



Comune di Padova (PD)

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO AI SENSI DELL'ART. 20 DELLA L.R. n. 11 DEL 23/04/2004 DENOMINATO "PIANO FORCELLINI"



TAVOLA	TITOLO	PROGETTISTI		
Allegato 1	RELAZIONE IDRAULICA	Ing. Mauro Tortorelli		
SCALA		Ing. Elia De Marchi		
DATA ELABORATO				
Aprile 2020				
PROGETTAZIONE				
 Tech Environment & Engineering Via Barroccio dal Borgo, 1 - 35124 Padova (PD) tel. 049 7966665 - fax 049 685800 info@i4consulting.it - www.i4consulting.it				
SO472/2020	n:\commesse\SO472_VCI Forcellini\All-1_Relazione Idraulica.pdf			
0	04/2020	Prima emissione	E. DeMarchi	M. Tortorelli
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE	VERIFICATO	APPROVATO

**PIANO URBANISTICO ATTUATIVO AI SENSI
DELL'ART. 20 DELLA L.R. n. 11 DEL 23/04/2004
DENOMINATO "PIANO FORCELLINI"**

INDICE

1. Generalità	3
2. Caratteristiche pluviometriche della zona oggetto di intervento.....	7
3. Stima della variazione del coefficiente di deflusso	13
3.1. Stima del coefficiente di deflusso nelle condizioni attuali	18
3.2. Stima del coefficiente di deflusso nelle condizioni di progetto	20
4. Portata smaltibile in rete pubblica di scolo.....	23
5. Scelta del recapito	26
6. Calcolo dei volumi necessari per la laminazione	27
7. Dimensionamento del sistema di laminazione	29
8. Dimensionamento del manufatto di scarico	31
9. Verifica dello sfioratore di sicurezza	33
10. Vasche di laminazione.....	35
11. Verifica della funzionalità della rete con modellazione idraulica	36
12. Dimensionamento della rete minore.....	38
13. Caratteristiche particolari dell'area oggetto di intervento	40
14. Scelta dei materiali e dei dispositivi.....	41
15. Documentazione fotografica	44

1. Generalità

Il presente progetto riguarda il dimensionamento delle reti di fognatura bianca a servizio del piano urbanistico denominato "Piano Forcellini" in Comune di Padova (PD).

L'area oggetto della presente relazione interessa una superficie complessiva di circa 41'200 m², il cui inquadramento territoriale è riportato in Figura 1 e Figura 2.

Per il dimensionamento della rete delle acque meteoriche si fa generalmente riferimento alla delibera di giunta regionale D.G.R. 2948 del 6/10/2009; la delibera annulla la precedente D.G.R. 1841 del 2007 emanata a modifica e integrazione delle D.G.R. 3637 del 2002 e della D.G.R. 1322 del 2006. Tutte le delibere citate in ogni caso si basano sul criterio dell'invarianza idraulica per le nuove aree urbanizzate e stabiliscono che le trasformazioni territoriali devono essere accompagnate a sistemi di limitazione delle portate scaricate e di volumi di invaso in grado di limitare le stesse al valore caratteristico del terreno antecedente all'intervento di trasformazione.

Di conseguenza, la realizzazione di superfici ad elevato coefficiente di deflusso (strade, piazzali e coperture di edifici) e la contemporanea necessità di mantenere pressoché inalterato il coefficiente idrometrico dell'area, per non interferire con immissioni eccessive nella rete di fognatura bianca e nella rete idrografica superficiale, rende necessaria la laminazione delle portate generate dagli eventi meteorici più intensi mediante la predisposizione di appositi volumi di invaso e manufatti di limitazione delle portate scaricate.

Il tempo di ritorno di riferimento di 50 anni stabilito dalla DGR 2948/2009 risulta particolarmente cautelativo al fine di garantire la sicurezza idraulica dell'area progettata e delle aree limitrofe, e a tale valore si farà pertanto riferimento.

A seguito degli intensi eventi meteorici avvenuti nel 2007, è stato nominato il Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 con l'obiettivo primario di ripristinare le condizioni di sicurezza nei territori colpiti. Pur essendo cessata l'attività del Commissario, numerosi comuni hanno provveduto ad inserire all'interno delle norme tecniche i contenuti delle ordinanze commissariali.

In ogni caso le ordinanze commissariali n. 2, 3 e 4 del 22/01/2008 e le "Linee Guida per la Valutazione di Compatibilità Idraulica" pubblicate nell'estate del 2009, pur essendo predisposte a tutela del territorio veneziano e quindi non risultano cogenti nel territorio oggetto di intervento, definiscono validi indirizzi per il corretto dimensionamento dei sistemi di laminazione e smaltimento delle acque meteoriche secondo il criterio dell'invarianza idraulica: a queste indicazioni si farà pertanto riferimento al fine di garantire la sicurezza idraulica dell'area progettata e delle aree contermini.

Data l'estensione dell'ambito di intervento e la particolare delicatezza del contesto idraulico dei quartieri Terranegra – Forcellini nel quale si inserisce l'intervento, lo studio in esame ha previsto la verifica con l'ausilio del software di modellazione idraulica SWMM, al fine di assicurare il corretto funzionamento delle opere di invarianza idraulica progettate.

Inoltre occorre sottolineare che il progetto è stato preventivamente sottoposto al vaglio del competente Consorzio di bonifica Bacchiglione, che si è espresso favorevolmente, sull'intervento con parere prot. 8998 del 30/09/2016.

Tra le prescrizioni richiamate si ritiene utile riportare la richiesta di contenere il coefficiente udometrico di progetto dell'ambito di intervento al valore limite di 2 l/s·Ha, valore particolarmente contenuto che ad intervento attuato consentirà una significativa riduzione degli apporti alla rete di fognatura soprattutto in concomitanza agli eventi pluviometrici più brevi ed intensi, a favore della sicurezza idraulica del territorio contermine all'ambito di intervento.

Inoltre il parere richiama l'esigenza di scaricare gli apporti meteorici nello scolo consorziale tombinato "Gustavo Modena", il cui tracciato interessa il sedime di via Forcellini.

Quest'ultima indicazione appare in contrasto con la delibera di Giunta Comunale n. 183/2017 del 25/05/2017, nella quale veniva precisato che *"il progetto delle opere di urbanizzazione deve essere corredato dalla progettazione/realizzazione di una condotta di collegamento della rete fognaria acque bianche dal Piano con i bacini di laminazione in fase di costruzione in via Gerardo. Tale opera, funzionale al Piano, è da considerarsi necessaria anche se opera extra ambito;"*. Tale condotta era stata inserita in funzione del possibile allontanamento delle acque meteoriche attraverso un impianto idrovoro previsto in corrispondenza al bacino di laminazione di via Gerardo, a favore di una potenziale riduzione degli apporti al sistema di depurazione comunale.

Tuttavia sentiti gli attori coinvolti, quali Consorzio di bonifica Bacchiglione e gestore del Servizio Idrico Integrato Acegas APS S.p.A. l'intervento di realizzazione del nuovo impianto idrovoro è stato sostanzialmente abbandonato e pertanto la diversione delle portate scaricate dall'ambito verso il bacino di via Gerardo non comporterebbe alcun beneficio tangibile per il sistema idraulico. Inoltre la ridottissima portata scaricata, limitata al valore di appena 2 l/s·Ha, determinerebbe un apporto pressoché insignificante, motivo per cui tale condotta non è stata progettata e gli apporti provenienti dall'ambito di intervento è stato previsto di scaricarli nel collettore consortile "Gustavo Modena" presente in via Forcellini, secondo le indicazioni già espresse dal Consorzio di bonifica.



Figura 1: Ubicazione dell'area di intervento – scala 1:25'000 – Base cartografica Carta I.G.M.

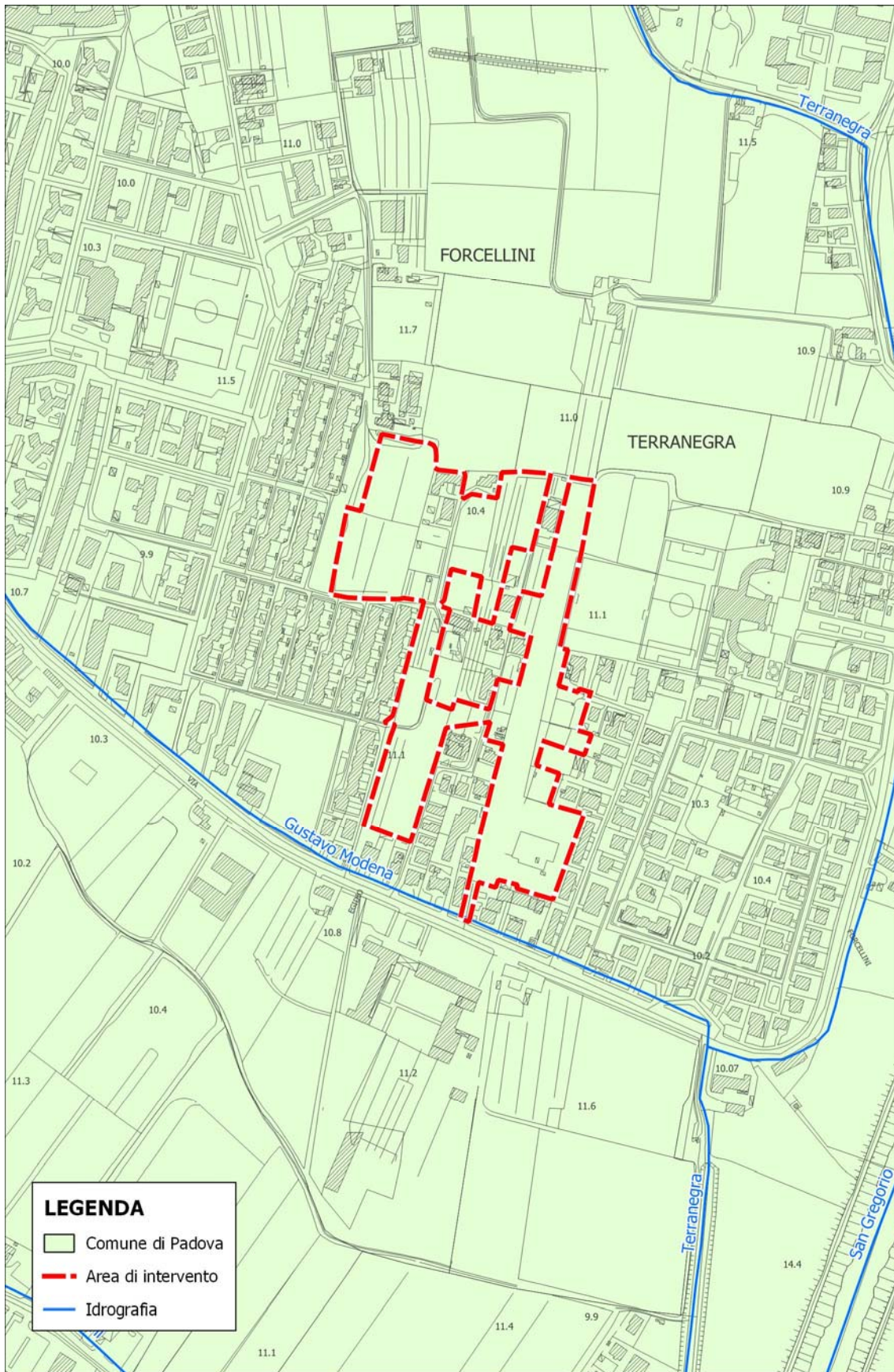


Figura 2: Dettaglio dell'ubicazione dell'intervento – scala 1:5'000 – base cartografica C.T.R.

2. Caratteristiche pluviometriche della zona oggetto di intervento

Per lo studio delle opere di smaltimento delle acque piovane in aree di limitata estensione risulta opportuno fare riferimento, oltre che alle precipitazioni di durata oraria, anche a quelle di forte intensità e breve durata.

E' stato pubblicato, a cura del Commissario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto, l' "Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento", utile riferimento per i dimensionamenti idraulici nell'area interessata dallo studio.

Lo studio ha preso in esame un esteso numero di stazioni pluviografiche, e le ha raggruppate secondo rigorosi procedimenti statistici, individuando una serie di zone sufficientemente omogenee.

Tabella 1: Risultati della cluster analysis per l'individuazione di gruppi omogenei di stazioni.

Raggruppamento da analisi	Stazione	s_i	Raggruppamento finale
Zona sud occidentale	TEOLO (TL)	0.413	Zona sud occidentale
	LEGNARO (LE)	0.311	
	MONTEGALDA (MT)	0.264	
	CA' DI MEZZO (DI)	0.155	
	CODEVIGO (DV)	0.143	
	CAMPODARSEGO (CM)	0.126	
	GRANTORTO (GT)	0.099	
	GALZIGNANO TERME (GG)	0.421	
MIRA (MM)	-0.033	Zona sud occidentale	
Valle Averso	VALLE AVERTO UNO (VV)		-
Zona costiera e cittadellese	IESOLO (IE)	0.425	Zona costiera e lagunare
	MOGLIANO VENETO (OG)	0.421	
	MESTRE CITTÀ (ME)	-0.014	
	SANT'ANNA DI CHIOGGIA (CH)	0.239	Zona interna nord-occidentale
	CITTADELLA (IT)	0.224	
	TREBASELEGHE (TS)	0.052	
	PONTE DI PIAVE (PT)	0.204	
Zona nord-orientale	NOVENTA DI PIAVE (NP)	0.521	Zona nord-orientale
	VILLORBA (VB)	0.485	
	RONCADE (RC)	0.480	
	ERACLEA (ER)	0.455	
	ZERO BRANCO (ZB)	0.270	
	BREDA DI PIAVE (BP)	0.246	
	CASTELFRANCO VENETO (CF)	0.202	
Zona esterna	AGNA (AA)	0.425	-
	BARBARANO VICENTINO (BB)	0.168	

Il Comune di Padova non rientra nell'elenco dei comuni colpiti dall'evento calamitoso del settembre 2007 e riportati nell'ordinanza commissariale n. 2 del 21/12/2007, tuttavia si ritiene utile fare riferimento a tale studio, poiché, oltre a coprire interamente l'area di interesse, fornisce stime delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica basate sui più recenti dati pluviometrici disponibili.

Lo studio ha previsto il raggruppamento delle stazioni pluviografiche di riferimento in base a criteri statistici di uniformità.

Il comune di Padova è stato raggruppato con altri comuni per i quali è stata riscontrata una risposta idrologica sufficientemente omogenea, e rientra nella zona denominata "Zona sud occidentale SW", come rappresentato nella seguente Figura 3. Le stazioni pluviografiche di riferimento della zona omogenea sono: Teolo (TL), Legnaro (LE), Montegalda (MT), Ca' di Mezzo (DI), Codevigo (DV), Campodarsego (CM), Grantorto (GT), Galzignano Terme (GG).

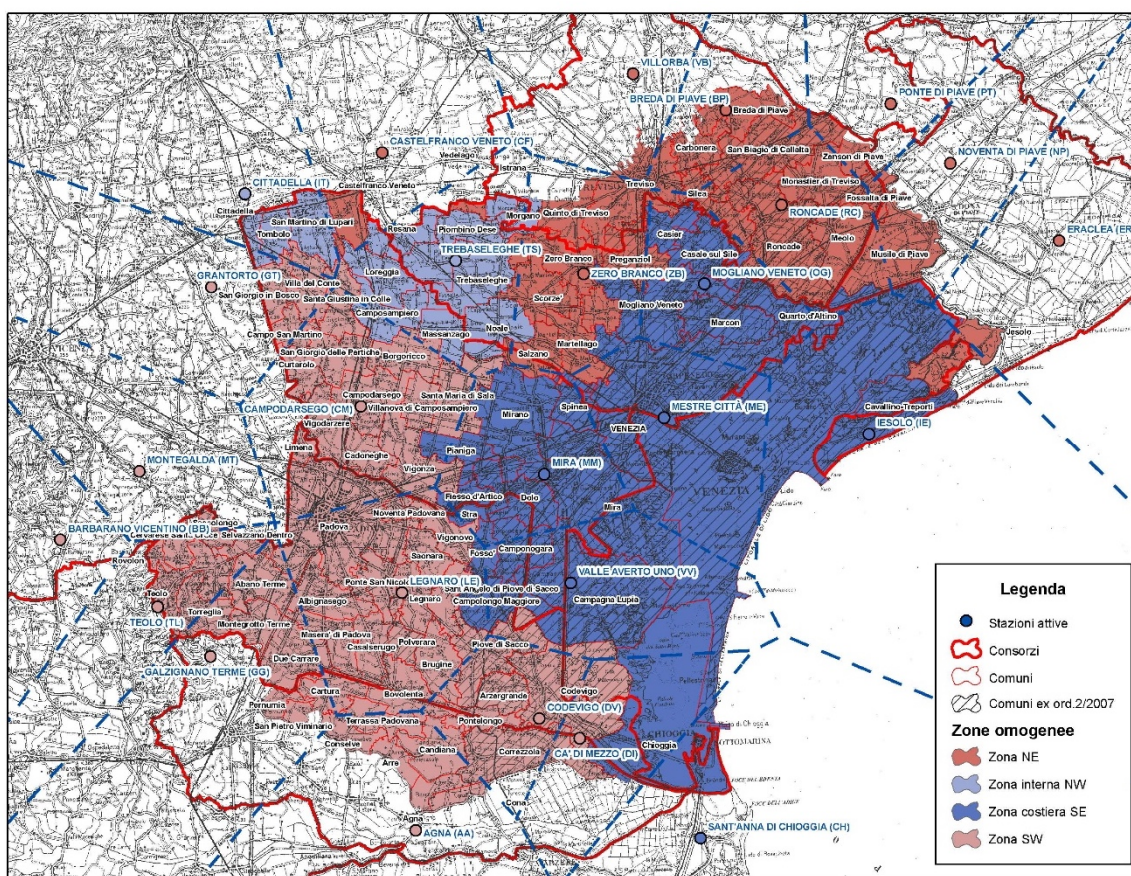


Figura 3: Ripartizione dei comuni tra le quattro zone omogenee.

Per le stesse sono state valutate alcune grandezze caratteristiche, riportate nelle seguenti tabelle.

Tabella 2: grandezze indice per la zona sud-occidentale SW

Durata (min)	5	10	15	30	45	60	180	360	720	1440
h	10.078	16.924	21.444	29.535	33.691	36.372	46.207	53.720	62.702	73.215

Le stesse sono poi state utilizzate per fornire i valori attesi di precipitazione, in base a durata e tempo di ritorno dell'evento di progetto.

Tabella 3: Valori attesi di precipitazione:

T (anni)	durata (min)									
	5	10	15	30	45	60	180	360	720	1440
2	9.7	16.3	20.6	28.0	31.8	34.2	42.7	49.4	57.7	67.0
5	12.2	20.7	26.4	36.7	41.9	45.2	57.6	66.7	77.5	90.6
10	13.8	23.5	30.0	42.3	48.7	52.7	68.2	79.3	91.9	108.1
20	15.3	26.0	33.4	47.7	55.2	60.0	78.9	92.3	106.7	126.4
30	16.1	27.4	35.3	50.8	59.0	64.3	85.3	100.2	115.8	137.7
50	17.1	29.1	37.7	54.7	63.7	69.7	93.6	110.5	127.6	152.7
100	18.4	31.3	40.8	59.9	70.2	77.2	105.4	125.3	144.6	174.4
200	19.6	33.3	43.7	65.0	76.7	84.7	117.7	141.1	162.7	197.9

Nello studio "Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento" la curva di possibilità pluviometrica è definita da tre parametri anziché dai due normalmente utilizzati, in maniera da fornire una relazione univoca per durate brevi ed orarie, normalmente interpolate con due differenti curve utilizzando la relazione a due parametri:

$$h = \frac{a}{(t+b)^c} t$$

Si ricorda che nell'applicazione della curva segnalatrice i tempi t devono essere espressi in minuti e il risultato è restituito in millimetri di precipitazione.

I parametri della curva segnalatrice sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 4: parametri di possibilità pluviometrica relativi a curva a 3 parametri

T	a	b	c
2	20.6	10.8	0.842
5	27.4	12.1	0.839
10	31.6	12.9	0.834
20	35.2	13.6	0.827
30	37.1	14.0	0.823
50	39.5	14.5	0.817
100	42.4	15.2	0.808
200	45.0	15.9	0.799

La curva rappresentata dalla relazione sopra indicata è valida in un intervallo esteso e sufficientemente attendibile per durate che vanno dai 5 minuti fino alle 24 ore, senza la necessità di utilizzare curve differenti per brevi durate e per durate orarie.

Si riportano nel grafico di Figura 4 le curve ottenute dall'applicazione dei grafici sopra indicati, con riferimento a differenti tempi di ritorno.

Curve segnalatrici a 3 parametri

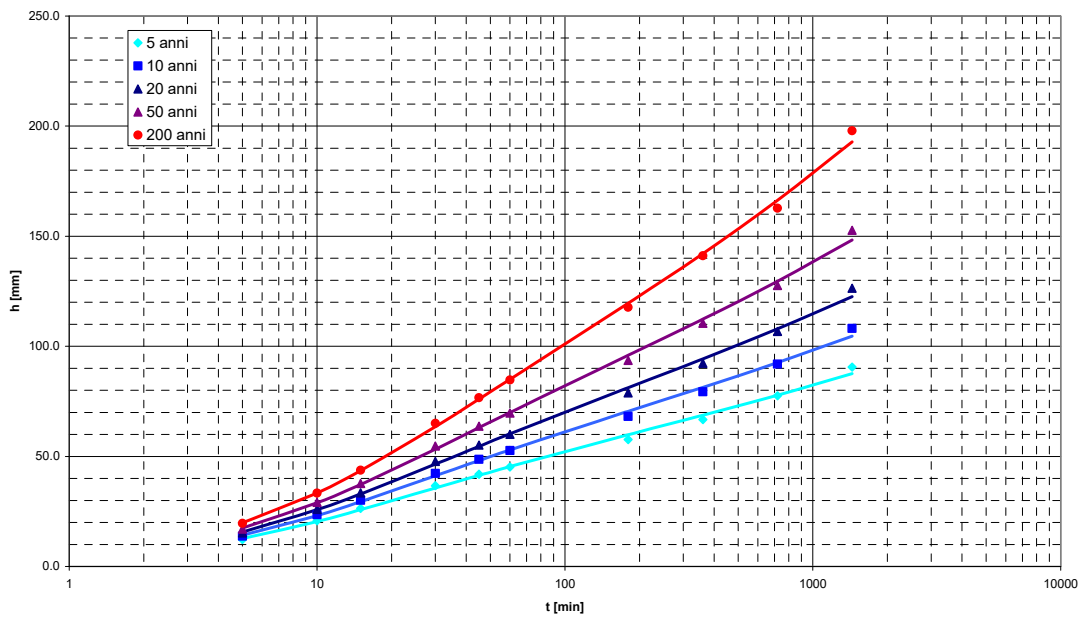


Figura 4: Curve di possibilità pluviometrica a 3 parametri per la zona Sud-occidentale.

Pertanto la relazione che definisce l'altezza di precipitazione attesa per una determinata durata di pioggia, per l'area di interesse e con riferimento ad un tempo di ritorno di 50 anni, è data dalla seguente:

$$h = \frac{39.5}{(t + 14.5)^{0.817}} t$$

Per l'applicazione delle formule del metodo cinematico e del metodo dell'invaso, lo studio fornisce una serie di parametri di possibilità pluviometrica, da utilizzare con riferimento alla durata di precipitazione (t_p):

Tabella 5: parametri di possibilità pluviometrica - Zona sud-occidentale

T_R	$t_p \approx 15$ minuti			$t_p \approx 30$ minuti			$t_p \approx 45$ minuti			$t_p \approx 1$ ora			$t_p \approx 3$ ore			$t_p \approx 6$ ore		
	da 5 min a 45 min			da 10 min a 1 ora			da 15 min a 3 ore			da 30 min a 6 ore			da 45 min a 12 ore			da 1 ora a 24 ore		
anni	a	n	Δ	a	n	Δ	a	n	Δ	a	n	Δ	a	n	Δ	a	n	Δ
2	4.5	0.533	6.4%	6.6	0.412	3.2%	10.2	0.287	5.0%	13.5	0.221	1.3%	14.2	0.212	0.5%	14.2	0.212	0.4%
5	5.4	0.556	6.2%	7.9	0.437	3.3%	12.4	0.307	5.3%	16.9	0.235	1.5%	18.2	0.220	0.4%	18.5	0.218	0.2%
10	6.0	0.570	6.0%	8.6	0.453	3.3%	13.6	0.322	5.4%	18.8	0.247	1.6%	20.6	0.229	0.7%	21.1	0.224	0.4%
20	6.4	0.582	5.8%	9.2	0.470	3.3%	14.5	0.337	5.5%	20.3	0.260	1.7%	22.6	0.238	1.0%	23.4	0.232	0.7%
30	6.7	0.590	5.7%	9.4	0.479	3.3%	15.0	0.346	5.5%	21.0	0.268	1.7%	23.6	0.244	1.2%	24.6	0.237	0.9%
50	7.0	0.598	5.5%	9.8	0.491	3.3%	15.5	0.358	5.6%	21.9	0.278	1.8%	24.8	0.252	1.4%	26.1	0.243	1.1%
100	7.3	0.610	5.2%	10.1	0.507	3.3%	16.1	0.373	5.6%	22.8	0.292	1.8%	26.3	0.263	1.6%	27.9	0.253	1.4%
200	7.7	0.621	4.9%	10.4	0.524	3.3%	16.5	0.390	5.6%	23.5	0.307	1.9%	27.5	0.275	1.9%	29.5	0.263	1.7%

Tuttavia è stato possibile, con opportuni accorgimenti, adattare le note formule del metodo cinematico e del metodo dell'invaso alla curva di possibilità pluviometrica a 3 parametri. A queste formule si farà riferimento per i calcoli nella presente relazione.

Si riportano nelle seguenti tabelle 6 e 7 le tabulazioni dei coefficienti udometrici calcolati mediante l'applicazione del metodo dell'invaso o del metodo cinematico ottenuti dall'applicazione della curva di possibilità pluviometrica a 3 parametri.

Tabella 6: Coefficienti udometrici calcolati mediante l'applicazione del metodo dell'invaso, ottenuti dall'applicazione della curva di possibilità pluviometrica a 3 parametri

Zona sud occidentale - Coefficienti udometrici ricavati con il metodo dell'invaso [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$]																
T_R [anni]	k	Volume di invaso [m^3/ha]														
		50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330
2	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.2	10.8	3.9	1.4	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.3	34.4	19.0	9.9	4.9	2.4	1.2	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	0.4	64.9	42.7	27.3	16.9	10.2	6.0	3.5	2.1	1.3	0.8	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1
	0.5	99.2	71.8	51.2	35.8	24.5	16.5	10.9	7.1	4.6	3.1	2.0	1.4	1.0	0.7	0.5
	0.6	135.8	104.1	79.2	59.6	44.3	32.4	23.4	16.6	11.7	8.2	5.8	4.1	2.9	2.1	1.5
	0.7	174.1	138.9	110.3	87.1	68.1	52.8	40.5	30.7	23.0	17.2	12.7	9.4	6.9	5.1	3.8
	0.8	213.5	175.2	143.6	117.2	95.1	76.7	61.3	48.7	38.3	29.9	23.2	17.9	13.7	10.5	8.1
	0.9	253.8	212.9	178.5	149.4	124.5	103.3	85.2	69.9	56.9	46.1	37.1	29.6	23.6	18.7	14.8
5	0.1	2.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.2	24.5	12.6	6.1	2.9	1.4	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.3	61.0	40.8	26.5	16.8	10.4	6.3	3.8	2.3	1.4	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1
	0.4	103.6	77.4	57.2	41.7	29.9	21.1	14.7	10.1	6.9	4.7	3.3	2.3	1.6	1.1	0.8
	0.5	149.6	118.8	93.9	73.8	57.4	44.2	33.7	25.5	19.0	14.1	10.4	7.7	5.7	4.2	3.2
	0.6	197.7	163.1	134.5	110.5	90.3	73.4	59.3	47.5	37.8	29.8	23.4	18.3	14.2	11.0	8.6
	0.7	247.1	209.5	177.7	150.5	127.1	106.9	89.6	74.7	61.9	51.1	41.9	34.2	27.8	22.5	18.2
	0.8	297.5	257.3	222.8	192.8	166.6	143.7	123.6	105.9	90.4	76.9	65.1	54.9	46.1	38.6	32.2
	0.9	348.7	306.2	269.3	237.0	208.4	182.9	160.3	140.2	122.3	106.3	92.2	79.6	68.6	58.9	50.4
10	0.1	4.3	1.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.2	34.8	20.5	11.6	6.3	3.4	1.9	1.0	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
	0.3	78.9	56.7	40.3	28.1	19.2	12.9	8.6	5.7	3.8	2.5	1.7	1.2	0.8	0.6	0.4
	0.4	128.7	101.0	78.9	61.2	47.0	35.7	26.9	20.0	14.8	10.9	8.0	5.8	4.3	3.2	2.4
	0.5	181.5	149.6	123.2	101.1	82.6	67.1	54.2	43.4	34.6	27.4	21.5	16.9	13.2	10.3	8.0
	0.6	236.3	201.0	171.1	145.4	123.4	104.3	87.9	73.7	61.5	51.1	42.3	34.8	28.6	23.3	19.0
	0.7	292.3	254.1	221.3	192.8	167.7	145.6	126.2	109.0	93.9	80.7	69.0	58.9	50.0	42.4	35.8
	0.8	349.2	308.7	273.4	242.3	214.7	190.0	167.9	148.2	130.5	114.6	100.5	87.8	76.6	66.6	57.8
	0.9	406.8	364.2	326.8	293.4	263.6	236.6	212.3	190.2	170.2	152.1	135.7	120.8	107.3	95.1	84.2
20	0.1	7.1	2.6	1.0	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.2	44.9	29.0	18.2	11.1	6.7	4.0	2.4	1.5	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
	0.3	95.6	72.3	54.2	40.3	29.5	21.4	15.4	10.9	7.8	5.5	3.9	2.9	2.1	1.5	1.2
	0.4	151.6	123.1	99.8	80.6	64.8	51.7	41.0	32.3	25.2	19.6	15.2	11.8	9.1	7.1	5.5
	0.5	210.4	178.0	150.7	127.4	107.5	90.4	75.7	63.1	52.4	43.4	35.7	29.3	23.9	19.5	15.9
	0.6	271.0	235.5	204.9	178.3	155.1	134.6	116.6	100.8	86.9	74.6	63.9	54.6	46.5	39.5	33.4
	0.7	332.8	294.6	261.4	232.1	206.0	182.8	161.9	143.3	126.5	111.5	98.1	86.1	75.4	65.9	57.5
	0.8	395.5	355.0	319.5	287.8	259.4	233.7	210.4	189.3	170.2	152.7	136.9	122.5	109.4	97.6	86.9
	0.9	458.7	416.4	378.8	345.1	314.6	286.8	261.4	238.1	216.8	197.2	179.2	162.7	147.5	133.6	120.8
50	0.1	11.5	5.2	2.3	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.2	57.9	40.5	28.0	19.0	12.7	8.4	5.6	3.7	2.5	1.7	1.2	0.9	0.6	0.5	0.4
	0.3	116.4	92.2	72.8	57.2	44.7	34.6	26.7	20.4	15.6	11.8	9.0	6.9	5.3	4.0	3.1
	0.4	179.7	150.7	126.5	106.1	88.7	74.0	61.4	50.8	41.9	34.4	28.1	23.0	18.7	15.2	12.4
	0.5	245.6	213.0	185.1	160.9	139.8	121.3	105.0	90.8	78.2	67.3	57.7	49.4	42.1	35.9	30.5
	0.6	313.1	277.6	246.8	219.6	195.4	173.8	154.5	137.1	121.6	107.6	95.1	83.9	73.8	64.9	57.0
	0.7	381.6	343.8	310.5	280.8	254.0	229.9	207.9	188.0	169.8	153.3	138.2	124.4	111.9	100.5	90.2
	0.8	451.0	411.1	375.7	343.8	314.9	288.5	264.4	242.2	221.7	202.9	185.6	169.6	154.9	141.3	128.7
	0.9	520.9	479.3	442.0	408.3	377.5	349.2	323.0	298.9	276.5	255.7	236.3	218.3	201.6	186.1	171.6

Tabella 7: Coefficienti udometrici calcolati mediante l'applicazione del metodo cinematico, ottenuti dall'applicazione della curva di possibilità pluviometrica a 3 parametri

Zona sud occidentale - Coefficienti udometrici ricavati con il metodo cinematico [$l\ s^{-1}ha^{-1}$]																
T_R	k	Tempo di corrivazione [ore]														
[anni]		0.25	0.5	1	2	3	4	5	6	12	24	36	48	72	96	120
2	0.1	22.2	15.1	9.5	5.7	4.1	3.3	2.7	2.4	1.3	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2
	0.2	44.5	30.2	19.0	11.3	8.3	6.6	5.5	4.7	2.7	1.5	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4
	0.3	66.7	45.4	28.5	17.0	12.4	9.8	8.2	7.1	4.0	2.2	1.6	1.3	0.9	0.7	0.6
	0.4	89.0	60.5	38.0	22.7	16.5	13.1	10.9	9.4	5.3	3.0	2.1	1.7	1.2	0.9	0.8
	0.5	111.2	75.6	47.5	28.3	20.6	16.4	13.7	11.8	6.7	3.7	2.7	2.1	1.5	1.2	1.0
	0.6	133.4	90.7	57.0	34.0	24.8	19.7	16.4	14.1	8.0	4.5	3.2	2.5	1.8	1.4	1.2
	0.7	155.7	105.8	66.5	39.7	28.9	22.9	19.1	16.5	9.3	5.2	3.7	2.9	2.1	1.6	1.4
	0.8	177.9	121.0	76.0	45.4	33.0	26.2	21.9	18.9	10.7	6.0	4.3	3.3	2.4	1.9	1.6
	0.9	200.2	136.1	85.6	51.0	37.1	29.5	24.6	21.2	12.0	6.7	4.8	3.8	2.7	2.1	1.7
5	0.1	28.7	19.8	12.6	7.6	5.5	4.4	3.7	3.2	1.8	1.0	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3
	0.2	57.3	39.6	25.2	15.2	11.1	8.8	7.4	6.4	3.6	2.0	1.4	1.1	0.8	0.6	0.5
	0.3	86.0	59.4	37.8	22.8	16.6	13.2	11.1	9.5	5.4	3.0	2.2	1.7	1.2	1.0	0.8
	0.4	114.7	79.2	50.4	30.4	22.2	17.6	14.8	12.7	7.2	4.1	2.9	2.3	1.6	1.3	1.1
	0.5	143.3	99.0	63.1	37.9	27.7	22.1	18.4	15.9	9.0	5.1	3.6	2.8	2.0	1.6	1.3
	0.6	172.0	118.8	75.7	45.5	33.3	26.5	22.1	19.1	10.8	6.1	4.3	3.4	2.4	1.9	1.6
	0.7	200.6	138.7	88.3	53.1	38.8	30.9	25.8	22.3	12.6	7.1	5.1	4.0	2.8	2.2	1.9
	0.8	229.3	158.5	100.9	60.7	44.3	35.3	29.5	25.5	14.4	8.1	5.8	4.6	3.2	2.6	2.1
	0.9	258.0	178.3	113.5	68.3	49.9	39.7	33.2	28.6	16.2	9.1	6.5	5.1	3.7	2.9	2.4
10	0.1	32.8	22.9	14.7	8.9	6.5	5.2	4.4	3.8	2.1	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3
	0.2	65.6	45.8	29.4	17.8	13.1	10.4	8.7	7.5	4.3	2.4	1.7	1.4	1.0	0.8	0.6
	0.3	98.4	68.7	44.2	26.8	19.6	15.7	13.1	11.3	6.4	3.6	2.6	2.1	1.5	1.2	1.0
	0.4	131.2	91.6	58.9	35.7	26.2	20.9	17.5	15.1	8.6	4.9	3.5	2.7	2.0	1.5	1.3
	0.5	164.0	114.6	73.6	44.6	32.7	26.1	21.8	18.9	10.7	6.1	4.3	3.4	2.4	1.9	1.6
	0.6	196.8	137.5	88.3	53.5	39.2	31.3	26.2	22.6	12.9	7.3	5.2	4.1	2.9	2.3	1.9
	0.7	229.6	160.4	103.1	62.5	45.8	36.5	30.6	26.4	15.0	8.5	6.1	4.8	3.4	2.7	2.2
	0.8	262.4	183.3	117.8	71.4	52.3	41.7	35.0	30.2	17.2	9.7	6.9	5.5	3.9	3.1	2.6
	0.9	295.2	206.2	132.5	80.3	58.9	47.0	39.3	34.0	19.3	10.9	7.8	6.2	4.4	3.5	2.9
20	0.1	36.6	25.9	16.8	10.2	7.5	6.0	5.1	4.4	2.5	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
	0.2	73.3	51.7	33.5	20.5	15.1	12.1	10.1	8.8	5.0	2.8	2.0	1.6	1.2	0.9	0.8
	0.3	109.9	77.6	50.3	30.7	22.6	18.1	15.2	13.1	7.5	4.3	3.1	2.4	1.7	1.4	1.1
	0.4	146.6	103.4	67.1	41.0	30.1	24.1	20.2	17.5	10.0	5.7	4.1	3.2	2.3	1.8	1.5
	0.5	183.2	129.3	83.8	51.2	37.7	30.1	25.3	21.9	12.5	7.1	5.1	4.0	2.9	2.3	1.9
	0.6	219.9	155.1	100.6	61.4	45.2	36.2	30.3	26.3	15.0	8.5	6.1	4.8	3.5	2.7	2.3
	0.7	256.5	181.0	117.4	71.7	52.7	42.2	35.4	30.6	17.5	10.0	7.1	5.6	4.0	3.2	2.6
	0.8	293.1	206.8	134.1	81.9	60.3	48.2	40.5	35.0	20.0	11.4	8.2	6.4	4.6	3.6	3.0
	0.9	329.8	232.7	150.9	92.2	67.8	54.3	45.5	39.4	22.5	12.8	9.2	7.2	5.2	4.1	3.4
50	0.1	41.5	29.6	19.4	12.0	8.9	7.1	6.0	5.2	3.0	1.7	1.2	1.0	0.7	0.6	0.5
	0.2	82.9	59.3	38.9	24.0	17.8	14.3	12.0	10.4	6.0	3.4	2.5	2.0	1.4	1.1	0.9
	0.3	124.4	88.9	58.3	36.0	26.6	21.4	18.0	15.6	9.0	5.1	3.7	2.9	2.1	1.7	1.4
	0.4	165.8	118.5	77.8	48.0	35.5	28.5	24.0	20.8	12.0	6.9	4.9	3.9	2.8	2.2	1.9
	0.5	207.3	148.2	97.2	60.0	44.4	35.6	30.0	26.0	15.0	8.6	6.2	4.9	3.5	2.8	2.3
	0.6	248.7	177.8	116.7	72.0	53.3	42.8	36.0	31.2	18.0	10.3	7.4	5.9	4.2	3.3	2.8
	0.7	290.2	207.4	136.1	84.0	62.2	49.9	42.0	36.4	21.0	12.0	8.6	6.8	4.9	3.9	3.2
	0.8	331.7	237.0	155.6	96.0	71.0	57.0	48.0	41.6	24.0	13.7	9.9	7.8	5.6	4.5	3.7
	0.9	373.1	266.7	175.0	108.0	79.9	64.2	54.0	46.8	27.0	15.4	11.1	8.8	6.3	5.0	4.2

3. Stima della variazione del coefficiente di deflusso

Nel corso di un evento piovoso il coefficiente di deflusso rappresenta la percentuale del volume di pioggia che raggiunge la rete di raccolta di fognatura bianca. Il volume rimanente viene invece infiltrato nel sottosuolo o trattenuto negli invasi superficiali.

Per stimare i volumi che defluiscono attraverso la rete di fognatura risulta quindi indispensabile conoscere le caratteristiche dei terreni, che possono essere caratterizzati da differenti caratteristiche di permeabilità e di disponibilità di invasi superficiali.

Ad esempio i terreni agricoli soggetti a lavorazioni agronomiche sono tipicamente in grado di trattenere una porzione rilevante del volume di pioggia, mentre superfici pavimentate o coperture sono prevalentemente caratterizzate da ridotta permeabilità e ridotti invasi distribuiti tali da trasferire in fognatura la quasi totalità del volume di pioggia.

Una variazione del coefficiente di deflusso in aumento determina generalmente un aggravio di volumi scaricati e un incremento delle portate di punta, e di conseguenza richiede interventi per la laminazione delle portate di piena mediante realizzazione di volumi di invaso e di manufatti di controllo delle portate scaricate.

Tuttavia in situazioni di urbanizzazione preesistente è possibile ottenere anche variazioni negative del coefficiente di deflusso. In questi casi la trasformazione urbanistica permetterebbe già una riduzione di portate e volumi scaricati, e eventuali interventi potrebbero essere mirati a ridurre ulteriormente l'apporto alla rete dell'area oggetto di intervento al fine di garantire un miglioramento alla situazione idraulica generale del bacino di appartenenza.

La D.G.R. 2948/2009 definisce i seguenti valori guida da utilizzare quali coefficienti di deflusso, nel caso in cui non vengano calcolati analiticamente:

Tabella 8: Coefficienti di deflusso suggeriti dalla D.G.R. 1841/2007.

Superficie	Coefficiente di deflusso ϕ
Aree agricole	0.10
Aree verdi (giardini)	0.20
Aree semipermeabili (grigliati drenanti)	0.60
Aree impermeabilizzate (tetti, strade, terrazze)	0.90

La successiva nota integrativa del Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007, prot. n. 191991 del 09/04/2008, fornisce alcuni chiarimenti sulla metodologia di calcolo da adottare per la valutazione dell'impatto idraulico dell'intervento, e definisce ulteriori coefficienti di deflusso per alcuni tipi comuni di pavimentazione semipermeabile.

Tabella 9: Coefficienti di deflusso suggeriti dal Commissario Delegato nella nota del 09/04/2008.

Superficie	Coefficiente di deflusso φ
Superfici in ghiaia sciolta	0.30
Grigliati garden	0.40
Pavimentazione in ciottoli su sabbia	0.40
Pavimentazioni in cubetti o pietre con fuga non sigillata su sabbia	0.70

Il coefficiente di deflusso medio viene stimato sulla base della suddivisione in aree caratterizzate da coefficiente di deflusso omogeneo. Viene quindi valutato il coefficiente di deflusso nelle condizioni attuali, e nella situazione di progetto, per valutare l'incidenza dell'intervento sul regime idraulico.

Il coefficiente di deflusso, viene calcolato come valore medio pesato sull'area:

$$\varphi = \frac{\sum \varphi_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

La D.G.R. 2948/2009 stabilisce che "I coefficienti di deflusso, ove non determinati analiticamente, andranno convenzionalmente assunti pari a 0,1 per le aree agricole, 0,2 per le superfici permeabili (aree verdi), 0,6 per le superfici semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato, ...) e pari a 0,9 per le superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade, piazzali,.....)".

Per le tipologie di pavimentazione di tipo permeabile, realizzate con procedimenti innovativi non presenti sul mercato al momento dell'uscita dei primi decreti sull'invarianza idraulica, si è ritenuto opportuno procedere al calcolo analitico del coefficiente di deflusso, sulla base delle specifiche caratteristiche costruttive e di posa.

Per le pavimentazioni di tipo permeabile si intende calcolare il coefficiente di deflusso sulla base del volume d'acqua segregato nelle porosità del rivestimento e del materiale di sottofondo. Infatti la quantità di pioggia che raggiungerà effettivamente le reti di smaltimento acque meteoriche risulterà inferiore a quella effettivamente piovuta in quanto una porzione di essa sarà trattenuta al di sotto del piano di ruscellamento superficiale, sarà quindi dispersa per evaporazione o infiltrazione laterale, o utilizzata dalla vegetazione.

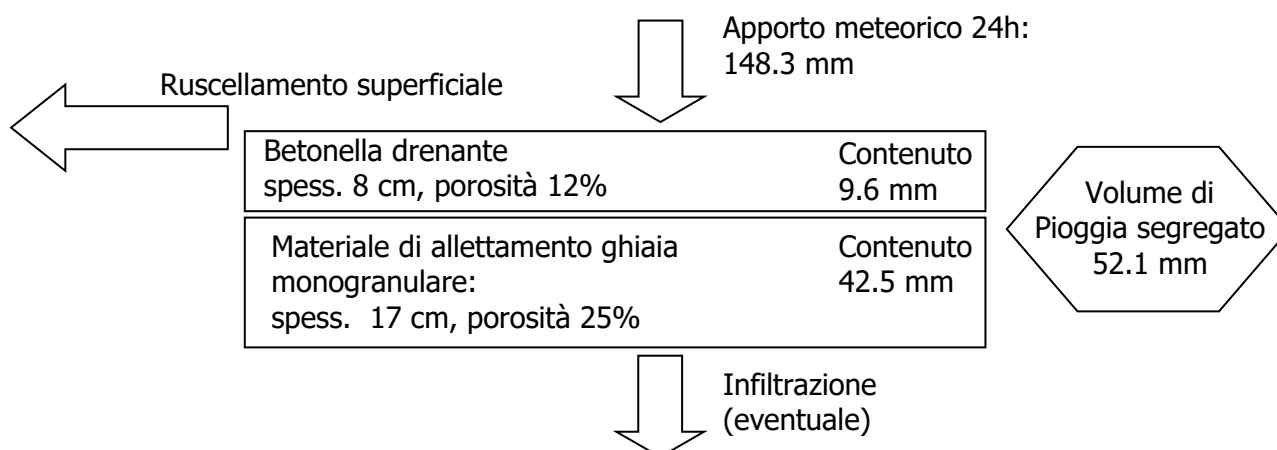


Tabella 10: parametri significativi della curva di possibilità pluviometrica e portate pluviometriche afferenti

t	T	h	j	K	Apporto medio specifico	Portata media (1.925 ha)
(min)	(ore)	(mm)	(mm/min)	(m/s)	(l/s/ha)	(l/s)
1	0.0	4.2	4.21	7.01E-05	701.4	1350.0
5	0.1	17.4	3.49	5.81E-05	581.4	1119.2
10	0.2	28.9	2.89	4.82E-05	482.5	928.8
15	0.3	37.3	2.49	4.15E-05	414.6	798.0
30	0.5	53.3	1.78	2.96E-05	296.3	570.3
60	1.0	70.0	1.17	1.94E-05	194.5	374.4
120	2.0	79.7	0.89	1.48E-05	147.5	283.9
240	4.0	86.4	0.72	1.20E-05	120.0	231.0
360	6.0	102.7	0.43	7.13E-06	71.3	137.2
720	12.0	112.3	0.31	5.20E-06	52.0	100.1
1080	18.0	129.5	0.18	3.00E-06	30.0	57.7
1440	24.0	140.3	0.13	2.16E-06	21.6	41.7

L'apporto di riferimento (148.3 mm) è calcolato con riferimento ad una pioggia di durata di 24 ore, poiché oltre tale durata l'intensità di pioggia diviene così bassa che l'apporto totale risulta comparabile alla portata smaltibile attraverso il foro di laminazione, e quindi non potrebbe più determinarsi alcun ulteriore accumulo.

Infatti oltre tale durata l'apporto meteorico risulta sicuramente inferiore al deflusso pur in condizioni di laminazione.

Un materiale poroso è in grado di contenere acqua all'interno delle proprie cavità, la cui quantità dipende dal valore della porosità, solitamente stabilita da apposite analisi di laboratorio. Il volume di acqua segregato dalla presenza dei vuoti nel materiale di rivestimento e di sottofondo andrà quindi a costituire una porzione del volume di pioggia che sarà perso in tempi prolungati.

Per la realizzazione di vialetti pedonali e aree di manovra veicolari si propone comunque l'utilizzo di betonelle drenanti, caratterizzate da elevata percentuale di vuoti e pertanto in grado di accumulare all'interno delle proprie cavità significative porzioni del volume di pioggia.

La porosità efficace della ghiaia di sottofondo è riportata in Tabella 11, normalmente si attesta nell'intorno del 25%, valore che viene quindi assunto come riferimento, che dovrà comunque essere verificato mediante opportune analisi di laboratorio in sede di esecuzione. Per massimizzare il contenuto d'acqua è necessario che la granulometria del materiale di sottofondo sia quanto più omogenea possibile.

Il materiale denominato "Mattone Filtrante" dispone di un impasto con materiale monogranulare che gli consente di ottenere una porosità efficace dell'ordine di almeno 12% ed un coefficiente di permeabilità piuttosto elevato.

La permeabilità superficiale è stata calcolata con apposite analisi di laboratorio e risulta pari a $5.16 \cdot 10^{-4}$ m/s, come riportato nel certificato di prodotto allegato in calce alla presente.

La permeabilità della pavimentazione risulta quindi ampiamente sufficiente a garantire l'infiltrazione del massimo apporto meteorico, ovvero ad evitare ogni forma di ruscellamento superficiale fino al completo intasamento dello strato di sottofondo e di pavimentazione.

Tabella 11: Porosità di alcune tipologie di materiale.

Sedimento	Porosità	Porosità efficace
Ghiaia grossa	28	23
Ghiaia media	32	24
Ghiaia fine	34	25
Sabbia grossa	39	27
Sabbia media	39	28
Sabbia fine	43	23
Silt	46	8
Arenaria a grana fine	33	21
Argilla	42	3
Arenaria a grana media	37	27
Calcare	30	14
Dolomia	26	-
Sabbia di duna	45	38
Loess	49	18
Torba	92	44
Scisti	38	26
Siltite	35	12
Argillite	43	-
Shale	6	-
Till sabbioso	31	16
Till siltoso	34	6
Tufo	41	21
Basalto	17	-
Gabbro alterato	43	-
Granito alterato	45	-

Valori indicativi di porosità e porosità efficace per una serie di sedimenti (Water Supply Paper, USGS)

Alcune semplici regole possono essere seguite quando si deve stimare la porosità efficace partendo dalla porosità: (Kresic):

- Per sabbie e ghiaie pulite, la differenza è inferiore al 5%
- Per sabbie ghiaie non uniformi o loro miscele è inferiore al 10%
- Una miscela 50-50 di sabbia uniforme ed argilla può avere una porosità di 0,5 mentre quella effettiva anche 0,05
- La porosità efficace dell'argilla è di solito 1-5%
- Se la porosità efficace è utilizzata per calcolare la velocità effettiva del flusso idrico, o di un inquinante trasportato per convezione, è più prudente usare i valori più alti

Dal calcolo del contenuto d'acqua che viene segregato negli strati di sottofondo e di pavimentazione, considerando una media di 17 cm di ghiaia di allettamento, si ottiene il coefficiente di deflusso analitico riportato in Tabella 12, che evidenzia che una pavimentazione anche se posata su suolo impermeabile, grazie alla capacità di trattenere un discreto volume al suo interno possiede un coefficiente di deflusso tale da assimilarlo ad una pavimentazione semipermeabile.

Tabella 12: Calcolo del coefficiente di deflusso per pavimentazione drenante su suolo impermeabile

Stratigrafia	Spessore (cm)	% foratura Porosità utile	Quantità di apporto segregato (mm)
MATTONE FILTRANTE ®	8	0.12	9.6
Ghiaino di allettamento 4-6 mm	17	0.25	42.5
Guaina imp.	0.5	---	---
Totale segregato			52.1
COEFF. DEFLUSSO (riferito a 148.3 mm)			0.65

Per prudenza il valore viene comunque incrementato a **0.70**.

Lo stesso materiale su suolo naturale assume invece un comportamento differente, per il fatto che la stratigrafia assume valori differenti ed inoltre l'interfaccia inferiore garantisce un seppur ridotto smaltimento per infiltrazione, quantificabile quanto meno con un coefficiente pari a 0.70.

In virtù della stratigrafia indicata in Tabella 13, il coefficiente di deflusso della pavimentazione drenante posata su suolo naturale raggiunge un valore pari a circa la metà di quanto precedentemente calcolato.

Tabella 13: Calcolo del coefficiente di deflusso per pavimentazione drenante su suolo permeabile

Stratigrafia	Spessore (cm)	% foratura Porosità utile	Quantità di apporto segregato (mm)
MATTONE FILTRANTE ®	8	0.12	9.6
Ghiaino di allettamento	5	0.25	12.5
geotessuto	---	---	---
Sottofondo in ghiaione	15	0.25	37.5
geotessuto	---	---	---
Totale segregato			59.6
Totale deflusso sup. inferiore			44.5
COEFF. DEFLUSSO (riferito a 148.3 mm di apporto e coeff. deflusso sup. inferiore pari a 0.70)			0.30

Per prudenza il valore sopra calcolato viene incrementato a **0.40**.

Viene quindi valutato il coefficiente di deflusso nelle condizioni attuali, e nella situazione di progetto, per valutare l'incidenza dell'intervento sul regime idraulico.

In sostanza, in funzione della capacità di trattenere un volume d'acqua all'interno della stratigrafia della pavimentazione, è possibile realizzare superfici caratterizzate da ridotto valore del coefficiente di deflusso.

3.1. Stima del coefficiente di deflusso nelle condizioni attuali

L'intera area del PUA "Piano Forcellini" occupa circa 41200 m². Circa 4700 m² di questa sono comprese all'interno del piano urbanistico solo ai fini edificatori in quanto generatori di volumetria utile che è stata tuttavia trasferita all'interno dei lotti edificabili. Nello stato di progetto tali aree risulteranno quindi invariante rispetto all'uso attuale, ed essendo già servite da rete di scolo saranno escluse dalle valutazioni di natura idrologiche ed idrauliche.

Per tale motivo l'area oggetto della presente valutazione di compatibilità idraulica che risulta oggetto di interventi di mitigazione idraulica risulta pari a 36500 m², per lo più composta da superfici attualmente agricole.

Utilizzando i valori del coefficiente di deflusso riportati in Tabella 8 e Tabella 9, e le successive elaborazioni analitiche riportate in Tabella 12 e Tabella 13, si può stimare, seppur indirettamente, la portata attualmente scaricata dall'area all'interno della rete di scolo al fine di garantire successivamente l'invarianza idraulica o un miglioramento alla stessa.

Tabella 14: Calcolo del coefficiente medio di deflusso allo stato ATTUALE

Superficie	ϕ	area effettiva (m²)	area efficace (m²)
Agricolo	0.1	31640.8	3164.1
Piazzale sterrato	0.3	261.6	78.5
Strada asfaltata	0.9	831.8	748.6
Strada sterrata	0.3	454.2	134.3
Verde	0.2	3372.0	674.4
TOTALE	0.131	36560.5	4801.9

Il coefficiente di deflusso per l'area in oggetto allo stato attuale risulta pertanto essere pari a **0.13**.

In Figura 5 è riportato lo stato attuale dell'area. Le aree trasparenti all'interno del perimetro sono quelle invarianti e che non sono state considerate per la valutazione di compatibilità idraulica.



Figura 5. Planimetria dello stato attuale - scala 1:2500

3.2. Stima del coefficiente di deflusso nelle condizioni di progetto

Il progetto prevede un intervento di realizzazione di un ambito residenziale, come illustrato in Figura 6. L'intervento comporterà inoltre la realizzazione di parcheggi, nuove strade e corsie ciclo-pedonali.

L'ambito di intervento è stato suddiviso in zone omogenee secondo l'uso del suolo previsto, e ad ogni tipologia è stato associato un coefficiente di deflusso secondo i valori di letteratura, le stime analitiche riportate al precedente paragrafo, oltre alle indicazioni commissariali riportate in Tabella 9. Si riporta nella seguente tabella, il calcolo del coefficiente di deflusso medio nelle condizioni di progetto, ipotizzando per i parcheggi un coefficiente di deflusso pari a 0.6 e per le aree di manovra interne l'utilizzo di pavimentazione drenante sopra ad un materassino drenante, con un coefficiente di deflusso di 0.4.

Per la suddivisione delle tipologie di uso all'interno dei lotti è stata considerata l'impronta a terra per l'edificato mentre l'area di pertinenza scoperta è stata ripartita al 50% verde e al 50% per aree di manovra e vialetti interni.

Tabella 15: Calcolo del coefficiente medio di deflusso allo stato di PROGETTO

Superficie	ϕ	area effettiva (m ²)	area efficace (m ²)
Agricolo (orti)	0.1	893.1	89.3
Edificato	0.9	2635.2	2371.7
Parcheggi	0.6	1281.4	768.8
Pavimentazione interna lotti	0.4	4011.9	1604.7
Verde privato lotti	0.2	4011.9	802.4
Verde pubblico	0.2	14822.1	2964.4
Marciapiede e piste ciclo-pedonali	0.7	3985.1	2789.6
Strada	0.9	4918.7	4426.8
TOTALE	0.433	36560.5	15817.8

Sulla base delle considerazioni sopra esposte si è stimato il coefficiente di deflusso di riferimento dell'area nello stato di progetto, risultato pari a **0.43**, quale media pesata sulla superficie del coefficiente di deflusso calcolato per l'area che rimarrà sistemata a verde (0.20), per le aree parzialmente impermeabilizzate (piazze 0.4, parcheggi 0.60 e marciapiedi 0.7) e per le aree che risulteranno impermeabili a valle dell'intervento urbanistico (edifici e strade, 0.90).

La Figura 7 riporta un confronto tra i volumi generati nelle condizioni attuali e nelle condizioni di progetto durante una precipitazione caratterizzata da un tempo di ritorno di 50 anni. L'intervento nel complesso determina quindi un incremento consistente dei volumi generati rispetto alle condizioni attuali, essa infatti genera un apporto alla rete di fognatura pari a circa due volte e mezza l'apporto pre-intervento.

Tale incremento richiede pertanto l'adozione di interventi di mitigazione idraulica, mediante la realizzazione di volumi di invaso e manufatti di regolazione delle portate scaricate.



Figura 6: Planimetria dello stato di progetto - scala 1:2500

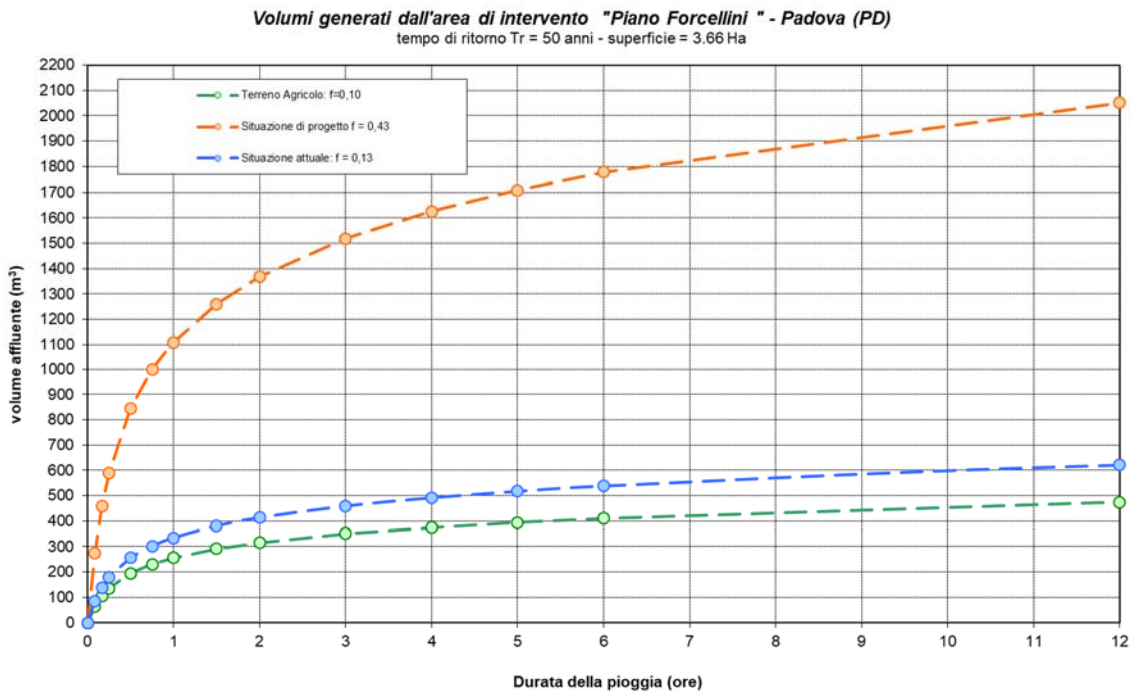


Figura 7: Stima dei volumi generati nelle condizioni attuali e di progetto

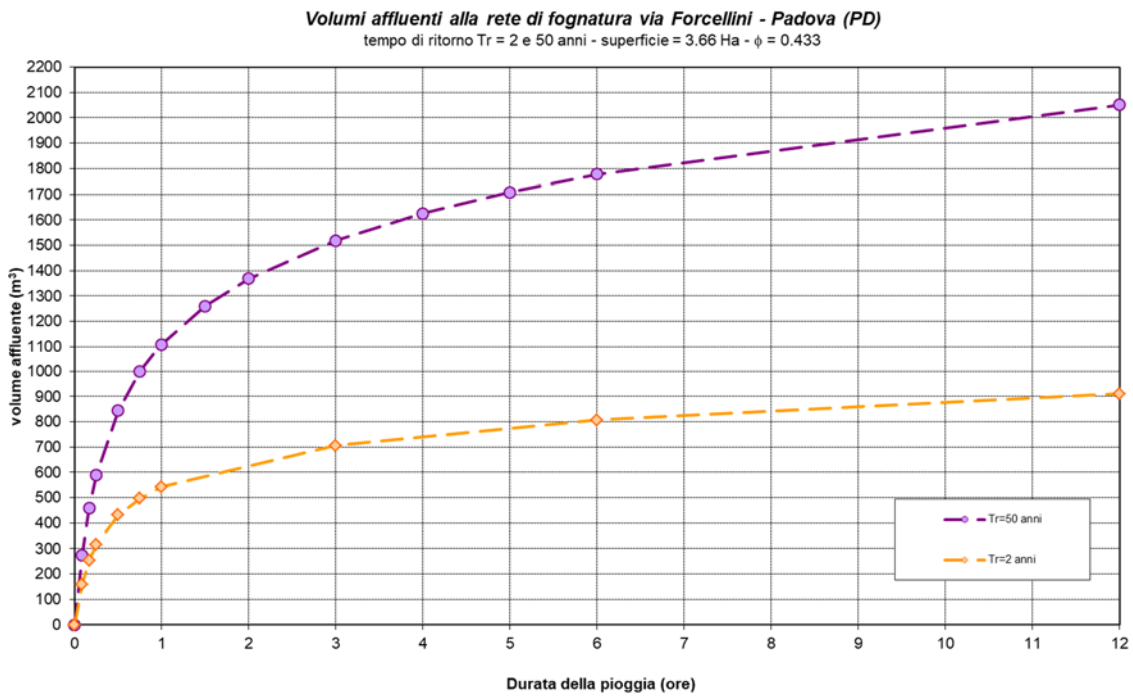


Figura 8: Volume generato da un evento piovoso avente tempo di ritorno $Tr = 2$ o 50 anni

4. Portata smaltibile in rete pubblica di scolo

L'invarianza idraulica in una trasformazione urbanistica che prevede la sostituzione di terreno agricolo o di terreno lasciato incolto con terreno urbanizzato può essere ottenuta con la realizzazione di un manufatto di recapito che impedisca lo scarico di portate più elevate di quanto ottenuto con riferimento alle condizioni precedenti alla trasformazione. Le maggiori portate devono quindi essere invase per un certo periodo all'interno dell'area stessa, laminando il picco di portata generato dagli eventi pluviometrici brevi ed intensi.

Normalmente le aree agricole sono caratterizzate da coefficienti udometrici dell'ordine di qualche l/s·ha. A titolo di esempio si può notare in Tabella 6 come un'area agricola, caratterizzata da un volume di invaso tipico di circa 130 m³/ha e coefficiente di deflusso pari a 0.1, possa determinare allo scarico una portata dell'ordine di 0.5 l/s·ha, con riferimento a un tempo di ritorno di 50 anni.

Eventi con tempo di ritorno di 50 anni su aree urbanizzate risultano invece caratterizzati da coefficienti udometrici assai elevati, che possono raggiungere e superare valori dell'ordine di 200 l/s·ha. A tal proposito basti osservare la Tabella 7 con riferimento a un coefficiente di deflusso pari o superiore a 0.60 e tempo di corrivazione dell'ordine di 15 minuti (0.25 ore), da cui risulta un coefficiente udometrico di circa 250 l/s·ha.

Si può notare però che il coefficiente udometrico calcolato con il metodo dell'invaso risulta assai sensibile alla scelta del coefficiente di deflusso: se con coefficiente di deflusso $\varphi=0.10$ si aveva $u=0.5$ l/s·ha, ad un raddoppio dello stesso, $\varphi =0.20$, corrisponde un coefficiente udometrico $u=12.7$ l/s·ha, con un incremento di oltre 25 volte.

Nel caso in esame si possono stimare i coefficienti udometrici con i due modelli per i coefficienti di deflusso nelle condizioni attuali, valutando adeguatamente il tempo di corrivazione e il volume specifico di invaso avvalendosi dei valori riportati in Tabella 6 e Tabella 7.

La stima del tempo di corrivazione può essere condotta utilizzando la formula di *Ventura*:

$$t_c = 7.56 \cdot \sqrt{S} \quad (S \text{ in km}^2, t_c \text{ in ore})$$

Per l'area di intervento in esame, il tempo di corrivazione stimato risulta pari a 1.45 h (circa 87 minuti).

Condizioni attuali

Nelle condizioni attuali si è stimato un coefficiente di deflusso di 0.13 ed un tempo di corrivazione di circa 87 minuti (1.45 ore) corrispondente ad una superficie di 3.66 Ha. Si può assumere un volume specifico di invaso medio di 130 m³/ha, valore tipico di aree agricole.

Tabella 16: Calcolo del coefficiente udometrico con il metodo cinematico e il metodo dell'invaso

Condizioni ATTUALI – Tr = 50 anni – area 3.66 Ha – $\phi=0.13$	
Metodo Cinematico	Metodo dell'Invaso
Tempo di corrivazione stimato: 87 minuti	Invaso specifico stimato: 130 m³/ha
Coefficiente udometrico: $u = 19.6$ l/s·ha	Coefficiente udometrico: $u = 2.0$ l/s·ha
Portata scaricata: Q= 71.66 l/s	Portata scaricata: Q= 7.31 l/s
Valore medio 39.5 l/s ($u=10.8$ l/s·ha)	

I valori precedentemente calcolati suggeriscono di non superare, al fine di garantire l'invarianza idraulica dell'intervento secondo quanto previsto dalla D.G.R. 2948/2009, il coefficiente udometrico corrispondente al minore dei valori risultanti dall'applicazione dei metodi cinematico e dell'invaso, stimato in 10.8 l/s·Ha, con una portata massima allo scarico dell'ordine di 40 l/s.

Condizioni di progetto

Nelle condizioni di progetto si è stimato un coefficiente di deflusso di 0.43 ed un tempo di corrivazione di circa 87 minuti (1.45 ore) corrispondente ad una superficie di 3.66 Ha. Si può assumere un volume specifico di invaso medio di 100 m³/ha, valore tipico di aree urbanizzata con presenza di superfici a verde non soggette a lavorazioni agronomiche.

Tabella 17: Calcolo del coefficiente udometrico con il metodo cinematico e il metodo dell'invaso

Condizioni di PROGETTO – Tr = 50 anni – area 3.66 Ha – $\phi=0.43$	
Metodo Cinematico	Metodo dell'Invaso
Tempo di corrivazione stimato: 87 minuti	Invaso specifico stimato: 100 m³/ha
Coefficiente udometrico: $u = 65$ l/s·ha	Coefficiente udometrico: $u = 132.4$ l/s·ha
Portata scaricata: Q= 237.6 l/s	Portata scaricata: Q= 484.1 l/s
Valore medio 360.8 l/s ($u=98.7$ l/s·ha)	

Tale contributo, che rappresenta la portata massima generata dall'ambito di intervento, non risulta sostenibile dalla rete esterna, sempre più spesso interessata da eventi pluviometrici intensi, e pertanto al fine di garantire un miglioramento dell'impatto idraulico dell'area di intervento, risulta opportuno applicare una significativa riduzione al coefficiente udometrico di progetto, al fine di contribuire con l'intervento ad una riduzione del grado di rischio idraulico delle aree idraulicamente connesse all'ambito di intervento.

Tale riduzione viene resa possibile dall'adozione di apposito manufatto di laminazione, al quale vengono affiancati volumi di invaso necessari a garantire il contenimento dei volumi di

pioggia all'interno dell'ambito, i quali vengono rilasciati in tempi molto più prolungati, favorendo quindi la riduzione delle portate allo scarico.

Indicazioni di cautela ricevute dal Consorzio di bonifica Bacchiglione, vista la generale criticità delle reti di fognatura cittadine, in particolare del comparto Forcellini-Terranegra, ove afferiscono le aree drenate dalla rete di fognatura bianca in progetto, rendono opportuno un ulteriore contenimento delle portate scaricate.

Per tale motivo si ritiene prudente dimensionare i manufatti di laminazione su un valore maggiormente cautelativo, applicando un coefficiente di abbattimento alla portata scaricata rispetto allo stato di fatto.

Come indicato nel parere del Consorzio di bonifica Bacchiglione prot. 8998 del 30/09/2016 si ritiene prudente limitare il coefficiente idrometrico ad un valore corrispondente a **2 l/s·Ha** al quale corrisponde una portata in uscita di **7.3 l/s**.

Tale indicazione comporta un abbattimento delle portate scaricate superiore all'80% rispetto allo stato di fatto.

5. Scelta del recapito

Il recapito finale è stato individuato nel collettore scatolare di fognatura mista in calcestruzzo 1450x1400 mm presente in via Forcellini, come identificato nella planimetria in Figura 9.

Si riporta in seguito lo schema della rete di fognatura presente nei pressi dell'intervento, fornito da AcegasApsAmga, gestore del servizio per l'area di interesse.

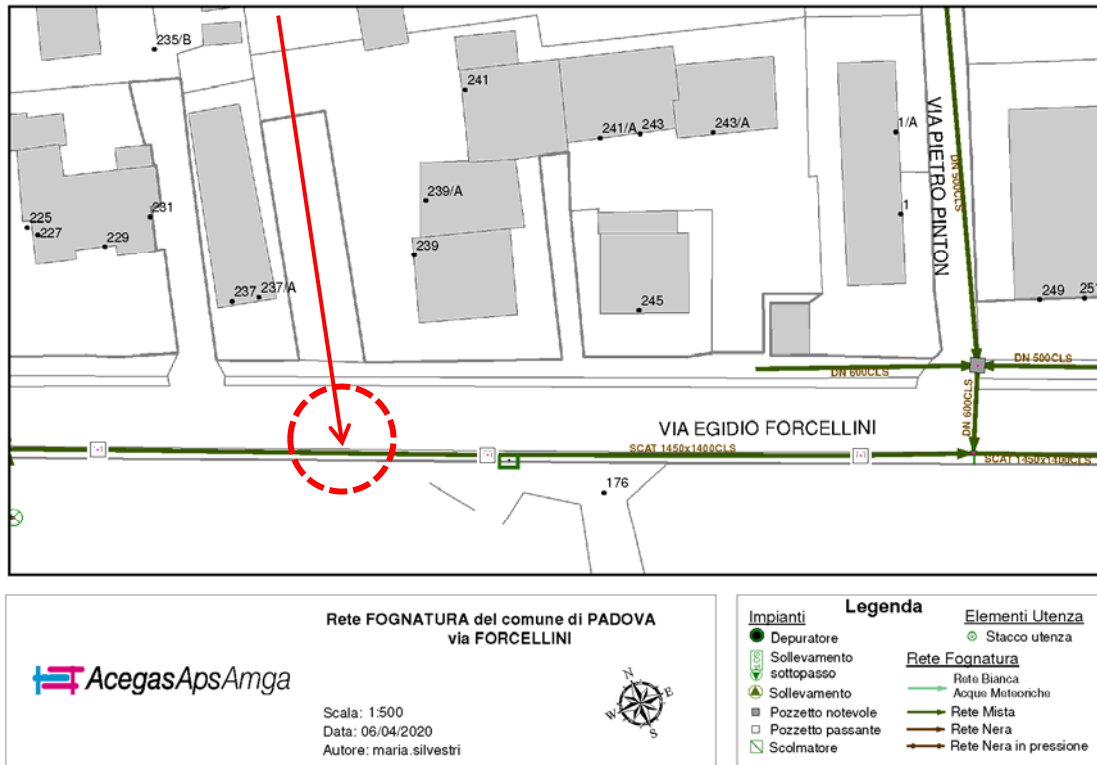


Figura 9: Schema della rete di fognatura sotto a via Forcellini. In rosso è identificato dove è prevista l'immissione degli afflussi derivanti dal progetto in esame.

6. Calcolo dei volumi necessari per la laminazione

Il calcolo dei volumi richiesti per la laminazione può essere condotto, con buona approssimazione, considerando il bilancio tra portate entranti, ovvero gli afflussi meteorici, e la portata uscente determinata al precedente paragrafo.

Per quanto riguarda le precipitazioni, si considera prudenzialmente una precipitazione che fornisca il massimo afflusso per ciascuna durata, quindi quello fornito dalle curve di possibilità pluviometrica individuate per un tempo di ritorno di 50 anni, riportate nella Figura 4.

La portata scaricata dall'area di intervento viene limitata al valore massimo corrispondente ad un coefficiente uometrico di 2 l/s·ha, come individuato al precedente paragrafo; per questo si è resa necessaria la realizzazione di invasi per la laminazione della portata generata durante gli eventi pluviometrici più intensi.

Per le portate uscenti è stato considerato un ritardo di 5 minuti, che simula il tempo di propagazione della piena all'interno delle condotte della fognatura.

Il volume massimo da invasare nell'area oggetto di intervento urbanistico può essere individuato con l'ausilio del grafico riportato in Figura 10 che, oltre a riportare la curva dei volumi di afflusso, indica i volumi netti all'interno della rete di fognatura per alcuni valori di portata scaricata.

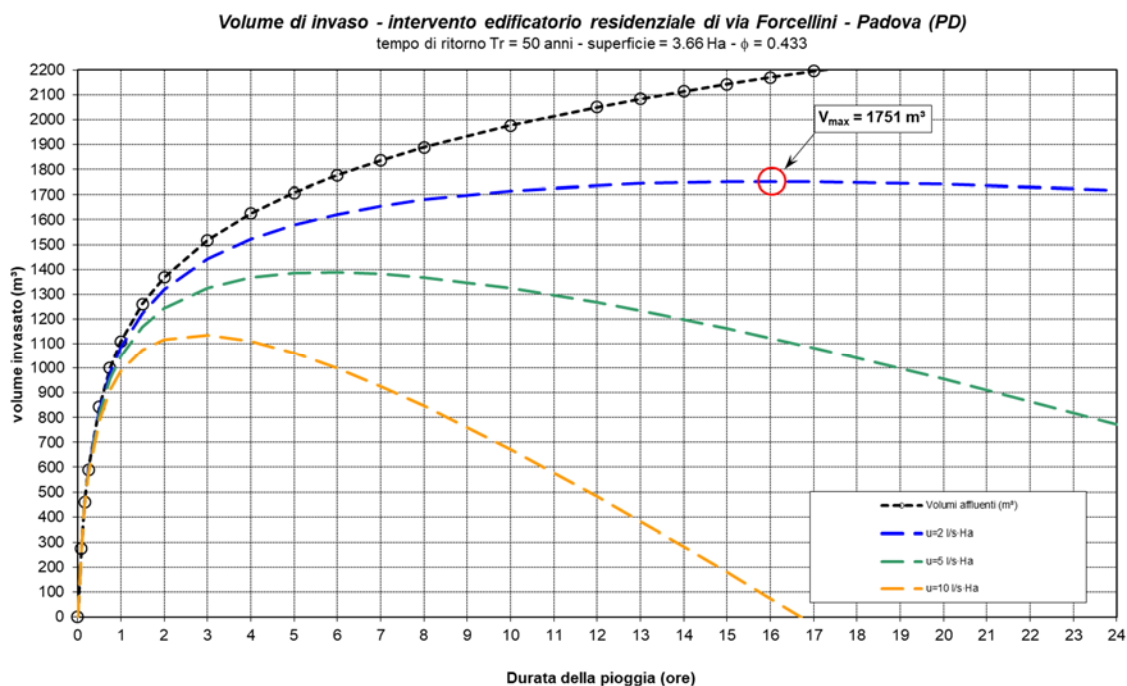


Figura 10: volume da invasare per un tempo di ritorno $T_r = 50$ anni

Dal bilancio tra i volumi affluenti alla rete e i volumi scaricati, con riferimento ad una portata complessivamente scaricata dall'area di circa **7.3 l/s**, e una pioggia caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni, risulta necessario un volume di invaso complessivo di **1751 m³**, corrispondente ad un volume specifico di invaso di **479 m³/ha**.

Va sottolineato che il volume di invaso predisposto risulta ben superiore a quanto sarebbe invece necessario adottando i più usuali coefficienti idrometrici di progetto di 10 o 5 l/s·Ha, ai quali corrisponderebbero volumi rispettivamente pari a circa 1400 o 1130 m³.

È importante ricordare che il volume utile realizzato all'interno della rete deve rimanere completamente al di sopra della quota di recapito finale almeno durante il regime di magra, al fine di consentire il naturale svuotamento dei volumi predisposti al termine dell'evento pluviometrico, e garantire quindi la presenza del volume richiesto al momento del bisogno.

L'invaso complessivo verrà ricavato realizzando: una rete di raccolta con tubazioni sovradimensionate, una condotta scatolare e una serie di 3 vasche a cielo aperto. L'interno sistema sarà regolato da un pozzetto di laminazione posto a monte dello scarico terminale nel collettore fognario esistente. Il sistema di invaso così realizzato è in grado di contenere al proprio interno il volume necessario ad invasare l'afflusso di pioggia massimo generato da eventi pluviometrici caratterizzati da tempo di ritorno di 50 anni.

Inoltre, per garantire il regolare funzionamento della rete di fognatura bianca anche in condizioni di piena, è necessario che tutte le immissioni avvengano nei pozzetti di collegamento a quota superiore alla quota di massimo invaso, ovvero alle quote indicate nella allegata planimetria di progetto e nei relativi profili longitudinali, rispettando scrupolosamente quote e pendenze di posa.

Nel funzionamento ordinario, per eventi caratterizzati da tempo di ritorno di 2-5 anni e quindi con minor volume di pioggia, le portate scaricate risulteranno inferiori, per via del minor tirante assunto all'interno della rete di accumulo.

7. Dimensionamento del sistema di laminazione

Per la laminazione della piena dovuta ad eventi meteorologici caratterizzati da tempo di ritorno di 50 anni si rende necessaria la realizzazione di un volume di invaso minimo pari a circa **1751 m³** che garantisce il pieno rispetto del criterio dell'invarianza idraulica. Da evidenziare inoltre che tale volume si origina nelle condizioni di massimo invaso previsto, durante il quale è garantito ancora un regolare funzionamento della rete di fognatura bianca.

Di seguito sono riportate le caratteristiche principali della rete.

RETE FOGNATURA BIANCA DA REALIZZARE:

- Rete tubata realizzata con elementi in calcestruzzo del diametro interno di 60 cm per uno sviluppo complessivo pari a 272 m
77 m³
 - Rete tubata realizzata con elementi in calcestruzzo del diametro interno di 80 cm per uno sviluppo complessivo pari a 121 m
60.8 m³
 - Rete tubata realizzata con elementi in calcestruzzo del diametro interno di 100 cm per uno sviluppo complessivo pari a 420 m
329.9 m³
 - Condotta scatolare di altezza 100 cm e larghezza 200 cm per uno sviluppo complessivo pari a 197 m
394.4 m³
 - 3 Vasche di laminazione a cielo aperto con una superficie complessiva del fondo di 1408 m², un ingombro al piano campagna complessivamente di 2443 m² e un tirante medio alla quota di massimo invaso di 0.5 m
847.3 m³
 - 15 pozzetti di dimensioni interne 1 x 1 m, considerando un riempimento medio di 100 cm
15 m³
 - 15 pozzetti di dimensioni interne 1.2 x 1.2 m, con riempimento medio di 110 cm
23.8 m³
 - 2 pozzetti di dimensioni interne 1.5 x 1.5 m, con riempimento medio di 110 cm
5 m³
 - 1 Pozzetto di laminazione di dimensioni interne 1.5 x 1.5 m, diviso a metà da un secco di calcestruzzo che funge da soglia sfiorante e con foro di laminazione sul fondo, considerando un riempimento interno di 125 cm
1.4 m³
- TOTALE** **1756.1 m³**

Lo scarico della rete interna avverrà nel collettore della rete di fognatura mista esistente in via Forcellini. Verrà realizzato un manufatto di laminazione costituito da un pozzetto con all'interno un setto trasversale nel punto terminale della rete in progetto la cui soglia superiore si trova alla quota di massimo invaso prevista.

In questo modo è possibile ottenere un volume complessivo di invaso disponibile pari a circa **1756 m³**, superiore rispetto ai 1751 m³ richiesti.

Il tirante massimo in corrispondenza del manufatto di laminazione è prossimo all'altezza della condotta con funzioni di invaso e pertanto in occasione degli eventi caratterizzati da tempo di ritorno superiori 50 anni, nella parte terminale risulterà completamente riempita; tuttavia ciò non impedisce il regolare funzionamento della stessa e non altera le condizioni di sicurezza idraulica del sistema.

8. Dimensionamento del manufatto di scarico

La variazione delle portate scaricate verrà effettuata per mezzo di una luce calibrata in funzione del tirante presente all'interno del manufatto di scarico.

Il tirante corrispondente al tempo di ritorno di 50 anni, è stato imposto pari al massimo riempimento ammesso all'interno del manufatto di laminazione, pari a 125 cm. Risulta necessario laminare le portate a non più di 7.31 l/s complessivi.

La modulazione della portata in uscita verrà effettuata per mezzo di un manufatto di scarico provvisto di una luce di fondo calibrata in modo da restituire, nella condizione di massimo invaso, la portata massima ammessa per il tempo di ritorno di progetto.

Si è scelto di utilizzare uno scarico costituito da una luce di fondo e sfioratore di sicurezza a quota superiore al livello di massimo invaso previsto.

La portata smaltibile attraverso la luce di fondo è data dalla seguente relazione:

$$Q = c_q \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

dove: c_q = coefficiente di portata, che per le modalità di realizzazione in parete grossa posto pari a 0.5;
 g = accelerazione di gravità, pari a 9.806 m/s²;
 A [m²] = area della luce di fondo;
 h [m] = carico rispetto all'asse della sezione di scarico.

Il calcolo richiede che la portata sia limitata a non più di 7.31 l/s, nelle condizioni di massimo invaso prevedibile per tempo di ritorno di 50 anni.

Il riempimento massimo consentito all'interno della rete corrisponde ad un tirante massimo di 125 cm in corrispondenza del manufatto di laminazione.

La portata viene limitata mediante una luce di fondo del diametro di **62 mm**: nelle condizioni di invaso massimo consentito, in corrispondenza ad un evento avente tempo di ritorno di 50 anni, risulta infatti:

$$Q = 0.5 \cdot \frac{\pi \cdot 0.062^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (1.25 - 0.062/2)} = 7.3 \text{ l/s}$$

In Figura 11 è evidenziato il comportamento della sezione di scarico attraverso la scala delle portate del sistema di laminazione. Le limitate dimensioni della luce di scarico consentono un rapido innalzamento del livello all'interno della rete e la limitazione della portata massima a 4 l/s in corrispondenza al massimo riempimento previsto (0.80 m rispetto alla quota di fondo della luce di laminazione).

La sezione di modulazione delle portate è ricavata predisponendo un setto in calcestruzzo armato con una luce di fondo all'interno di un pozzetto posto in vicinanza allo scolo di recapito. Il setto verticale è disposto diagonalmente all'interno del pozzetto di laminazione, in modo da aumentare le dimensioni del petto sfiorante, come descritto nel paragrafo successivo.

Scala delle portate
in corrispondenza del manufatto di scarico area di via Forcellini - Comune di Padova (PD)
 $H_{max}=1.25$ m, Luce DN 62 mm

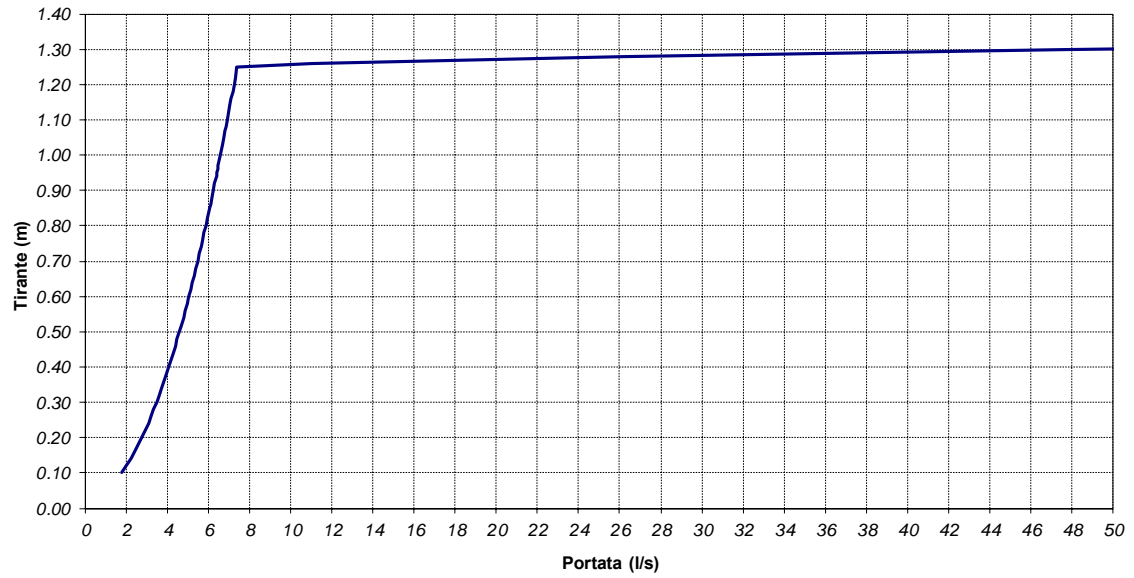


Figura 11: Scala delle portate della luce di fondo del setto di laminazione realizzato nell'area oggetto di studio

9. Verifica dello sfioratore di sicurezza

Prudenzialmente al di sopra della sezione di modulazione, posta diagonalmente all'interno del pozzetto di laminazione, è stato posto un largo sfioratore per limitare la possibile insufficienza della rete progettata, la cui entrata in funzione è prevista solo per eventi pluviometrici caratterizzati da tempo di ritorno superiore a 50 anni.

Lo sfioratore superiore viene dimensionato in modo tale da consentire il passaggio della massima portata di progetto, che è stata calcolata in Tabella 17, con riferimento ad un coefficiente di deflusso $\varphi=0.43$.

Considerando il valore medio ottenuto tra metodo cinematico e metodo dell'invaso si ottiene un coefficiente udometrico pari a 98.7 l/s·ha, che corrisponde ad una portata calcolata di circa 360 l/s.

Il calcolo della portata sfiorata è stato effettuato con riferimento a sfioratore in parete grossa, presumendo quindi che il profilo di sfioro non venga sagomato seguendo un profilo idraulico, secondo la relazione:

$$Q = c_q \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

- dove
- Q = portata sfiorata, in m³/s;
 - c_q = coefficiente di portata, assunto pari a 0.385 per sfioratori in parete grossa;
 - L = larghezza dello sfioratore, pari a $1.5 \cdot \sqrt{2} = 2.1$ m;
 - g = accelerazione di gravità, pari a 9.806 m/s²;
 - h = tirante idraulico sopra la quota di sfioro.

La portata massima calcolata con riferimento all'ambito di intervento richiede un tirante minimo sopra lo sfioratore di sicurezza di circa **22 cm**. Si prevede comunque di lasciare cautelativamente almeno 30 cm liberi al di sopra della soglia sfiorante.

La portata massima sopra calcolata è quanto scaricherebbe l'area di intervento a seguito dell'intervento edilizio in assenza di invasi e manufatto di laminazione. Va quindi evidenziato che la portata massima scaricabile dal manufatto di laminazione risulterà invece non superiore a 7.3 l/s.

Si precisa che quest'ultimo valore verrà raggiunto solamente in corrispondenza al massimo riempimento previsto nelle condotte (125 cm misurati presso il manufatto di laminazione). Nella maggior parte degli eventi caratterizzati da tempo di ritorno inferiore a 50 anni la portata scaricata risulterà inferiore a tale valore.

È inoltre da evidenziare che la portata calcolata viene scaricata solo in condizioni di scarico libero. In presenza di deflusso rigurgitato, quando nella rete di scolo a valle dei manufatti di laminazione si verificano livelli idrometrici significativi, le portate scaricate risulteranno inferiori al valore calcolato.

Solo con riferimento ad eventi caratterizzati da tempo di ritorno superiore a 50 anni è prevista l'entrata in funzione dello sfioratore di sicurezza, con scarico di portate più elevate di quanto calcolato.

In corrispondenza della luce di scarico è inoltre previsto l'inserimento di un clapet di non ritorno rivolto verso l'esterno al fine di evitare l'eventuale rigurgito all'interno delle reti in caso di livelli idrometrici elevati nella rete di recapito.

10. Vasche di laminazione

Considerando l'ingente volume di invaso da predisporre per garantire l'invarianza idraulica dell'intervento (in realtà l'intervento garantisce una sensibile riduzione del coefficiente udometrico) per la laminazione delle portate dell'area oggetto di analisi è si è preferito ricorrere alla realizzazione di parte dei volumi di invaso mediante vasche di laminazione a cielo aperto per una capacità di invaso complessiva di circa 865 m³.

Le vasche sono strutturate come depressioni dell'area a verde, e saranno interessate da invaso raramente, essendo comunque disponibili importanti volumi in condotta, predisposti anche mediante un lungo polmone costituito da circa 200 metri di condotta scatolare 2000x1000 posto sotto la pista ciclabile. I volumi disponibili in condotta, risultando maggiormente depressi, saranno utilizzati prioritariamente, mentre gli invasi a cielo aperto entreranno in funzione solo in misura residuale.

Nella Tabella 18 è riportato il massimo tirante all'interno delle vasche di laminazione in corrispondenza di eventi caratterizzati da diversi tempi di ritorno. L'entrata in funzione delle vasche è prevista per Tr tra i 5 e i 10 anni e pertanto, per eventi con tempo di ritorno inferiore, i volumi dati dalle condotte e dallo scatolare saranno sufficienti per la laminazione delle portate.

Tabella 18: Tirante per diversi tempi di ritorno

Tempo di ritorno	Tirante
2 anni	0 cm
5 anni	0 cm
10 anni	14 cm
50 anni	50 cm

Le caratteristiche delle vasche sono riportate in Tabella 19.

Tabella 19: Caratteristiche delle vasche di laminazione

	Quota media fondo [m s.l.m.]	Profondità [m]	Area fondo [m ²]	Tirante massimo [m]	Superficie massimo invaso [m ²]	Area in superficie [m]	Volume utile [m ³]
Vasca 1	8.75	1.00	222	0.5	320	445	135.5
Vasca 2	8.75	1.00	722	0.5	912	1146	408.5
Vasca 3	8.75	1.00	536	0.5	677	852	303.3

11. Verifica della funzionalità della rete con modellazione idraulica

Per la verifica della rete idraulica esistente è stato utilizzato un modello idrologico-idraulico mediante applicazione del software SWMM 5.1. Tale strumento consente di verificare l'adeguatezza delle tubazioni della rete a collettare le portate di massima piena fino allo scarico senza dar luogo a criticità idrauliche.

Il modello SWMM prevede l'utilizzo del metodo SCS-CN per l'individuazione dei deflussi efficaci: a tal fine sono stati stimati i valori dei coefficienti CN che garantiscono sull'intero evento di pioggia i coefficienti di deflusso previsti dalla normativa. Ciò nonostante, va ricordato che il metodo SCS-CN simula la progressiva saturazione del terreno e pertanto produce coefficienti di deflusso crescenti al progredire della precipitazione.

Le simulazioni hanno riguardato l'evento con tempo di ritorno di 50 anni.

In Figura 12 è riportato lo schema della rete implementata all'interno del modello in SWMM.

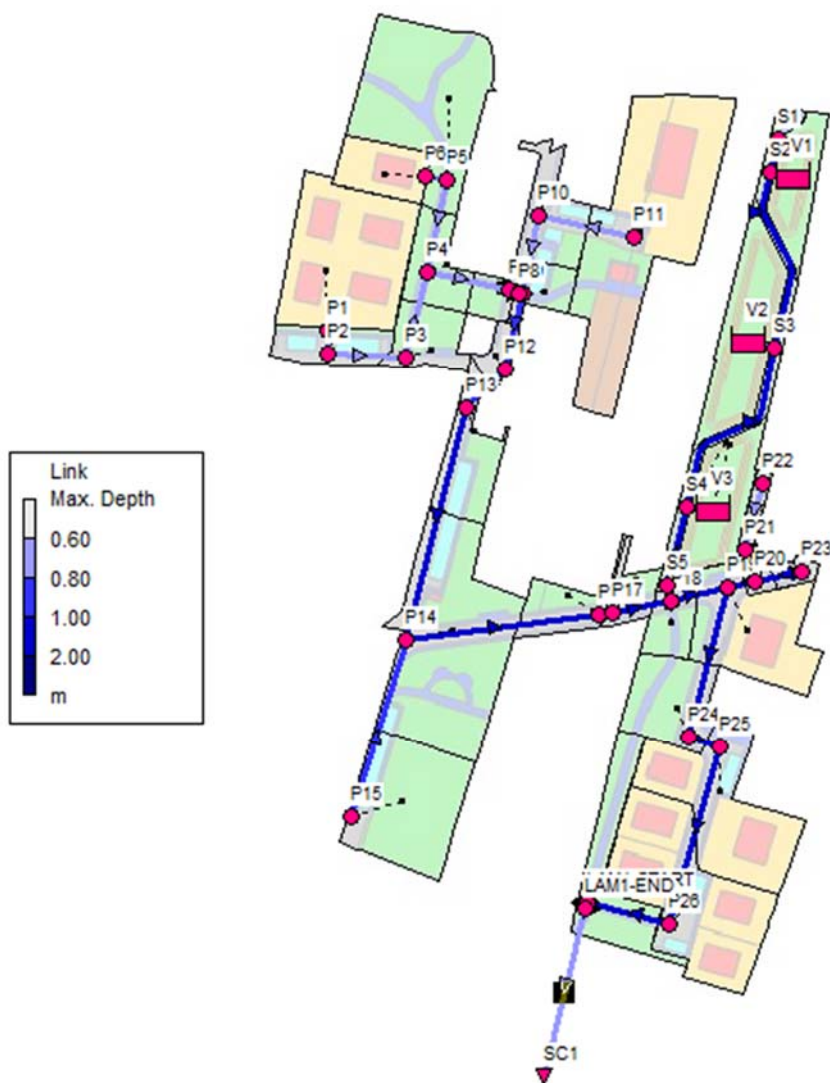


Figura 12: Schema della rete analizzata con il modello di calcolo SWMM

Il modello ha permesso di verificare la funzionalità della rete, il grado di riempimento delle vasche riportato in tabella 18, la portata scaricata dal sistema verso il recapito finale e l'assenza di fenomeni di allagamenti o insufficienze puntuali.

In Figura 13 è riportato lo stato della rete tra il pozzetto P1 e lo scarico nello scatolare di via Forcellini nel momento di massimo riempimento, quando in corrispondenza del pozzetto di laminazione LAM1 il tirante è pari a 125 cm. È possibile apprezzare come non si verificano episodi di allagamento localizzati. In tali condizioni il tirante all'interno delle vasche è pari a 0.5 m e la portata scaricata dalla luce posta in corrispondenza del pozzetto di laminazione è pari a 7.3 l/s.

L'andamento della portata scaricata dal sistema è riportato in Figura 14.

Il modello idraulico in SWMM verifica pertanto il dimensionamento dei paragrafi precedenti ed assicura la piena funzionalità del sistema progettato.

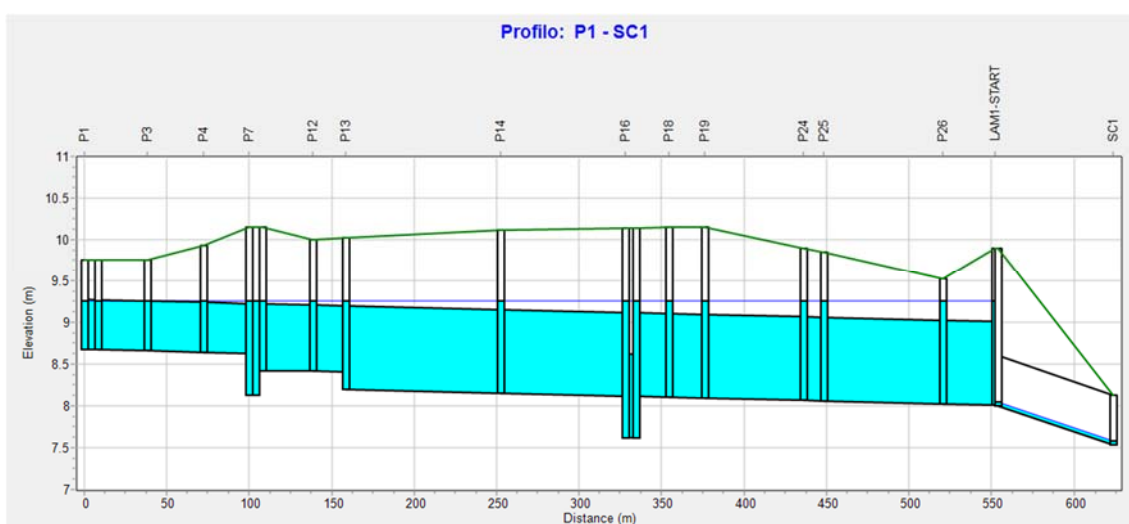


Figura 13: Profilo rete P1-SC1

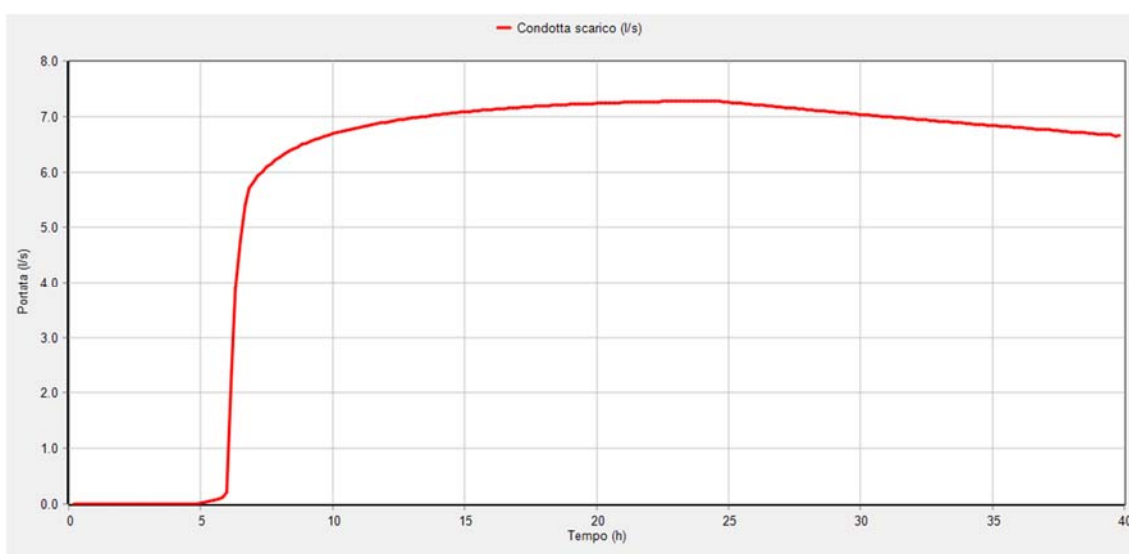


Figura 14: Portata scaricata dal sistema verso lo scatolare di via Forcellini

12. Dimensionamento della rete minore

Oltre allo scatolare in calcestruzzo 100 x 200 cm e alle 3 vasche che fungono da volume principale di invaso, l'intera rete a servizio dell'area di progetto è stata sovradimensionata, utilizzando condotte in calcestruzzo di DN 600, 800 e 1000 mm al fine di garantire il volume di invaso richiesto.

La funzionalità del sistema è stata verificata mediante applicazione del modello di calcolo SWMM, che ha permesso di simulare il comportamento del sistema anche in differenti condizioni pluviometriche caratterizzate da diversi tempi di ritorno.

Le restanti condotte di allaccio di caditoie e pluviali, andranno realizzate con tubazioni in PVC di diametri usualmente compresi tra DN 160 e DN 250 mm.

Per il dimensionamento della rete minore (allaccio di caditoie e pluviali) si è fatto riferimento a tubazioni in PVC di diametro commerciale, correttamente poste in opera alla pendenza prescritta. Si riporta nella seguente tabella la portata smaltibile calcolata secondo la nota formula di Gauckler-Strickler, con tubazione riempita per il 50% come normalmente attribuito alle condotte di ridotto diametro, utilizzando per coefficiente di scabrezza il valore di $90 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, tipico di condotte in PVC.

Tabella 20: Portata smaltibile dai diametri commerciali in PVC per diverse pendenze di posa.

Diametro nominale	Diametro interno (mm)	Q stimata con pendenza 0.5% (l/s)	Q stimata con pendenza 1.0% (l/s)	Q stimata con pendenza 1.5% (l/s)
DN 110	103.6	2.3	3.3	4.1
DN 125	117.6	3.3	4.7	5.7
DN 160	150.6	6.4	9.0	11.0
DN 200	188.2	11.5	16.3	20.0
DN 250	235.4	21.0	29.6	36.3
DN 315	296.6	38.8	54.9	67.2

Si sono quindi stimate le portate di punta, calcolate con riferimento alla massima intensità di precipitazione prevedibile con tempo di ritorno di 50 anni desumibile dalla curva di possibilità pluviometrica calcolata al paragrafo 2, per piogge di breve durata pari a 17,1 mm in 5 minuti, considerata particolarmente critica per superfici di modeste dimensioni, assumendo un coefficiente di deflusso maggiormente gravoso, ovvero quello di superfici impermeabilizzate stimato pari a 0.90.

In base all'area afferente a ciascun tratto di tubazione andrà pertanto attribuito il diametro della tubazione di collegamento con la rete acque bianche secondo la seguente tabella, in funzione della pendenza di posa adottata.

Tabella 21: Diametri delle tubazioni di allaccio in funzione della pendenza di posa

AREA impermeabile servita [mq]	Q stimata [l/s]	Diametro richiesto (mm) / Portata smaltita (l/s)					
		0.5%		1.0%		1.5%	
50	2.6	DN160	6.4	DN160	9.0	DN160	11.0
100	5.1	DN160	6.4	DN160	9.0	DN160	11.0
150	7.7	DN200	11.5	DN160	9.0	DN160	11.0
200	10.3	DN200	11.5	DN200	16.0	DN160	11.0
250	12.8	DN250	21.0	DN200	16.0	DN200	20.0
500	25.7	DN250	38.8	DN250	29.6	DN250	36.3
750	38.5	2xDN250	42.0	DN315	54.9	DN315	67.2
1000	51.4	2xDN315	77.6	2xDN250	59.2	2xDN250	72.6

Qualora si ponesse la necessità di contenere la profondità delle condotte di allaccio per poter arrivare al collegamento con la rete acque bianche al di sopra del livello di massimo invaso, al fine di evitare possibili fenomeni di rigurgito, sarà necessario incrementare il diametro delle tubazioni per compensare la perdita di capacità di portata conseguente alla riduzione della pendenza, attenendosi scrupolosamente ai dati riportati nelle tabelle precedenti.

Il dimensionamento delle condotte allacciate ai pluviali andrà quindi effettuato con riferimento ai dati riportati nelle tabelle 20 e 21.

Si ritiene opportuno, al fine di evitare facili intasamenti, non ridurre i diametri delle condotte della rete acque meteoriche al di sotto di 160 mm, mentre è da ricordare che assume notevole importanza la modalità di realizzazione della rete minore, per consentire che le portate giungano all'interno della condotta principale prima di dar luogo a possibili insufficienze.

In particolare andranno curati i collegamenti tra rete minore e principale, facendo attenzione che le condotte minori si allaccino sempre a quota superiore al cielo della condotta principale.

Andranno inoltre evitate per quanto possibile le brusche deviazioni, sostituendo le curve a 90° con due successive curve a 45° distanziate di almeno 10 diametri una dall'altra.

Particolare attenzione andrà inoltre posta alla realizzazione della corretta pendenza di posa, evitando la formazione di avvallamenti lungo il profilo delle condotte, sia principali che secondarie, mediante l'utilizzo di idonei materiali di sottofondo e di rinfiacco delle condotte.

13. Caratteristiche particolari dell'area oggetto di intervento

Per favorire il funzionamento della luce di scarico anche in presenza di livelli idrometrici elevati nel corpo ricettore, sarà opportuno inserire una disconnessione idraulica tra il manufatto di modulazione delle portate scaricate e la rete di recapito inserendo un clapet di non ritorno a valle del manufatto o in corrispondenza della luce di fondo, per evitare che fenomeni di piena del ricettore possano per rigurgito risalire all'interno della rete in progetto e impegnare i volumi di invaso predisposti.

Particolare attenzione andrà prestata nella scelta dei diametri e delle pendenze dei tratti di rete relativi agli allacci delle utenze e delle caditoie stradali. **In particolare tutti gli allacci della rete minore andranno realizzati a quote tali da garantire l'assenza di deflusso rigurgitato, e quindi le variazioni di diametro e gli allacci della rete minore alla rete principale andranno sempre realizzati allineando i cieli condotta, o meglio ponendo il cielo della condotta di monte, di diametro inferiore, 5-10 cm più alto del cielo della condotta di valle.**

Per garantire il corretto funzionamento dei sistemi di raccolta superficiali gli innesti delle tubazioni minori all'interno della rete principale dovranno avvenire sempre a quota superiore alla quota di massimo invaso.

Essendo i volumi di laminazione dimensionati in base alla superficie ed alle caratteristiche dell'area, al fine di non pregiudicarne la sicurezza idraulica, non saranno ammesse immissioni dall'esterno dell'area, che potrebbero rendere insufficienti i volumi di invaso predisposti.

Anche l'eventuale variazione di destinazione d'uso di alcune superfici con trasformazione di superfici indicate a verde in aree anche solo parzialmente impermeabilizzate andrà accompagnato dalla revisione del calcolo idraulico e da un adeguamento dei volumi di invaso complessivi o del manufatto di laminazione.

Anche eventuali nuovi allacciamenti provenienti dall'esterno del perimetro di intervento saranno ammessi solo predisponendo ulteriori volumi di invaso, che andranno determinati tramite un accurato studio idraulico, adeguando opportunamente la dimensione del manufatto di laminazione e i volumi di invaso in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche del bacino complessivamente sotteso.

Andrà infine previsto, nel piano di manutenzione delle opere, l'ispezione, verifica ed eventuale pulizia della condotta di laminazione e del manufatto di modulazione delle portate scaricate, con cadenza almeno annuale, per assicurare non vi siano ostruzioni al deflusso, così da garantire nel tempo la piena efficienza delle opere progettate.

14. Scelta dei materiali e dei dispositivi

Particolare cura e attenzione dovrà essere prestata nella scelta e nella successiva posa in opera dei manufatti previsti nel progetto di fognatura bianca.

Date le ridotte pendenze di posa necessarie a ridurre l'approfondimento della rete, al fine di limitare i possibili cedimenti che causerebbero avvallamenti lungo il profilo e quindi possibili zone di ristagno di acqua piovana, dovrà essere particolarmente curato lo strato di sottofondo.

Poiché il ricoprimento previsto al di sopra della rete acque bianche risulta limitato, va verificato che gli elementi in CLS presentino caratteristiche idonee a sopportare carichi previsti per il transito veicolare anche con i ridotti valori di ricoprimento.

Infine è da assicurare il corretto funzionamento dei giunti di tenuta, sia per limitare l'eventuale drenaggio della falda durante il periodo invernale, sia per evitare che possibili infiltrazioni di materiale fino in condotta possano causare nel tempo cedimenti della sede soprastante, che potrebbero risultare anche improvvisi per mancanza di sottofondo. Andrà curata con particolare cura la chiusura dei giunti tra gli elementi prefabbricati con l'interposizione di una apposita guarnizione in gomma e la stuccatura del giunto con cordolo esterno in CLS.

Per le caditoie è preferibile l'utilizzo di griglie in ghisa sferoidale con ampie aperture, di classe opportuna secondo le indicazioni della normativa e dovranno essere posizionate come previsto nell'allegata planimetria di progetto, avendo cura di assegnare correttamente le pendenze di drenaggio di tutte le superfici. Come per gli altri manufatti della rete di fognatura bianca, anche per le caditoie è necessaria una continua e frequente manutenzione per evitare il deposito eccessivo di materiale e l'accumulo di fanghi sul fondo dei pozzetti con conseguente riduzione di efficienza e limitazione della capacità di funzionamento.

Per i parcheggi privati, soggetti traffico leggero si possono utilizzare pavimentazioni grigliate dotate di ampi spazi vuoti dove è possibile lo sviluppo di superfici a prato. Un esempio è riportato nella figura 15.

Il parcheggio in area esterna potrà essere realizzato con la medesima tipologia di betonella prevedendo, in luogo del manto erboso, l'intasamento con ghiaino vagliato.

In entrambi i casi superfici realizzate con tale tipologia di betonella possono essere assimilate dal punto di vista idraulico, a grigliati drenanti ($\phi=0.40$).

Per i parcheggi in area pubblica è consigliabile l'utilizzo di materiali dotati di caratteristiche meccaniche superiori.

In figura 16 si riporta un esempio di betonella utilizzata per realizzare un parcheggio drenante dotata di profili distanziatori e con ottima resistenza meccanica e durabilità nel tempo. Gli spazi vuoti tra le betonelle e la superficie di posa delle stesse devono essere riempiti con materiale granulare in modo da permettere il rapido drenaggio dell'acqua.

Superfici realizzate con tale tipologia di betonella possono essere assimilate dal punto di vista idraulico, a grigliati drenanti ($\phi=0.40$).



SCACCO TOZZETTO



cm 25x40

cm 16x12x8

SCACCO è una pavimentazione grigliata, adatta al proprio completamento con terreno a semina di prato, sabbia o ghiaia, per ottenere una superficie carrabile verde. Integrabile, nello spessore da 8 cm, con l'elemento TOZZETTO a riempimento della griglia, per ottenere una pavimentazione continua.

LINEA DI FINITURA
Grigliati Monostrato

PROPRIETA	Grigliati M.
Antigelività	☆☆☆
Antislittamento	☆☆☆
Antiabrasione	☆☆☆
Drenanza	

COLORI DISPONIBILI



Grigio
(Scacco)

Rosso
(Tozzetto)

SPessori



cm 8 cm 10

Figura 15: Pavimentazione grigliata adatta a parcheggi drenanti con basso volume di traffico.



RECORDPARK
Modello depositato



cm 18x23,5

RECORDPARK possiede un'ottima capacità drenante, conferitagli dagli speciali profili distanziatori. Il riempimento dei fori può essere effettuato con: ghiaia, sabbia media e terreno da coltivo (prato). RECORDPARK consente di ottenere anche un'ottima capacità autobloccante e di resistenza ai carichi.

LINEA DI FINITURA
Profilmax

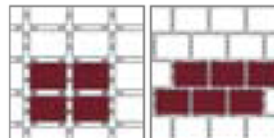
PROPRIETA	Recordpark
Antigelività	☆☆☆☆
Antislittamento	☆☆☆☆
Antiabrasione	☆☆☆☆
Drenanza	

COLORI DISPONIBILI



Rosso

Grigio



Posa A

Posa B

SPessori



cm 8 cm 8
Posa A Posa B

Figura 16: Pavimentazione adatta alla realizzazione di parcheggi drenanti

Al fine di garantire un efficace contenimento del coefficiente di deflusso, le aree di sosta e manovra veicolare in area pubblica e privata nonché i marciapiedi pedonali, sono previste in betonella drenante. Data la particolare funzione e la necessità di resistere a continue sollecitazioni meccaniche dovute al passaggio e al movimento dei veicoli è necessario utilizzare elementi ad elevata resistenza meccanica: la tipologia di materiale riportata nella figura 18 presenta una superficie regolare a grana grossa, che permette il rapido deflusso delle acque verso la superficie sottostante. Per evitare che nel tempo le mattonelle tendano a spostarsi dalla loro sede iniziale è opportuno provvedere ad una corretta posa in opera avendo cura di affiancare gli elementi come previsto dal costruttore. Questa tipologia permette di disporre di superfici pressoché continue estremamente permeabili e quindi in grado di trasferire al sottosuolo importanti frazioni del volume di pioggia.

Superfici realizzate con tale tipologia di betonella possono essere assimilate dal punto di vista idraulico, a grigliati drenanti ($\phi=0.40$).

Da non confondere quanto indicato nella presente scheda con le comuni betonelle in "massello di calcestruzzo", oppure con i cubetti di porfido, dotati di caratteristiche di permeabilità da bassa a nulla, che quindi NON potranno essere utilizzati in sostituzione di quanto proposto senza la revisione del calcolo idraulico dei volumi di invaso necessari a garantire l'invarianza idraulica dell'intervento.



DRENOPAV MONO



cm 10x20

DRENOPAV MONO è costituito da un mattoncino rettangolare dal rapporto 1: 2 tra i lati, realizzato con impasto monostrato. La superficie è caratterizzata da aggregati a grana grossa e una prefissata porosità, che consente il passaggio delle acque attraverso la pavimentazione.

LINEA DI FINITURA
Drenopav

PROPRIETA	Drenopav M.
Antigelività	☆☆☆
Antislittamento	☆☆☆
Antiabrasione	☆☆☆
Drenanza	

COLORI DISPONIBILI



Rosso

Grigio

SPESSORI



cm 6

Figura 17: Pavimentazione adatta alla realizzazione di parcheggi o altre superfici con caratteristiche drenanti

15. Documentazione fotografica

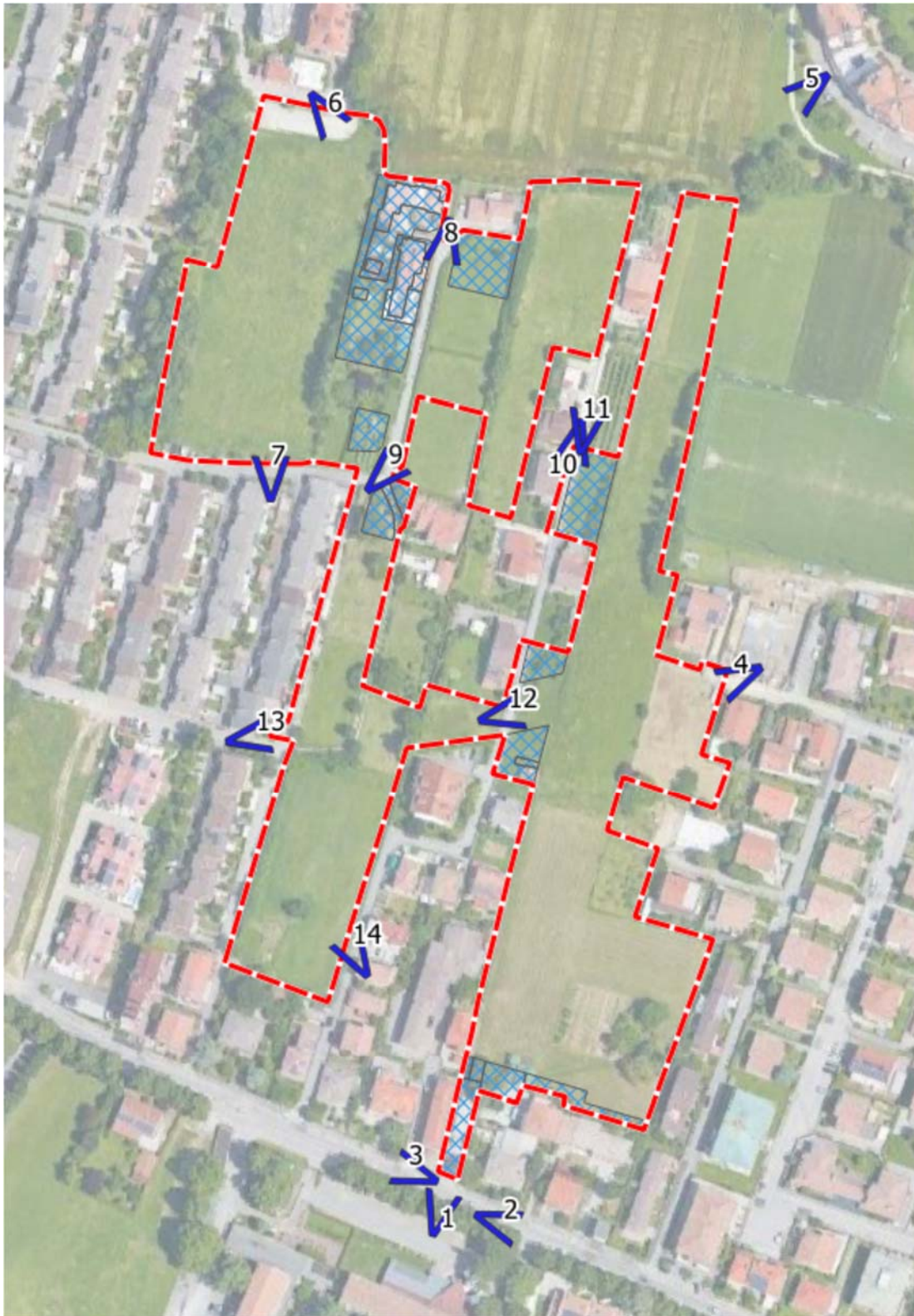


Figura 18: Ubicazione dei coni visuali



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12



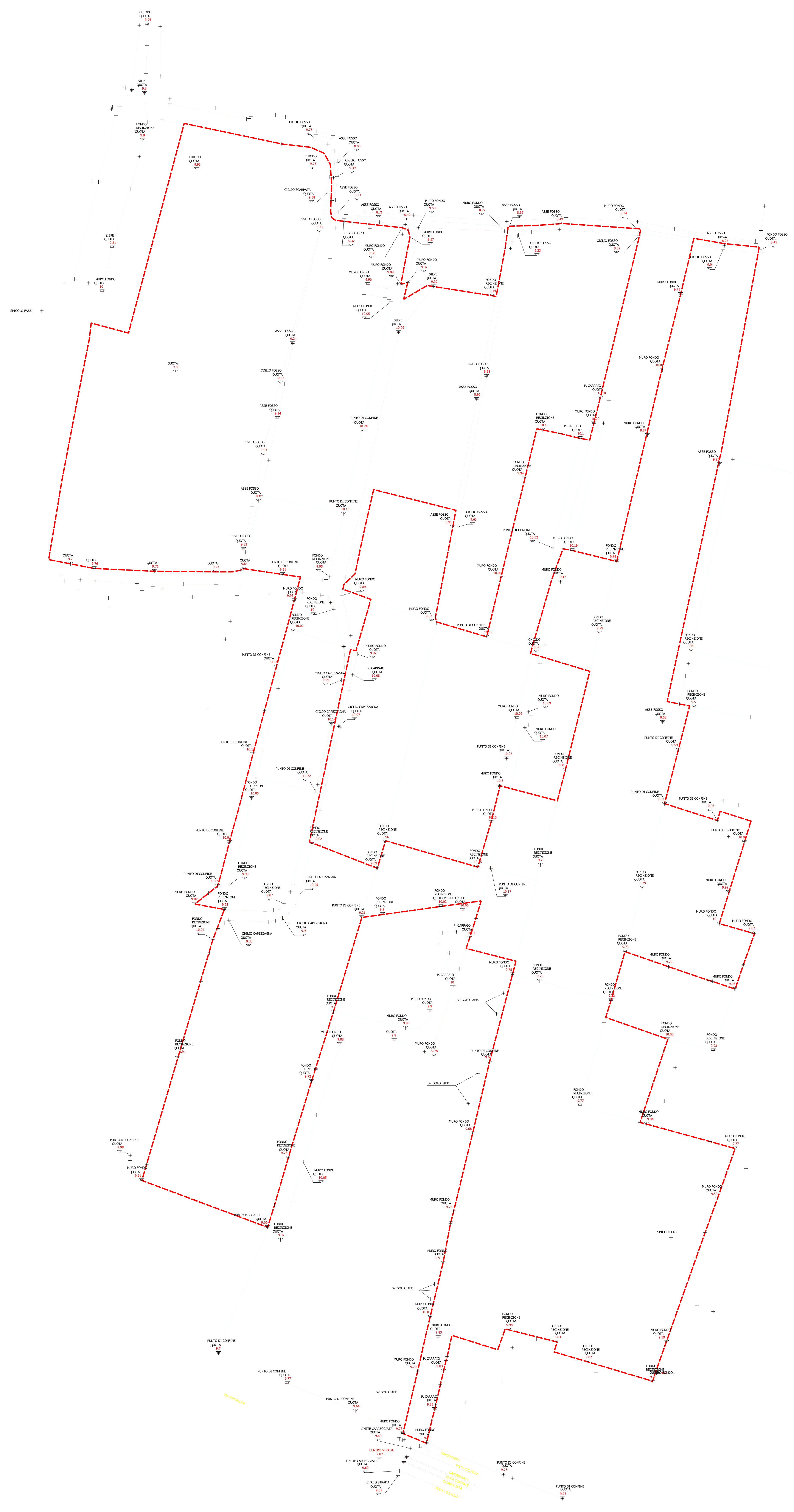
Foto 13

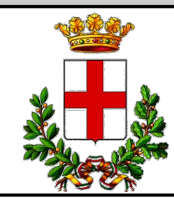


Foto 14



TAVOLA	TITOLO	PROGETTISTI		
Allegato 3	PLANIMETRIA DI RILIEVO	Ing. Mauro Tortorelli		
SCALA		1:500		
DATA ELABORATO		Ing. Ella De Marchi		
DATA ELABORATO		Aprile 2020		
PROGETTAZIONE				
Via Barrocco dal Borgo, 1 - 35124 Padova (PD)				
Info@i4consulting.it - www.i4consulting.it				
SO472/2020 n:\commesse\SO472_VCI Forcellini\All-3_Planimetria di rilievo.pdf				
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE	VERIFICATO	APPROVATO
0	04/2020	Prima emissione	E. De Marchi	M. Tortorelli





Comune di Padova (PD)

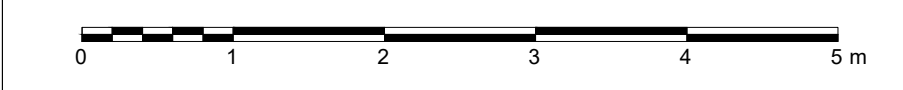
VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO AI SENSI DELL'ART. 20 DELLA L.R. n. 11 DEL 23/04/2004 DENOMINATO "PIANO FORCELLINI"



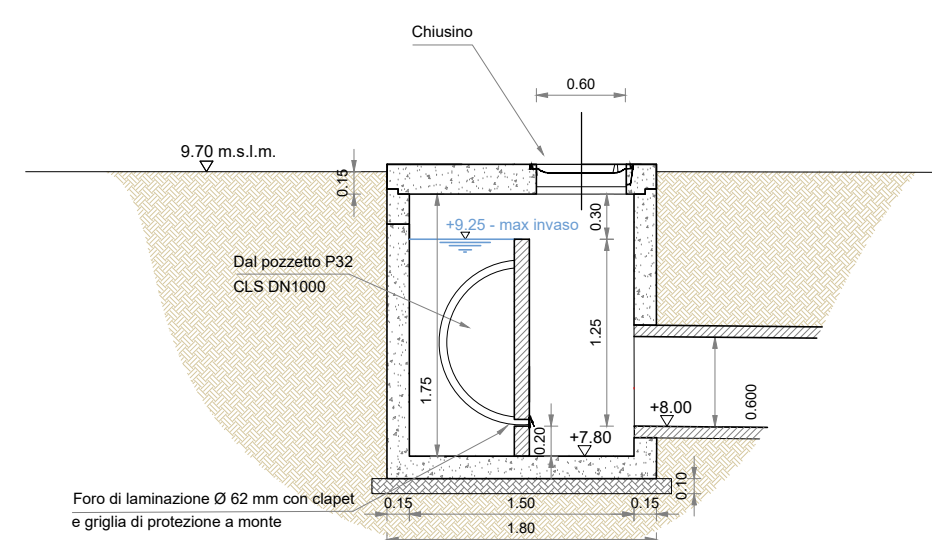
TAVOLA	TITOLO	PROGETTISTI
Allegato 6	BACINI DI LAMINAZIONE	Ing. Mauro Tortorelli Ing. Ella De Marchi
SCALA	1:250 - 1:50	
DATA ELABORATO	Aprile 2020	
PROGETTAZIONE	Via Barrocco dal Borgo, 1 - 35124 Padova (PD) tel. 049 7166655 - fax 049 6483800 info@4consulting.it - www.4consulting.it	
SO472/2020	n°commesseSO472_VCI ForcelliniAll-4_Bacini di laminazione.pdf	
1	05/2021	Revisione distribuzione bacino di invaso
0	04/2020	Prima emissione
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE
		VERIFICATO APPROVATO

SCALA 1:50



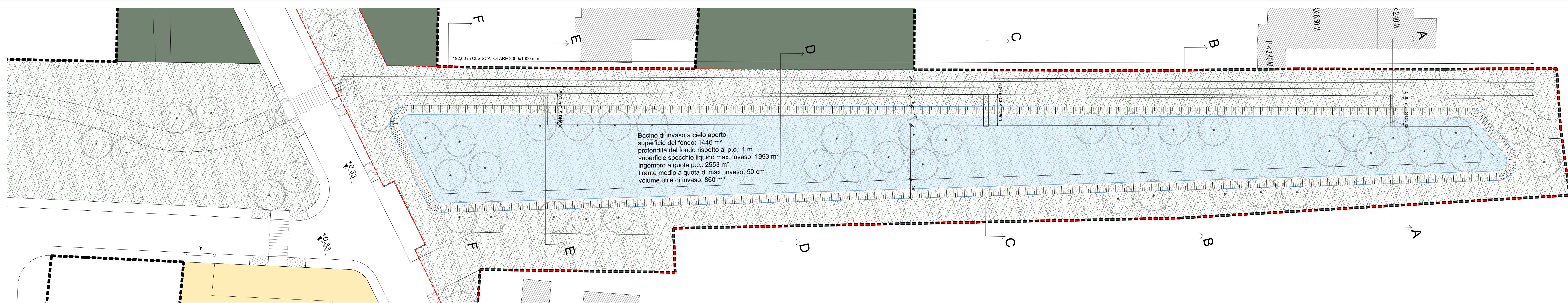
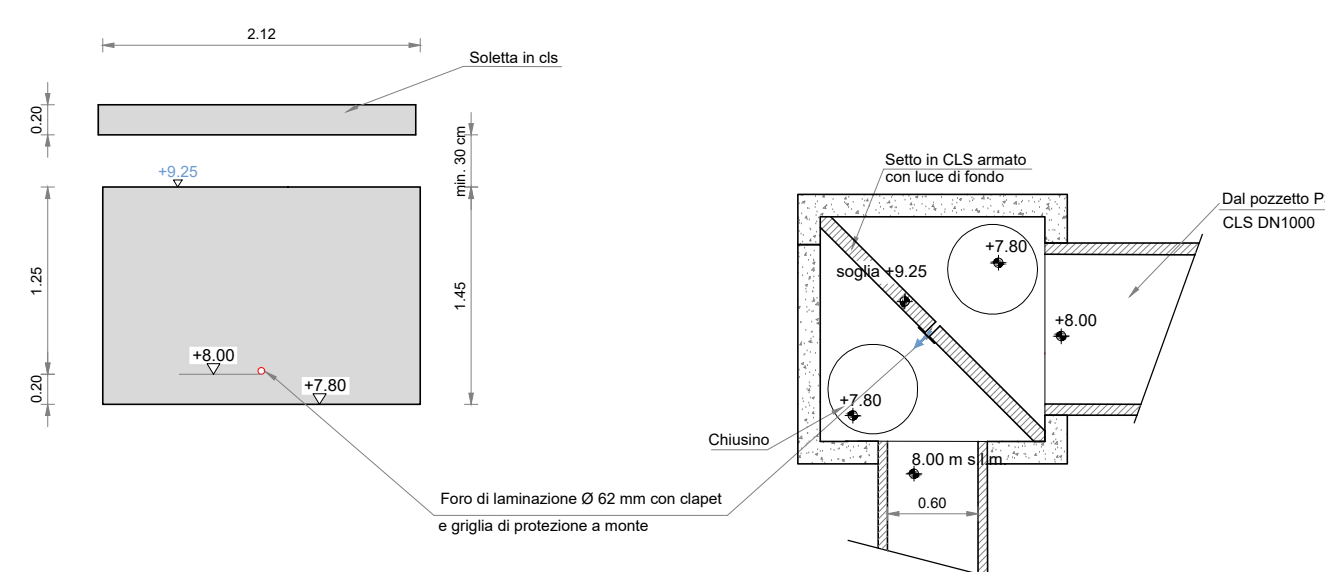
POZZETTO DI LAMINAZIONE LAM1

scala 1:50



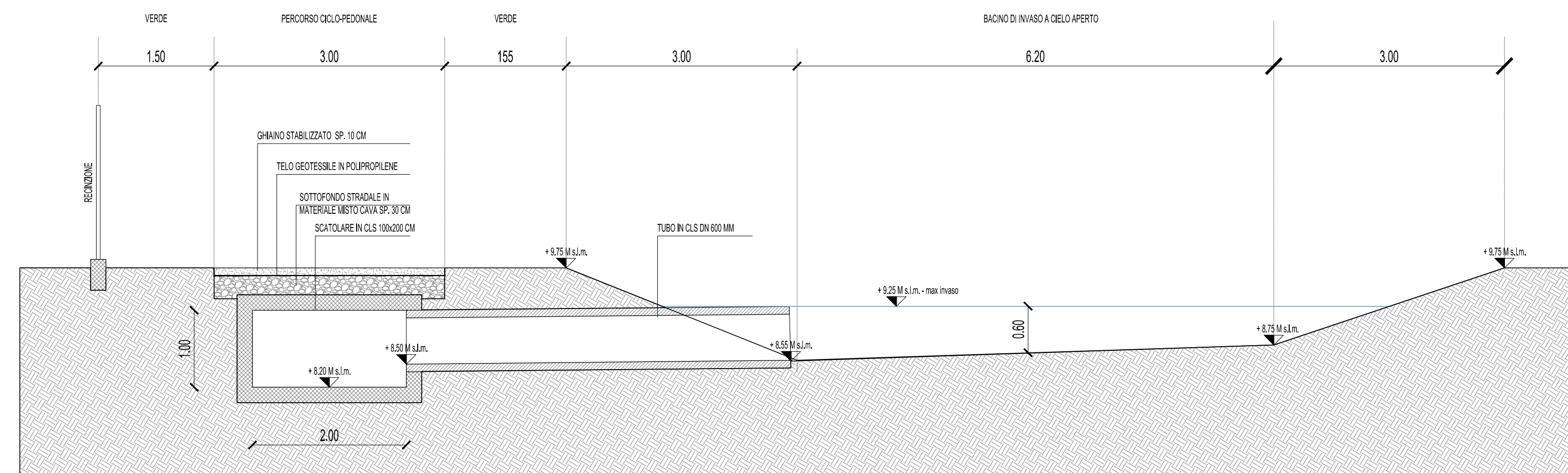
PROSPETTO DEL SETTO DI LAMINAZIONE

PIANTA

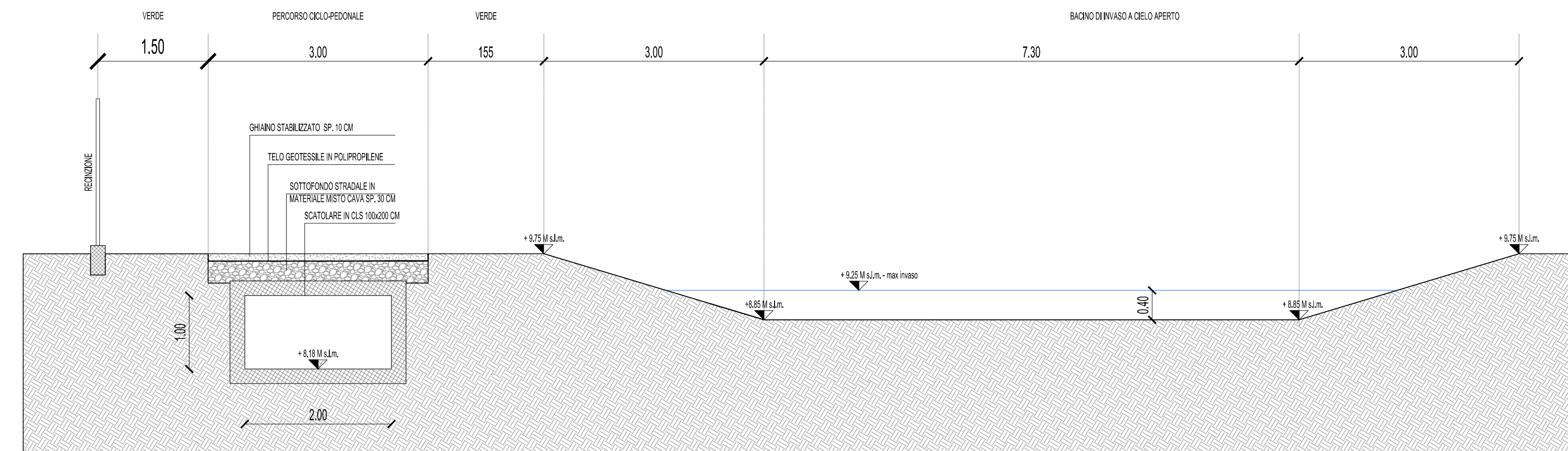


Bacino di invaso a cielo aperto
 superficie del fondo: 1446 m²
 profondità del fondo rispetto al p.c.: 1 m
 superficie specchio liquido max. invaso: 1993 m²
 ingombro a quota p.c.: 2553 m²
 tirante medio a quota max. invaso: 50 cm
 volume utile di invaso: 860 m³

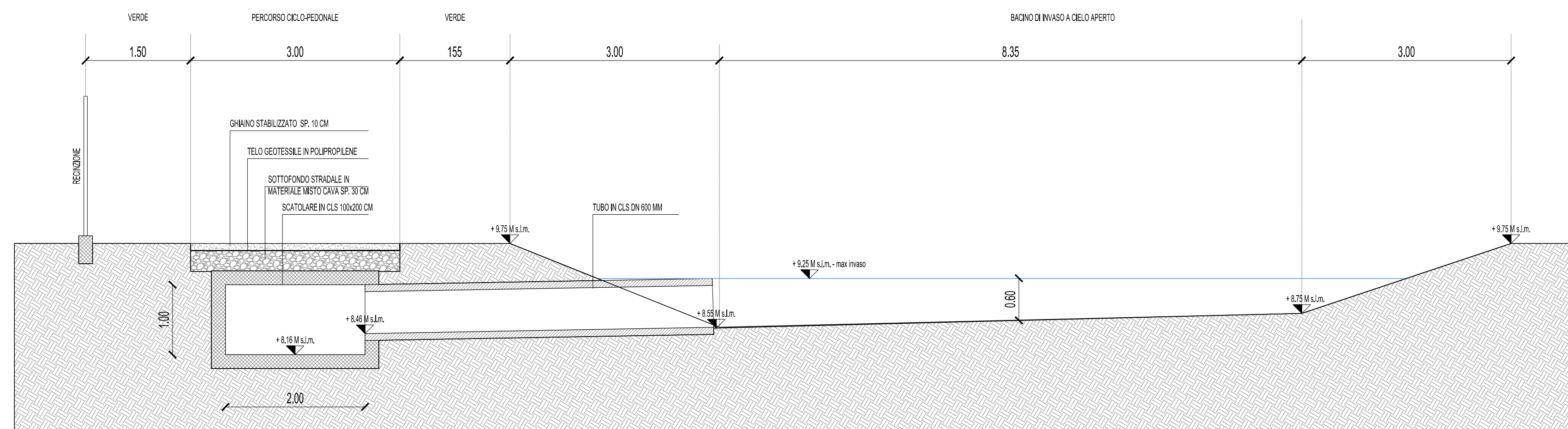
SEZ. A-A



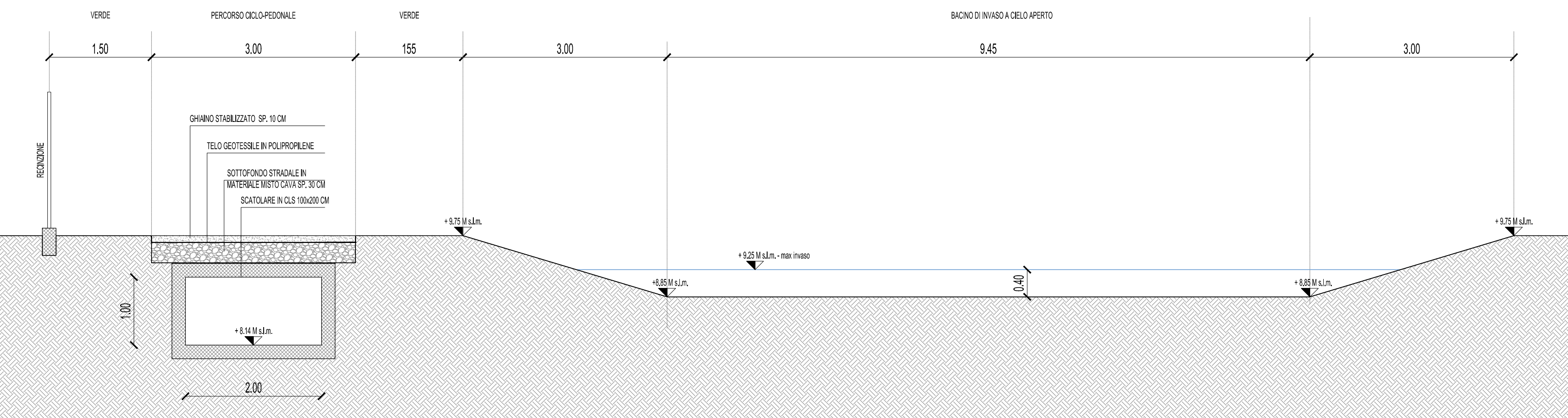
SEZ. B-B



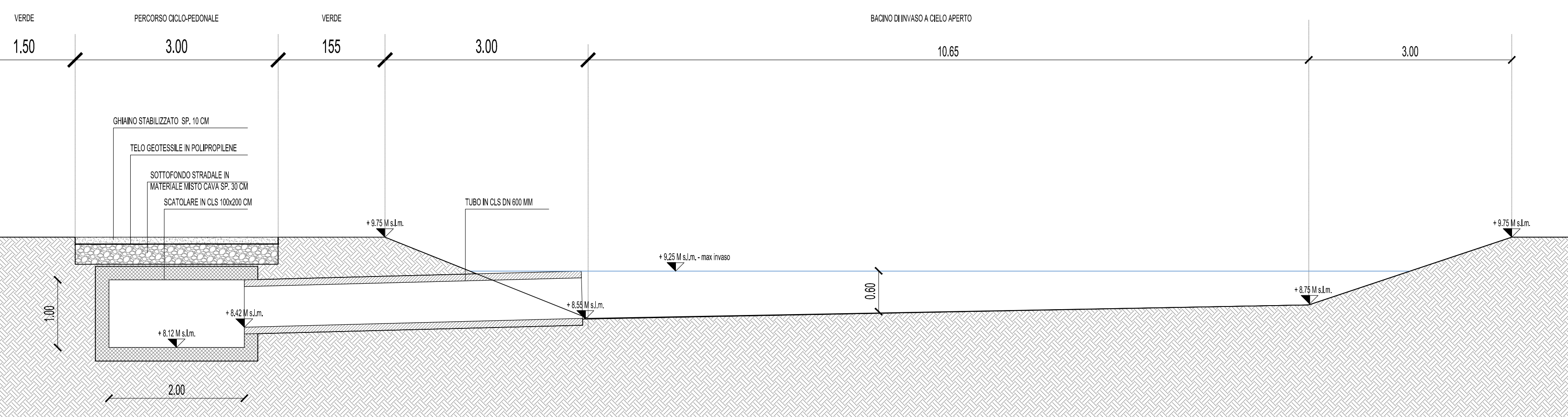
SEZ. C-C



SEZ. D-D



SEZ. E-E



SEZ. F-F

