

		REGIONE LOMBARDIA
		PROVINCIA DI MANTOVA
		COMUNE DI MANTOVA
GIAN ANDREA VIRGILI VRGGND61D10E897P  C/O MANTOVA (MN) - VIA DONATI, 2	LOVATO LILIANA LVTLLN43M45E897H  MANTOVA (MN) - VIA ANTONIO POSSEVINO 11	
CUNOCI ISABELLA CNCSSL70L64E897L  CUNOCI MICHELE CNCMHL65T28A470F    MANTOVA (MN) - VIA BOSCHETTI, 4		
Oggetto <b>Piano di lottizzazione "ATR.1 Te Brunetti"</b> <b>Proposta 1° stralcio</b>		N° TAVOLA  <b>B.7</b>
<b>INTEGRAZIONE</b>		
TITOLO  <b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA</b>		Scala
PROGETTISTI <b>ARCH. LUCIANO PASTORIO</b> VIA REINA N. 28 - 46013 CANNETO S/O (MN) c/o TEL. 0376 222683 - FAX 0376 322505 E-MAIL: arch.pastorio@libero.it		Timbro 
Emissione Progetto		Data Marzo 2019

## **INVARIANZA IDRAULICA**

### **PREMESSE**

La presente relazione, redatta ai sensi del Regolamento Regione Lombardia n.7 del 23 novembre 2017, è finalizzata alla verifica del rispetto dei principi di invarianza idraulica ed idrologica relativamente al piano di lottizzazione a destinazione commerciale/terziario “ATR.1 Te Brunetti”, situato nella zona sud del Comune di Mantova, tra via Bellonci, via Amadei e la sede dell’Istituto Scolastico “Bonomi-Mazzolari”.

Il piano di lottizzazione in esame ha una superficie complessiva pari a 16.239 mq, dei quali 15.738 mq costituiscono la superficie territoriale del piano e 501 mq sono aree di proprietà del Comune di Mantova comprese all’interno del perimetro di piano. Ai fini della verifica, tra le superfici si considera anche un’area a verde di 1.506 mq, esterna al piano di lottizzazione, che fungerà da bacino di infiltrazione per le acque meteoriche del comparto. Il collegamento tra le aree oggetto di lottizzazione ed il bacino di invaso indicato sarà garantito a mezzo di idonee tubazioni insistenti su aree di uso pubblico di proprietà del Comune di Mantova.

La presente verifica si articolerà secondo i seguenti passaggi previsti dal Regolamento:

- a ) Individuazione dell’ambito territoriale (art. 7)
- b ) Classificazione dell’intervento (art. 9)
- c ) Portata meteorica scaricabile nei ricettori (art. 8)
- d ) Calcolo delle precipitazioni di progetto (art. 11, comma 2, lett. b)
- e ) Calcolo del volume di invaso per la laminazione delle acque meteoriche (art. 11, comma 2, lett. e)
- f ) Calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione (art. 11, comma 2, lett. f)
- g) Definizione degli interventi finalizzati all’invarianza idraulica.

### **A) INDIVIDUAZIONE DELL'AMBITO TERRITORIALE**

L'area dell'intervento in progetto si trova a sud del centro storico di Mantova ed è ricompresa tra via Bellonci, via Amadei e l'Istituto Scolastico "Bonomi-Mazzolari", alla quota media di circa 17 m s.l.m.

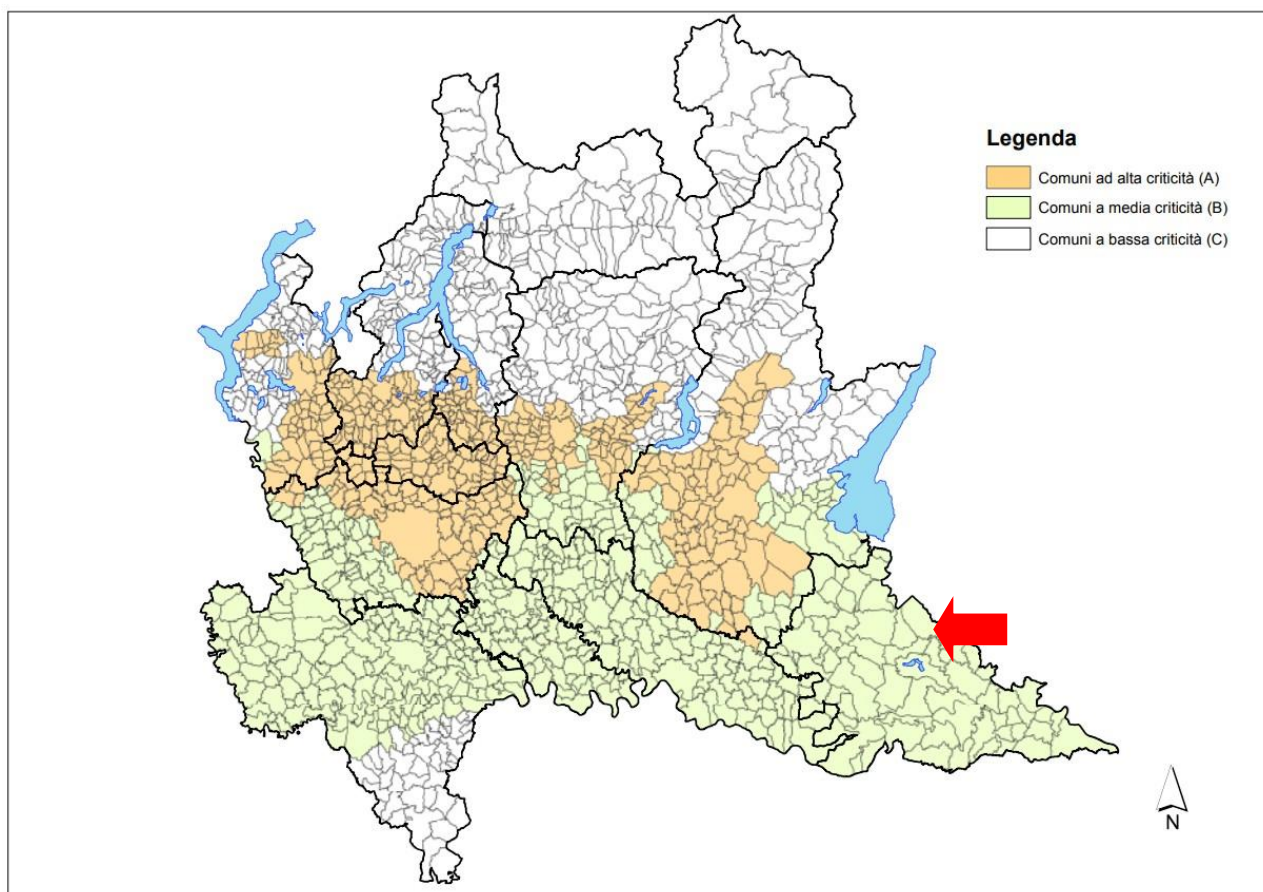
Ai sensi dell'art. 7 del Regolamento Regione Lombardia n.7/2017, il territorio lombardo è stato suddiviso in tre ambiti in cui sono inseriti i Comuni, in base alla criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori.

Ad ogni Comune è associata una delle seguenti classi di criticità (Allegato C del Regolamento):

A – alta criticità

B – media criticità

C – bassa criticità



*Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica (Allegato B al Regolamento)*

Il territorio del Comune di Mantova, oggetto dell'intervento, ricade in area di criticità B (media criticità idraulica), come si evince dall'immagine riportata a pagina precedente e dall'estratto dell'elenco dei Comuni ricadenti nelle aree ad alta, media e bassa criticità idraulica, riportato qui sotto.

MALONNO	BS	C
MANDELLO DEL LARIO	LC	C
MANERBA DEL GARDA	BS	B
MANERBIO	BS	A
MANTELLIO	SO	C
MANTOVA	MN	B
MAPELLO	BG	A
MARCALLO CON CASONE	MI	B
MARCARIA	MN	B
MARCHENO	BS	A
MARCHIROLO	VA	C

*Elenco dei Comuni ricadenti nelle aree ad alta, media e bassa criticità idraulica (Allegato C)*

L'art. 7 del Regolamento Regione Lombardia n.7/2017, al comma 5, però precisa anche che *“indipendentemente dall'ubicazione territoriale, sono assoggettate ai limiti indicati nel presente regolamento per le aree A di cui al comma 3, anche le aree lombarde inserite nei PGT comunali come ambiti di trasformazione o anche come piani attuativi previsti nel piano delle regole”*.

Per questo motivo, ai fini delle verifiche, il presente intervento viene considerato in **area di criticità A** (alta criticità idraulica).

## **B) CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO**

Ai fini dell'individuazione delle modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, gli interventi vengono classificati in base alla superficie interessata dall'intervento e al coefficiente di deflusso medio ponderale, ai sensi dell'articolo 9 del Regolamento.

Di seguito si riportano le superfici di progetto e i relativi coefficienti di deflusso medio, definiti mediante il procedimento semplificato indicato nell'art.11, comma 2, lett. d):

<b>Descrizione</b>	<b>Superficie totale</b>	<b>Coefficiente di deflusso</b>	<b>Superficie impermeabile</b>
<b><u>Strade di lottizzazione</u></b>	<b><u>2.892 mq</u></b>		
Pavimentazioni impermeabili (asfalto)	1.842 mq	1,00	1.842 mq
Pavimentazioni drenanti (autobloccante)	1.050 mq	0,70	735 mq
<b><u>Aree standard a parcheggio</u></b>	<b><u>3.458 mq</u></b>		
Pavimentazioni impermeabili (asfalto)	810 mq	1,00	810 mq
Pavimentazioni drenanti (autobloccante)	1.332 mq	0,70	932 mq
Aree a verde	1.316 mq	0,30	395 mq
<b><u>Aree standard a verde</u></b>	<b><u>258 mq</u></b>		
Aree a verde	258 mq	0,30	77 mq
<b><u>Opere di mitigazione</u></b>	<b><u>740 mq</u></b>		
Aree a verde	740 mq	0,30	222 mq
<b><u>Superficie fondiaria</u></b>	<b><u>8.390 mq</u></b>		
Superfici coperte/impermeabili	4.990 mq	1,00	4.990 mq
Pavimentazioni drenanti/Aree a verde	3.400 mq	0,70	2.380 mq
<b><u>Aree proprietà Comune di Mantova</u></b>	<b><u>501 mq</u></b>		
Pavimentazioni impermeabili (asfalto)	350 mq	1,00	350 mq
Aree a verde	151 mq	0,30	45 mq
<b><u>Bacino di infiltrazione</u></b>	<b><u>1.506 mq</u></b>		
Aree a verde	1.506 mq	0,30	452 mq
<b>Superficie complessiva</b>	<b>17.745 mq</b>	<b>0,745</b>	<b>13.230 mq</b>

dove il coefficiente di deflusso medio ponderale  $\varphi$  è stato calcolato come rapporto tra la superficie impermeabile complessiva e la superficie totale dell'area di intervento:



$$\varphi = \frac{S_i}{S_t} = \frac{13.230 \text{ mq}}{17.745 \text{ mq}} = 0,745$$

Si fa notare che, per quanto riguarda i lotti privati (superficie fondiaria), si è considerata la situazione più penalizzante in termini di superfici impermeabili, ovvero si sono considerate come permeabili (con coefficiente di deflusso pari a 0,7) solamente le superfici minime necessarie affinché risulti verificato il rapporto di permeabilità relativo al comparto, che deve essere pari al 50% della Superficie Territoriale, come riportato nella relazione tecnica allegata al presente Piano (Allegato B.1).

Pertanto, definiti:

- l'ambito territoriale: Area A (alta criticità idraulica);
- la superficie complessiva dell'intervento:  $S_t = 17.745 \text{ mq}$  (= 1,775 ha);
- il coefficiente di deflusso medio ponderale:  $\varphi = 0,745$ ;

la Tabella 1 del Regolamento, riportata qui sotto, consente di determinare:

- la classe di intervento: **Classe 3 (Impermeabilizzazione potenziale alta)**
- la modalità di calcolo dei volumi di invaso da prevedere: **Procedura dettagliata**

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIE NTE DEFUSSO MEDIO PONDERA LE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Aree A, B	Aree C
0	Impermeabilizzazi one potenziale qualsiasi	$\leq 0,01 \text{ ha } (\leq 100 \text{ mq})$	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazi one potenziale bassa	$da > 0,01 \text{ a } \leq 0,1 \text{ ha } (\leq 1.000 \text{ mq})$	$\leq 0,4$	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazi one potenziale media	$da > 0,01 \text{ a } \leq 0,1 \text{ ha } (\leq 1.000 \text{ mq})$	$> 0,4$	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11, comma 2, lettera d)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		$da > 0,1 \text{ a } \leq 1 \text{ ha } (da > 1.000 \text{ a } \leq 10.000 \text{ mq})$	qualsiasi		
		$da > 1 \text{ a } \leq 10 \text{ ha } (da > 10.000 \text{ a } \leq 100.000 \text{ mq})$	$\leq 0,4$		
3	Impermeabilizzazi one potenziale alta	$da > 1 \text{ a } \leq 10 \text{ ha } (da > 10.000 \text{ a } \leq 100.000 \text{ mq})$	$> 0,4$	Procedura dettagliata (vedi articolo 11, comma 2, lettera d)	
		$> 10 \text{ ha } (> 100.000 \text{ mq})$	qualsiasi		

Tabella 1 del Regolamento Regionale n.7/2017

### **C) PORTATA METEORICA SCARICABILE NEI RICETTORI**

Ai sensi dell'art. 8 del Regolamento, gli scarichi nel ricettore devono essere limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore stesso e comunque entro i valori massimi ammissibili prescritti dalla normativa.

Nel caso in esame, per aree di criticità A, tale valore è pari a 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

La portata complessiva ammissibile allo scarico risulterà quindi pari a:

$$Q_{u,lim} = u_{lim} \cdot S_t \cdot \varphi = 10 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 1,775 \text{ ha} \cdot 0,745 = 13,2 \text{ l/s}$$

Viste le criticità ambientali (inquinamento) relative al Canale Paiolo, emerse durante le attività di monitoraggio effettuate per la Valutazione di Impatto Ambientale del P.A. "Te Brunetti-Nuovo Ospedale", e viste le problematiche evidenziate dal Piano delle Acque del Comune di Mantova, secondo il quale la fognatura comunale presente in via Amadei sarebbe pressoché satura, per lo smaltimento delle acque meteoriche del comparto verrà realizzato un bacino di infiltrazione in un'area limitrofa al comparto, evitando lo scarico in fognatura o in acque superficiali.

Le attività previste nel nuovo insediamento non rientrano nelle seguenti tipologie (art. 3, comma 1 lett. a del Regolamento Regionale n.4/2006) di attività:

- 1) industria petrolifera;
- 2) industria chimica;
- 3) trattamento e rivestimento metalli;
- 4) concia e tintura pelli e cuoio;
- 5) produzione pasta carta, carta e cartone;
- 6) produzione pneumatici;
- 7) aziende tessili che eseguono stampa, tintura e finissaggio fibre tessili;
- 8) produzione calcestruzzo;
- 9) aree intermodali;
- 10) autofficine;
- 11) carrozzerie.

Inoltre, non vi vengono svolte attività di deposito di rifiuti, centro di raccolta e trasformazione rifiuti, deposito di rottami e di veicoli destinati alla demolizione (art. 3, comma 1 lett. b del



Regolamento Regionale n.4/2006), non si effettuano carico e distribuzione di carburanti (art. 3, comma 1 lett. c del Regolamento Regionale n.4/2006) e non si effettua il deposito, il carico, lo scarico, il travaso e la movimentazione in genere di sostanze di cui alle tabelle 3/A e 5 dell'allegato 5 al d.lgs. 152/2006 (art. 3, comma 1 lett. d del Regolamento Regionale n.4/2006).

Stante le conoscenze attuali, nessuna delle attività che avranno luogo nel comparto in argomento rientrano tra quelle disciplinate dal Regolamento Regionale n.4/2006.

N.B. Se, in fase attuativa, all'interno del comparto si insedieranno attività di cui all'elenco sopra riportato, sarà necessario prevedere l'installazione di vasche per il trattamento delle acque di prima pioggia, ai sensi del Regolamento Regionale n.4/2006.

Per questi motivi, la dispersione delle acque meteoriche del comparto tramite infiltrazione nel sottosuolo può ritenersi ammissibile.

Lo studio geologico del Dott. Paolo Pasini ha evidenziato che l'area su cui sorgerà il bacino di infiltrazione è caratterizzato, al di sotto di circa 80 cm rispetto il piano campagna, da uno strato di sabbia debolmente limosa di spessore pari a circa 1,20 m, mentre la soggiacenza media della falda risulta pari a 1,80 m. Il coefficiente di permeabilità  $k$  stimato per questo substrato risulta compreso tra  $5,9 \cdot 10^{-5}$  m/s e  $7,8 \cdot 10^{-6}$  m/s. Per le verifiche, come coefficiente di permeabilità si utilizzerà il valore minore dell'intervallo (a favore di sicurezza), pari a  $7,8 \cdot 10^{-6}$  m/s

Il bacino di infiltrazione previsto sarà costituito da un'area a verde ribassata, il cui fondo, posto a 80 cm di profondità rispetto al piano campagna, avrà una superficie complessiva pari a 1274 mq. La portata complessiva che si infila nel sottosuolo può essere quindi calcolata come:

$$Q_i = k \cdot S_d = 7,8 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s} \cdot 1274 \text{ mq} = 9,9 \frac{l}{s}$$

Dove:

$k$  è il coefficiente di permeabilità;

$S_d$  è la superficie disperdente.

## D) CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

Il sito di ARPA Lombardia fornisce i dati della curva di possibilità pluviometrica, valida per ogni località della Lombardia, espressa nella forma:

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

con:

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

e dove:

$h$  è l'altezza di pioggia;

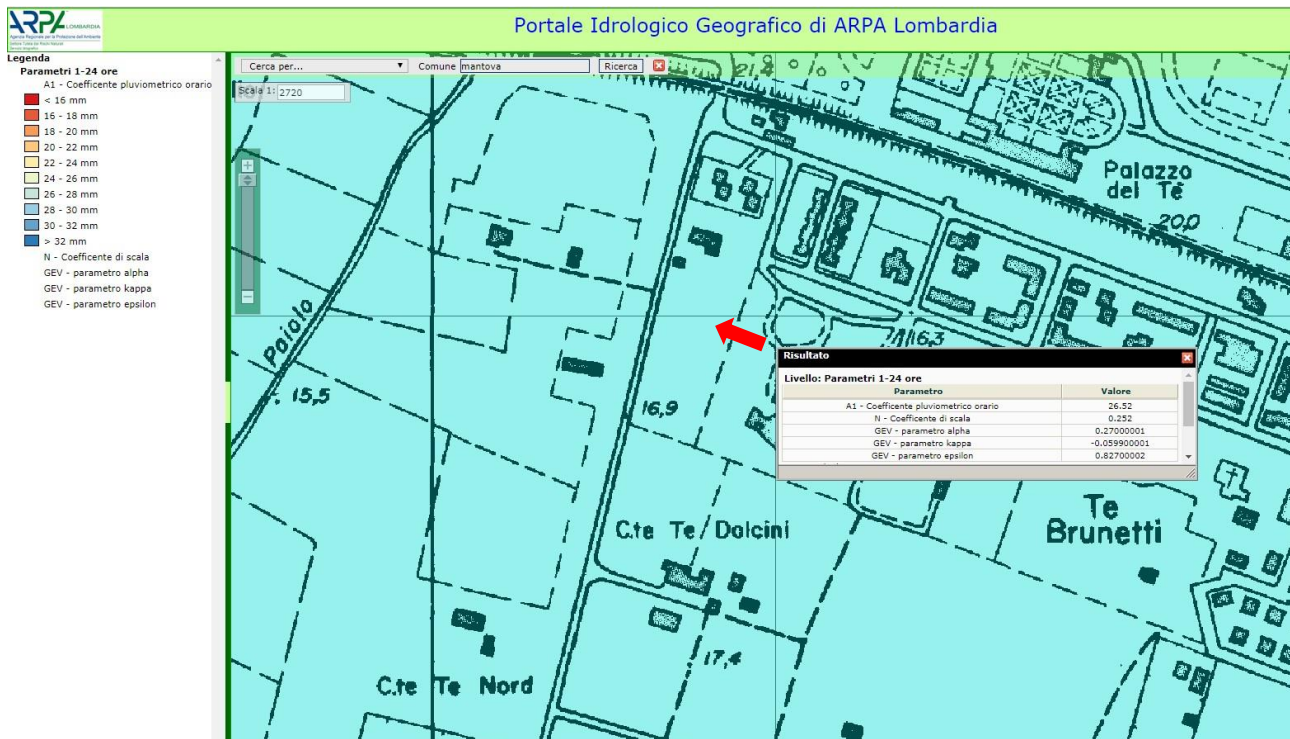
$D$  è la durata dell'evento meteorico;

$a_1$  è il coefficiente pluviometrico orario;

$T$  è il tempo di ritorno di riferimento;

$w_T$  è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno  $T$ ;

$n$ ,  $\varepsilon$ ,  $\alpha$  e  $k$  sono parametri adimensionali.



Per l'area oggetto dell'intervento, i parametri forniti dal sito di ARPA Lombardia sono i seguenti:

$$a_1 = 26,52 \text{ mm/ora}^n$$

$$n = \begin{cases} 0,5000 & \text{per piogge di durata inferiore a 1 ora} \\ 0,2520 & \text{per piogge di durata superiore a 1 ora} \end{cases}$$

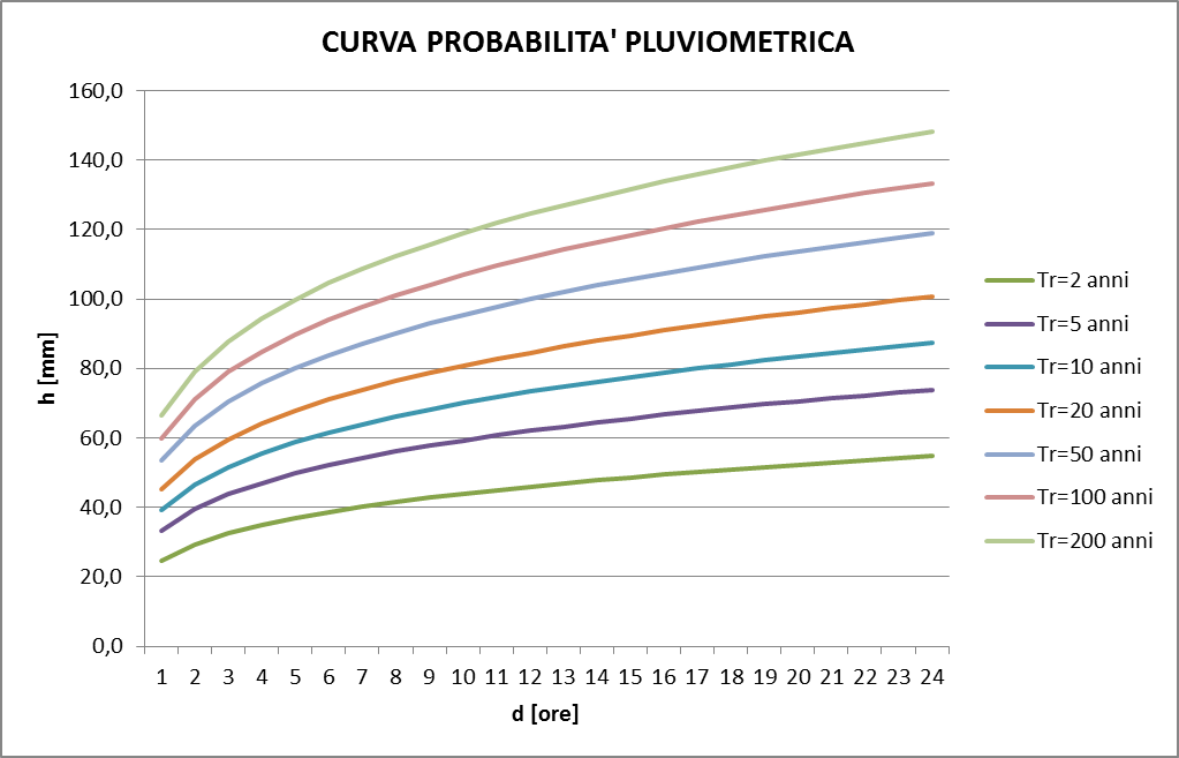
$$\alpha = 0,2700$$

$$k = -0,0599$$

$$\varepsilon = 0,8270$$

Nella tabella seguente si riportano le altezze di pioggia massime attese (in mm) per l'area oggetto di studio, per eventi meteorici di varia durata e con differenti tempi di ritorno, mentre nel grafico alla pagina successiva sono riportate le relative curve di probabilità pluviometrica.

D [ore]	Tempo di ritorno [anni]						
	2	5	10	20	50	100	200
	$w_T = 0,927$	$w_T = 1,251$	$w_T = 1,477$	$w_T = 1,705$	$w_T = 2,014$	$w_T = 2,257$	$w_T = 2,510$
1	24,6	33,2	39,2	45,2	53,4	59,9	66,6
2	29,3	39,5	46,7	53,8	63,6	71,3	79,3
3	32,4	43,7	51,7	59,6	70,4	78,9	87,8
4	34,9	47,0	55,6	64,1	75,7	84,9	94,4
5	36,9	49,8	58,8	67,8	80,1	89,8	99,8
6	38,6	52,1	61,5	71,0	83,9	94,0	104,5
7	40,1	54,2	64,0	73,8	87,2	97,7	108,7
8	41,5	56,0	66,2	76,3	90,2	101,1	112,4
9	42,8	57,7	68,2	78,6	92,9	104,1	115,8
10	43,9	59,3	70,0	80,8	95,4	106,9	118,9
11	45,0	60,7	71,7	82,7	97,7	109,5	121,8
12	46,0	62,0	73,3	84,6	99,9	112,0	124,5
13	46,9	63,3	74,8	86,3	101,9	114,2	127,0
14	47,8	64,5	76,2	87,9	103,9	116,4	129,4
15	48,6	65,6	77,5	89,5	105,7	118,4	131,7
16	49,4	66,7	78,8	90,9	107,4	120,4	133,9
17	50,2	67,7	80,0	92,3	109,1	122,2	135,9
18	50,9	68,7	81,2	93,7	110,6	124,0	137,9
19	51,6	69,7	82,3	94,9	112,2	125,7	139,8
20	52,3	70,6	83,4	96,2	113,6	127,3	141,6
21	53,0	71,4	84,4	97,4	115,0	128,9	143,3
22	53,6	72,3	85,4	98,5	116,4	130,4	145,0
23	54,2	73,1	86,3	99,6	117,7	131,9	146,7
24	54,8	73,9	87,3	100,7	119,0	133,3	148,3



### **E) CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO PER LA LAMINAZIONE**

Il calcolo del volume di invaso per la laminazione delle acque pluviali da adottare per la progettazione degli interventi di invarianza idraulica è il maggiore tra quello risultante dai calcoli, effettuati per il caso in esame mediante la “procedura dettagliata”, e quello valutato in termini parametrici come requisito minimo di cui all’articolo 12, comma 2 del Regolamento.

#### Calcolo perimetrico

La valutazione in termini parametrici prevede che per le aree A, ad alta criticità idraulica, il volume di invaso debba essere pari a 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile.

Essendo la superficie scolante impermeabile relativa al presente intervento pari a 13.230 mq (=1,323 ha), il volume di invaso per la laminazione delle acque pluviali deve essere almeno pari a:

$$W = S_i \cdot 800 \frac{mc}{ha} = 1,323 \text{ ha} \cdot 800 \frac{mc}{ha} = 1058,4 \text{ mc}$$

#### Calcolo mediante la “procedura dettagliata”

Come indicato nell’Allegato G del Regolamento, la “procedura dettagliata” prevede che per il calcolo del volume di invaso per la laminazione delle acque meteoriche si debba seguire la procedura riportata di seguito:

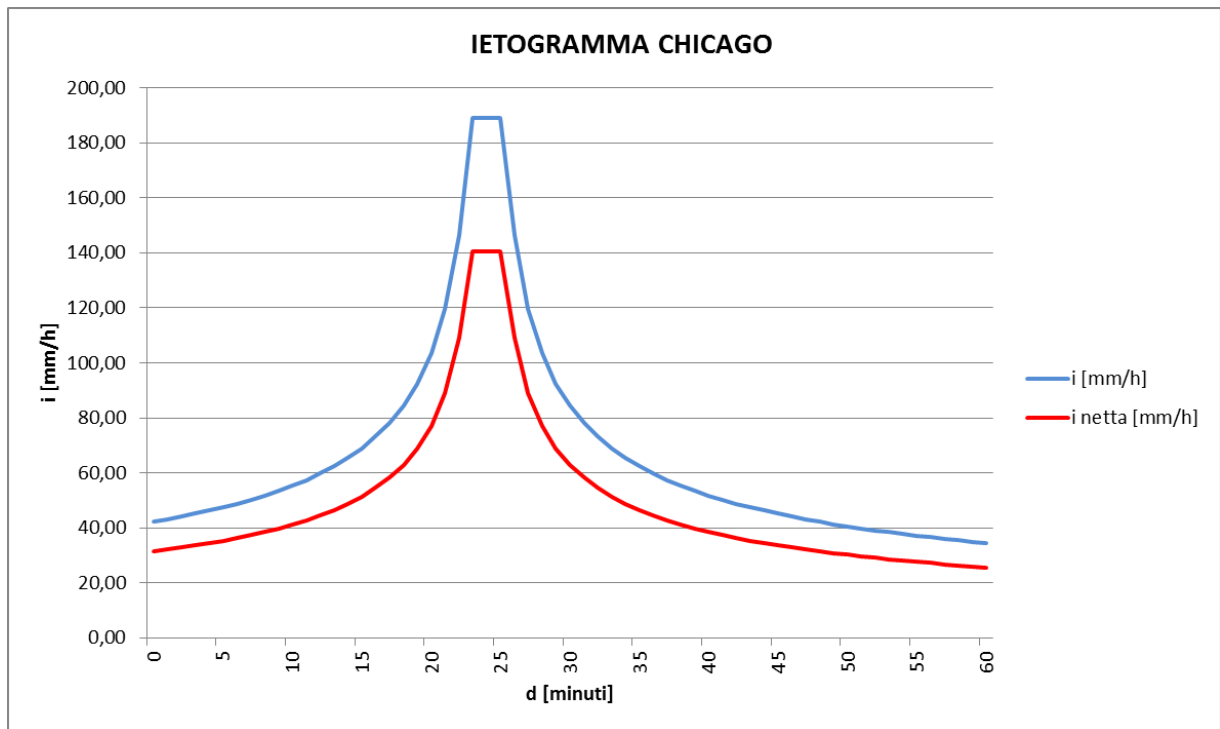
- calcolo dello ietogramma di progetto a partire dalla curva di possibilità pluviometrica;
- calcolo dello ietogramma netto in funzione delle perdite idrologiche per accumuli iniziali e per infiltrazione, in relazione alle tipologie del suolo e della urbanizzazione in progetto;
- calcolo dell’idrogramma complessivo in corrispondenza della sezione di ingresso dell’invaso di laminazione mediante l’utilizzo di un idoneo modello di trasformazione afflussi-deflussi;
- calcolo del volume dell’invaso di laminazione, mediante derivazione della differenza tra portate entranti e portate uscenti allo scarico o per infiltrazione.

In base ai parametri della curva di possibilità pluviometrica, si utilizza uno ietogramma di tipo Chicago con durata dell’evento meteorico  $D = 1$  ora, sicuramente maggiore del tempo di corrivazione della rete drenante, e con istante del picco assunto pari a  $0,4 \cdot D$ .

Per la valutazione delle perdite idrologiche e il calcolo dell’idrogramma netto di piena in entrata nell’invaso di laminazione, il calcolo è stato effettuato in via semplificata, come indicato nell’art.11,

comma 2, lettera d) del Regolamento, adottando il coefficiente di deflusso precedentemente determinato sulla base dei valori standard ( $\varphi = 0,745$ ).

Nella figura qui sotto si riportano lo ietogramma e lo ietogramma netto distribuiti nell'arco della durata di 1 ora, per il tempo di ritorno di 50 anni, utilizzato per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica.



Per la definizione del modello di trasformazione afflussi-deflussi, idoneo a rappresentare l'idrogramma di piena in corrispondenza della sezione di ingresso nell'invaso di laminazione, si è considerato il bacino in esame come unitario, utilizzando il modello di trasformazione aree-tempi (metodo di corrivazione).

Il tempo di corrivazione  $t_C$  è il tempo necessario affinché le acque di deflusso superficiale provenienti da tutta l'area considerata raggiungano la sezione di chiusura dell'area stessa, originando quindi la portata di massima piena.

Nello specifico, per ambienti urbani, si considera che il tempo di corrivazione sia uguale alla somma del tempo medio di residenza fuori rete ( $t_0$ ) delle particelle d'acqua piovuta con quello della rete ( $t_R$ ) seguendo il percorso più lungo secondo l'equazione:

$$t_C = t_0 + t_R$$

Per il calcolo di  $t_0$ , si usa la formula proposta da Boyd:

$$t_0 = K \cdot S^\delta = 2,51 \cdot 0,01775^{0,38} = 0,54 \text{ ore}$$

Per il calcolo di  $t_R$  si usa la formula:

$$t_R = \frac{\sqrt{1,5 \cdot S}}{v} = \frac{\sqrt{1,5 \cdot 0,01775}}{1} = 0,16 \text{ ore}$$

dove:

$$K = 2,51;$$

$S$  è la superficie del bacino espressa in kmq ( $=0,01775$  kmq);

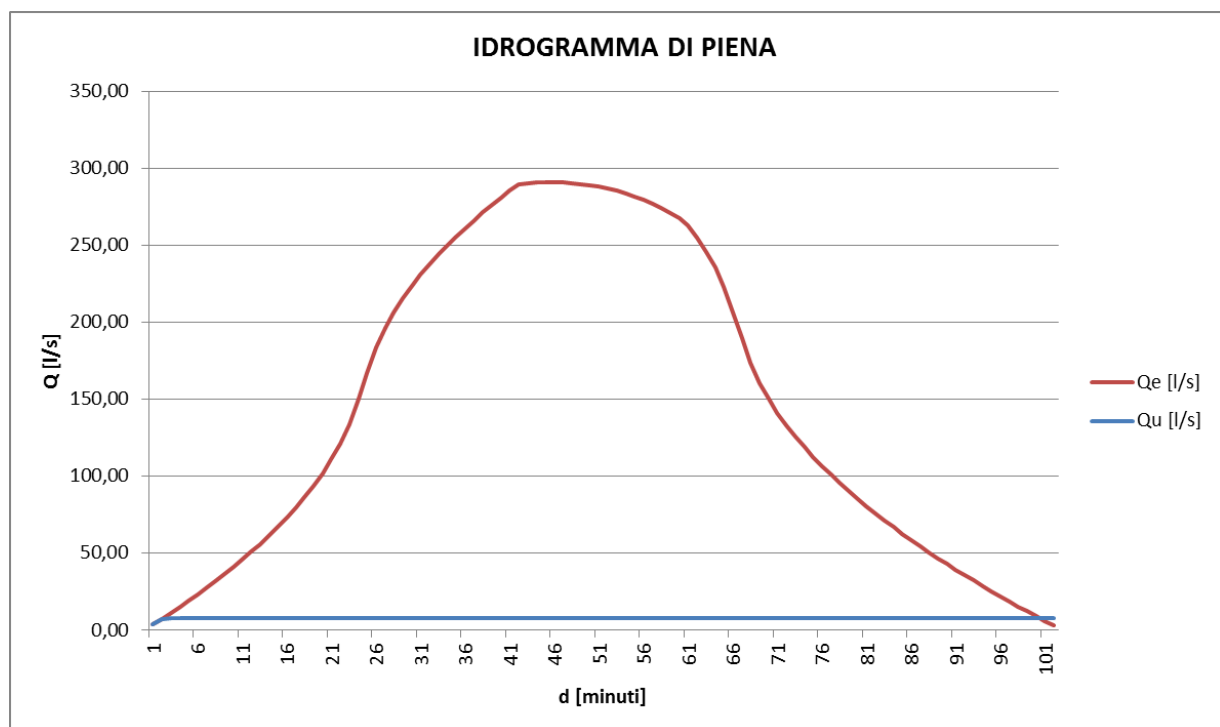
$$\delta = 0,38;$$

$v$  è la velocità media nella rete, assunta pari a 1 m/s in bacini pianeggianti.

Il tempo di corrivazione  $t_C$  risulta quindi:

$$t_C = t_0 + t_R = 0,54 \text{ ore} + 0,16 \text{ ore} = 0,70 \text{ ore} = 42 \text{ minuti}$$

Noti la superficie totale del bacino  $S_t$  ( $=17.745$  mq), il coefficiente di deflusso  $\varphi$  ( $=0,745$ ) e il tempo di corrivazione  $t_C$  ( $=42$  minuti), si ottiene il seguente idrogramma di entrata nel sistema di laminazione (in tinta azzurra), avente un picco massimo di portata pari a 291 l/s. Nel grafico, in tinta rossa, è riportato anche l'idrogramma relativo alle portate uscenti dal sistema per infiltrazione, che hanno un valore massimo di 9,9 l/s, così come calcolato nel capitolo 4.



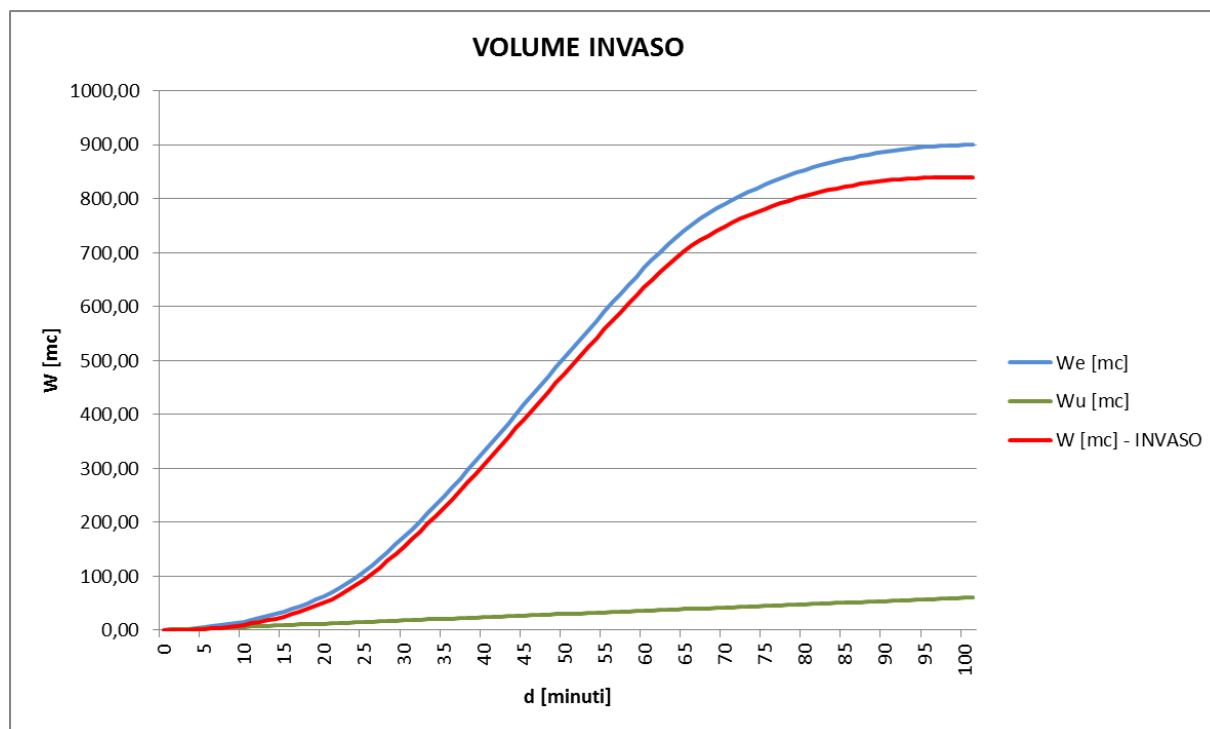


Il dimensionamento dell'invaso di laminazione  $W$  avviene poi applicando l'equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

dove  $Q_e(t)$  e  $Q_u(t)$  sono rispettivamente le portate entranti e uscenti dal sistema e il cui andamento in funzione del tempo è rappresentato dalle due curve riportate nel grafico precedente. Il volume d'invaso necessario per la laminazione delle acque meteoriche del bacino in ogni istante è dato dall'area compresa tra le due curve.

Partendo dai dati riportati nel grafico precedente, le curve qui sotto, per ogni istante, rappresentano il volume complessivamente entrante (in tinta azzurra), il volume complessivamente uscente dal sistema (in tinta verde) e il volume dell'invaso necessario per la laminazione delle acque meteoriche (in tinta rossa). Il volume massimo di invaso risulta pari a 839,8 mc.



Il **volume di laminazione** da adottare per la progettazione degli interventi di invarianza idraulica sarà pertanto pari a **1058,4 mc**, ovvero pari al valore maggiore tra quello risultante dai calcoli effettuati mediante la "procedura dettagliata" (839,8 mc) e quello valutato in termini parametrici (1058,4 mc).

**F) CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO**

Ai sensi dell'art.11, comma 2, lett. f del Regolamento, il tempo di svuotamento dell'invaso di laminazione non deve superare le 48 ore, in modo tale da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

Nel caso in esame la portata uscente dal sistema mediante infiltrazione è pari a 9,9 l/s, come calcolato nel capitolo 4.

Il tempo di svuotamento risulta quindi:

$$t_{svuot} = \frac{W_0}{Q_{u,lim}} = \frac{1058,4 \text{ mc}}{9,9 \text{ l/s}} = \frac{1.058.400 \text{ l}}{9,9 \text{ l/s}} = 106.909 \text{ s} = 29,7 \text{ ore} \leq 48 \text{ ore}$$

nel rispetto del limite fissato dalla normativa.

### **G) DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI PER L'INVARIANZA IDRAULICA**

Le acque meteoriche di pertinenza dell'area di intervento verranno raccolte mediante pluviali (per le aree coperte) e caditoie (per le aree pavimentate). Le acque meteoriche precipitate sulle aree a verde e, più in generale, sulle superfici drenanti verranno smaltite in parte per infiltrazione nel sottosuolo.

Le acque meteoriche raccolte verranno poi convogliate al bacino di invaso/infiltrazione, situato in un'area limitrofa al comparto, mediante una rete di tubazioni in CLS. Le tubazioni che collegheranno l'invaso alla rete interna al comparto sono posate su aree di proprietà comunale. Le tubazioni principali avranno un diametro di 40 cm e di 60 cm nel tratto finale. Il pozzetto finale della linea di fognatura sarà posto all'interno del bacino di invaso, costituito da un'area a verde ribassata di circa 80 cm rispetto al piano campagna, e sarà dotato di chiusino a griglia.

Man mano che le acque meteoriche transiteranno attraverso il suddetto pozzetto, il loro livello al suo interno aumenterà, finché non verranno riversate, attraverso la griglia, all'interno del bacino d'invaso/infiltrazione.

Le acque che si depositeranno sul fondo del bacino verranno disperse per infiltrazione nel sottosuolo. Le acque eccedenti la capacità di infiltrazione del sottosuolo verranno invece invase all'interno del bacino.

Il volume complessivo dell'invaso sarà pari a:

<b>Descrizione</b>		<b>Volume invaso</b>
<b><i>Area a verde ribassata</i></b>		
Area a verde (h=80 cm)	= 1274 mq x 0,80 m =	1019,2 mc
Scarpata area a verde	= 232 mq x 0,80 m / 2 =	92,8 mc
<b>Totale</b>		<b>1112,0 mc</b>

e sarà pertanto maggiore del volume di invaso minimo da prevedere, calcolato nel capitolo 6 della presente relazione.

## **CALCOLI IDRAULICI**

### VERIFICA IDRAULICA DELLE CONDOTTE FOGNARIE

La presente verifica idraulica ha come scopo il corretto dimensionamento delle condotte fognarie per la raccolta delle acque meteoriche e delle acque reflue del Comparto “ATR.1 – Te Brunetti – Primo Stralcio” in Comune di Mantova, oggetto del presente intervento.

#### A) CALCOLO DELLE PORTATE NERE

Verrà calcolata la portata nera di punta da considerare per il dimensionamento delle condotte.

La procedura di calcolo seguirà il seguente schema:

- a) Analisi delle dotazioni idriche
- b) Calcolo delle portate nere

##### a) Analisi delle dotazioni idriche

La dotazione idrica da considerare per i fabbisogni potabili e sanitari è stata calcolata sulla base delle indicazioni fornite dall'Appendice F del “Programma di tutela ed uso delle acque”, di cui al D.G.R. n.8/2244 del 29 marzo 2006.

Per i piani urbanistici a destinazione terziario/commerciale, la dotazione idrica complessiva può essere fissata in 20 mc/ha·giorno.

Nel caso in esame, il fabbisogno complessivo, risulta pertanto pari a:

$$\begin{aligned}d_{\text{tot}} &= \text{carico idrico totale} = \text{SLP}_{\text{tot}} [\text{ha}] \cdot 20 \text{ mc/ha} \cdot \text{giorno} = \\&= 0,455 \text{ ha} \cdot 20 \text{ mc/ha} \cdot \text{giorno} = 9,1 \text{ mc/giorno}\end{aligned}$$

Considerando un fabbisogno base pari a 200 l/A.E.·giorno, al carico idrico totale di 9,1 mc/giorno corrisponderebbe un numero di abitanti equivalente pari a 45 ( $= 9,1 \text{ mc/giorno} / 200 \text{ l/A.E.} \cdot \text{giorno}$ ).

##### b) Calcolo delle Portate nere

I calcoli sono stati svolti utilizzando la seguente formula:

Portata nera di punta (l/s)

$$Q_{\text{nm}} = \frac{d_{\text{tot}}}{24 \cdot 3600} \cdot c_p$$

dove:

$d_{\text{tot}}$  = carico idrico totale

$$C_p = \text{coefficiente di punta} \left( = \frac{19,91}{\sqrt[5]{N}} \right)$$

N = numero di abitanti equivalenti

L'espressione media del coefficiente di punta è stata stimata in base alle indicazioni del "Committee of the American Society of Civil Engineers" e della "Water Pollution Control Federation" (di seguito definita **W.P.C.F.**).

Dati di calcolo:

$d_{tot}$  = carico idrico = 9.100 litri/giorno

N = numero di abitanti equivalenti = 45

$c_p$  = coefficiente di punta = 9,30

Portata nera di punta (l/s)

$$Q_{nm} = \frac{d_{tot}}{24 \cdot 3600} \cdot c_p = 1,0 \text{ l / s}$$

## B) CALCOLO DELLE PORTATE PLUVIALI

I dati usati per sviluppare i calcoli delle portate pluviali sono stati reperiti presso il sito di ARPA Lombardia fornisce i dati della curva di possibilità pluviometrica, valida per ogni località della Lombardia, espressa nella forma:

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

con:

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

e dove:

$h$  è l'altezza di pioggia;

$D$  è la durata dell'evento meteorico;

$a_1$  è il coefficiente pluviometrico orario;

$T$  è il tempo di ritorno di riferimento;

$w_T$  è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno  $T$ ;

$n$ ,  $\varepsilon$ ,  $\alpha$  e  $k$  sono parametri adimensionali.

Per l'area oggetto dell'intervento, i parametri forniti dal sito di ARPA Lombardia sono i seguenti:

$$a_1 = 26,52 \text{ mm / ora}^n$$

$$n = \begin{cases} 0,5000 & \text{per piogge di durata inferiore a 1 ora} \\ 0,2520 & \text{per piogge di durata superiore a 1 ora} \end{cases}$$

$$\alpha = 0,2700$$

$$k = -0,0599$$

$$\varepsilon = 0,8270$$



Nella tabella seguente si riportano le altezze di pioggia massime attese (in mm) per l'area oggetto di studio, per eventi meteorici di varia durata e con differenti tempi di ritorno.

D [ore]	Tempo di ritorno [anni]						
	2	5	10	20	50	100	200
	w <sub>T</sub> = 0,927	w <sub>T</sub> = 1,251	w <sub>T</sub> = 1,477	w <sub>T</sub> = 1,705	w <sub>T</sub> = 2,014	w <sub>T</sub> = 2,257	w <sub>T</sub> = 2,510
1	24,6	33,2	39,2	45,2	53,4	59,9	66,6
2	29,3	39,5	46,7	53,8	63,6	71,3	79,3
3	32,4	43,7	51,7	59,6	70,4	78,9	87,8
4	34,9	47,0	55,6	64,1	75,7	84,9	94,4
5	36,9	49,8	58,8	67,8	80,1	89,8	99,8
6	38,6	52,1	61,5	71,0	83,9	94,0	104,5
7	40,1	54,2	64,0	73,8	87,2	97,7	108,7
8	41,5	56,0	66,2	76,3	90,2	101,1	112,4
9	42,8	57,7	68,2	78,6	92,9	104,1	115,8
10	43,9	59,3	70,0	80,8	95,4	106,9	118,9
11	45,0	60,7	71,7	82,7	97,7	109,5	121,8
12	46,0	62,0	73,3	84,6	99,9	112,0	124,5
13	46,9	63,3	74,8	86,3	101,9	114,2	127,0
14	47,8	64,5	76,2	87,9	103,9	116,4	129,4
15	48,6	65,6	77,5	89,5	105,7	118,4	131,7
16	49,4	66,7	78,8	90,9	107,4	120,4	133,9
17	50,2	67,7	80,0	92,3	109,1	122,2	135,9
18	50,9	68,7	81,2	93,7	110,6	124,0	137,9
19	51,6	69,7	82,3	94,9	112,2	125,7	139,8
20	52,3	70,6	83,4	96,2	113,6	127,3	141,6
21	53,0	71,4	84,4	97,4	115,0	128,9	143,3
22	53,6	72,3	85,4	98,5	116,4	130,4	145,0
23	54,2	73,1	86,3	99,6	117,7	131,9	146,7
24	54,8	73,9	87,3	100,7	119,0	133,3	148,3

Il calcolo delle portate pluviali è stato eseguito utilizzando la seguente formula generale:

$$Q_p = \frac{\varphi \cdot I \cdot S_t}{0,36}$$

dove:

$Q_p$  è la portata pluviale, espressa in l/s;

$\varphi$  è il coefficiente di deflusso medio ponderale, calcolato come rapporto tra la superficie impermeabile complessiva e la superficie totale dell'area di intervento;

$I$  è l'intensità di pioggia, espressa in mm/ora;

$S_t$  è la superficie complessiva del bacino considerato, espressa in ha.

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti di deflusso considerati nei calcoli, in funzione della

tipologia di superficie:

<b>Tipologia superficie</b>	<b>Coeff. di deflusso <math>\phi</math></b>
Tetti, coperture, tetti verdi, giardini pensili, pavimentazioni continue (strade, vialetti, parcheggi)	1,00
Pavimentazioni drenanti o semipermeabili (strade, vialetti, parcheggi)	0,70
Aree permeabili di qualsiasi tipo, escluse superfici incolte e ad uso agricolo	0,30

Il bacino, oggetto della presente analisi, si estende su una superficie di 16.239 mq, suddivisi come riportato nella tabella a pagina seguente.

<b>Descrizione</b>	<b>Sup. totale</b>	<b>Coeff. deflusso</b>	<b>Sup. imperm.</b>
<b><u>Strada (via Amadei-parch. Nord)</u></b>	<b><u>620 mq</u></b>		<b><u>546 mq</u></b>
Pavimentazioni impermeabili	372 mq	1,00	372 mq
Pavimentazioni drenanti	248 mq	0,70	174 mq
<b><u>Strada (parch.Nord-Lotto 1)</u></b>	<b><u>860 mq</u></b>		<b><u>757 mq</u></b>
Pavimentazioni impermeabili	516 mq	1,00	516 mq
Pavimentazioni drenanti	344 mq	0,70	241 mq
<b><u>Strada (Lotto 1-parch.Sud/Lotto 2)</u></b>	<b><u>540 mq</u></b>		<b><u>475 mq</u></b>
Pavimentazioni impermeabili	324 mq	1,00	324 mq
Pavimentazioni drenanti	216 mq	0,70	151 mq
<b><u>Strada (parch.Sud/Lotto 2-rotatoria)</u></b>	<b><u>1.130 mq</u></b>		<b><u>876 mq</u></b>
Pavimentazioni impermeabili	630 mq	1,00	630 mq
Pavimentazioni drenanti	242 mq	0,70	169 mq
Aree a verde	258 mq	0,30	77 mq
<b><u>Lotto 1</u></b>	<b><u>5.036 mq</u></b>		<b><u>4.424 mq</u></b>
Superfici coperte/impermeabili	2.996 mq	1,00	2.996 mq
Pavimentazioni drenanti/Aree a verde	2.040 mq	0,70	1.428 mq
<b><u>Lotto 2</u></b>	<b><u>3.354 mq</u></b>		<b><u>2.946 mq</u></b>
Superfici coperte/impermeabili	1.994 mq	1,00	1.994 mq

Pavimentazioni drenanti/Aree a verde	1.360 mq	0,70	952 mq
<b><u>Opere di mitigazione</u></b>	<b><u>740 mq</u></b>		<b><u>222 mq</u></b>
Aree a verde	740 mq	0,30	222 mq
<b><u>Parcheggio nord</u></b>	<b><u>1.780 mq</u></b>		<b><u>986 mq</u></b>
Pavimentazioni impermeabili	292 mq	1,00	292 mq
Pavimentazioni drenanti	718 mq	0,70	502 mq
Aree a verde	825 mq	0,30	247 mq
<b><u>Parcheggio sud</u></b>	<b><u>2.124 mq</u></b>		<b><u>1.491 mq</u></b>
Pavimentazioni impermeabili	868 mq	1,00	868 mq
Pavimentazioni drenanti	614 mq	0,70	430 mq
Aree a verde	642 mq	0,30	193 mq
<b>Superficie complessiva</b>	<b>16.239 mq</b>		<b>12.778 mq</b>

Il valore dell'intensità di pioggia è stato ricavato mediante la formula:

$$I = \frac{h}{t}$$

dove:

$h$  è l'altezza di pioggia;

$t$  è la durata della precipitazione.

La durata della precipitazione è stata considerata pari al tempo di corrivazione  $t_C$ , che rappresenta il tempo necessario affinché le acque di deflusso superficiale provenienti da tutta l'area considerata raggiungano la sezione di chiusura dell'area stessa, originando quindi la portata di massima piena.

Nello specifico, per ambienti urbani, si considera che il tempo di corrivazione sia uguale alla somma del tempo medio di residenza fuori rete ( $t_0$ ) delle particelle d'acqua piovuta con quello della rete ( $t_R$ ) seguendo il percorso più lungo secondo l'equazione:

$$t_C = t_0 + t_R$$

Per il calcolo di  $t_0$ , si è utilizzata la formula proposta da Boyd:

$$t_0 = K \cdot S^\delta = 2,51 \cdot 0,016184^{0,38} = 0,52 \text{ ore}$$

Per il calcolo di  $t_R$  si è utilizzata la formula:

$$t_R = \frac{\sqrt{1,5 \cdot S}}{v} = \frac{\sqrt{1,5 \cdot 0,016184}}{1} = 0,16 \text{ ore}$$

dove:

$$K = 2,51;$$

$S$  è la superficie del bacino espressa in kmq (=0,016184 kmq);

$$\delta = 0,38;$$

$v$  è la velocità media nella rete, assunta pari a 1 m/s in bacini pianeggianti.

Il tempo di corrivazione  $t_C$  risulta quindi:

$$t_C = t_0 + t_R = 0,52 \text{ ore} + 0,16 \text{ ore} = 0,68 \text{ ore} = 41 \text{ minuti}$$

Con i dati appena ricavati e considerando un evento meteorico con tempo di ritorno pari a 50 anni, si ottiene un'intensità di pioggia pari a:

$$I = \frac{h}{t} = \frac{a_1 \cdot w_T \cdot t^n}{t} = \frac{26,52 \cdot 2,014 \cdot 0,68^{0,5}}{0,68} = 64,8 \text{ mm / ora}$$

Si riportano di seguito le portate pluviali, determinate per ogni sezione di verifica:

<b>SEZIONE DI VERIFICA</b>	<b>SUPERFICIE S<sub>i</sub> (ha)</b>	<b>PORTATA Q<sub>p</sub> (l/s)</b>
<b>Linea principale da via Amadei a parcheggio Nord</b> Strada (via Amadei-parch. Nord) <b>Totale</b>	<u>0,0546</u> <b>0,0546</b>	<b>10,4</b>
<b>Linea Parcheggio Nord</b> Parcheggio Nord <b>Totale</b>	<u>0,0986</u> <b>0,0986</b>	<b>18,7</b>
<b>Linea principale da Parcheggio Nord a Lotto 1</b> Linea principale da via Amadei a parcheggio Nord Linea Parcheggio Nord Strada (parch. Nord-Lotto 1) <b>Totale</b>	0,0546 0,0986 <u>0,0757</u> <b>0,2289</b>	<b>43,5</b>
<b>Linea principale da Lotto 1 a Parch. Sud/Lotto 2</b> Linea principale da parcheggio Nord a Lotto 1 Lotto 1 Strada (Lotto 1-parch. Sud/Lotto 2) <b>Totale</b>	0,2289 0,4424 <u>0,0475</u> <b>0,7188</b>	<b>136,6</b>
<b>Linea Parcheggio Sud</b> Lotto 1 Parcheggio Sud <b>Totale</b>	0,4424 <u>0,1491</u> <b>0,5915</b>	<b>112,4</b>
<b>Linea principale da Parch. Sud/Lotto 2 a Invaso</b> Linea principale da Lotto 1 a Parch.Sud/Lotto 2 Linea Parcheggio Sud (escluso Lotto 1, già considerato) Lotto 2 Opere di mitigazione Strada (parch. Sud/Lotto 2-rotatoria) <b>Totale</b>	0,7188 0,1491 0,2946 0,0222 <u>0,0876</u> <b>1,2723</b>	<b>241,7</b>

### C) CALCOLO DELLE PORTATE IDRAULICHE DELLE CONDOTTE

Il calcolo è stato effettuato utilizzando la seguente formula di Chezy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R_0 \cdot j}$$

grazie alla quale si ottiene l'espressione:

$$Q_c = V \cdot A$$

dove:

$V$  = velocità di scorrimento (m/s)

$Q_c$  = portata della condotta (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = sezione della condotta (m<sup>2</sup>)

$\chi$  = coefficiente di scabrezza (m<sup>1/2</sup>/s)

$R_0$  = Raggio idraulico (m)

$j$  = pendenza (m/1000)

Il coefficiente di scabrezza  $\chi$  può essere ricavato mediante la formula di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} \cdot \sqrt[5]{R_0}$$

dove  $n$  è l'indice di scabrezza.

Si è scelto la formula di Manning, perché rispetto alle formule di Kutter o Bazin è stata maggiormente sperimentata per la soluzione di condotti chiusi.

Coefficienti di scabrezza consigliati da A.S.T.M. - W.P.C.F.	
MATERIALI	Coeff. di Manning $n$ (s/m <sup>1/3</sup> )
Condotti chiusi	
Tubi in cemento-amianto	0,011 - 0,015
Tubi in ghisa rivestiti internamente con cemento e vernice protettiva	0,011 - 0,015
Tubi in calcestruzzo	0,011 - 0,015
- Tubi in metallo ondulato	0,022 - 0,026
- Tubi in materie plastiche	0,011 - 0,015

Per il nostro caso assumiamo  $n = 0,012$  sia per i tubi in conglomerato cementizio sia per i tubi in P.V.C..

Nelle seguenti tabelle si riportano i risultati ottenuti nel calcolo delle condotte di progetto:

<b>Condotte a sezione circolare in conglomerato cementizio prefabbricato</b>			
Diametro condotta	Pendenza	Velocità scorrimento	Portata
Ø [cm]	j [m/m]	V [m/s]	Qc [l/s]
40	0,0010	0,568	71,3
60	0,0010	0,744	210,3
60	0,0015	0,911	257,6

<b>Condotte a sezione circolare in PVC tipo SN4</b>			
Diametro condotta	Pendenza	Velocità scorrimento	Portata
Ø [mm]	j [m/m]	V [m/s]	Qc [l/s]
250	0,0030	0,719	35,2



## D) CONFRONTO TRA PORTATE DI PROGETTO E PORTATE IDRAULICHE DELLE CONDOTTE

Il confronto tra le portate di progetto e le portate idrauliche delle condotte nei vari tratti analizzati è riassunto nella tabella seguente:

SEZIONE DI VERIFICA	PORTATA DI PROGETTO [l/s]	PORTATA CONDOTTA [l/s]
<b>FOGNATURA ACQUE NERE</b>		
<b>Linea principale</b> PVC Ø250– p=3 ‰	1,0	35,4
<b>FOGNATURA ACQUE BIANCHE</b>		
<b>Linea principale (via Amadei-Parcheggio Nord)</b> CLS Ø40– p=1 ‰	10,4	71,3
<b>Linea Parcheggio Nord</b> CLS Ø40– p=1 ‰	18,7	71,3
<b>Linea principale (Parcheggio Nord-Lotto 1)</b> CLS Ø40– p=1 ‰	43,5	71,3
<b>Linea principale (Lotto 1-Parcheggio Sud/Lotto 2)</b> CLS Ø60– p=1 ‰	136,6	210,3
<b>Linea Parcheggio Sud</b> CLS Ø60– p=1 ‰	112,4	210,3
<b>Linea principale (Parch.Sud/Lotto 2-Bacino invaso)</b> CLS Ø60– p=1,5 ‰	241,7	257,6

Mantova, lì 06/03/2019

IL TECNICO PROGETTISTA

Ing. Paolo Ravelli