
tempo di svuotamento

1,4 ore < 48 H

We 75,5

Wu 22,4

D (minuti)	D (ore)	We	Wu	Dw
0	0,00	0	0	0
30	0,50	62	19	43
60	1,00	88	38	50
100	1,67	103	63	40
150	2,50	116	95	21
200	3,33	126	126	0
400	6,67	155	252	-97
500	8,33	165	315	-150
600	10,00	175	378	-203
700	11,67	183	441	-258
800	13,33	190	504	-314
900	15,00	197	567	-370
1000	16,67	203	630	-427
1100	18,33	209	693	-484
1200	20,00	214	756	-542
1300	21,67	220	819	-599
1400	23,33	224	882	-658
1500	25,00	229	945	-716
1600	26,67	234	1008	-774



Introducendo in esse la portata di scarico si ha:

$$D_w = \left( \frac{u_{lim}}{2.78 \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$w_0 = 10 \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot u_{lim} \cdot D_w$$

Per il caso in esame la portata in uscita è quella relativa all'infiltrazione nei dreni verticali di progetto (dreni in pvc microfessurati diametro 125 mm) spinti fino a 30 m di profondità. Ciascuno di tali dreni è in grado di garantire l'infiltrazione di 3,5 l/s e dunque complessivamente la portata infiltrata dai 3 dreni è pari 10,5 l/s.

Dalle verifiche condotte con il metodo delle sole piogge emerge che per l'area in esame il volume da complessivo laminare è pari a 53.1 mc.

Tale volume è tuttavia inferiore al volume minimo imposto dal RR 8/2019 che per il caso in esame è pari a 800 mc/Ha di superficie scolante impermeabile di e pertanto pari a  $800 \times 1307/10000 = 113.8$  mc.

Per l'intervento oggetto di studio è tuttavia possibile avvalersi della riduzione del 30 % del requisito minimo del volume di laminazione, indicata nell'art. 11, comma 2, lett. e), numero 3, e pertanto il volume minimo di laminazione non dovrà essere inferiore a  $113.8 \times 0,7 = 79.66$  mc, arrotondato a 80 mc.

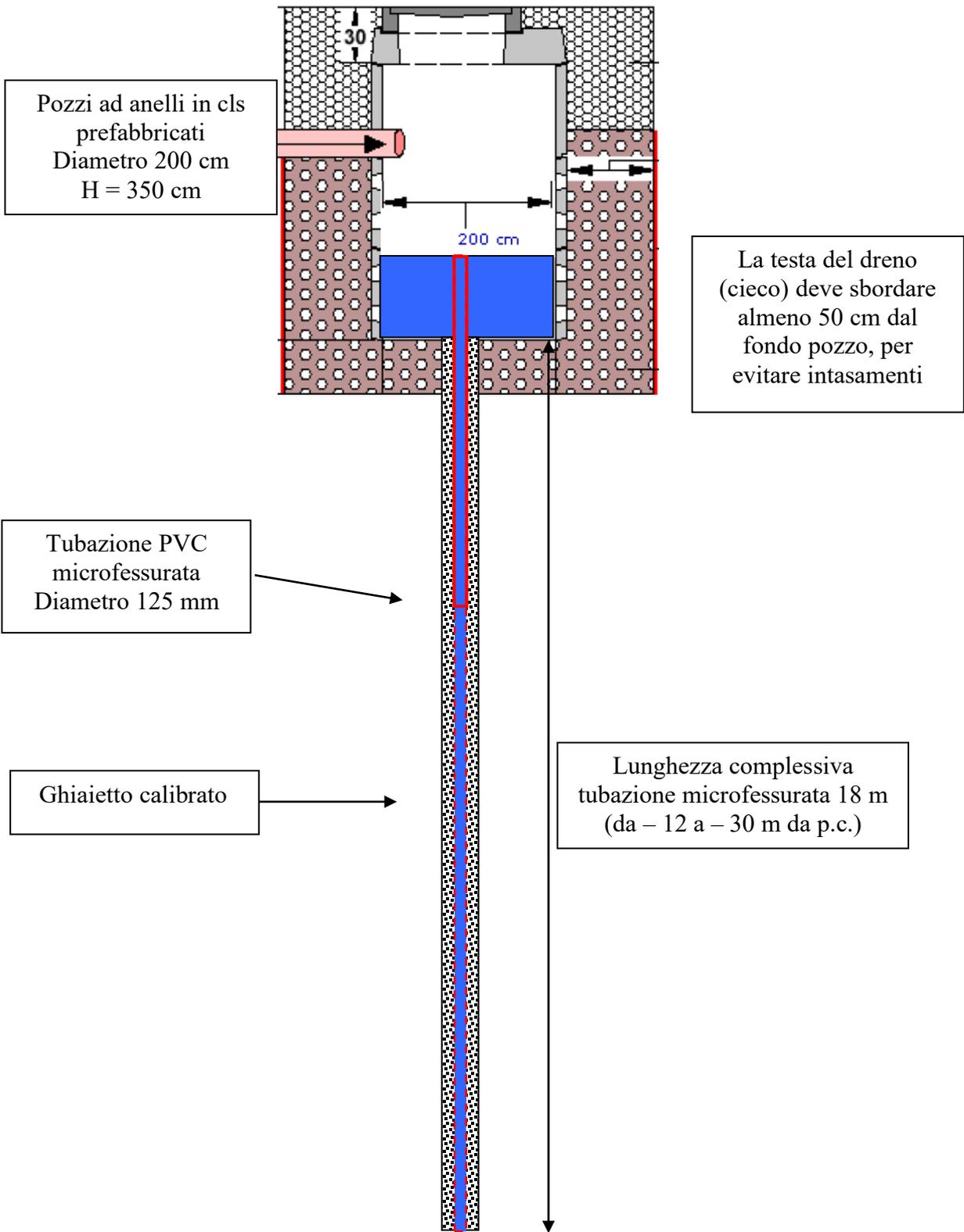
Tale volume minimo di laminazione sarà garantito dalla realizzazione di n° 8 pozzi del tipo ad anelli in cls prefabbricati, con anelli ciechi (in quanto il terreno superficiale non disperde e la loro funzione è esclusivamente di laminazione) di diametro interno 200 cm, altezza utile 350 cm con funzione vasca di laminazione, secondo il progetto predisposto dal Progettista ai cui elaborati si rimanda e secondo lo schema rappresentato in allegato.

Al fondo di n° 3 pozzi dovranno essere realizzati i 3 dreni verticali (1 per ciascuno dei tre pozzi) aventi le seguenti caratteristiche:

- Profondità dreni 30 m da piano campagna;
- Diametro dreno 125 mm;
- Tratto filtrante tra - 12 e - 30 m da piano campagna;
- Apertura filtri 1,5 mm, riempimento intercapedine con ghiaietto siliceo calibrato;
- Esecuzione di adeguati cicli di spurgo/sviluppo;

La testata dei dreni dovrà sporgere di 50 cm da fondo dei pozzi e dovrà essere cieca (senza fessurazioni), per consentire la sedimentazione di eventuali solidi sospesi ed evitare l'intasamento dei dreni.

Il modesto volume perso nei 3 pozzi per ottemperare a tale prescrizione è ampiamente compensato dai volumi



Pozzi ad anelli in cls prefabbricati  
 Diametro 200 cm  
 H = 350 cm

La testa del dreno (cieco) deve sbordare almeno 50 cm dal fondo pozzo, per evitare intasamenti

Tubazione PVC microfessurata  
 Diametro 125 mm

Ghiaietto calibrato

Lunghezza complessiva tubazione microfessurata 18 m  
 (da -12 a -30 m da p.c.)

Schema sistema di dispersione

maggiori (di circa 8 mc) del sistema di laminazione rispetto ai volumi minimi imposti.

Il volume laminato da tali pozzi è pari a 88 mc, superiore al volume minimo ridotto del 30% (88 mc > 80 mc) pertanto è sufficiente, per garantire la dispersione delle acque meteoriche, rispettando i volumi minimi ridotti del 30%. Il volume eccedente di circa 8 mc garantisce la laminazione anche di piogge con tempi di ritorno di 100 anni. Tale sistema garantisce il completo svuotamento, attraverso la dispersione negli orizzonti superficiali del suolo, in un tempo pari a 2,32 ore, rispettando le prescrizioni del RR che impongono lo svuotamento in un t inferiore alle 48 h; il sistema risulta pertanto verificato. Si raccomanda di posizionare i pozzi ed i dreni verticali a distanza di sicurezza dalle fondazioni ed in area dove siano ispezionabili ed accessibili per gli interventi di verifica dell'efficienza e di manutenzione. Si raccomanda infine alla DL di eseguire, in fase di realizzazione dei dreni verticali, specifiche prove di permeabilità e di collaudo per verificare che la loro capacità di infiltrazione non sia inferiore a quella di progetto adottata per i dimensionamenti esposti nel seguente rapporto. Qualora la DL ravvisasse, durante l'esecuzione delle prove di permeabilità/collaudo, una capacità di infiltrazione inferiore a quella indicata nel seguente rapporto, dovranno essere rivisti i dimensionamenti complessivi.

#### 5.0 Piano di manutenzione delle opere di invarianza idraulica Art. 13 RR 8/2019

Per quanto riguarda la descrizione dettagliata delle opere di invarianza si rimanda alla tavola schema fognario predisposta dal Progettista e ai relativi particolari costruttivi. Per garantire la piena efficacia ed efficienza nel tempo del sistema dovrà essere prevista la periodica manutenzione, indicativamente a cadenza semestrale. Dovrà essere controllata la presenza di eventuale di limo sul fondo dei pozzi, dei pozzetti e delle caditoie, che andrà completamente rimosso. Dovranno periodicamente essere ispezionati i pozzi perdenti, i pozzetti, le caditoie, i pluviali ed i canali di gronda e se necessario procedere alla loro pulizia per la rimozione di eventuale fanghiglia, resti vegetali quali foglie e/o ramaglia. Dovrà inoltre essere verificata la funzionalità idraulica e strutturale dell'impianto procedendo alle manutenzioni eventualmente necessarie alle parti ammalorate. Durante queste ispezioni dovrà essere verificato il livello raggiunto e il tempo dello svuotamento dopo una pioggia che dovrà essere conforme alle prescrizioni normative riportate nel seguente rapporto. Qualora durante tali verifiche si ravvisasse una riduzione di efficacia del sistema di infiltrazione dovrà essere previsto lo spurgo per ripristinare la corretta capacità di infiltrazione e garantire le prestazioni di progetto.

Bergamo, 29 Novembre 2021



Dr. Geol. Norberto Invernici

N. Iscriz. O.G.L. 990