

# GEOLOGIA AMBIENTALE ED IDROGEOLOGICA

*indagini geologiche e geotecniche  
consulenze  
analisi di laboratorio e prove in sito*

**Dott. Geol. MARCO MANTOVANI**  
**Viale Rinascita, 12 - 46028 Sermide e Felonica (MN)**  
**Tel. 0386/61891-62398 \*Fax 0386/61891**  
**E-mail [m.mantovani5@virgilio.it](mailto:m.mantovani5@virgilio.it)**

**INVARIANZA IDRAULICA SULL'AREA RELATIVA ALLA  
REALIZZAZIONE DEL PIANO DI RECUPERO SITO IN  
LOCALITÀ LEVATA DENOMINATO "ZTR 651" - SITA IN VIA  
LEVATA A CURTATONE (MN) – FG. 27 PART. 600, 601, 649, 653.**

**COMMITTENTE: DOTT. ARCH. GIORGIO GABRIELI**  
**VIA AIA MADAMA, 1**  
**46035 OSTIGLIA (MN)**

**SERMIDE, FEBBRAIO 2021**



A circular professional stamp in blue ink. The outer ring contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI DELLA LOMBARDIA". The inner circle contains the text "MANTOVANI MARCO n° 448". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

## **INDICE**

1) PREMESSA	Pag.	3
2) INVARIANZA IDRAULICA	Pag.	4
2.1) Stima dei coefficienti di afflusso	Pag.	9
2.2) Stima del volume idrico in eccesso	Pag.	10
2.3) Classi di criticità secondo R.R. 19/04/2019	Pag.	12
2.4) Dimensionamento vasca di laminazione	Pag.	42

In allegato:

- *Panoramica da google earth;*

## **1) P R E M E S S A**

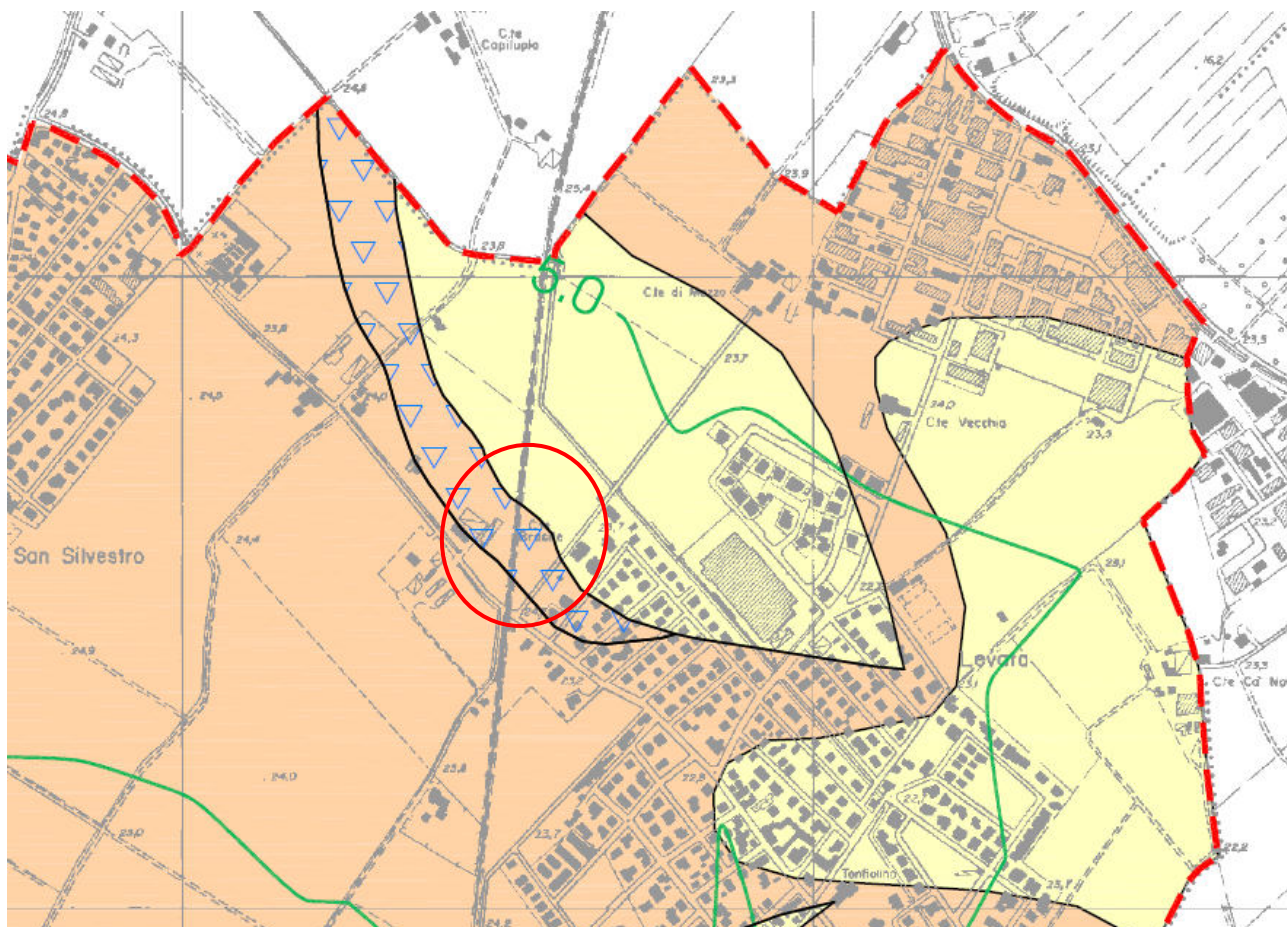
Nel mese di dicembre 2020, lo scrivente veniva incaricato dallo *STUDIO DI ARCHITETTURA E URBANISTICA ARCHITETTO GIORGIO GABRIELI – Via Aia Madama, 1 – Ostiglia (MN)*, di eseguire una relazione a riguardo della Invarianza Idraulica sull'area relativa al piano di recupero in località Levata denominato “ZTR 651” e sito in Via Levata a Curtatone (MN). Fg. 27, part. 600, 601, 649, 653.

La redazione del presente rapporto è stata effettuata come indicato dal Regolamento Regionale del 19 Aprile 2019 n. 9.

*“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 2015 n. 12 “Legge per il governo del territorio”).*

Inoltre, si precisa che le caratteristiche litologiche e idrogeologiche caratterizzanti il sito, queste risultano indicate nella relazione illustrativa della componente geologica del PGT in adozione.

## 2) ESTRATTO CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA DA PGT




### ESTRATTO CARTA VULNERABILITÀ DEL PRIMO ACQUIFERO

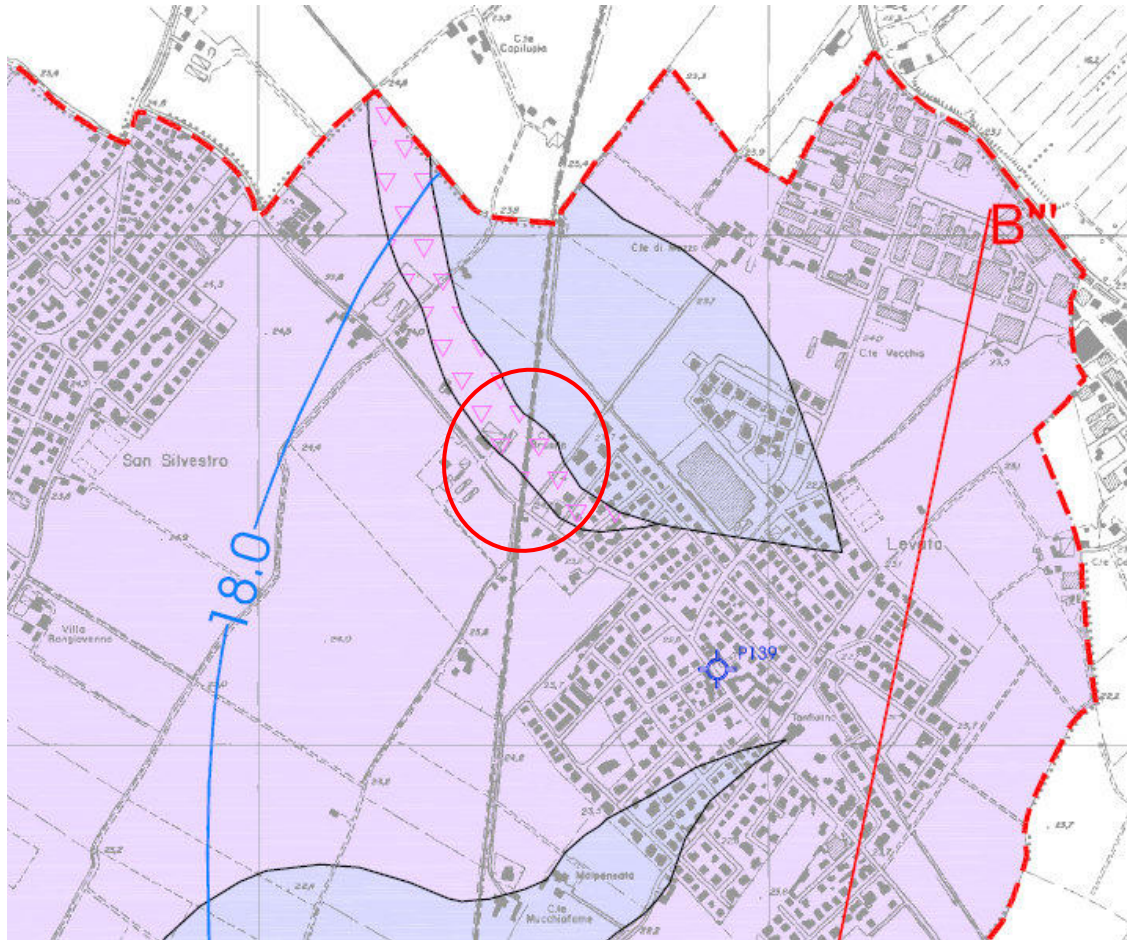


Area oggetto dell'intervento

#### ELEMENTI IDROGEOLOGICI

 Isobata della superficie piezometrica in m da p.c. con equidistanza 1,0 m


 Area con falda sub-affiorante





ESTRATTO CARTA IDROGEOLOGICA


 Area oggetto dell'intervento

ELEMENTI IDROGEOLOGICI

 Isopiezia in m s.l.m. con equidistanza 1 metro

 Direzione e verso del flusso idrico

 Area con falda sub-affiorante

 Pozzo a stratigrafia nota

### **3) INVARIANZA IDRAULICA**

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

Si è proceduto secondo il seguente schema:

- calcolo delle precipitazioni di riferimento attraverso le curve segnalatrici di possibilità climatica per un tempo di ritorno uguale a 50;
- stima dei coefficienti di afflusso pre e post trasformazione;
- calcolo del volume idrico in eccesso;
- dimensionamento della vasca di laminazione;

Normativa di riferimento: Regolamento Regionale 19 aprile 2019 n. 8, Regione Lombardia.

Si precisa che la scelta effettuata è stata condizionata, come indicato nell'art. 5) punto 3 lettere a), b) del succitato R.R., in quanto non vi è la possibilità sia di un riutilizzo dei volumi stoccati e sia la possibilità di una loro dispersione nel sottosuolo a causa della modestissima permeabilità dei terreni riscontrati e della falda sub-affiorante. Per quest'ultima indicazione si confronti la cartografia a corredo del PGT riportata al par. 2). Quindi, la scelta per lo smaltimento risulta quella dello scarico in un corpo idrico superficiale.

Si indica che i dati relativi alla precipitazione di progetto sono quelli riportati dalla Stazione ARPA Lombardia più vicina al sito in oggetto, come indicato dall'Art. 11 punto 2. Lettera b) del sopra citato R.R.

Il coefficiente di deflusso medio ponderale risulta identificato in 0,4339, ovvero valore nella situazione post trasformazione.

Si vuole evidenziare che il coefficiente di afflusso rispecchia il singolo evento meteorico che risulta variabile durante l'anno ed è legato alla evapotraspirazione. Diversamente il coefficiente di deflusso risulta come una media annuale del coefficiente di afflusso, quindi risulta più regolare e con più margini di maggior sicurezza. Quindi si è assunto con ragionevole sicurezza il coefficiente di afflusso uguale al coefficiente di deflusso.

Il calcolo del presente rapporto è stato effettuato col programma INVIDRA della Program Geo, il quale risulta oramai ampiamente collaudato a tutti i livelli e classi d'intervento regionali.

Per quanto riguarda l'art. 3 comma 3 del Reg. Regionale (si suppone il n. 7 del 23 novembre 2017), questo indica "interventi relativi alle infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi..." A parere dello scrivente non siamo in questa casistica.

### **Calcolo delle precipitazioni meteoriche di riferimento.**

Le curve che descrivono l'altezza delle precipitazioni (h) in funzione della loro durata (t) prendono il nome di *curve segnalatrici di possibilità climatica o pluviometrica (LSPP)*. L'equazione che collega queste due variabili ha la seguente forma:

$$h \text{ (mm)} = a t^n = a_1 w_T t^n$$

dove  $a_1$  = altezza di precipitazione con  $t = 1$  ora e tempo di ritorno  $T = 1$  anno;  
 $w_T$  = fattore di frequenza in funzione del tempo di ritorno  $T$  scelto;  
 $n$  = fattore di scala in funzione della durata dell'evento meteorico.

Nell'area in esame, ricadente all'interno del territorio comunale di Curtatone, per piogge orarie con tempo di ritorno uguale a 50 anni o 100 anni, si può porre:

$a_1$	= 26.5599999
$w_{50}$	= 2.02306041
$a_{50}$	= 53.7324824
$n$	= 0.2524

Tempo ritorno pari a anni 50

$a_1$	= 26.5599999
$w_{100}$	= 2.26999798
$a_{100}$	= 60.291144
$n$	= 0.2524

Tempo ritorno pari a anni 100

(fonte dati: A.R.P.A. Lombardia)

I dati riportati in tabella sono desunti dal sito ARPA Lombardia che risponde al link:

<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>

Dai dati ricevuti, tramite il foglio elettronico di calcolo sempre fornito da ARPA, si ricavano i dati sopraesposti.

Si veda tabelle e grafici alla pagina seguente, sia per un tempo di ritorno pari ad anni 50 sia per un tempo di ritorno pari ad anni 100.



### Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: LEVATA di CURTATONE

Coordinate: ...45,12695278 N; 10,7605472 E

Linea segnatrice

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

Tempo di ritorno (anni) **50**

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 26,559999

N - Coefficiente di scala 0,25240001

GEV - parametro alpha 0,27090001

GEV - parametro kappa -0,0627

GEV - parametro epsilon 0,8255

Evento pluviometrico

Durata dell'evento (ore) **24**

Predipitazione cumulata [mm] **14**

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:

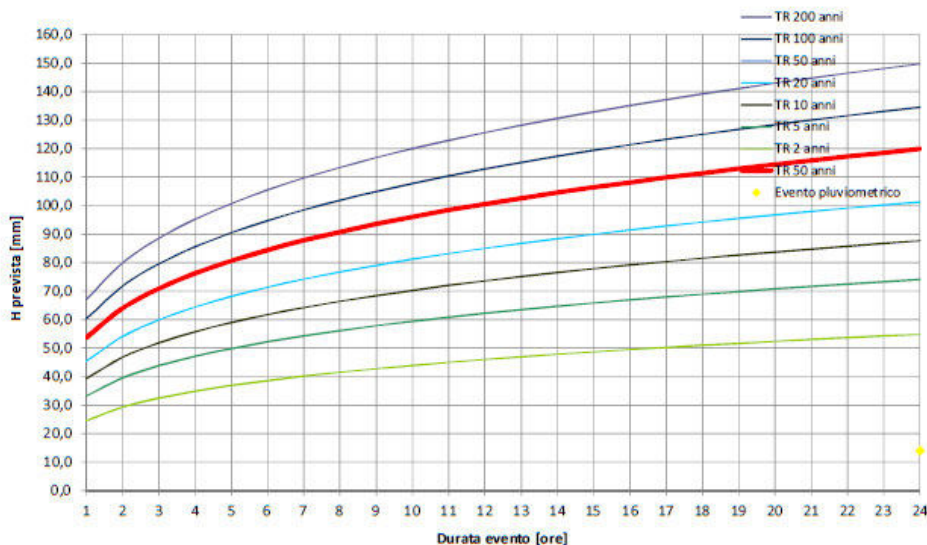
<http://idro.arpa.lombardia.it/manual/iso.pdf>

[http://idro.arpa.lombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpa.lombardia.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	0,92594	1,25155	1,48023	1,70993	2,02306	2,27000	2,52702	2,02306041
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	24,6	33,2	39,3	45,4	53,7	60,3	67,1	53,7324824
2	29,3	39,6	46,8	54,1	64,0	71,8	79,9	64,0054388
3	32,5	43,9	51,9	59,9	70,9	79,6	88,6	70,9026251
4	34,9	47,2	55,8	64,4	76,2	85,5	95,2	76,2424517
5	36,9	49,9	59,0	68,2	80,7	90,5	100,8	80,659763
6	38,7	52,2	61,8	71,4	84,5	94,8	105,5	84,4582909
7	40,2	54,3	64,2	74,2	87,8	98,5	109,7	87,809127
8	41,6	56,2	66,5	76,8	90,8	101,9	113,4	90,8190233
9	42,8	57,9	68,5	79,1	93,6	105,0	116,9	93,5594639
10	44,0	59,4	70,3	81,2	96,1	107,8	120,0	96,0806675
11	45,0	60,9	72,0	83,2	98,4	110,4	122,9	98,4202422
12	46,0	62,2	73,6	85,0	100,6	112,9	125,7	100,605625
13	47,0	63,5	75,1	86,8	102,7	115,2	128,2	102,658808
14	47,9	64,7	76,5	88,4	104,6	117,4	130,7	104,597097
15	48,7	65,8	77,9	90,0	106,4	119,4	132,9	106,434482
16	49,5	66,9	79,2	91,4	108,2	121,4	135,1	108,182447
17	50,3	68,0	80,4	92,8	109,9	123,3	137,2	109,850547
18	51,0	68,9	81,5	94,2	111,4	125,1	139,2	111,446824
19	51,7	69,9	82,7	95,5	113,0	126,8	141,1	112,978116
20	52,4	70,8	83,7	96,7	114,5	128,4	143,0	114,450288
21	53,0	71,7	84,8	97,9	115,9	130,0	144,7	115,868416
22	53,7	72,5	85,8	99,1	117,2	131,5	146,4	117,236921
23	54,3	73,3	86,7	100,2	118,6	133,0	148,1	118,559682
24	54,8	74,1	87,7	101,3	119,8	134,5	149,7	119,84012

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica







Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>  
 A1 - Coefficiente pluviometrico orario 26,559999  
 N - Coefficiente di scala 0,25240001  
 GEV - parametro alpha 0,27090001  
 GEV - parametro kappa -0,0527  
 GEV - parametro epsilon 0,8255

### Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: LEVATA di CURTATONE  
 Coordinate: ...45,12695278 N; 10,7605472 E

Linea segnatrice  
 Tempo di ritorno (anni) **100**

Evento pluviometrico  
 Durata dell'evento [ore] **24**  
 Precipitazione cumulata [mm] **14**

Formulazione analitica

$$h_T(D) = \alpha_1 w_T D^n$$

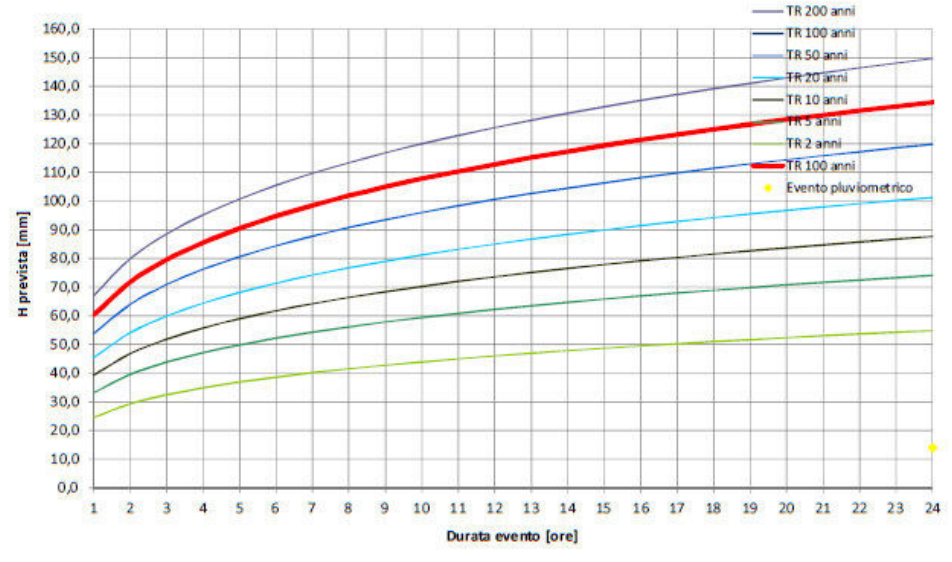
$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:  
<http://idro.arpa.lombardia.it/manuali/ispq.pdf>  
[http://idro.arpa.lombardia.it/manuali/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpa.lombardia.it/manuali/STRADA_report.pdf)

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

Tr	2	5	10	20	50	100	200	100
wT	0,92594	1,25155	1,48023	1,70993	2,02306	2,27000	2,52702	<b>2,26999798</b>
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 100 anni
1	24,6	33,2	39,3	45,4	53,7	60,3	67,1	<b>60,291144</b>
2	29,3	39,6	46,8	54,1	64,0	71,8	79,9	<b>71,8180317</b>
3	32,5	43,9	51,9	59,9	70,9	79,6	88,6	<b>79,5570982</b>
4	34,9	47,2	55,8	64,4	76,2	85,5	95,2	<b>85,5487115</b>
5	36,9	49,9	59,0	68,2	80,7	90,5	100,8	<b>90,5052059</b>
6	38,7	52,2	61,8	71,4	84,5	94,8	105,5	<b>94,7673874</b>
7	40,2	54,3	64,2	74,2	87,8	98,5	109,7	<b>98,5272312</b>
8	41,6	56,2	66,5	76,8	90,8	101,9	113,4	<b>101,90452</b>
9	42,8	57,9	68,5	79,1	93,6	105,0	116,9	<b>104,979462</b>
10	44,0	59,4	70,3	81,2	96,1	107,8	120,0	<b>107,808632</b>
11	45,0	60,9	72,0	83,2	98,4	110,4	122,9	<b>110,433554</b>
12	46,0	62,2	73,6	85,0	100,6	112,9	125,7	<b>112,885687</b>
13	47,0	63,5	75,1	86,8	102,7	115,2	128,2	<b>115,189485</b>
14	47,9	64,7	76,5	88,4	104,6	117,4	130,7	<b>117,364365</b>
15	48,7	65,8	77,9	90,0	106,4	119,4	132,9	<b>119,426023</b>
16	49,5	66,9	79,2	91,4	108,2	121,4	135,1	<b>121,387347</b>
17	50,3	68,0	80,4	92,8	109,9	123,3	137,2	<b>123,259058</b>
18	51,0	68,9	81,5	94,2	111,4	125,1	139,2	<b>125,050179</b>
19	51,7	69,9	82,7	95,5	113,0	126,8	141,1	<b>126,768382</b>
20	52,4	70,8	83,7	96,7	114,5	128,4	143,0	<b>128,420249</b>
21	53,0	71,7	84,8	97,9	115,9	130,0	144,7	<b>130,011476</b>
22	53,7	72,5	85,8	99,1	117,2	131,5	146,4	<b>131,547023</b>
23	54,3	73,3	86,7	100,2	118,6	133,0	148,1	<b>133,031242</b>
24	54,8	74,1	87,7	101,3	119,8	134,5	149,7	<b>134,467972</b>

### Linee segnatrici di probabilità pluviometrica



## **2.1) Stima dei coefficienti di afflusso pre e post trasformazione.**

I coefficienti di afflusso pre e post trasformazione, per eventi meteorici con tempo di ritorno annuale, possono essere dedotti dalla seguente tabella (Chow et al., 1988):

Tipo di superficie	$c_a$
Asfalto	0.657
Calcestruzzo, tetti	0.657
Coltivazioni(i=0-2%)	0.375
Coltivazioni(i=2-7%)	0.395
Coltivazioni(i>7%)	0.401
Pascoli(i=0-2%)	0.349
Pascoli(i=2-7%)	0.381
Pascoli(i>7%)	0.395
Boschi(i=0-2%)	0.316
Boschi(i=2-7%)	0.368
Boschi(i>7%)	0.381

Per ottenere i corrispondenti valori di  $c_a$  per tempi di ritorno superiori a 1 anno, i dati della tabella devono essere moltiplicati per un fattore di frequenza.

Il fattore di frequenza può essere ricavato dal seguente schema:

Tempo di ritorno	$k_f$
10	1.23
20	1.33
30	1.38
50	1.42
100	1.47
200	1.50
500	1.52

Questo parametro consente di tenere in considerazione nel calcolo la variazione del coefficiente di afflusso del bacino con il variare dell'altezza meteorica. La grandezza  $c_a$  infatti dipende da fenomeni, come l'infiltrazione nel terreno e l'evapotraspirazione, che sono a loro volta funzione del volume d'acqua precipitato e dell'intensità della pioggia. Maggiore è l'altezza di precipitazione, e quindi il volume affluito e l'intensità meteorica, minore è la quantità d'acqua, in proporzione, che viene trattenuta dal bacino, cioè maggiore è l'afflusso superficiale. Poiché ad altezze meteoriche più elevate corrispondono tempi di ritorno maggiori, anche  $c_a$  deve essere posto in funzione del tempo di ritorno dell'evento piovoso.

I dati possono essere interpolati per ottenere i valori di  $k_f$  corrispondenti a tempi di ritorno intermedi.

Nel caso in esame, si è quindi ottenuto:

- situazione pre-trasformazione (coltivazioni con pendenza media = 0-2%):

Tempo di ritorno	$k_f$	$c_a$
1 anno	1.00	0.375
50 anni	1.42	0.533

- situazione post-trasformazione (asfalto, calcestruzzo, tetti):

Tempo di ritorno	$k_f$	$c_a$
1 anno	1.00	0.657
50 anni	1.42	0.933

## 2.2) Stima del volume idrico in eccesso

In base all'allegato C del Regolamento Regionale 19 aprile 2019 n. 8, il Comune di *Curtatone* ricade nella **classe di criticità idraulica B**. La superficie interessata dall'intervento è pari a 0,5462 ha, per cui il sito rientra nella classe d'intervento 2. Il Regolamento in questo caso prevede, l'applicazione del metodo delle sole piogge (art. 11 e allegato G).

Tabella 1

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
			AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
			Are A, B	Are C
2	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	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		

Per la stima della durata critica di pioggia, cioè della durata dell'evento meteorico che produce il massimo volume di deflusso, si è impiegato il **metodo delle sole piogge**.

Nell'applicare questo metodo si considerano trascurabili gli effetti del processo di trasformazione afflussi-deflussi. Si parte quindi dal presupposto che contemporaneamente all'inizio dell'evento meteorico si abbia la massima portata di afflusso.

Il "Metodo delle sole piogge" si basa sulle seguenti assunzioni:

- A) 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. La portata costante entrante è quindi pari a:  $Q_e = S \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot D^{n-1}$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:  $W_e = S \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot D^n$   
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,  $a = a_1 w T^n$  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:  $n T^n h = a \cdot D = a_1 \cdot w \cdot D$

- B) 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:

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

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

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

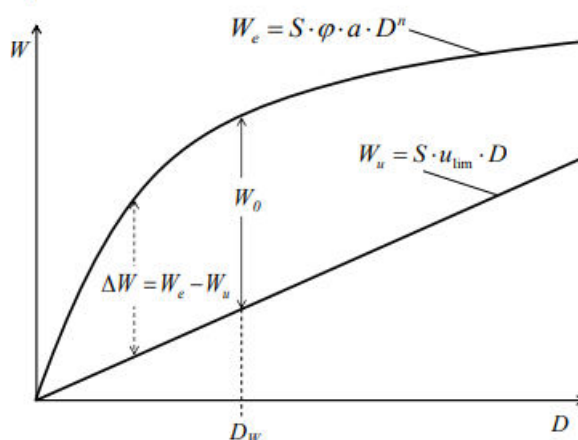
in cui  $u_{lim}$  è la portata specifica limite ammissibile allo scarico, di cui all'articolo 8 comma 1 del regolamento. Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente 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.

**Figura 4 – Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico  $D_W$  e del corrispondente volume critico  $W_0$  di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato.**



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 [mc ]

$S$  in [ha]

$a$  in [mm/ora<sup>n</sup> ]

$\theta$  in [ore]

$D_W$  in [ore]

$Q_{u,lim}$  in [l/s]

le equazioni sopra riportate diventano

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

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

Introducendo in esse la portata specifica di scarico  $u_{lim} = Q_{u,lim}/S$  (in l/s per ettaro) e il volume specifico di invaso  $w_0 = W_0/S$  (in mc /ha) si ha:

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

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

Si osservi che il parametro  $n$  (esponente della curva di possibilità pluviometrica) da utilizzare nelle equazioni precedenti deve essere congruente con la durata  $D_w$  risultante dal calcolo, tenendo conto che il valore di  $n$  è generalmente diverso per le durate inferiori all'ora, per le durate tra 1 e 24 ore e per le durate maggiori di 24 ore.

Nel R.R. 23/11/2017 n. 7 al punto 3.2.2. sono riportati i DIAGRAMMI ESEMPLIFICATIVI

In essi si possono ricavare:

- valori del parametro  $a = 40, 60, 80, 100$  mm/ora<sup>n</sup> (salvo ubicazioni particolari, tali valori coprono l'intervallo delle altezze di pioggia orarie per tempi di ritorno fino a 100 anni per una larga parte della Lombardia);
- valori del parametro  $n = 0,15 \div 0,5$ ;
- valori della portata limite specifica uscente  $u_{lim} = 10, 20$  l/s per ettaro
- valori del coefficiente di deflusso  $\phi = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$ .

Tali diagrammi, nei quali sono oscurati i campi pluviometricamente inusuali (nei quali si ha contemporaneamente una durata  $D_w > 24$  ore e  $n > 0,30$  oppure una durata  $D_w > 1$  ora e  $n > 0,4$ ), indicano che:

- sia la durata critica  $D_w$  che il volume specifico  $w_0$  sono crescenti in funzione sia di  $n$  sia del coefficiente di deflusso  $\phi$ .
- la durata critica  $D_w$  è generalmente maggiore dell'ora;
- il volume specifico di invaso per  $\phi = 1$  (aree totalmente impermeabili) raggiunge valori che variano da circa 600 mc/ha a circa 1.800 mc/ha al variare di  $a$  da 40 mm/ora<sub>n</sub> a 100 mm/ora<sub>n</sub>.

Quindi si può ricavare la durata critica  $D_w$  (ore) e il volume specifico di invaso di laminazione  $w_0$  (mc /ha) caratterizzanti il caso di interesse. Per valori dei parametri intermedi tra quelli dei grafici tali grandezze possono essere dedotte per interpolazione lineare o, meglio, o, meglio, utilizzando direttamente le formule sopra riportate.

### 2.3) Classi di criticità secondo il Regolamento Regionale 19 aprile 2019 n. 8

Nell'applicare questo metodo si considerano trascurabili gli effetti del processo di trasformazione afflussi-deflussi. Si parte quindi dal presupposto che contemporaneamente all'inizio dell'evento meteorico si abbia la massima portata di afflusso.

Nell'applicazione del metodo delle sole piogge si fanno solitamente due ipotesi:

1. che la precipitazione meteorica netta abbia intensità costante (ietogramma rettangolare);
2. che lo svuotamento della vasca di laminazione avvenga a portata costante ( $Q_u = \text{cost}$ ).

Partendo da queste due ipotesi semplificatrici, all'istante  $t$  il volume accumulato all'interno dell'area trasformata, dato dalla differenza fra il volume idrico entrante e quello uscente, può essere descritto dalla seguente relazione:

$$(1) W(\text{mc}) = c_a A h - Q_u t$$

in cui:

$c_a$	= coefficiente di afflusso;
$A$	= superficie dell'area trasformata;
$a$	= parametro $a$ della curva di possibilità pluviometrica;
$n$	= parametro $n$ della curva di possibilità pluviometrica.
$h$	= altezza pluviometrica ricavata dalla LSPP

La durata di pioggia che genera un volume massimo d'invaso ( $t_r =$  durata critica) è quella per la quale la portata di afflusso  $Q$  uguaglia quella in uscita  $Q_u$ . Inserendo quindi il valore di  $t_r$  ricavato nella (1) si calcola il volume d'invaso massimo.

Coerentemente con le disposizioni contenute nel Regolamento, nel calcolo si è fatto riferimento a un tempo di ritorno delle piogge di 50 anni, con verifica del grado di sicurezza pari a  $Tr = 100$  anni (R.R. 7/2017 s.m.i. art. 11 capo 2.)

Il parametro  $Q_u$  è stato posto uguale a 20 l/s, per  $H_a$  valore fissato dal Regolamento Regionale per le aree B.

Si sono ottenuti quindi i seguenti valori di volumi idrici massimi in eccesso, confrontati con i volumi minimi previsti dal Regolamento per la classe di criticità A (800 mc per ettaro - art. 7 punto 5 del R.R.-):

Tempo di ritorno (anni)	Area (mq)	$Q_u$ (mc/s)	Volume calcolato (mc)	$Tr$ (s)	Volume minimo da regolamento (mc)
50	5462	0,010924	247,64	7653,4	187,78

Tempo di ritorno (anni)	Area (mq)	Qu (mc/s)	Volume calcolato (mc)	Tc (s)	Volume minimo da regolamento (mc)
100	5462	0,010924	660,78	497,1	187,78

Da cui:

$Q_u = 5462 \text{ mq} / 10.000 \text{ mq} \times 20 \text{ l/s} / 1000 \text{ lt}; -$

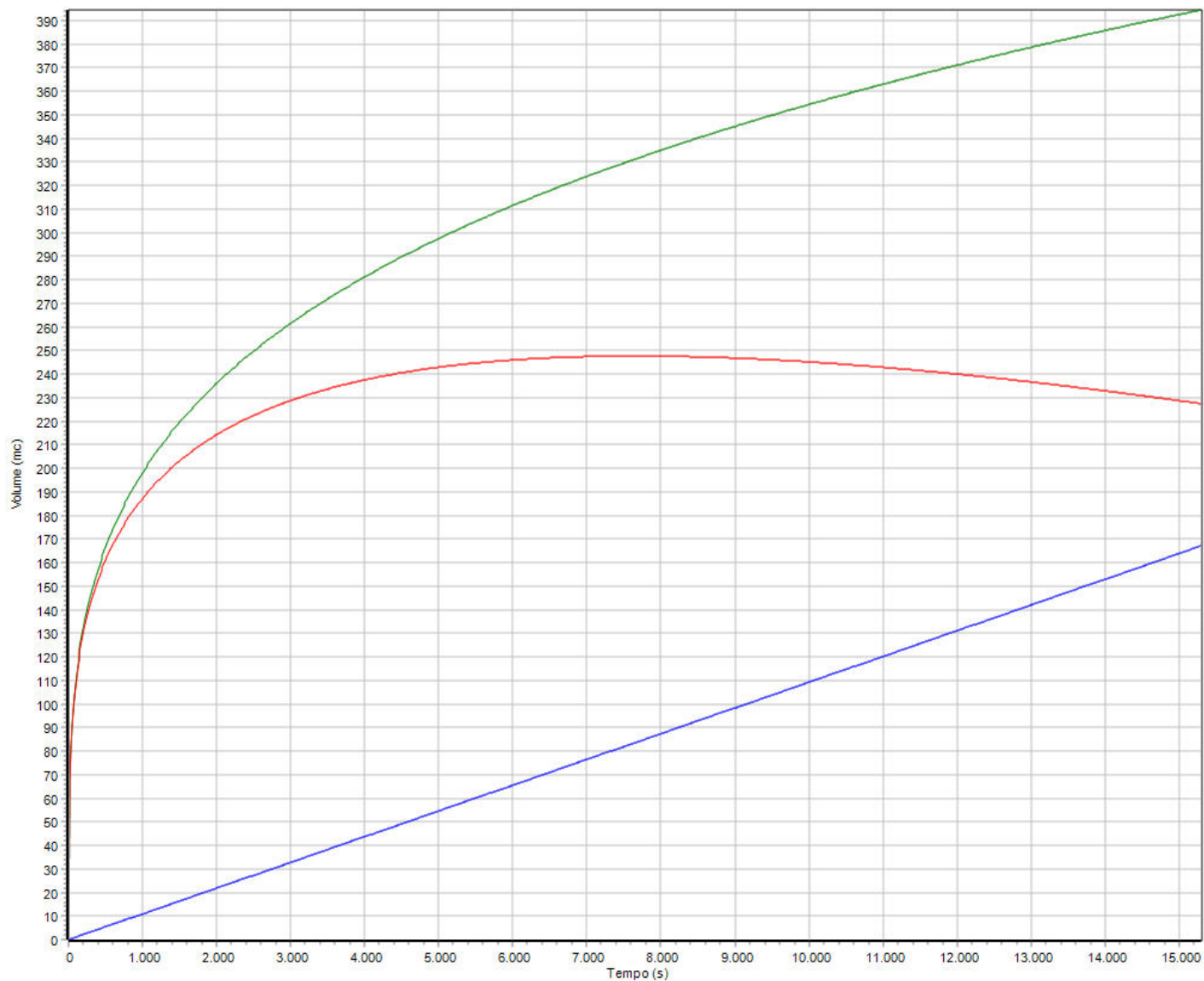
$\text{Vol. min.} = 5462 \text{ mq} \times 0,42974 : 10.000 \text{mq} \times 800 \text{ mc};$

(0,42974 = coefficiente di deflusso dedotto dal rapporto sup. impermeabile e sup. territoriale).

Vol. calcolato: si fa riferimento alla eq. (1) elaborata col programma INVIDRA, alla pag. seguente. Il valore ricavato si riferisce al valore massimo del volume accumulato.



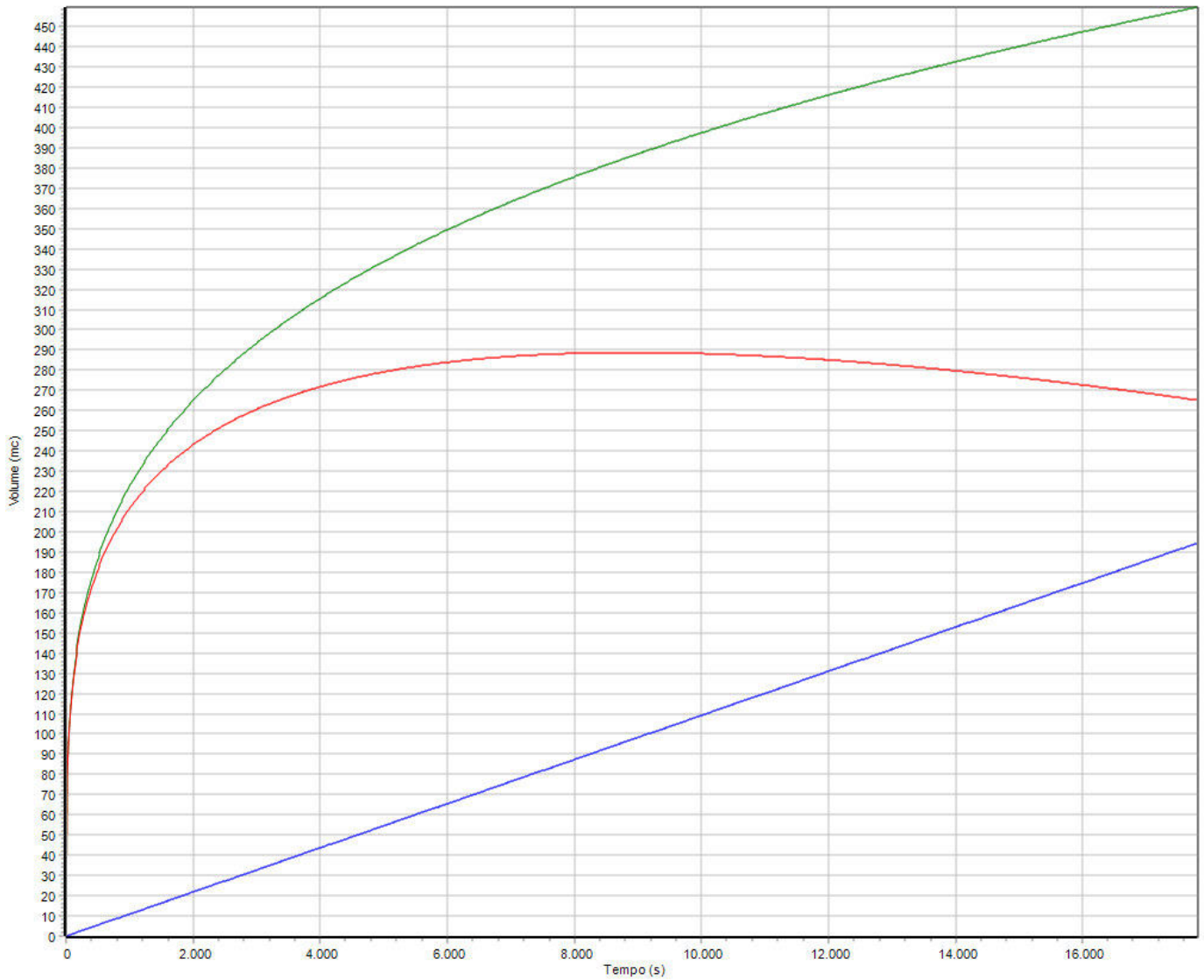
### Diagramma per Tr = 50 anni



— Volume idrico entrate      — Volume idrico uscente  
— Volume idrico invasato

N	A (mq)	ca1	ca2	Qu (mc/s)	U (mc/ha*s)	Tr (s)	Vtot (mc)	Vsp (mc/ha)
1	5462	0,533	0,933	0,010924	0,02	7653,4	247,64	453,3788
Tot.	5462						247,64	

**Diagramma per Tr = 100 anni**



— Volume idrico entrate      — Volume idrico uscente  
— Volume idrico invasato

N	A (mq)	ca1	ca2	Qu (mc/s)	U (mc/ha*s)	Tr (s)	Vtot (mc)	Vsp (mc/ha)
1	5462	0,533	0,933	0,010924	0,02	8904,81	288,74	528,6319
Tot.	5462						288,74	

Dove:

A = superficie d'intervento;  
ca1 = coefficiente di afflusso/deflusso prima della trasformazione;  
ca2 = coefficiente di afflusso/deflusso dopo la trasformazione;  
Qu = portata in uscita del tubo di scarico;  
tc = tempo di corrivazione;  
h = altezza di precipitazione per  $t = tc$ ;  
Q1 = portata di afflusso prima della trasformazione;  
Q2 = portata di afflusso dopo la trasformazione;  
U = coefficiente udometrico;  
Tr = durata critica dell'evento meteorico (pioggia);  
Vtot = volume di acqua da invasare;  
Vsp = volume specifico.

La durata critica dell'evento meteorico ( $Tr = 100$  anni) è stata stimata in circa **8904,81 s** (2h 28' 24,81").

Il volume calcolato per  $Tr = 100$  anni e pari a mc. 288,74 è stato quindi adottato come parametro di riferimento per il dimensionamento delle opere.

#### **2.4) Dimensionamento della vasca di laminazione.**

Si dovrà procedere alla realizzazione di vasche di accumulo temporanee (vasche di laminazione) di volume complessivo minimo uguale a 288,74 mc.

Si evidenzia che tale volume, corrispondente al volume calcolato minimo da regolamento, risulta comprensivo dell'eventuale franco di riempimento in quanto è superiore al volume minimo da regolamento.

Il tempo di svuotamento è stato calcolato, considerando una portata in uscita costante uguale a  $1,09^{-2}$  mc/s (20 l/s per ettaro): esso è risultato inferiore alle 48h (art. 11 r.r.).

Tempo di ritorno	Qu(mc/s)	Volume vasca(mc)	Tempo di svuotamento (ore)
100	0,010924	288,74	7h 20' 31,71" < 48h

Stimato il volume minimo della vasca di laminazione, si può procedere al dimensionamento del tubo di scarico e con la stima della area in pianta della vasca. Il diametro del condotto di scarico è funzione del battente idraulico massimo all'interno della vasca e può essere calcolato con la seguente formula (Giorgi, 2004):

$$Q = 0,6\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \sqrt{2gh}$$

dove:

- Q(m<sup>3</sup>/s) = portata uscente dal tubo di scarico;  
D(m) = diametro del tubo;  
h(m) = altezza del battente idraulico;  
g(m/s<sup>2</sup>) = accelerazione di gravità = 9,81.

La portata uscente dal tubo deve essere nota, quindi la relazione può essere usata:

1. per stimare D, fissata l'altezza h del battente idraulico;
2. per stimare h, fissato il diametro D del tubo di scarico.


Determinato il valore dell'altezza massima del battente idraulico, l'area in pianta della vasca è data semplicemente dal rapporto fra il volume minimo della vasca e l'altezza h:

$$A = \frac{W}{h}$$

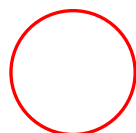
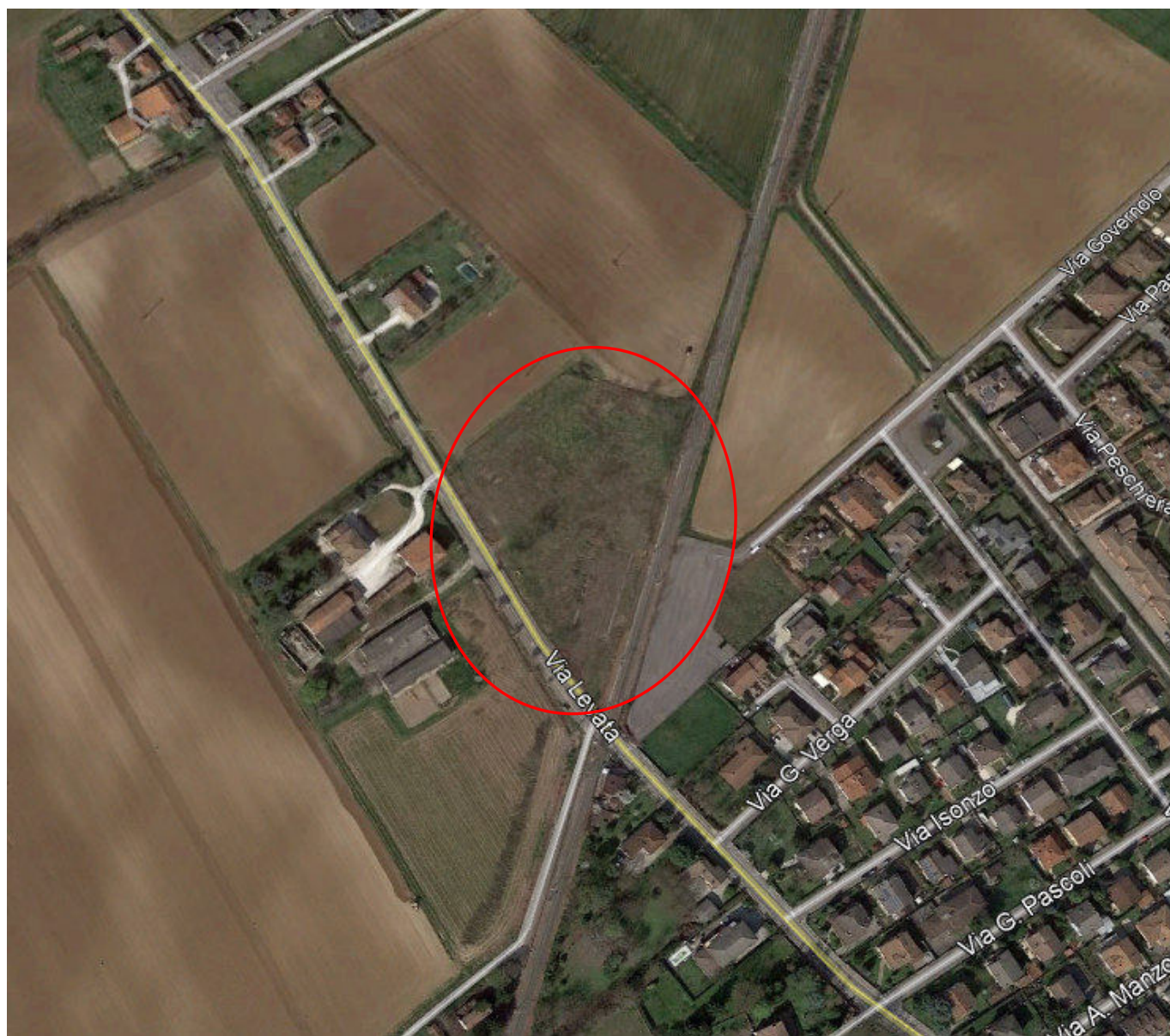
Nel caso in esame, vista la profondità della falda indicata dalle tavv. del PGT comunale, si può ipotizzare la profondità della vasca fino a ca. m. -1,50 dall'attuale p. cantiere (profondità cautelativa per una eventuale escursione della falda). Logicamente la progettazione del bacino di raccolta dovrà prevedere che il suo svuotamento avvenga a gravità.

Sermide, febbraio 2021

dott. geol. Marco Mantovani



The stamp is circular and contains the following text: "ORDINE DEI GEOMETRI DELLA LOMBARDIA" around the perimeter, "MANTOVANI" in the center, "MARCO" below it, and "n° 448" at the bottom.



Area oggetto d'intervento

Da Google Earth: panoramica dell'area oggetto dell'intervento