

Studio Geologico

di Raffaele Maioli

P.I. 01349310199 C.F. MLA RFL 71P21F205N

Via Izano 19 26013 Crema (CR)

Cel.: 349 8501778

e-Mail maioligraf@gmail.com

PEC.: maioligraf@epap.sicurezzapostale.it

GATTI - GHILARDI - GATTI srl

RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA

INDICAZIONI SUL PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA AI SENSI DELLA DGR DEL 20 NOVEMBRE 2017, N.7372 E SEGUENTI, SULL'AREA DELL'AREA ALL'INTERVENTO DI RECUPERO PER RIUSO "CASCINA DOSSELLO" AD USO RESIDENZIALE NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI CREMA IN VIA PIACENZA 62 FG 47 MAPP. 165 – 690 – 689.

LA COMMITTENZA

SIG.

GATTI WALTER

CF: GTTWTR52B23D142H

GHILARDI PINUCCIA

CF: GHLPCC55A44D142O

VIA PIACENZA 70

GATTI S.R.L

26013 CREMA

IL GEOLOGO



DOCT. R. MAIOLI

Cantiere: Comune di Crema

GENNAIO 2021

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	5
3. VERIFICA SUPERFICIE IMPERMEABILE.....	6
4. VALUTAZIONI IDROLOGICHE.....	9
5. CONSIDERAZIONI IDRAULICHE PRELIMINARI.....	14
6. MODELLO STRATIGRAFICO AREA IN ESAME	15
7. IDROGEOLOGIA E PROVA DI PERMEABILITÀ.....	16
8. DATI DI SINTESI DELLE PROVE DI PERMEABILITÀ ESEGUITE IN CONDIZIONI SATURE.	19
9. VALORI ORIENTATIVI DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ.....	19
10. CONCLUSIONI E INTERVENTI PROPOSTI	20
11. PIANO DI MANUTENZIONE.....	20

1. **PREMESSA**

Il presente lavoro, commissionato dai Sig. di Gatti W. e Ghilardi P. e Gatti S.r.l. via Piacenza 62 è costituito da un'indagine preliminare sul progetto di Invarianza Idraulica ai sensi della D.G.R.20.11.2017, n. X/7372 e seguenti, dei terreni destinati all'intervento di recupero per riuso "Cascina Dossello" ad uso residenziale nel territorio del comune di Crema in via Piacenza 62 fg 47 map. 165 sub 502, 503, 504, 505, 507, 508 proprietà Walter Gatti – Pinuccia Ghilardi, mappale 690 proprietà Walter Gatti – Pinuccia Ghilardi e mappale 689 Gatti srl.

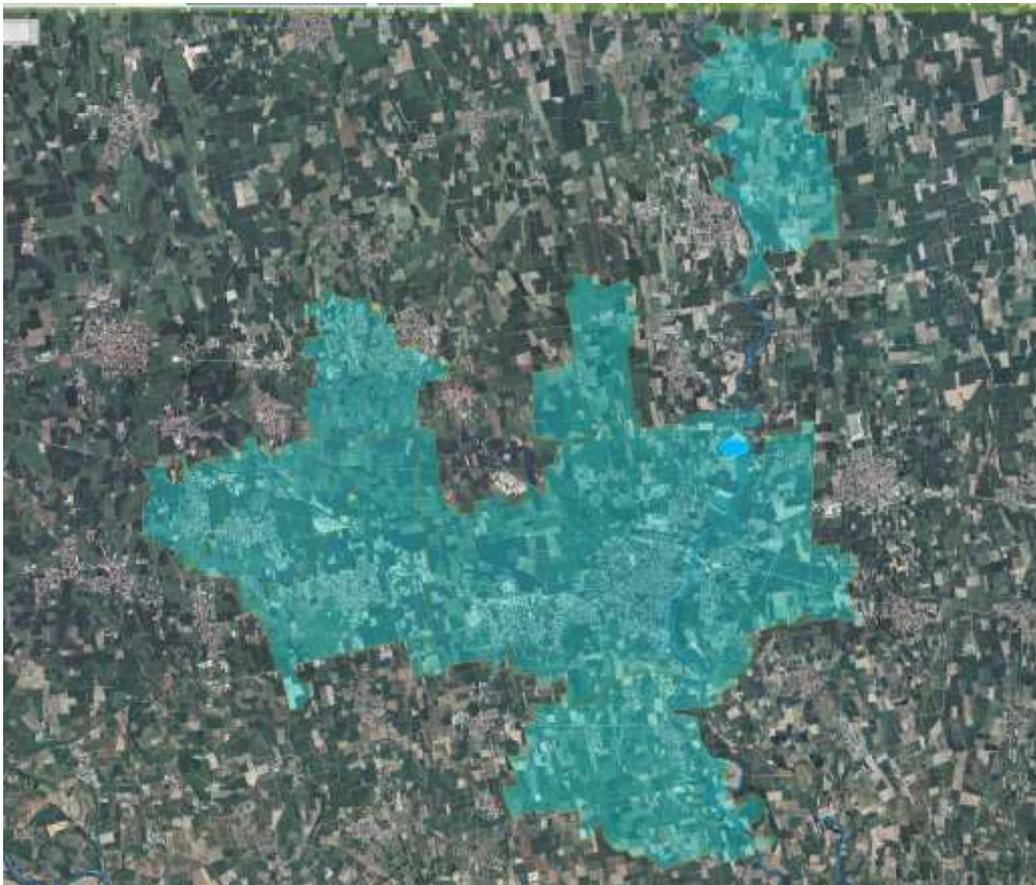


Figura 1: Corografia generale – Estratto della Carta Tecnica Regionale - Scala 1: 10.000

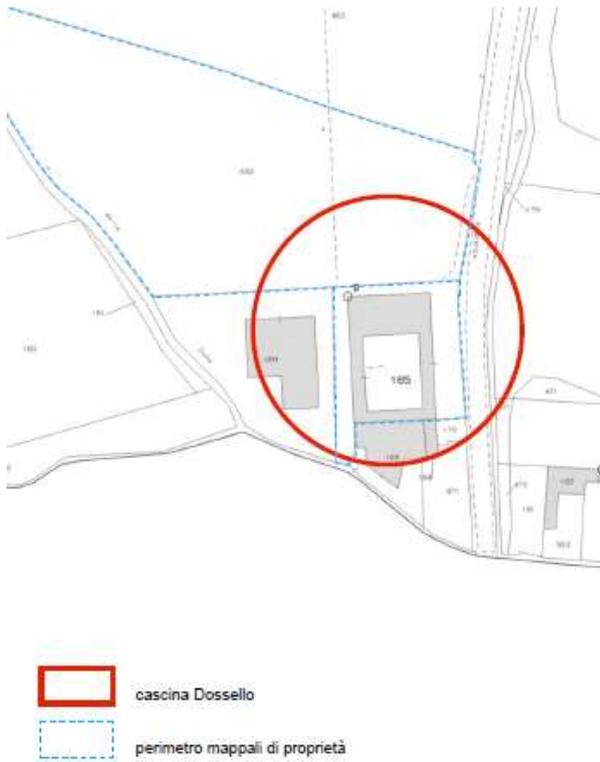


Figura 2: Area di indagine La posizione approssimativa dell'area di indagine è evidenziata dal cerchio rosso.

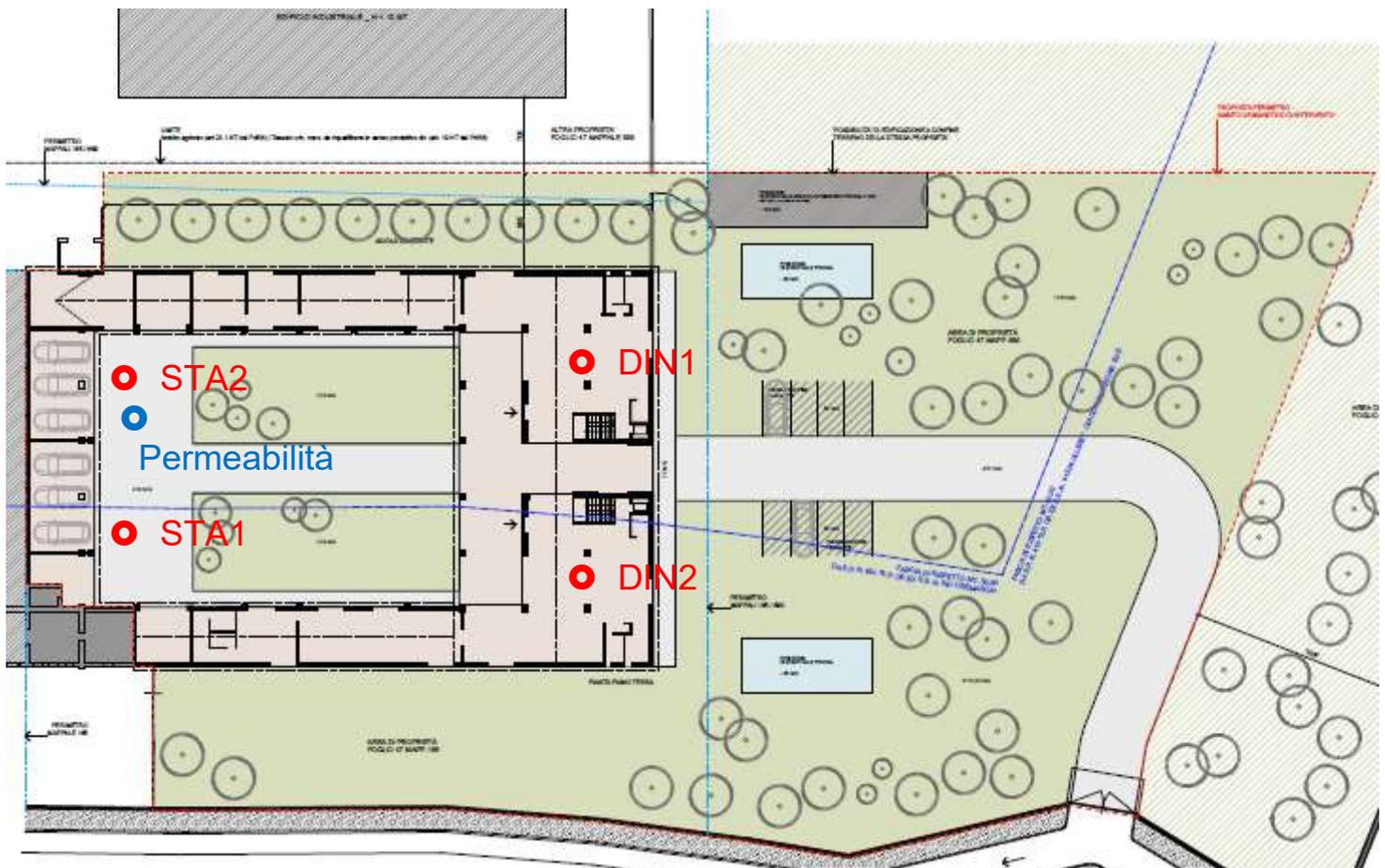


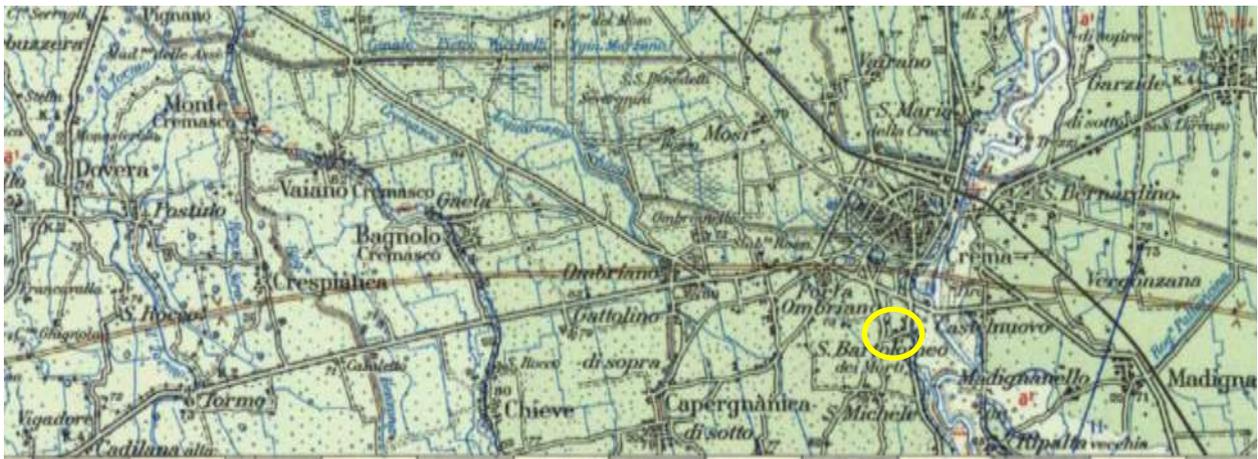
Figura 3: Progetto - planimetria generale con ubicazione prove penetrometriche e prova di permeabilità

Il progetto preliminare di invarianza idraulica si è articolata nelle seguenti fasi:

- Localizzazione dell'intervento con definizione area di criticità comunale ricadente
- Individuazione superficie impermeabile di copertura in progetto
- Definizione del coefficiente medio ponderale
- Verifiche idrologiche locali e stima del bilancio idrologico
- Definizione del volume specifico di laminazione
- Definizione della superficie di invaso richiesta
- Proposte di dispersione delle acque all'interno della proprietà e dimensionamento delle opere.



Figura 4: estratto mappa.



fg^{WR}

Alluvioni fluvioglaciali sabbiose e ghiaiose per lo più non alterate, corrispondenti al livello fondamentale della pianura; strato di alterazione giallo rossiccio generalmente inferiore al metro e con spessori maggiori nella parte settentrionale della pianura. *WÜR*M-RISS p.p.. (Diluvium recente).

Figura 5: Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (foglio n. 46, Treviglio). La posizione approssimativa dell'area di indagine è evidenziata dal cerchio giallo.

L'indagine, ai sensi DEL D. M. 14.1.2008, DELLA D.G.R. IX/2616 DEL 30.11.2011 E DELLA D.G.R. 30.3.2016 N. X/5001 e seguenti, si prefigge i seguenti obiettivi:

- valutare la situazione geologico-morfologica locale per verificare la stabilità dell'area;
- definire la natura e la stratigrafia dei terreni interessati dall'intervento;
- definire il livello della superficie piezometrica locale;
- indicare i possibili interventi per le opere di invarianza idraulica;

2. LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento in progetto si trova in Comune di Crema alla quota media di 79 m s.l.m.. Ai sensi della D.g.r. del 20 novembre 2017, n. 7372 e seguenti, il territorio Lombardo è stato suddiviso in tre ambiti in cui sono inseriti i Comuni, in base alla criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori.

Ad ogni Comune è associata una criticità (Allegato B della D.gr):

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

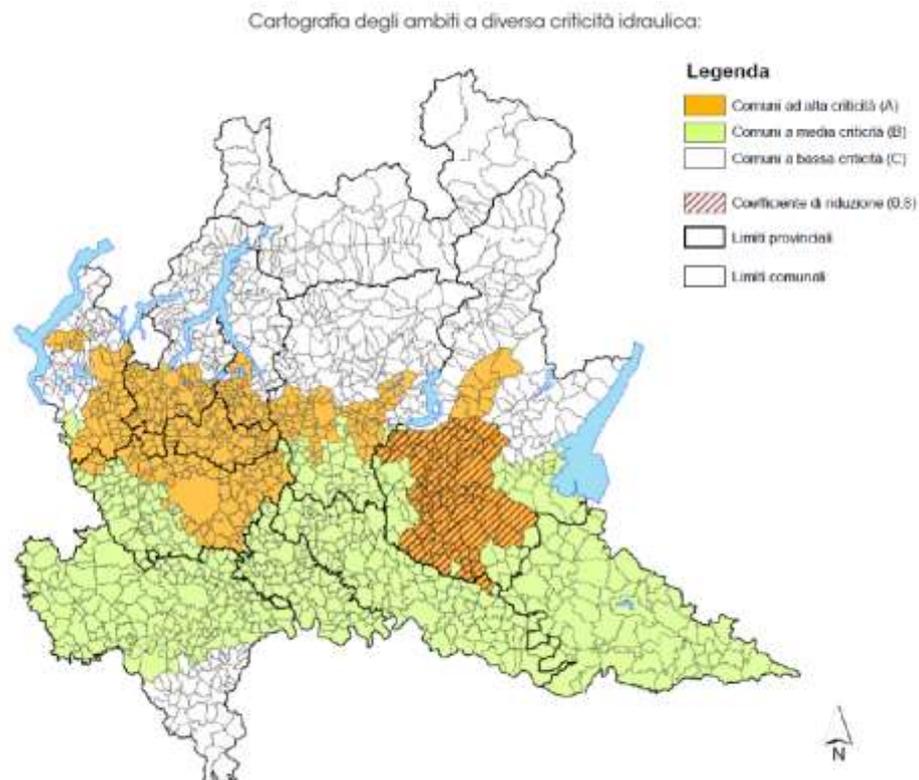


FIG. 6 Distribuzione Aree di criticità Idraulica e idrologica Regione Lombardia

Il territorio oggetto del nostro intervento ricade in area di criticità B come si osserva dallo stralcio dell'Allegato A della citata Dgr. di seguito allegato.

CREDARO	BG	C	
CREDERA RUBBIANO	CR	B	
CREMA	CR	B	
CREMELLA	LC	A	1
CREMENAGA	VA	C	
CREMONA	CR	C	

3. VERIFICA SUPERFICIE IMPERMEABILE

Come si osserva dallo stralcio planimetrico in progetto di seguito allegato, l'intervento in progetto non prevede nuove superfici impermeabili, ma si ritiene opportuno derivare le acque piovane condizione attuale cioè tramite un deflusso naturale nel sottosuolo.

Si evidenziano 2 superfici impermeabili.

1. Gran parte del tetto con le falde verso l'interno del cortile
2. La parte del tetto verso Nord

La parte 1 verrà inviata a due apposite vasche mitigate da fioriere, mentre la 2 parte in due pozzi perdenti esterni all'edificio.

Tale soluzione permette di ottimizzare lo scarico superficiale ed avere un volano idrico in vasca di laminazione più elevato del previsto nel caso ci fossero, in futuro, superfici impermeabili maggiori.

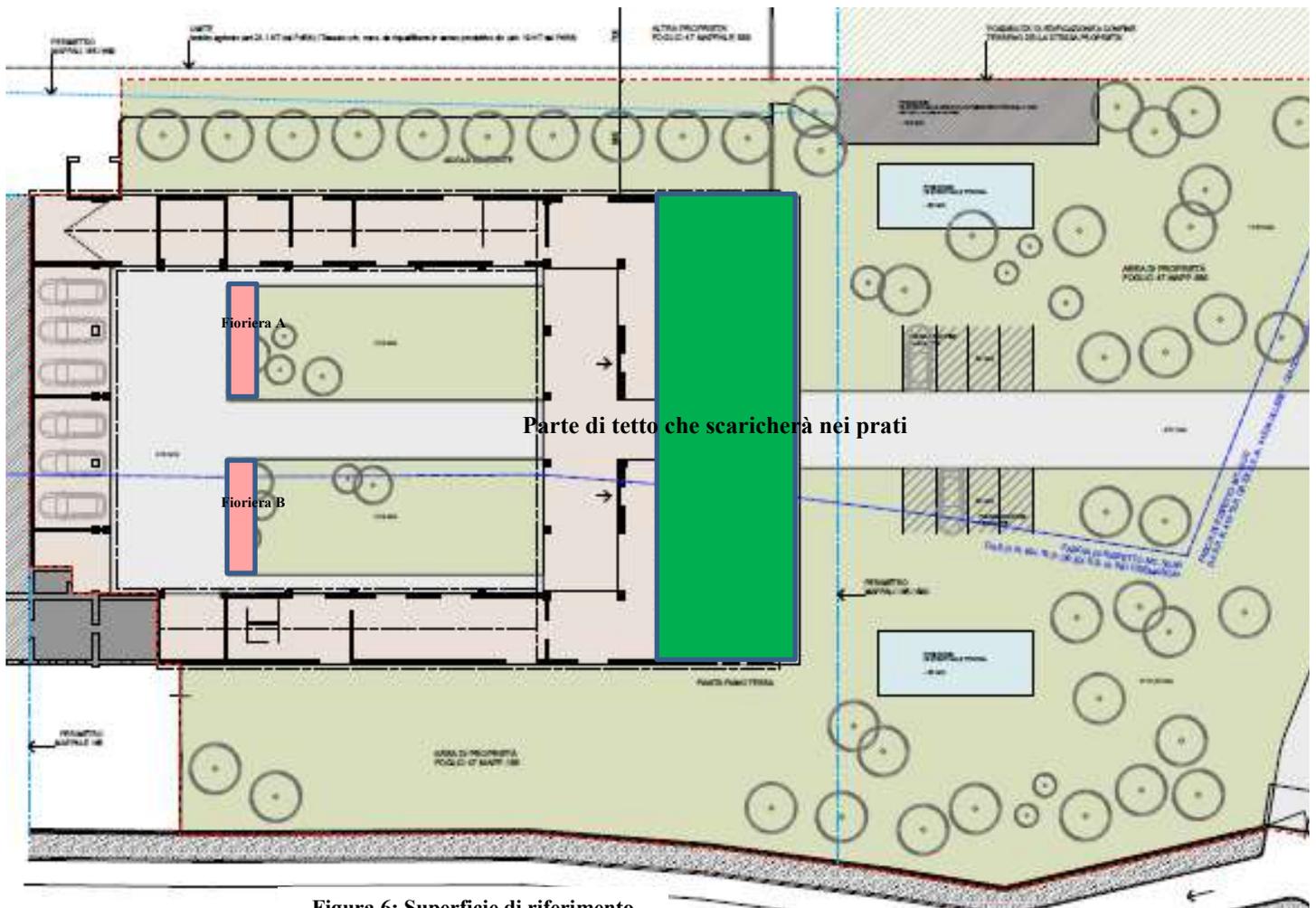


Figura 6: Superficie di riferimento

TABELLA 01: Calcolo delle superfici e dei volumi di acqua Totali

Sup. impermeabile Totale	superficie m2	coefficiente	sup. equivalente m2	calcolo volume in mc
superficie totale del lotto	6388,35			
Superficie coperta-impermeabile	2295	1	2295	114,75
Superficie semi-impermeabile	0	0,7	0	0,00
Superficie giardino	4093,35	0	0,0	0,00
Totale	6388,35		2295,0	114,75
		coefficiente ϕ	0,36	

TABELLA 02: Calcolo delle superfici e dei volumi di acqua superficie 1 falde del tetto verso il cortile

Sup. impermeabile smaltita nelle Fioriera A e B	superficie m2	coefficiente	sup. equivalente m2	calcolo volume in mc
Superficie coperta-impermeabile	1595	1	1595	79,75
Superficie semi-impermeabile	0	0,7	0	0,00
Superficie giardino e carrabile permeabile	438	0,3	131,4	6,57
Totale	2033		1726,4	86,32
		coefficiente ϕ	0,85	

La portata da smaltire delle acque piovane provenienti da una superficie di copertura impermeabile calcolata pari a 1595 m2 con valori di pioggia intensa di 56,6 mm/h (tempi di ritorno 50 anni) e durata di 1 ore, con un volume ridotto del 30% perché sono state eseguite la prova di permeabilità in profondità, sarà pari a 114,75 mc. Ai sensi della D.g.r. del 20 novembre 2017, n. 7372 e seguenti, occorrerà valutare quali opere possano essere realizzate, con lo scopo o di raccogliere tale volumetria e poi successivamente smaltita entro le 48 ore dall'evento, oppure che le condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche locali siano in grado di raccogliere tale volumetria d'acqua senza interferire su edifici limitrofi, o sulle condizioni idrogeologiche locali.

Tale volume sarà laminato creando n. 2 vasche (mitigate da delle fioriere:

delle dimensioni di 18 m di lunghezza x 2 di larghezza profonde 7 metri, con una superficie permeabile complessiva 36 m2 e un volume calcolato e già ridotto al 30% pari a 75,6 m3.

Tale superficie verrà integrata da un ulteriore volume di 8,78 m3 nelle parti di giardino antistanti le fioriere pari a 438 m2 X 0,02 m (2 cm).

Il calcolo effettuato sulle vasche, inferiormente naturalmente perdenti con una permeabilità di una sabbia asciutta (vedi sezione allegata), Calcolata in 66,5 mm/ora minima, permette di verificare che le superficie sono in grado di fornire un serbatoio di laminazione maggiore del calcolato e un tempo di svuotamento di <48h e una filtrazione $\leq 0,20$ l/sec (20 l/s * Ha).

TABELLA 03: Calcolo delle superfici e dei volumi di acqua superficie 1 falde del tetto verso Nord

Sup. impermeabile smaltita nella parte a verde	superficie m2	coefficiente	sup. equivalente m2	calcolo volume in mc (500 mc/ha)
Superficie coperta-impermeabile	700	1	700	35,00
Superficie semi-impermeabile	0	0,7	0	0,00
Superficie giardino	3655,35	0,3	0,0	0,00
Totale	4355,35		700,0	35,00
		coefficiente ϕ	0,16	

La portata da smaltire delle acque piovane provenienti da una superficie di copertura impermeabile restante calcolata pari a 700 m² con valori di pioggia intensa di 56,6 mm/h (tempi di ritorno 50 anni) e durata di 1 ore, con un volume ridotto del 30% perché sono state eseguite la prova di permeabilità in profondità, sarà pari a 35 mc. Ai sensi della D.g.r, del 20 novembre 2017, n. 7372 e seguenti, occorrerà valutare quali opere possano essere realizzate, con lo scopo o di raccogliere tale volumetria e poi successivamente smaltita entro le 48 ore dall'evento, oppure che le condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche locali siano in grado di raccogliere tale volumetria d'acqua senza interferire su edifici limitrofi, o sulle condizioni idrogeologiche locali.

Tale volume sarà laminato creando n. 2 vasche/pozzi perdenti riempiti di ghiaione:

delle dimensioni di diametro 1,5 m (+50 cm di drenante attorno) profondità 5 metri, con una superficie permeabile complessiva 10 m² e un volume calcolato pari a 14,7 m³.

Tale superficie verrà integrata da un ulteriore volume di 21 m³ nelle parti di giardino antistanti sfruttando alcuni mm di superficie del giardino.

Il calcolo effettuato sulle vasche, inferiormente naturalmente perdenti con una permeabilità di una sabbia asciutta (vedi sezione allegata), Calcolata in 66,5 mm/ora minima, permette di verificare che le superficie sono in grado di fornire un serbatoio di laminazione maggiore del calcolato e un tempo di svuotamento di <48h e una filtrazione <= 0,20 l/sec (20 l/s * Ha).

ùLa superficie restante è a verde normalmente permeabile e non necessita di vasca di laminazione

TABELLA 04: Calcolo delle superfici e dei volumi di acqua superficie 1 falde del tetto verso Nord

Sup. permeabile smaltita nella parte a verde	superficie m ²	coefficiente	sup. equivalente m ²	calcolo volume in mc (500 mc/ha)
Superficie coperta-impermeabile	0	1	0,0	0,00
Superficie semi-impermeabile	0	0,7	0,0	0,00
Superficie giardino	5819	0,3	0,0	0,00
Totale	5819		0,0	0,00
		coefficiente ϕ	0,00	

Ai sensi della Dgr le verifiche idrauliche ed idrologiche sono condotte attraverso diversi approcci progettuali a seconda della superficie dell'intervento:

Nel nostro caso ci troviamo nel punto 1, Superfici comprese tra 300 e 1.000 m² e coefficiente totale $\phi = 0,36$

Pertanto come prevede la D.g.r. con superfici comprese tra 300 e 1.000 m² si dovrà utilizzare il metodo delle sole piogge ai sensi dell'art. 11 Comma 2 della citata D.g.r. e Seg. Di seguito si riporta uno schema che identifica la metodologia di calcolo del progetto di Invarianza idraulica e idrologica,

Tabella 1

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		

4. VALUTAZIONI IDROLOGICHE

Utilizzando il programma idrologico della Regione Lombardia (dati idrologici ARPA) sono stati calcolati i valori di pioggia intensa in mm/h utilizzando il coefficiente pluviometrico orario considerando l'area oggetto di studio.

Legenda

Parametri 1-24 ore

A1 - Coefficiente pluviometrico orario

- < 16 mm
- 16 - 18 mm
- 18 - 20 mm
- 20 - 22 mm
- 22 - 24 mm
- 24 - 26 mm
- 26 - 28 mm
- 28 - 30 mm
- 30 - 32 mm
- > 32 mm

N - Coefficiente di scala

GEV - parametro alpha

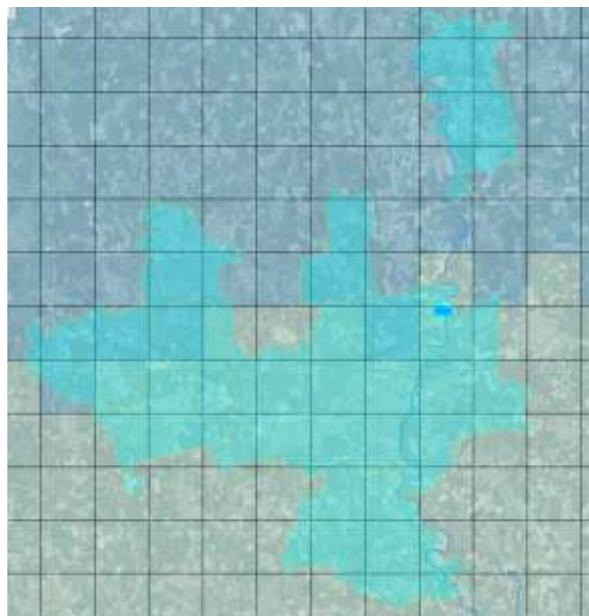
GEV - parametro kappa

GEV - parametro epsilon

Principali corsi d'acqua lombardi



Principali laghi lombardi



ARPA LOMBARDIA

Agencia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Settore Tutela dei Rischi Naturali

Servizio Idrografico

Legenda

Parametri 1-5 giorni

A1 - Coefficiente pluviometrico orario

N - Coefficiente di scala

W2 - Tempo di ritorno 2 anni

W5 - Tempo di ritorno 5 anni

W10 - Tempo di ritorno 10 anni

W20 - Tempo di ritorno 20 anni

W50 - Tempo di ritorno 50 anni

W100 - Tempo di ritorno 100 anni

W200 - Tempo di ritorno 200 anni

Principali corsi d'acqua lombardi

Principali laghi lombardi



Figura 7: Valutazione Idrologiche con programma ARPA – Individuazione area in esame

Di seguito si riportano i valori calcolati con il software arpa con tempi di ritorno di 50 e 100 anni:
TEMPI DI RITORNO PIOGGIA INTENSA IN mm/h e una durata di 1 ore

TABELLA 02: Tempi di ritorno.

TEMPI DI RITORNO	PIOGGIA INTENSA IN mm/h
50	56,6
100	63,4

Di seguitosi riportano la tabella di calcolo della linea segnalatrice 1-24 ore e il diagramma delle Linee Segnalatrici di probabilità pluviometrica tratto dal programma idrologico di ARPA Lombardia per tempi di ritorno di 5-10-20-50-100 e 200 anni.

Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	25,7	35,0	41,5	48,0	56,6	63,4	70,4
2	31,2	42,6	50,4	58,2	68,8	77,1	85,6
3	35,0	47,7	56,5	65,3	77,1	86,3	95,9
4	38,0	51,7	61,2	70,7	83,6	93,6	103,9
5	40,4	55,0	65,2	75,3	89,0	99,6	110,6
6	42,5	57,9	68,6	79,3	93,6	104,9	116,4
7	44,4	60,5	71,6	82,8	97,8	109,5	121,6
8	46,1	62,8	74,4	85,9	101,5	113,7	126,2
9	47,6	64,9	76,9	88,8	104,9	117,5	130,5
10	49,1	66,8	79,2	91,5	108,1	121,0	134,4
11	50,4	68,7	81,3	93,9	111,0	124,3	138,0
12	51,7	70,3	83,3	96,3	113,7	127,4	141,4
13	52,8	71,9	85,2	98,4	116,3	130,3	144,6
14	53,9	73,5	87,0	100,5	118,8	133,0	147,7
15	55,0	74,9	88,7	102,5	121,1	135,6	150,6
16	56,0	76,3	90,3	104,4	123,3	138,1	153,3
17	57,0	77,6	91,9	106,2	125,4	140,4	155,9
18	57,9	78,8	93,4	107,9	127,4	142,7	158,5
19	58,8	80,0	94,8	109,5	129,4	144,9	160,9
20	59,6	81,2	96,2	111,1	131,3	147,0	163,2
21	60,4	82,3	97,5	112,6	133,1	149,0	165,5
22	61,2	83,4	98,8	114,1	134,8	151,0	167,6
23	62,0	84,4	100,0	115,5	136,5	152,9	169,8
24	62,7	85,4	101,2	116,9	138,1	154,7	171,8

Parametro	Valore
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	19,173019
N - Coefficiente di scala	0,35624239
W2 - Tempo di ritorno 2 anni	0,93215299
W5 - Tempo di ritorno 5 anni	1,2117521
W10 - Tempo di ritorno 10 anni	1,414222
W20 - Tempo di ritorno 20 anni	1,624139
W50 - Tempo di ritorno 50 anni	1,910449
W100 - Tempo di ritorno 100 anni	2,1517639
W200 - Tempo di ritorno 200 anni	2,406086

Parametro	Valore
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	27,91
N - Coefficiente di scala	0,28279999
GEV - parametro alpha	0,28310001
GEV - parametro kappa	-0,051199999
GEV - parametro epsilon	0,82120001



ARPA LOMBARDIA
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: _____
Coordinate: _____

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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	27,91
N - Coefficiente di scala	0,28279999
GEV - parametro alpha	0,28310001
GEV - parametro kappa	-0,0512
GEV - parametro epsilon	0,82120001

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) 50

Evento pluviometrico

Durata dell'evento (ore) 1

Precipitazione cumulata (mm) 100

Formulazione analitica

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

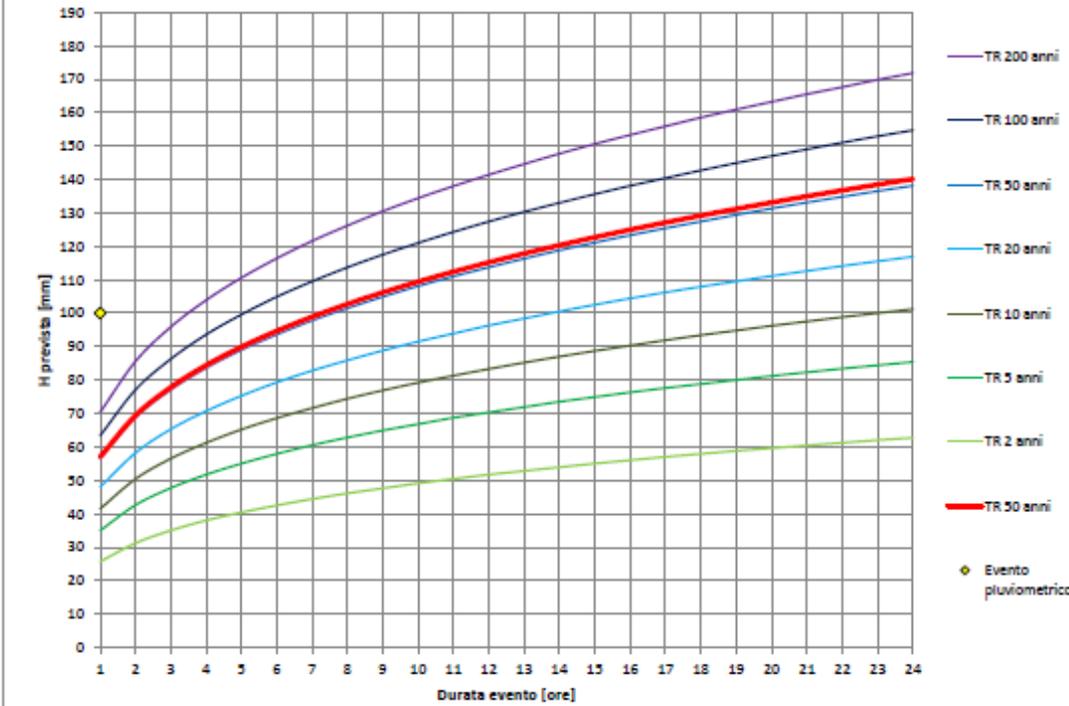
$$w_T = c + \frac{a_2}{k} \left[1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right]$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lspg.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_re

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	1,26256	1,49643	1,72937	2,04391	2,28965	2,54339	2,04391102
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	25,7	35	41,5	48	56,6	63,4	70,4	57,0455566
2	31,2	42,6	50,4	58,2	68,8	77,1	85,6	69,3989823
3	35	47,7	56,5	65,3	77,1	86,3	95,9	77,8308383
4	38	51,7	61,2	70,7	83,6	93,6	103,9	84,4275879
5	40,4	55	65,2	75,3	89	99,6	110,6	89,9270884
6	42,5	57,9	68,6	79,3	93,6	104,9	116,4	94,6853934
7	44,4	60,5	71,6	82,8	97,8	109,5	121,6	98,9043833
8	46,1	62,8	74,4	85,9	101,5	113,7	126,2	102,710693
9	47,6	64,9	76,9	88,8	104,9	117,5	130,5	106,189504
10	49,1	66,8	79,2	91,5	108,1	121	134,4	109,401131
11	50,4	68,7	81,3	93,9	111	124,3	138	112,389998
12	51,7	70,3	83,3	96,3	113,7	127,4	141,4	115,189865
13	52,8	71,9	85,2	98,4	116,3	130,3	144,6	117,827046
14	53,9	73,5	87	100,5	118,8	133	147,7	120,322492
15	55	74,9	88,7	102,5	121,1	135,6	150,6	122,693179
16	56	76,3	90,3	104,4	123,3	138,1	153,3	124,953073
17	57	77,6	91,9	106,2	125,4	140,4	155,9	127,113818
18	57,9	78,8	93,4	107,9	127,4	142,7	158,5	129,185233
19	58,8	80	94,8	109,5	129,4	144,9	160,9	131,175681
20	59,6	81,2	96,2	111,1	131,3	147	163,2	133,09235
21	60,4	82,3	97,5	112,6	133,1	149	165,5	134,941466
22	61,2	83,4	98,8	114,1	134,8	151	167,6	136,728466
23	62	84,4	100	115,5	136,5	152,9	169,8	138,458123
24	62,7	85,4	101,2	116,9	138,1	154,7	171,8	140,134655

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica



The graph plots cumulative precipitation (H prevista in mm) on the y-axis (0 to 190) against event duration (Durata evento in ore) on the x-axis (1 to 24). Multiple curves represent different return periods (TR): 2, 5, 10, 20, 50, 100, and 200 years. The TR 50 anni curve is highlighted in red. A yellow diamond indicates the specific event: 1 hour duration and 100 mm precipitation.



ARPA LOMBARDIA
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località:

Coordinate:

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) 100

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore] 1

Precipitazione cumulata [mm] 105

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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	27,91
N - Coefficiente di scala	0,28279999
GEV - parametro alpha	0,28310001
GEV - parametro kappa	-0,0512
GEV - parametro epsilon	0,82120001

Formulazione analitica

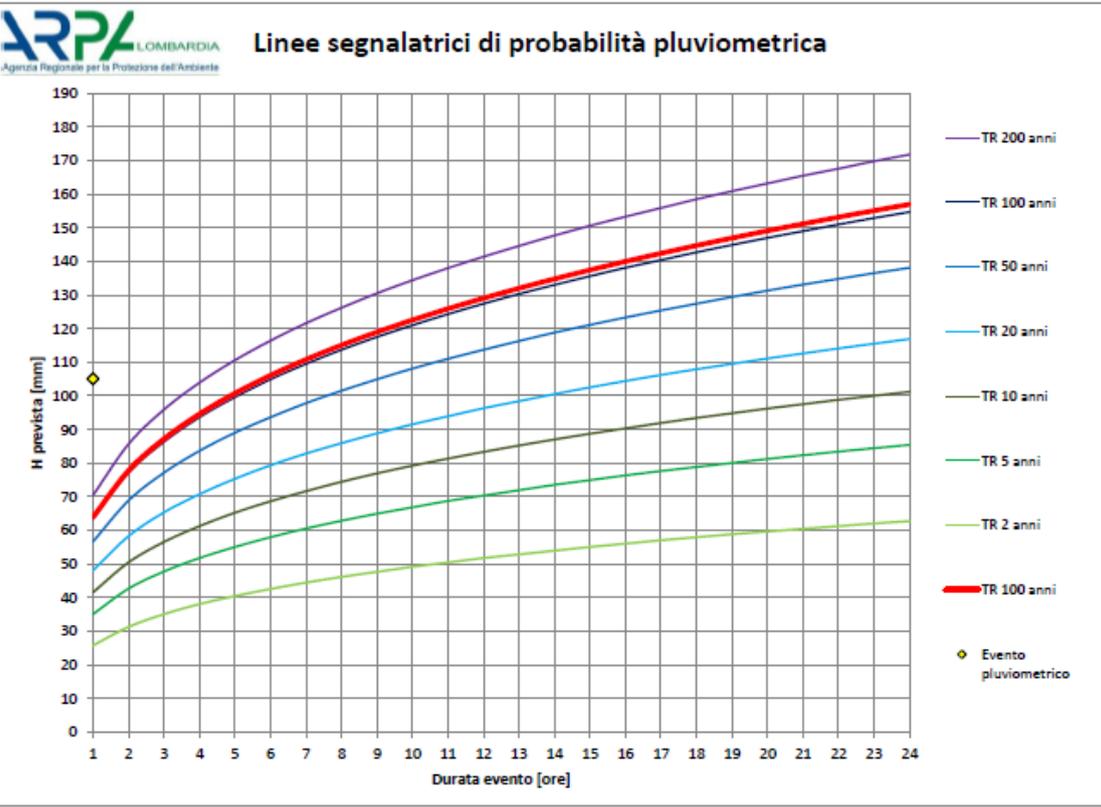
$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

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

Bibliografia ARPA Lombardia:
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lsp.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_re

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	1,26256	1,49643	1,72937	2,04391	2,28965	2,54339	2,28965061
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	25,7	35	41,5	48	56,6	63,4	70,4	63,9041484
2	31,2	42,6	50,4	58,2	68,8	77,1	85,6	77,7428274
3	35	47,7	56,5	65,3	77,1	86,3	95,9	87,1884462
4	38	51,7	61,2	70,7	83,6	93,6	103,9	94,5783235
5	40,4	55	65,2	75,3	89	99,6	110,6	100,739029
6	42,5	57,9	68,6	79,3	93,6	104,9	116,4	106,069426
7	44,4	60,5	71,6	82,8	97,8	109,5	121,6	110,795665
8	46,1	62,8	74,4	85,9	101,5	113,7	126,2	115,059608
9	47,6	64,9	76,9	88,8	104,9	117,5	130,5	118,956677
10	49,1	66,8	79,2	91,5	108,1	121	134,4	122,554438
11	50,4	68,7	81,3	93,9	111	124,3	138	125,902656
12	51,7	70,3	83,3	96,3	113,7	127,4	141,4	129,039151
13	52,8	71,9	85,2	98,4	116,3	130,3	144,6	131,993401
14	53,9	73,5	87	100,5	118,8	133	147,7	134,788875
15	55	74,9	88,7	102,5	121,1	135,6	150,6	137,444589
16	56	76,3	90,3	104,4	123,3	138,1	153,3	139,976191
17	57	77,6	91,9	106,2	125,4	140,4	155,9	142,396723
18	57,9	78,8	93,4	107,9	127,4	142,7	158,5	144,717184
19	58,8	80	94,8	109,5	129,4	144,9	160,9	146,946944
20	59,6	81,2	96,2	111,1	131,3	147	163,2	149,094053
21	60,4	82,3	97,5	112,6	133,1	149	165,5	151,16549
22	61,2	83,4	98,8	114,1	134,8	151	167,6	153,167341
23	62	84,4	100	115,5	136,5	152,9	169,8	155,104954
24	62,7	85,4	101,2	116,9	138,1	154,7	171,8	156,983055



Linee segnatrici di probabilità pluviometrica

H prevista [mm]

Durata evento [ore]

Legend: TR 200 anni, TR 100 anni, TR 50 anni, TR 20 anni, TR 10 anni, TR 5 anni, TR 2 anni, TR 100 anni (thick red line), Evento pluviometrico (diamond marker)

5. CONSIDERAZIONI IDRAULICHE PRELIMINARI

Confrontando i dati pluviometrici locali e le valutazioni idrologiche di Arpa Lombardia sono state calcolate le portate massime di accumulo dell'acqua derivante dalle nuove superfici impermeabili in progetto, Considerando tempi di ritorno di 50-100 anni di seguito si riportano le portate massime in l/s considerando la superficie complessiva in progetto pari a 308 m2.

tempo di ritorno Tr	PIOGGIA INTENSA IN mm/h 1ora	Portata in m3/s su superficie di 308 m2	Portata in l/s su superficie di 308 m2	PIOGGIA INTENSA IN mm/h 4ora	Portata in m3/s su superficie di 308 m2	Portata in l/s su superficie di 308 m2
50	56,6000	0,0002	0,20	83,6000	0,0008	0,75
100	63,4000	0,0002	0,23	93,6000	0,0008	0,85

Considerando gli eventi alluvionali intensi in relazione ai dati pluviometrici di Arpa, le verifiche idrauliche per una stima preliminare di seguito riportate, sono state eseguite considerando tempi di ritorno di 50-100 anni con piogge intense per 1 e 4 ore. Tale dato risulta non in accordo con le indicazioni tabellari riportate nel piano di risanamento delle risorse idriche della Regione Lombardia che prevede carichi idrici di 500 mc/ha che risulta superiore al valore calcolato, quindi verrà utilizzato il valore di 500 mc/ha.

La portata da smaltire delle acque piovane provenienti da una superficie di copertura impermeabile calcolata pari a m2 con valori di pioggia intensa di 56,6 mm/h (tempi di ritorno 50 anni) e durata di 1 ore, con un calcolo del volume pari a circa 500 mc/ha, sarà di 114,75 mc. Ai sensi della D,g,r, del 20 novembre 2017, n. 7372 e seguenti, occorrerà valutare quali opere possano essere realizzate, con lo scopo o di raccogliere tale volumetria e poi successivamente smaltita entro le 48 ore dall'evento, oppure che le condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche locali siano in grado di raccogliere tale volumetria d'acqua senza interferire su edifici limitrofi, o sulle condizioni idrogeologiche locali.

Tale volume sarà laminato creando n. 2 + 2 vasche:

la prima coppia all'interno del cortile, mitigate da delle fioriere.

la seconda coppia nella zona esterna

entrambe le coppie di vasche verranno riempite di ghiaia determinando un volume dei vuoti 120 m3 superiore ai 114,75 m3 da laminare.

Il calcolo effettuato sulle vasche, inferiormente naturalmente perdenti con una permeabilità di una sabbia asciutta (vedi sezione allegata), stimata in 3-12 mm/ora, permette di verificare che le superficie sono in grado di fornire un serbatoio di laminazione maggiore del calcolato e un tempo di svuotamento di <48h e una filtrazione $\leq 0,20$ l/sec (20 l/s * Ha).

6. MODELLO STRATIGRAFICO AREA IN ESAME

Sulla base dei dati ottenuti dalle indagini effettuate, si ritiene che l'area d'interesse sia sufficientemente omogenea, ma nella valutazione delle tipologie fondazionali è necessario però porre particolare attenzione all'eventuale presenza di variazioni locali.

Si rileva una stratigrafia verticale di semplice modellizzazione:

fino a circa 0,30 m da p.c. terreni di coltivo, terreni da considerarsi rimaneggiati con modeste caratteristiche geotecniche sia in termini di capacità portante che di cedimenti.

al di sotto fino alla profondità di -3,40 m da p.c. sabbie, sabbie limose, possibilità di rari livelli argilloso-limosi. orizzonte con buone caratteristiche geotecniche sia in termini di capacità portante sia di cedimenti. Terreni fuori falda.

al di sotto fino alla profondità di -5,60 m da p.c.(per entrambe le prove), sabbie, sabbie e ghiaie, orizzonte con ottime caratteristiche geotecniche sia in termini di capacità portante che di cedimenti..

al di sotto fino alla profondità di -7 - -8 m da p.c. (termine prove) e anche oltre, sabbie e sabbie limose con possibili intercalazione di livelli decimetrici torboso argillosi; orizzonte con discrete caratteristiche geotecniche sia in termini di capacità portante che di cedimenti. Terreni fuori falda per gran parte dell'anno.

La falda freatica è stata misurata NON RILEVATA e si stima che la profondità tipica per questa zona sia compresa tra -8 - -10 m in corrispondenza del livello del fiume Serio che dista poche centinaia di metri in linea d'aria.

Pertanto sulla base delle considerazioni sopra riportate, è stato possibile definire la tipologia del suolo secondo quanto stabilito dalla Statunitense Natural Resources Conservation Service.

- A: elevata infiltrazione, per suoli con strati sabbiosi o di loess profondi, a siltosi aggregati (diametro 0,002-0,05 mm);
- B: infiltrazione moderata, per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi;
- C: infiltrazione lenta, per suoli con tessitura fine, quali argille limose, deboli strati di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico;
- D: infiltrazione molto lenta, per argille plastiche e compatte.

tipo di terreno	f_0 [mm/h]	f_∞ [mm/h]	k [h ⁻¹]
A) Terreno con scarsa potenzialità di deflusso. Comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili	250	25.4	2
B) Terreno con potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.	200	12.7	2
C) Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.	125	6.3	2
D) Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza della superficie.	76	2.5	2

7. IDROGEOLOGIA E PROVA DI PERMEABILITÀ

Per avere un dato il più attendibile possibile sulla permeabilità delle sabbie riscontrate sono state eseguite due prove di permeabilità a carico variabile con risultati molto simili. È stato infisso, alla quota di -3,50 m da p.c., un cilindro perdente e tramite le aste forate è stata portata l'acqua a livello di 2,50 m da p.c.. Il carico massimo risulta quindi di 1,00 m. Tale sistema viene realizzato per ovviare alla possibile perdita del filetto di giuntura tra le due aste (la prima asta è di 1 m). I valori misurati di profondità sono diversi perché la misura viene effettuata nella parte alta alla fine della batteria di aste che spuntano in modo differente dal terreno. Prima di eseguire la prova si è provveduto a saturare il terreno immettendo abbondantemente acqua per alcuni minuti. La falda si trova a oltre -8 metri di profondità.

Nelle pagine seguenti vengono inseriti i dati, i grafici e le formule da cui si determina la permeabilità.

I risultati sono stati sintetizzati nella tabella sottostante che riporta valori attendibili di permeabilità verticale di circa $6,10 \times 10^{-5}$ m/s. Tali valori ci indicano che i terreni di trovano nel tipico intervallo delle sabbie limose fini compatibili con i terreni incontrati con le prove penetrometriche statiche. Tale granulometria risulta inferiore a quella prevista nella zona sottostante e quindi si consiglia di impostare la base perdente delle vasche a quote inferiori a -3,00 m da p.c..

Le prove a carico variabile al di sotto del livello di falda si dividono in *Prove di risalita* e *Prove di abbassamento*. Le prove di risalita si eseguono abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello. Le prove di abbassamento si eseguono riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello. Le prove di abbassamento possono essere eseguite anche nel terreno al di sopra del livello di falda; in questo caso il terreno deve essere preventivamente saturato.

1) Raccomandazioni A.G.I. (1977)

Per le prove a carico variabile il coefficiente di permeabilità è dato dalla:

$$k = \frac{A}{C_L(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

con

A = area di base del foro di sondaggio;

h_1 e h_2 = altezza dei livelli d'acqua nel foro rispetto al livello della falda indisturbata o al fondo del foro stesso agli istanti t_1 e t_2 ;

t_1 e t_2 = tempi ai quali si misurano h_1 e h_2 ;

C_L = coefficiente di forma dipendente dell'area del foro di sondaggio e dalla lunghezza del tratto di foro scoperto.

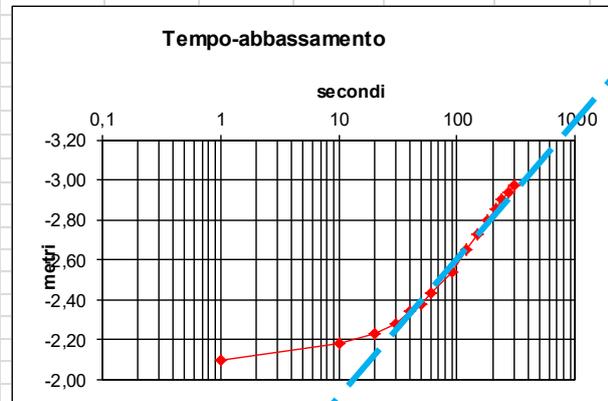
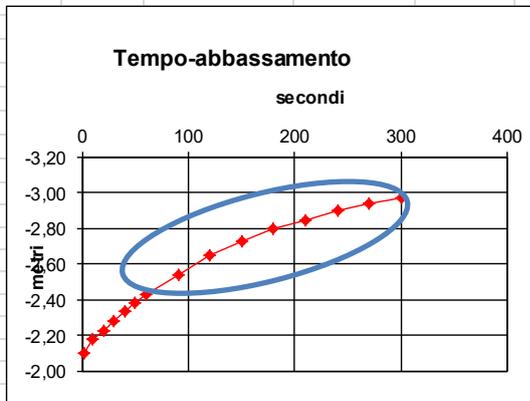
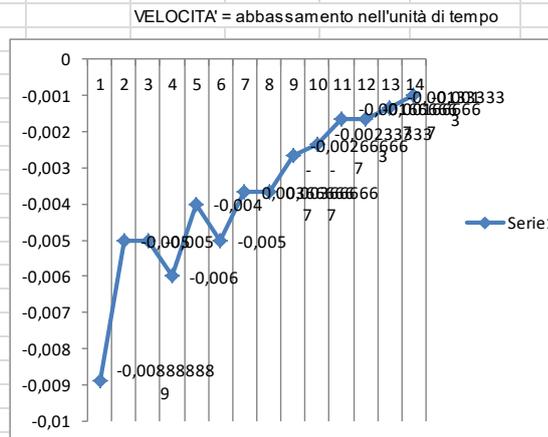
Per il coefficiente C_L sono suggeriti i seguenti valori:

$$\begin{aligned} L \gg d \quad C_L &= L \\ L \leq d \quad C_L &= 2\pi d + L \end{aligned}$$

dove L è la lunghezza del tratto di foro scoperto e d il diametro del foro.

PROVA DI PERMEABILITA' IN SITO
PROVA N.1 - PROFONDITA' -2,42 m da p.c. - 03/08/2020
Crema PROVA 1

DISCESA			
tempo (")	Abbassamento (m)	Abbassamento	velocità
1	-2,10	0,000	
10	-2,18	0,080	-0,00888889
20	-2,23	0,050	-0,005
30	-2,28	0,050	-0,005
40	-2,34	0,060	-0,006
50	-2,38	0,040	-0,004
60	-2,43	0,050	-0,005
90	-2,54	0,110	-0,00366667
120	-2,65	0,110	-0,00366667
150	-2,73	0,080	-0,00266667
180	-2,8	0,070	-0,00233333
210	-2,85	0,050	-0,00166667
240	-2,9	0,050	-0,00166667
270	-2,94	0,040	-0,00133333
300	-2,97	0,030	-0,001



permeabilità 0-30	
raggio	0,0335 m
L	0,1 m
Area di fe	0,003524 m ²
CL	0,1 m
T2-T1	29 sec
H1/H2	0,180 m
Ln H1/H2	1,71485
K	0,002084 m/s

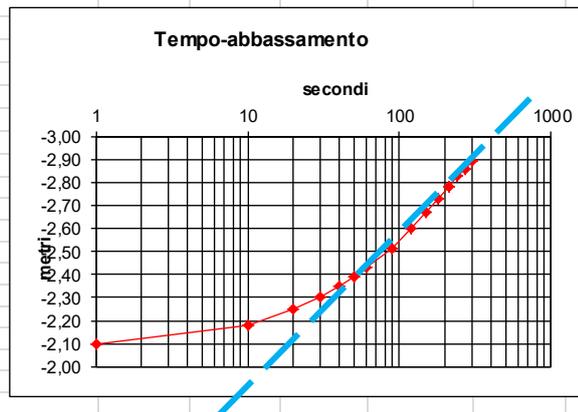
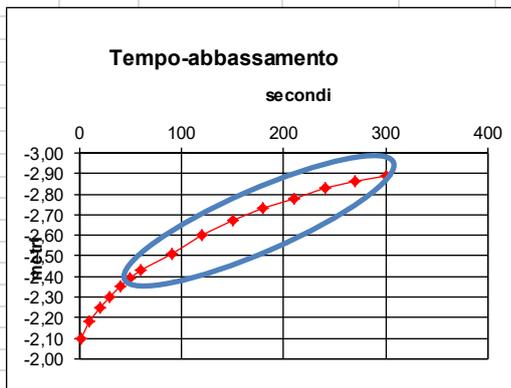
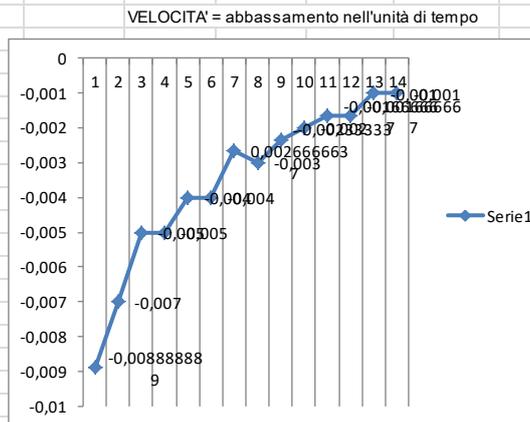
permeabilità 30-270	
raggio	0,0335 m
L	0,1 m
Area di fe	0,00352 m ²
CL	0,1 m
T2-T1	240 sec
H1/H2	0,660 m
Ln H1/H2	0,415528
K	6,10E-05 m/s

CL coefficiente = L lunghezza drenante
 $k = (A/(CL(t_2-t_1))) * Ln (H_1/H_2)$

CL coefficiente = L lunghezza drenante
 $k = (A/(CL(t_2-t_1))) * Ln (H_1/H_2)$

PROVA DI PERMEABILITA' IN SITO
PROVA N.2 - PROFONDITA' -2,50 m da p.c. - 12/10/2020
Crema PROVA 2

DISCESA			
tempo (")	Abbassamento (m)	Abbassamento	velocità
1	-2,10	0,000	
10	-2,18	0,080	-0,00888889
20	-2,25	0,070	-0,007
30	-2,30	0,050	-0,005
40	-2,35	0,050	-0,005
50	-2,39	0,040	-0,004
60	-2,43	0,040	-0,004
90	-2,51	0,080	-0,00266667
120	-2,6	0,090	-0,003
150	-2,67	0,070	-0,00233333
180	-2,73	0,060	-0,002
210	-2,78	0,050	-0,00166667
240	-2,83	0,050	-0,00166667
270	-2,86	0,030	-0,001
300	-2,89	0,030	-0,001



permeabilità 0-50	
raggio	0,0335 m
L	0,1 m
Area di fr	0,003524 m2
CL	0,1 m
T2-T1	49 sec
H1/H2	0,290 m
Ln H1/H2	1,237874
K	0,000890 m/s

permeabilità 50-300	
raggio	0,0335 m
L	0,1 m
Area di fr	0,0035239 m2
CL	0,1 m
T2-T1	250 sec
H1/H2	0,440 m
Ln H1/H2	0,8210053
K	0,000116 m/s

CL coefficiente = L lunghezza drenante
 $k = (A / (CL(t_2 - t_1))) * \ln(H_1 / H_2)$

CL coefficiente = L lunghezza drenante
 $k = (A / (CL(t_2 - t_1))) * \ln(H_1 / H_2)$

8. DATI DI SINTESI DELLE PROVE DI PERMEABILITÀ ESEGUITE IN CONDIZIONI SATURE.

E sicuramente da considerarsi una permeabilità verticale, visto che la prova non è stata effettuata in falda; l'acquifero libero risulta molto capiente in quanto ci sono almeno 7 m di terreni sabbiosi non saturi, tali da poter accogliere notevoli volumi di acqua.

È stato effettuato anche il calcolo dell'intera curva considerando anche la parte in fase di saturazione, e la permeabilità risulta più alta.

La prova, così come effettuate, presenta due caratteristiche una positiva e una negativa nei confronti del valore di permeabilità:

1 Durante la fase di infissione del rivestimento la punta comprime il terreno creando una condizione intorno alle aste di addensamento dei terreni che presentano permeabilità minore

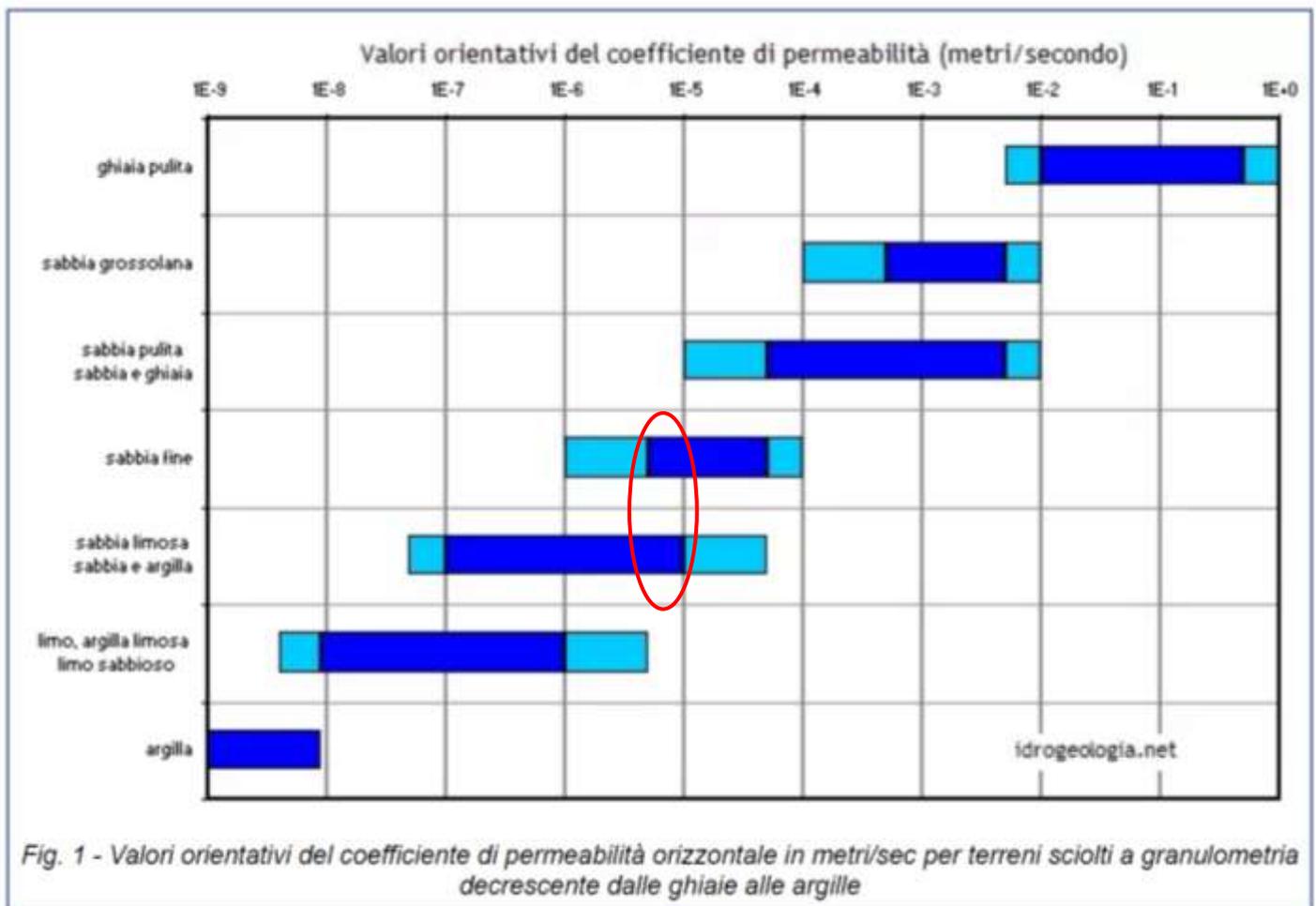
2 la prova risulta puntuale e può trovarsi in terreni particolarmente favorevoli.

Tale prova confrontata con il tipo di terreni e prove di taratura, risulta attendibile e ben correlabile con altri tipi di indagini.

TABELLA : Per le prove STA 2 Valore di permeabilità calcolato

Indagine	PROVA	PERMEABILITA' m/sec	
1	1	0,0000610	$6,10 \times 10^{-5}$
1	2	0,0001160	$11,6 \times 10^{-5}$

9. VALORI ORIENTATIVI DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ



10. CONCLUSIONI E INTERVENTI PROPOSTI

Ai sensi della D,g,r, del 20 novembre 2017, n. 7372 e seguenti, occorre valutare quali opere possano essere realizzate, in relazione al contesto litostratigrafiche ed idrogeologiche locale, In particolare occorre verificare che tali opere siano in grado di raccogliere la volumetria d'acqua prodotta dalla superficie impermeabile di progetto, senza però interferire su manufatti limitrofi, o sulle condizioni idrogeologiche ed idrauliche locali. Considerando la particolare situazione litostratigrafica locale con la presenza di sabbie con ghiaie e limi fino a circa 10 m da p.c. esistente con permeabilità scarsa, si potrà prevedere la realizzazione di due vasche naturalmente drenanti. Spessore e superficie potranno essere dimensionati correttamente in fase esecutiva dopo esecuzione di indagini specifiche sui suoli. Nel caso la permeabilità risultasse troppo bassa è possibile realizzare una trincea drenante per migliorare la permeabilità del suolo o l'istallazione di vasche apposite (anche esterne). Tali interventi verranno verificati dalla DDLL alla fine dell'esecuzione dei lavori

11. PIANO DI MANUTENZIONE

Per quanto riguarda la Vasca d'invaso in progetto si dovrà effettuare periodicamente con cadenza di almeno una volta all'anno la verifica della presenza di eventuali sedimenti presenti sul fondo dei pozzetti di raccolta e all'interno delle tubazioni filtranti in modo da garantire il normale deflusso idrico per infiltrazione delle acque. Nel caso di tubazione di collegamento alla rete fognaria comunale dovrà essere prevista l'ispezione di tale manufatto. I problemi che generalmente possono essere riscontrati per questi sistemi sono l'accumulo di sedimenti e l'ostruzione dei dispositivi di regolazione del flusso. Quando si verifica un'ostruzione l'improvvisa eliminazione della stessa può avere un impatto inaccettabile sugli impianti di trattamento delle acque di scarico pertanto bisogna procedere alla rimozione graduale della stessa. Per eliminare tali inconvenienti ed ottimizzare la rimozione dei sedimenti possono essere apportate delle modifiche alla struttura dei pozzetti modificando il fondo o creando dei canali di scorrimento o utilizzando apparecchi meccanici all'interno dei manufatti di preraccolta per rimuovere periodicamente i sedimenti. Le vasche di accumulo hanno la funzione di ridurre le portate di punta per mezzo dell'accumulo temporaneo delle acque di scarico all'interno del sistema. Le vasche di laminazione sono opere che richiedono attività di manutenzione e controllo periodico costante, tali attività devono essere svolte da aziende specializzate, le quali terranno un registro d'intervento e controllo (a disposizione del gestore della pubblica fognatura), assumendosi la responsabilità del funzionamento dell'opera con contratto. Il nominativo della ditta specializzata, preposta alla manutenzione e controllo, dovrà essere comunicato dal proprietario della Vasca all'ente gestore delle pubbliche fognature.

Si rimane comunque a disposizione per qualsiasi chiarimento.

Dott. Raffaele Maioli
Geologo

