

Comune di Brescia

Provincia di Brescia

Committente:

**DEPOSITI GHIDINI ROK s.r.l.**

Opera:

**SUAP IN VARIANTE AL P.G.T.  
PER REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO PRODUTTIVO**

Oggetto:

<i>Numero:</i> <b>I1</b>	<i>Titolo:</i> <b>PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA RELAZIONE IDRAULICA</b>	
<i>Redatto da:</i> Ing. Ezio Rosa	<i>Pratica:</i> 17PS23	
<i>Controllato da:</i>	<i>File:</i> I1 - Relazione idraulica - SUAP Ghidini Rok revA.docx	
<i>Approvato da:</i> Ing. Ezio Rosa		

Revisioni:

<i>n</i>	<i>data</i>	<i>descrizione</i>
1	10/04/2023	Prima emissione
2	03/06/2024	Seconda emissione
3	10/07/2025	Terza emissione

## SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1 Premessa .....	3
1.2 Riferimenti normativi .....	4
2. STATO DI FATTO DEI LUOGHI .....	5
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....	6
4. DATI DI PROGETTO .....	7
5. PROCEDURA DI CALCOLO DETTAGLIATA .....	10
5.1 Individuazione del ricettore .....	10
5.2 Descrizione delle opere idrauliche .....	10
5.3 Definizione della curva di possibilità pluviometrica.....	12
5.4 Definizione dello ietogramma di progetto.....	15
5.5 Calcolo dell'idrogramma netto .....	16
5.6 Dimensionamento dei processi di infiltrazione .....	17
5.7 Dimensionamento degli invasi di laminazione.....	20
5.8 Dimensionamento dei collettori .....	25
5.9 Dimensionamento dello scarico terminale .....	30
5.10 Verifica del grado di sicurezza.....	30

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Premessa

La presente relazione idraulica si riferisce alle opere di raccolta, convogliamento e smaltimento delle acque meteoriche di dilavamento delle coperture e delle aree pavimentate esterne al nuovo edificio produttivo da realizzare nel comparto produttivo della società Depositi Ghidini Rok s.r.l., in Via G. di Vittorio nell'area industriale del comune di Brescia (BS), da attuarsi mediante procedura di SUAP in variante al Piano di Governo del Territorio comunale.

Gli interventi devono garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica ed idrologica così come stabilito dal Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n. 7 pubblicato sul supplemento n. 48 BURL del 27 novembre 2017, modificato dal Regolamento Regionale n. 8 del 19/04/2019.

Ai sensi dell'Art. 58 bis della Legge Regionale n. 12 del 2005, sono infatti soggetti al principio di invarianza idraulica ed idrologica, gli interventi edilizi definiti dall'articolo 3, comma 1, lettere d), e) ed f) del D.P.R. n. 380/2001 e tutti gli interventi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione. Inoltre, l'Art. 3 del citato Regolamento Regionale inserisce fra gli interventi assoggettati al rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica tutti gli interventi di nuova costruzione ai sensi del D.P.R. 06/06/2001 n. 380.



Figura 1: Inquadramento dell'ambito di intervento

## **1.2 Riferimenti normativi**

D.lgs. 3 aprile 2006 n.152 - Norme in materia ambientale (TU ambiente)

D.lgs. 16 gennaio 2008 n.4 - Disposizioni correttive e integrative del D.lgs 03/04/06 n. 152

L.R. Lombardia n. 12 del 11/03/2005 - Legge Regionale per il governo del territorio

R.R. Lombardia n. 4 del 24/03/2006 - Acque di prima pioggia e di lavaggio aree esterne

R.R. Lombardia n. 3 del 24/03/2006 - Scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie

R.R. Lombardia n. 2 del 24/03/2006 - Uso acque superficiali e sotterranee, uso acque potabili

R.R. Lombardia n. 7 del 27/11/2017 - Invarianza idraulica ed idrologica

R.R. Lombardia n. 8 del 19/04/2019 - Invarianza idraulica ed idrologica

## 2. STATO DI FATTO DEI LUOGHI

L'ambito in esame ricade nell'area industriale situata a sud-ovest della città di Brescia, fra la tangenziale Ovest e l'Autostrada A4, in un lotto a destinazione produttiva già in parte edificato.

L'area interessata dal nuovo edificio è costituita da una porzione di piazzali del comparto produttivo e da un'area verde, parte incolta e parte utilizzata ai fini agricoli. L'area di intervento, già connessa con i piazzali dell'attività produttiva, si presenta pianeggiante, priva di recinzioni verso il settore agricolo e, laddove presenti, dotata di pavimentazioni in calcestruzzo.



Figura 2: Planimetria dello stato di fatto

### 3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il nuovo edificio sarà composto da un unico corpo di fabbrica a forma rettangolare allungata con andamento Est-Ovest, avente dimensioni di circa 227 m per 43 m. Verso sud sarà direttamente connesso con i piazzali pavimentati in asfalto delle attività industriali esistenti, mentre a nord il fabbricato è circondato da un'aiuola verde avente anche funzione di mitigazione ambientale e paesaggistica, oltre la quale si sviluppa un nuovo piazzale pavimentato in asfalto che si estende fino alle aree verdi, prive di sistemi di raccolta delle acque meteoriche.



Figura 3: Planimetria generale di progetto

L'intero lotto ha una dimensione di **108.063 m<sup>2</sup>** ed è caratterizzato da un'area verde posta a ovest di 7.966 m<sup>2</sup>. Una parte dell'area verde posta a nord resta di proprietà esclusiva del soggetto proponente con funzione di mitigazione visiva ed acustica per un totale di 4.795 m<sup>2</sup>, i restanti 32.957 m<sup>2</sup> vengono destinati a bosco urbano naturalistico ad uso pubblico.

L'area di intervento riguarda una porzione del lotto pari a 17.525,67 m<sup>2</sup>, di cui 1.007 m<sup>2</sup> dedicate ad aiuole verdi.

#### **4. DATI DI PROGETTO**

L'intervento rientra tra quelli individuati alla lettera b) del comma 2 dell'Art. 3 del regolamento regionale n. 7 del 23/11/2017, ovvero tra quelli relativi alla nuova costruzione così come definiti dall'art. 3, comma 1, lettera e) del D.P.R. 380/2001 e, pertanto, soggetto al soddisfacimento dei criteri di invarianza idraulica e idrologica stabiliti dall'Art. 58bis della Legge Regionale n. 12 del 11/03/2005 e dal citato regolamento regionale.

Nell'Allegato C del R.R. 7/2017, il comune di Brescia è classificato in area a criticità idraulica A - "alta criticità idraulica", con coefficiente P pari a 1.

La portata specifica massima ammissibile allo scarico nel ricettore, per le aree così classificate ai sensi dell'Art. 8 del R.R. 7/2017, risulta  $u_{lim}$  pari a 10 l/s per ogni ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, fatte salve limitazioni più restrittive che possono essere prescritte dall'ente gestore o dal proprietario del ricettore. Tali limitazioni sono valide solo nel caso in cui lo scarico avvenga per immissione in un corpo idrico superficiale, naturale o artificiale, o nella rete fognaria.

Per interventi che interessano una superficie maggiore di 300 m<sup>2</sup> in aree a criticità idraulica A, l'Art. 12 del R.R. 7/2017 prescrive la realizzazione di uno o più invasi di laminazione aventi una capacità minima complessiva di 800 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento moltiplicato per il coefficiente P, nel nostro caso pari a 0,8, fatta salva l'adozione del volume minimo derivante dalle verifiche idrauliche, qualora questo risultasse maggiore di quanto prescritto dall'Art. 12. La capacità minima prescritta dall'Art. 12 è ridotta del 30% nel caso in cui si realizzino solo strutture di infiltrazione senza che vi siano scarichi nei ricettori, purché i calcoli di infiltrazione siano basati su prove di permeabilità, rispondenti ai requisiti riportati nell'Allegato F del R.R.

Tab. 1	PARAMETRI DELL'INTERVENTO
Comune	Brescia
Criticità idraulica del comune	A
Coefficiente P	0,8
L'intervento rientra in ambiti di trasformazione o piani attuativi	Si
Criticità idraulica di progetto	A
Portata specifica ammissibile allo scarico <sup>(1)</sup>	10 l/(s ha)
Superficie fondiaria complessiva	108.063 m <sup>2</sup>
Superficie scolante totale del bacino <sup>(2)</sup>	61.339 m <sup>2</sup>
Superficie scolante impermeabile del bacino	61.339 m <sup>2</sup>
Superficie scolante impermeabile dell'intervento <sup>(3)</sup>	16.519 m <sup>2</sup>
Ricettore	Fognatura
Portata allo scarico ammessa dal gestore del ricettore	-
Volume minimo invasi di laminazione (Art. 12 del R.R. 7/2017) <sup>(4)</sup>	800 m <sup>3</sup> /ha

(1) fatte salve richieste più restrittive del gestore del ricettore

(2) escluse le aree verdi prive di sistemi di raccolta delle acque

(3) escluse le aree non oggetto di intervento

(4) riducibile del 30% in caso di sola infiltrazione e con prove di permeabilità come Allegato F

Le acque meteoriche di dilavamento verranno gestite come segue:

Acque di prima e seconda pioggia: nell'area oggetto di studio si insedierà un'attività produttiva non soggetta all'obbligo di separazione delle acque di prima pioggia.

Acque pluviali: verranno gestite in modo unitario per tutto l'insediamento.

Ai sensi dell'Art. 11 comma 2 lettera d) del regolamento regionale, la valutazione delle perdite idrologiche per il calcolo dell'idrogramma netto di piena in arrivo nelle opere di laminazione può essere effettuata adottando i seguenti coefficienti di deflusso per ogni superficie scolante omogenea dell'intervento:

$\phi=1$  per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, e pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;

$\phi=0,7$  per i tetti verdi, i giardini pensili e le aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque e per pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili, di strade, vialetti, parcheggi;

$\phi=0,3$  per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi, solo se munite di sistemi

di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo.

Nel seguito si riporta la tabella con indicate le superfici scolanti di progetto ed il calcolo del coefficiente di deflusso medio ponderale.

Tab. 2 SUPERFICI SCOLANTI DI PROGETTO				
Superfici scolanti	A [m <sup>2</sup> ]	$\phi'$	A <sub>imp</sub> [m <sup>2</sup> ]	$\phi$
Superficie scolante <u>totale</u> del bacino	61.339			
Sotto aree impermeabili	61.339	1,0	61.339	<b>1,00</b>
Sotto aree semipermeabili <sup>(1)</sup>		0,7		
Sotto aree permeabili <sup>(2)</sup>		0,3		
<b>Superficie scolante impermeabile del bacino</b>			<b>61.339</b>	
Superficie scolante <u>interessata</u> dall'intervento	16.519			
Sotto aree impermeabili	16.519	1,0	16.519	<b>1,00</b>
Sotto aree semipermeabili <sup>(1)</sup>		0,7		
Sotto aree permeabili <sup>(2)</sup>		0,3		
<b>Superficie scolante impermeabile dell'intervento</b>			<b>16.519</b>	

(1) incluse le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite dal progetto

(2) escluse le aree verdi prive di sistemi di raccolta dell'acqua

Noti la superficie interessata dall'intervento ed il coefficiente di deflusso medio ponderale è possibile definire la classe di intervento secondo quanto stabilito dall'Art. 9 e dalla Tabella 1 del regolamento regionale che, per il caso in esame, risulta essere di Classe 3 – “Impermeabilizzazione potenziale alta”, alla quale corrisponde la modalità di calcolo da adottare che, nel caso specifico, risulta essere la “Procedura dettagliata” di cui all'Art. 11 del R.R. 7/2017.

Tab. 3		INDIVIDUAZIONE DELLA MODALITA' DI CALCOLO			
CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE SCOLANTE IMPERMEABILE DELL'INTERVENTO	COEFFICIENTE di DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITA' DI CALCOLO	
				Ambiti Territoriali	
				Criticità A, B	Criticità C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha	qualsiasi	Requisiti minimi Art. 12, comma 1 del R.R. 7/2017	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha	≤ 0,4	Requisiti minimi Art. 12, comma 2 del R.R. 7/2017	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha da > 0,1 a ≤ 1 ha da > 1 a ≤ 10 ha	> 0,4 qualsiasi ≤ 0,4	Metodo delle sole piogge Art. 11 e All. G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha > 10 ha	> 0,4 qualsiasi	Procedura dettagliata Art. 11 e All. G)	

## **5. PROCEDURA DI CALCOLO DETTAGLIATA**

### **5.1 Individuazione del ricettore**

Il presente progetto prevede che lo smaltimento delle acque meteoriche scolanti sulla copertura e sulle aree esterne avvenga per infiltrazione negli strati superficiali del sottosuolo mediante la realizzazione di una vasca di laminazione collegata ad una batteria di pozzi perdenti opportunamente dimensionata. Le aree verdi, considerata la loro conformazione pianeggiante, potranno drenare l'acqua pluviale direttamente attraverso la loro superficie permeabile.

Considerato che l'area di intervento risulta compresa nel "Sito inquinato Brescia-Caffaro" con ordinanza sindacale, i pozzi perdenti saranno costituiti da anelli chiusi, non drenanti per i primi 2 m dal piano campagna, in modo tale che la filtrazione nel sottosuolo avvenga solo a partire da tale quota in giù, senza interessare pertanto i terreni più superficiali, che risultano essere quelli potenzialmente inquinati.

Pertanto, per lo smaltimento delle acque pluviali relative al lotto in argomento, non è previsto alcuno scarico in un ricettore.

### **5.2 Descrizione delle opere idrauliche**

Si prevede la raccolta delle acque piovane scolanti sulle superfici impermeabili dei piazzali che saranno intercettate con caditoie e convogliate nelle condotte interrato che le conducono ai sistemi di laminazione e smaltimento per dispersione nel sottosuolo. Allo stesso modo le acque scolanti sulle coperture dei fabbricati saranno convogliate a terra mediante pluviali opportunamente distribuiti e condotte ai sistemi di laminazione e smaltimento attraverso la rete fognaria interrata.

La laminazione sarà garantita da una vasca di laminazione collocata al di sotto del piazzale nell'area 2B. Essa avrà una superficie lorda in pianta di circa  $525 \text{ m}^2$  ed un volume utile di  $674 \text{ m}^3$  circa, corrispondente ad un battente di 1,40, a valle del quale è prevista la dispersione nel sottosuolo mediante una batteria di 20 pozzi drenanti. Come già accennato al paragrafo precedente, a causa dell'ordinanza sindacale relativa al "Sito inquinato Brescia-Caffaro" i pozzi perdenti saranno costituiti da anelli chiusi, non drenanti per i primi 2 m dal piano campagna, in modo tale che la filtrazione nel sottosuolo avvenga solo a partire da tale quota in giù, senza interessare pertanto i terreni più superficiali, che risultano essere quelli potenzialmente inquinati.

I collettori, sino al diametro di 315 mm, saranno in PVC rigido serie SN4 con giunti a bicchiere, rispondenti alla norma EN 1401, protetti da una calotta continua in calcestruzzo. Per i diametri da 400 mm in su, si adotteranno tubazioni circolari in cemento autoportanti conformi alla norma EN 1916, con piano di posa e incastro a bicchiere. I collettori principali saranno posati con una pendenza

minima dello 0,5% al fine di contenere la velocità di deflusso verso il sistema di dispersione, mentre potranno avere pendenze superiori nei tratti più brevi.

Le caditoie saranno realizzate con pozzetti sifonati in cemento aventi dimensioni interne di 45x45 cm con sovrastante griglia in ghisa classe C250 o D400 in funzione della loro posizione.

Lungo le condotte sono previsti pozzetti di ispezione prefabbricati in c.a.v. con chiusini in ghisa classe C250 e D400, secondo la norma EN 124, a seconda della loro collocazione rispetto alla carreggiata stradale. I pozzetti di ispezione avranno dimensioni interne comprese fra i 60x60 cm e gli 80x80 cm, proporzionate ai diametri delle tubazioni che li attraversano, e saranno posti ad intervalli non superiori a 40 m, al fine di consentire una adeguata accessibilità ai condotti in caso di necessità.

I pozzi disperdenti sono realizzati con anelli circolari in calcestruzzo armato di 2,00 m di diametro, muniti di fori di drenaggio su tutta la superficie delle pareti, circondati da uno strato drenante in ghiaia e ciottoli dello spessore di almeno un metro e separato dal terreno naturale mediante un telo in geotessuto in fibra di propilene imputrescibile.

La permeabilità del suolo, calcolata mediante la prova Lefranc, è pari a  $1,1 \times 10^{-4}$  come descritto nella relazione redatta dal dott.re Geol. Valcarengghi dello *Studio Tesis* datata 5 luglio 2025.

Nel progetto, si prevede inoltre la realizzazione di una vasca di raccolta dell'acqua piovana per utilizzi irrigui. La vasca potrà contenere fino a 21'000 litri e sarà alimentata dalla sola pioggia scolante sulla superficie della copertura, garantendo così lo stoccaggio di acqua il più possibile pulita. Viste le notevoli dimensioni della copertura, solo parte della copertura est sarà collettata a tale vasca, la quale sarà dotata di un pozzetto di by-pass con funzione di troppo pieno. Maggiori dettagli sono visionabili nelle tavole allegate.

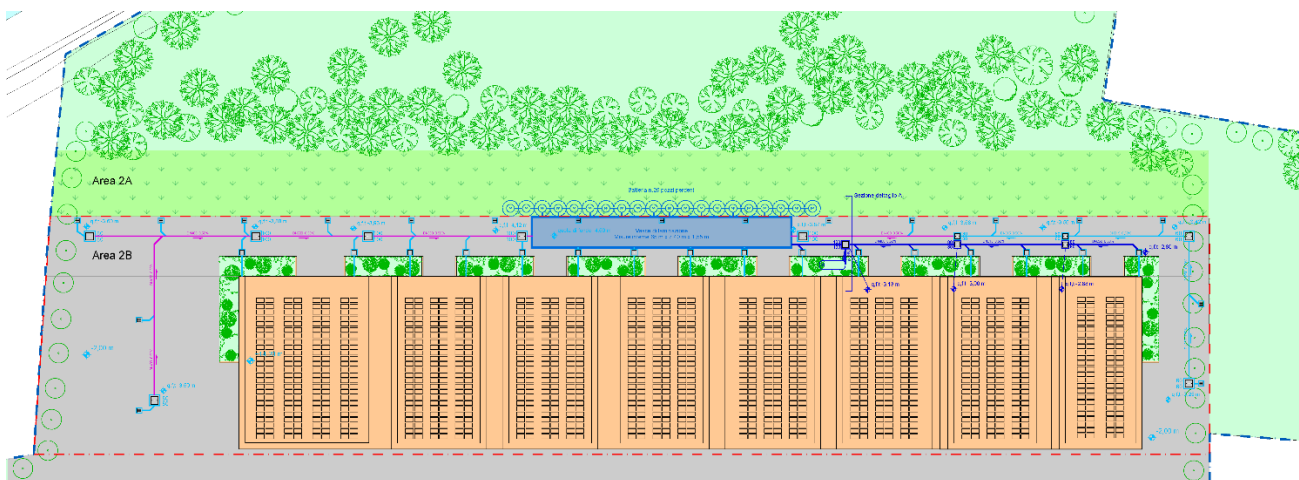


Figura 4: Planimetria rete fognaria

### 5.3 Definizione della curva di possibilità pluviometrica

Per l'individuazione delle piogge di progetto si procede alla definizione della curva di possibilità pluviometrica per precipitazione di forte intensità e breve durata, responsabili dei massimi deflussi, relative all'area di intervento. La curva di possibilità pluviometrica, detta anche linea segnalatrice di probabilità pluviometrica, esprime la relazione tra l'altezza e la durata della pioggia per una determinata località e per un assegnato periodo di ritorno.

Lo studio delle linee segnalatrici viene svolto mediante l'elaborazione dei dati relativi a serie storiche di piogge massime annuali, riferite a varie durate, registrati da uno stesso pluviografo per un periodo di tempo significativo, in genere riferito agli ultimi 20 o 30 anni. La curva di possibilità pluviometrica si ottiene trattando il campione di dati con il metodo statistico - probabilistico della distribuzione di Gumbel, per giungere ad una funzione capace di rappresentare con ragionevole approssimazione la distribuzione reale dell'altezza di pioggia in funzione del tempo.

La forma della curva di possibilità pluviometrica risulta essere:

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

dove:

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

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per un dato tempo di ritorno da assumere per la determinazione delle precipitazioni di progetto sono quelli riportati da ARPA Lombardia per tutte le località del territorio regionale sul sito del Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia e riassunti nella tabella che segue per durata dell'evento di 1 – 24 ore:

Tab. 4		PARAMETRI DELLA LINEA SEGNALATRICE 1 - 24 ore *	
PARAMETRO		VALORE	
A1	Coefficiente pluviometrico orario	28,26	
N	Coefficiente di scala	0,50	
GEV	Parametro alpha	0,2813	
GEV	Parametro kappa	-0,0281	
GEV	Parametro epsilon	0,8295	

\* Per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro n per il quale si indica il valore N=0,50 in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica.

Come prescritto dal comma 2 dell'Art. 11 del regolamento regionale, si assume un tempo di ritorno

di 50 anni per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e idrologica, ottenendo i parametri riportati nella tabella che segue per la curva di possibilità pluviometrica di progetto nella forma:

$$h = a \cdot t^n$$

Tab. 5		PARAMETRI DELLA LINEA SEGNALATRICE 1 - 24 ore
PARAMETRO		VALORE
Tr	Periodo di ritorno	50 anni
a	Coefficiente pluviometrico orario	56,2247
n	Coefficiente di scala	0,50

Il dettaglio della curva di possibilità pluviometrica per il sito in esame con un tempo di ritorno di 50 anni è riportato nella scheda che segue:



## Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: Brescia

Coordinate: 590706.66074075, 5041715.2275954

Linea segnatrice

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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 28,26

N - Coefficiente di scala 0,5

GEV - parametro alpha 0,2813

GEV - parametro kappa -0,0281

GEV - parametro epsilon 0,8295

Tempo di ritorno (anni) 50

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

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

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

Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/manual/dsop.pdf>

[http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf)

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

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,93313	1,26045	1,48297	1,70087	1,98955	2,21088	2,43576	1,98954994
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	26,4	35,6	41,9	48,1	56,2	62,5	68,8	56,2246814
2	37,3	50,4	59,3	68,0	79,5	88,4	97,3	79,513707
3	45,7	61,7	72,6	83,3	97,4	108,2	119,2	97,3840048
4	52,7	71,2	83,8	96,1	112,4	125,0	137,7	112,449363
5	59,0	79,6	93,7	107,5	125,7	139,7	153,9	125,72221
6	64,6	87,3	102,7	117,7	137,7	153,0	168,6	137,72178
7	69,8	94,2	110,9	127,2	148,8	165,3	182,1	148,756525
8	74,6	100,7	118,5	136,0	159,0	176,7	194,7	159,027414
9	79,1	106,9	125,7	144,2	168,7	187,4	206,5	168,674044
10	83,4	112,6	132,5	152,0	177,8	197,6	217,7	177,798054
11	87,5	118,1	139,0	159,4	186,5	207,2	228,3	186,476172
12	91,3	123,4	145,2	166,5	194,8	216,4	238,5	194,76801
13	95,1	128,4	151,1	173,3	202,7	225,3	248,2	202,720972
14	98,7	133,3	156,8	179,8	210,4	233,8	257,6	210,373494
15	102,1	138,0	162,3	186,2	217,8	242,0	266,6	217,757255
16	105,5	142,5	167,6	192,3	224,9	249,9	275,3	224,898726
17	108,7	146,9	172,8	198,2	231,8	257,6	283,8	231,8203
18	111,9	151,1	177,8	203,9	238,5	265,1	292,0	238,541121
19	114,9	155,3	182,7	209,5	245,1	272,3	300,0	245,077704
20	117,9	159,3	187,4	215,0	251,4	279,4	307,8	251,444419
21	120,8	163,2	192,1	220,3	257,7	286,3	315,4	257,653858
22	123,7	167,1	196,6	225,5	263,7	293,1	322,9	263,717132
23	126,5	170,8	201,0	230,5	269,6	299,6	330,1	269,644099
24	129,2	174,5	205,3	235,5	275,4	306,1	337,2	275,443561



### Linee segnatrici di probabilità pluviometrica

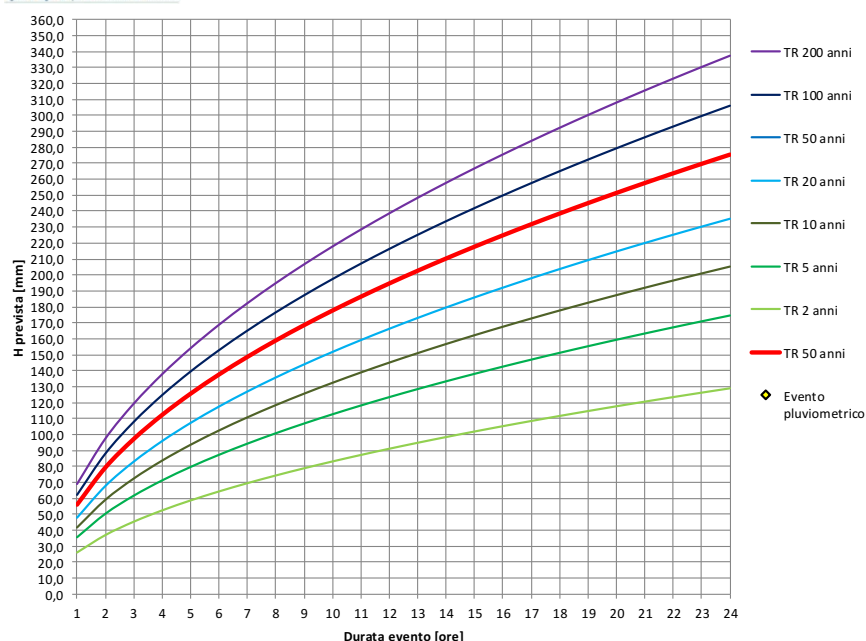


Figura 5: Curva di possibilità pluviometrica

## 5.4 Definizione dello ietogramma di progetto

A partire dalla curva di possibilità pluviometrica si deve operare la trasformazione afflussi - deflussi del bacino di riferimento sino alla sezione di ingresso nell'invaso di laminazione in progetto.

Si adotta uno ietogramma di progetto tipo Chicago che si può facilmente ottenere dalla curva di possibilità pluviometrica a due parametri del tipo  $h = a \cdot t^n$ , con le funzioni:

$$i(t) = a \cdot n \left( \frac{rT - t}{r} \right)^{n-1} \quad \text{valida per } t < rT \quad (\text{prima del picco})$$
$$i(t) = a \cdot n \left( \frac{t - rT}{1 - r} \right)^{n-1} \quad \text{valida per } t > rT \quad (\text{dopo il picco})$$

dove:

$r$ :  $0 \leq r \leq 1$  rappresenta la posizione relativa del picco (valori suggeriti tra 0,3 e 0,45 per durate paragonabili al tempo di corrivazione)

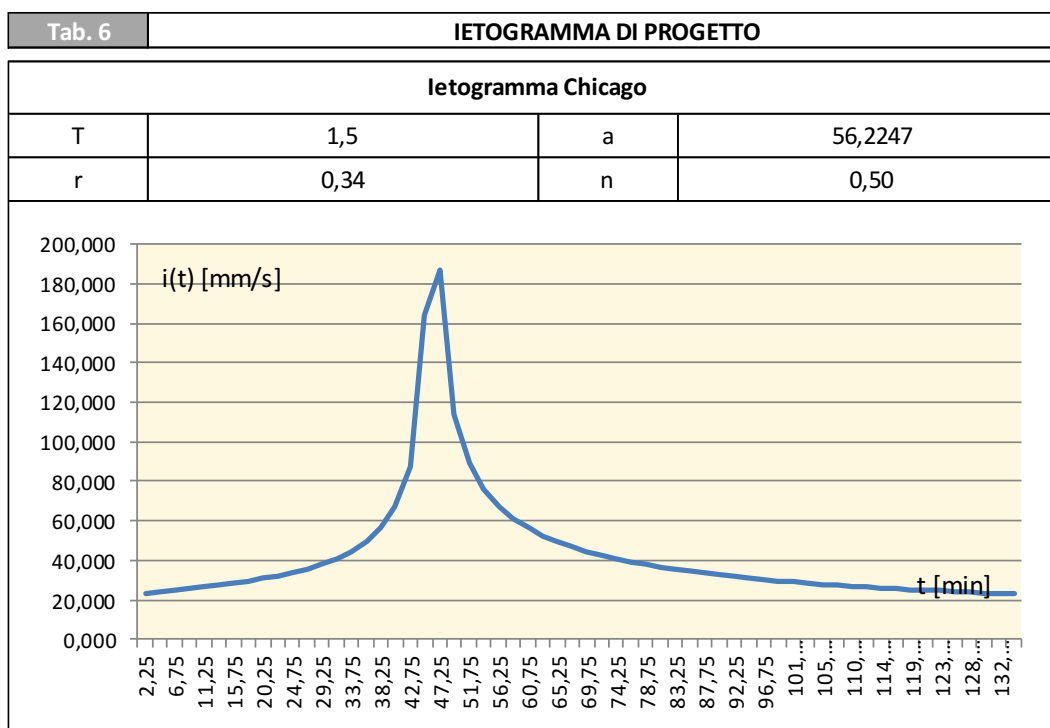
$t$ : tempo

$T$ : durata della pioggia

Con lo ietogramma Chicago il volume della precipitazione cumulata in qualsiasi istante  $h(t)$  è pari a quello fornito dalla curva di possibilità pluviometrica  $h = a \cdot t^n$  e il picco di intensità della precipitazione sarà posto ad un tempo  $rT$  dopo l'istante di inizio della pioggia.

Si assume una posizione del picco  $r = 0,34$  e una durata  $T = 1,5$  ore, sicuramente maggiore del tempo di corrivazione della rete drenante, stimabile in prima approssimazione in 14 minuti.

Nella tabella seguente si rappresenta lo ietogramma di progetto distribuito nell'arco della durata di 1,5 ora.



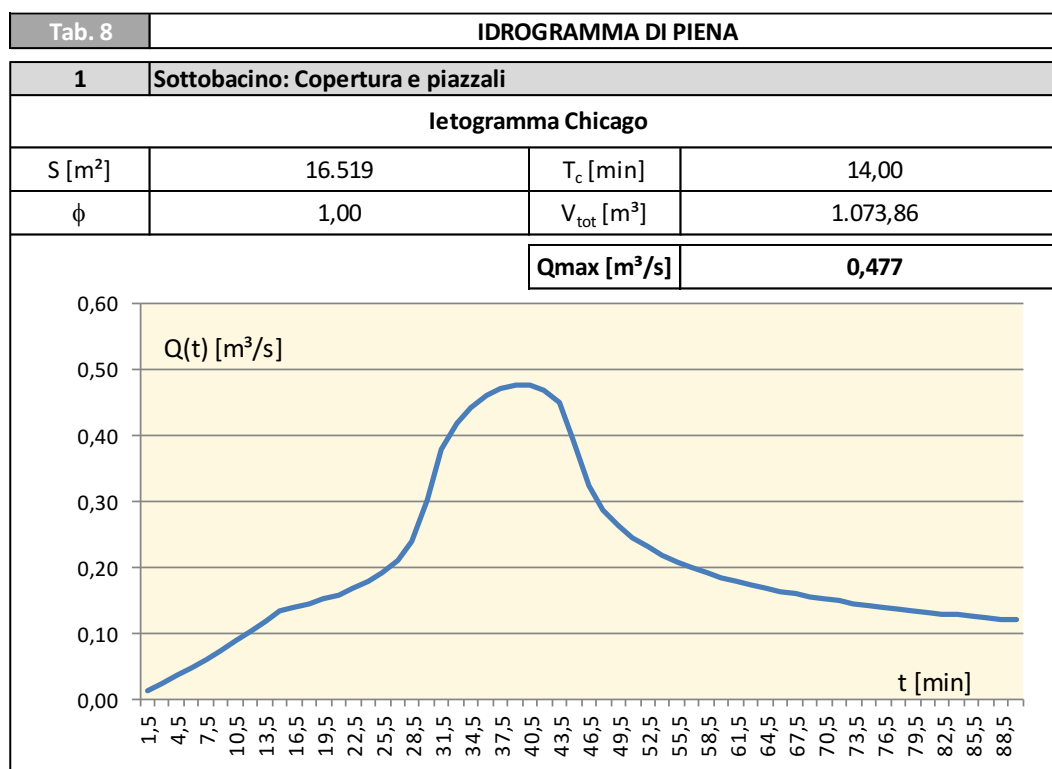
## 5.5 Calcolo dell'idrogramma netto

Si procede al calcolo dell'idrogramma netto in funzione delle perdite idrologiche dovute ai fenomeni di accumulo iniziale e infiltrazione, in relazione alle tipologie di suolo e delle opere in progetto. Il calcolo è condotto in via semplificata adottando i valori standard del coefficiente di deflusso indicati alla lett. d) del comma 2 dell'Art. 11 del regolamento regionale, dai quali si ricava il coefficiente di deflusso medio ponderale per ogni sottobacino, come illustrato nella tabella che segue:

Tab. 7 COEFFICIENTI DI DEFLUSSO MEDI PONDERALI				
Superfici scolanti		A [m <sup>2</sup> ]	$\phi'$	A <sub>imp</sub> [m <sup>2</sup> ]  $\phi$
<b>1</b>	<b>Sottobacino: Copertura e piazzali</b>			
	Superficie scolante totale del bacino <sup>(1)</sup>	<b>16.519</b>		
	Sotto aree impermeabili	16.519	1,0	16.519
	Sotto aree semipermeabili		0,7	
	Sotto aree permeabili		0,3	
	Superficie scolante impermeabile			<b>16.519</b> <b>1,00</b>

(1) ai soli fini del calcolo effettivo dei bacini di laminazione sono state escluse le aree dei marciapiedi esterni che smaltiscono direttamente nelle aree verdi. Queste aree sono invece state considerate per il calcolo del volume minimo di invaso prescritto dall'Art. 12 del R.R. 7/2017.

Per la definizione del modello di trasformazione afflussi netti-deflussi idoneo a rappresentare la formazione degli idrogrammi di piena delle sotto-aree e la loro propagazione e formazione dell'idrogramma complessivo in entrata  $Q_e(t)$  in corrispondenza della sezione di ingresso degli invasi di laminazione in progetto, si adotta il modello di trasformazione aree - tempi (metodo di corrivazione) del bacino afferente a ciascun invaso. Si ottiene il seguente idrogramma in entrata al sistema di laminazione avente un picco massimo di portata complessiva pari a  $0,477 \text{ m}^3/\text{s}$  circa, superiore rispetto alla portata limite di scarico ammissibile nel ricettore, pari a  $0,016519 \text{ m}^3/\text{s}$ , mentre il volume complessivo della pioggia di progetto entrante nell'invaso è pari a circa  $1.073,86 \text{ m}^3$ .



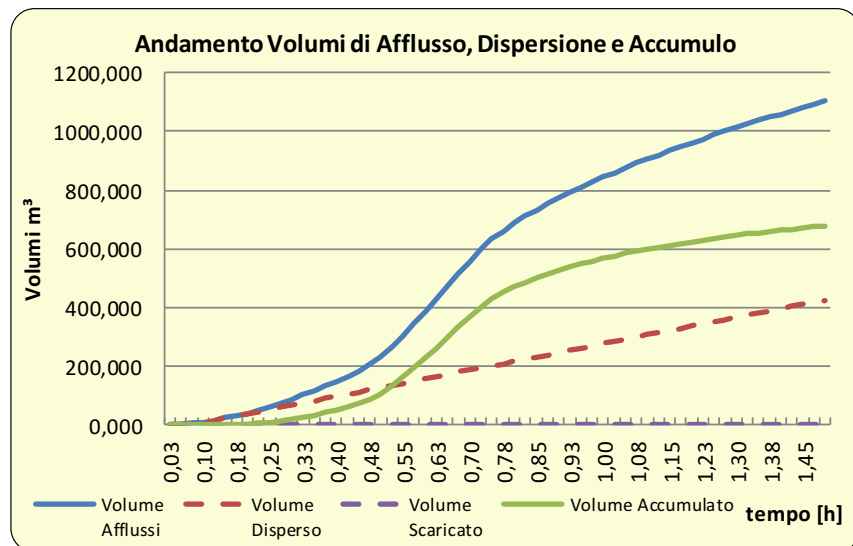
## 5.6 Dimensionamento dei processi di infiltrazione

Per consentire il dimensionamento degli invasi di laminazione è necessario determinare anche l'idrogramma uscente  $Q_u(t)$  attraverso il sistema di scarico del bacino e, quindi, verificare:

- il rispetto del valore della portata limite ammissibile che può essere scaricata nel ricettore  $u_{lim}$ , Art. 8 del regolamento regionale (come già definita nel § 4);
- il rispetto del tempo massimo di svuotamento degli invasi, lettera f), comma 2, Art. 11 del regolamento regionale: 48 ore.

Nel caso in esame la verifica di cui alla lettera a) non si rende necessaria in quanto il progetto non prevede scarichi in un ricettore, ma solo dispersione negli strati superficiali del sottosuolo.

Tab. 9,1		DIMENSIONAMENTO POZZI DISPERDENTI	
1	Sottobacino: Copertura e piazzali		
Parametri idrologici			
Tempo di ritorno ( $T_r$ )		[anni]	50 anni
Coefficiente pluviometrico orario (a)			56,22
Coefficiente di scala (n)			0,50
Superficie scolante			
Superficie (S)		[m <sup>2</sup> ]	16.518,67
Coefficiente di afflusso ( $\varphi$ )			1,00
Geometria dei pozzi disperdenti			
Diametro pozzo		[m]	2,00
Spessore materiale drenante attorno al pozzo		[m]	1,00
Porosità materiale drenante			25%
Altezza utile di invaso		[m]	3,50
Altezza massima di dispersione laterale		[m]	2,00
Superficie drenante (sup laterale+fondo)		[m <sup>2</sup> ]	37,7
Numero di pozzi			20
Volume disponibile nei pozzi		[m <sup>3</sup> ]	384,83
Portata di rilascio ammissibile a valle		[l/s]	0
Caratteristiche del sottosuolo			
Permealità terreno (v)		[m/s]	1,10E-04
Ietogramma di progetto			
Ietogramma tipo			Chicago
Posizione relativa del picco ( r )			0,34
Durata dell'evento (T)		[h]	1,50



#### Risultati del calcolo

Portata affluente massima	[m <sup>3</sup> /s]	<b>0,477</b>
Volume affluito	[m <sup>3</sup> ]	<b>1.103,18</b>
Volume disperso	[m <sup>3</sup> ]	<b>426,02</b>
Volume scaricato	[m <sup>3</sup> ]	<b>0,00</b>
Volume massimo accumulato	[m <sup>3</sup> ]	<b>677,16</b>
Volume richiesto (aggiuntivo rispetto ai pozzi)	[m <sup>3</sup> ]	<b>292,33</b>

Tabulato afflussi/dispersione/accumulo					
Tempo [h]	Portata di Afflusso [m³/s]	Volume Afflussi (m³)	Volume Disperso (m³)	Volume Scaricato (m³)	Volume Accumulato (m³)
0,03	0,012	1,041	1,04	0,00	0,00
0,05	0,023	3,152	3,15	0,00	0,00
0,08	0,036	6,363	6,36	0,00	0,00
0,10	0,048	10,706	10,71	0,00	0,00
0,13	0,061	16,218	16,22	0,00	0,00
0,15	0,075	22,939	22,94	0,00	0,00
0,18	0,089	30,913	30,40	0,00	0,51
0,20	0,103	40,190	37,87	0,00	2,32
0,23	0,118	50,826	45,33	0,00	5,49
0,25	0,134	62,883	52,80	0,00	10,09
0,28	0,139	75,396	60,26	0,00	15,13
0,30	0,145	88,422	67,73	0,00	20,70
0,33	0,151	102,034	75,19	0,00	26,84
0,35	0,159	116,327	82,65	0,00	33,67
0,38	0,168	131,425	90,12	0,00	41,31
0,40	0,179	147,501	97,58	0,00	49,92
0,43	0,192	164,812	105,05	0,00	59,76
0,45	0,211	183,781	112,51	0,00	71,27
0,48	0,239	205,268	119,98	0,00	85,29
0,50	0,304	232,586	127,44	0,00	105,15
0,53	0,379	266,659	134,91	0,00	131,75
0,55	0,417	304,201	142,37	0,00	161,83
0,58	0,442	344,021	149,83	0,00	194,19
0,60	0,460	385,396	157,30	0,00	228,10
0,63	0,471	427,777	164,76	0,00	263,01
0,65	0,477	470,672	172,23	0,00	298,44
0,68	0,477	513,566	179,69	0,00	333,87
0,70	0,469	555,819	187,16	0,00	368,66
0,73	0,451	596,373	194,62	0,00	401,75
0,75	0,393	631,737	202,09	0,00	429,65
0,78	0,323	660,814	209,55	0,00	451,26
0,80	0,288	686,714	217,01	0,00	469,70
0,83	0,264	710,451	224,48	0,00	485,97
0,85	0,246	732,553	231,94	0,00	500,61
0,88	0,231	753,348	239,41	0,00	513,94
0,90	0,219	773,060	246,87	0,00	526,19
0,93	0,209	791,853	254,34	0,00	537,52
0,95	0,200	809,850	261,80	0,00	548,05
0,98	0,192	827,151	269,27	0,00	557,89
1,00	0,185	843,832	276,73	0,00	567,10
1,03	0,179	859,959	284,19	0,00	575,76
1,05	0,174	875,584	291,66	0,00	583,93
1,08	0,169	890,753	299,12	0,00	591,63
1,10	0,164	905,505	306,59	0,00	598,92
1,13	0,160	919,872	314,05	0,00	605,82
1,15	0,156	933,885	321,52	0,00	612,37
1,18	0,152	947,568	328,98	0,00	618,59
1,20	0,149	960,944	336,45	0,00	624,50
1,23	0,145	974,034	343,91	0,00	630,12
1,25	0,142	986,854	351,37	0,00	635,48
1,28	0,140	999,422	358,84	0,00	640,58
1,30	0,137	1011,751	366,30	0,00	645,45
1,33	0,134	1023,856	373,77	0,00	650,09
1,35	0,132	1035,747	381,23	0,00	654,52
1,38	0,130	1047,437	388,70	0,00	658,74
1,40	0,128	1058,934	396,16	0,00	662,77
1,43	0,126	1070,249	403,62	0,00	666,62
1,45	0,124	1081,389	411,09	0,00	670,30
1,48	0,122	1092,363	418,55	0,00	673,81
1,50	0,120	1103,178	426,02	0,00	677,16

Pertanto, il sistema di infiltrazione sarà costituito da una batteria di  $n. 20$  pozzi perdenti aventi diametro  $2,00\text{ m}$ , circondati da un cuscinetto drenante avente larghezza  $1,00\text{ m}$ , realizzato con ciottoli lavati, separati dal terreno naturale con uno strato di geotessuto filtrante. I pozzi avranno una profondità di  $3,50\text{ m}$  ( $4,00\text{ m}$  dal piano campagna), di cui  $2,00\text{ m}$  è l'altezza utile di infiltrazione, e al di sotto di essi sarà steso uno strato di dreno in ghiaia avente un'altezza di  $50\text{ cm}$ . Il volume utile per il complesso dei pozzi perdenti, comprensivo del volume dei vuoti degli strati drenanti, è pari a  $384,83\text{ m}^3$ .

## 5.7 Dimensionamento degli invasi di laminazione

I fattori che influiscono sull'effetto di laminazione operato da un invaso di tipo statico sono il volume massimo in esso contenibile, la sua geometria e le caratteristiche delle opere di scarico.

Il processo di laminazione nel tempo  $t$  è descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1)$$

- legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso:

$$Q_u(t) = Q_u[H(t)] \quad (2)$$

curva d'invaso, esprime il legame geometrico tra il volume invasato ed il battente idrico  $H$  nell'invaso:

$$W = W[H(t)] \quad (3)$$

dove  $Q_e(t)$  rappresenta la portata entrante nell'insieme degli invasi di laminazione,  $Q_u(t)$  quella complessivamente uscente dai sistemi delle opere di scarico e/o di infiltrazione e/o di riuso,  $W(t)$  il volume invasato,  $H(t)$  il battente idrico nell'invaso.

Nota l'onda di piena entrante  $Q_e(t)$  e note le funzioni (2) e (3) riferite alle effettive caratteristiche geometriche ed idrauliche dei sistemi di scarico e all'effettiva geometria dell'invaso, l'integrazione del sistema (1) (2) (3) consente di calcolare le tre funzioni incognite  $Q_u(t)$ ,  $H(t)$  e  $W(t)$ .

Il calcolo viene effettuato con riferimento alla piena entrante  $Q_e(t)$  determinata dall'evento di progetto, adottando le soluzioni progettuali affinché la portata uscente  $Q_u(t)$  sia sempre inferiore o al massimo uguale al limite massimo di scarico ulim, indicato al § 4, e il tempo di svuotamento del

volume invasato sia inferiore a 48 ore.

Il sistema composto dalle tre equazioni è integrabile in forma chiusa solo quando le relazioni (2) e (3) e l'onda di piena in ingresso all'invaso siano rappresentabili mediante funzioni analitiche.

Più frequentemente, la portata in ingresso all'invaso è una funzione non esprimibile analiticamente, come nel caso di un'onda di piena conseguente ad una pioggia reale; oppure il legame volume invasato battente idrico può essere notevolmente complicato a causa della geometria dell'invaso. Infine, anche la legge di efflusso può essere non facilmente rappresentabile, come ad esempio si verifica nel caso in cui si hanno diversi dispositivi in uscita, di caratteristiche differenti e predisposti per entrare in funzione a diverse quote idriche. In tutti questi casi il sistema delle equazioni (1), (2), (3) deve essere integrato numericamente alle differenze finite.

Una volta risolto il sistema di equazioni e quindi calcolate le funzioni incognite  $Q_u(t)$ ,  $H(t)$  e  $W(t)$ , se ne possono individuare i rispettivi valori massimi  $Q_{u,max}$ ,  $H_{max}$  e  $W_{max}$ , verificando che essi siano compatibili con i vincoli assegnati.

Tali valori massimi si verificano nella fase di decrescita della piena entrante e in particolare nell'istante in cui la portata in uscita  $Q_u$  diventa pari alla portata entrante  $Q_e$ ; infatti quando tali due portate coincidono, l'equazione di continuità (1) mostra che nello stesso istante vale  $dW/dt = 0$ , che indica la condizione di massimo  $W_{max}$  della funzione  $W(t)$ , con conseguente condizione di massimo anche delle funzioni  $Q_u(t)$  e  $H(t)$  dati i legami biunivoci (2) e (3) che legano tali funzioni al volume di invasato  $W$ .

Calcolando quindi il processo di laminazione con le equazioni (1), (2), (3), in funzione di un idrogramma uscente dall'invaso caratterizzato dalla filtrazione negli strati superficiali del sottosuolo attraverso i pozzi di dispersione, con portata massima complessivamente pari a 82,94 l/s, si ottiene che, nell'istante di massimo invasato, il volume complessivo dell'insieme dei bacini di laminazione raggiunge il valore di 677,16 m<sup>3</sup> che risulta il volume di calcolo dell'insieme degli invasi, di cui 292,33 m<sup>3</sup> è il volume accumulato nel solo bacino di laminazione e 384,83 m<sup>3</sup> quello accumulato nei pozzi perdenti.

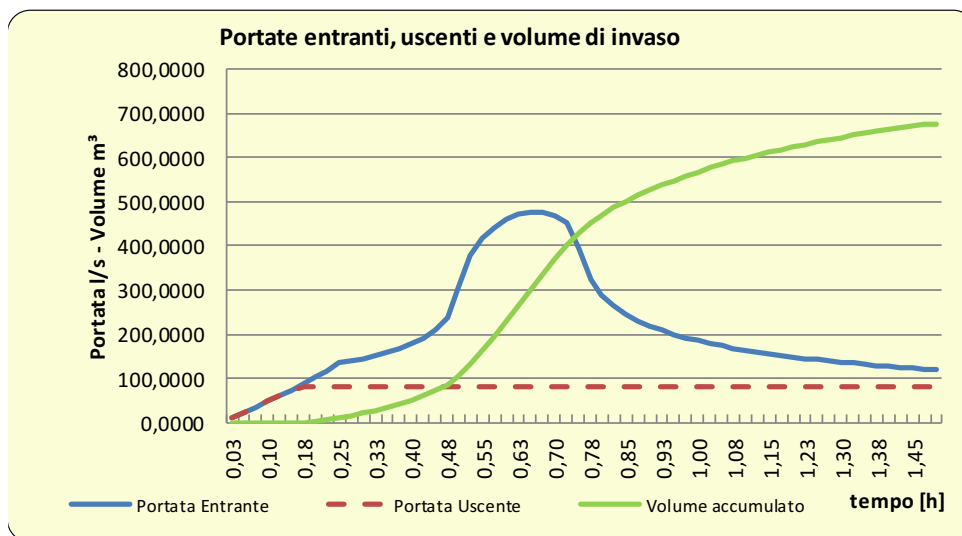
Il volume ottenuto è inferiore al volume derivante dal parametro di requisito minimo stabilito al comma 2 dell'articolo 12 del regolamento regionale, pari a 800 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile, per aree di alta criticità, moltiplicato per il coefficiente P, nel nostro caso pari a 0,8, comportando una volumetria minima dell'insieme degli invasi di laminazione pari a 800 x 0,8 x 1,651 ha = 1.057,19 m<sup>3</sup> che, quindi, si assume come valore minimo di riferimento.

Il progetto prevede la realizzazione di un invasato di laminazione composto dalla batteria di pozzi perdenti il cui volume utile complessivo, come descritto al paragrafo precedente, ammonta a 384,83

$m^3$  e dal bacino di laminazione della capacità di  $673,4 m^3$ , in corrispondenza del battente idraulico di  $1,40 m$  che, sommati assieme, costituiscono un volume di invaso complessivo dei bacini di laminazione pari a  $1058,23 m^3 > 1.057,19 m^3$  e quindi verificato.

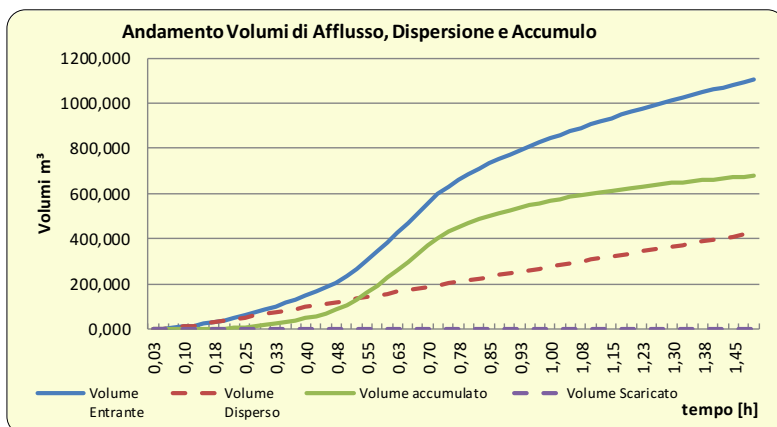
Il tempo di svuotamento del sistema di invasi, calcolato con riferimento alla volumetria effettivamente accumulata al termine dell'evento meteorico e non a quella derivante dal requisito minimo, nel caso più gravoso è pari a  $677.160 / 82,94 / 3.600 = 2,27 h < di 48 h$  stabilite dalla lettera f), comma 2 dell'Art. 11 del regolamento regionale.

Tab. 10.1		DIMENSIONAMENTO INVASI DI LAMINAZIONE	
1	Sottobacino: Copertura e piazzali		
Parametri idrologici			
Tempo di ritorno ( $T_r$ )	[anni]	50 anni	
Coefficiente pluviometrico orario (a)		56,22	
Coefficiente di scala (n)		0,50	
Superficie scolante			
Superficie (S)	[m <sup>2</sup> ]	16.518,67	
Coefficiente di afflusso ( $\varphi$ )		1,00	
Geometria del bacino di laminazione			
Superficie media ( $S_v$ )	[m <sup>2</sup> ]	481,00	
Altezza massima del battente (H)	[m]	1,40	
Volume massimo di invaso ( $V_L$ )	[m <sup>3</sup> ]	673,40	
Caratteristiche dello scarico			
Diametro tubazione di efflusso ( $D_e$ )	[mm]	0	
Altezza del battente (dall'asse del tubo di efflusso) ( $h_e$ )	[m]	0,00	
Portata di massimo riempimento del tubo di scarico ( $Q_r$ )	[l/s]	0,00	
Portata massima effluente (scarico)	[l/s]	0,00	
Ietogramma di progetto			
Ietogramma tipo		Chicago	
Posizione relativa del picco ( r )		0,340	
Durata dell'evento (T)	[h]	1,50	



#### Risultati del calcolo

Portata entrante di colmo	[m <sup>3</sup> /s]	0,477
Volume entrato	[m <sup>3</sup> ]	1.103,18
Volume disperso	[m <sup>3</sup> ]	426,02
Volume scaricato	[m <sup>3</sup> ]	0,00
Volume massimo accumulato nei pozzi perdenti	[m <sup>3</sup> ]	384,83
Volume massimo accumulato nelle vasche di laminazione	[m <sup>3</sup> ]	292,33
Battente massimo nella vasca	[m]	0,61
Volume massimo accumulato complessivo	[m <sup>3</sup> ]	677,16
Portata di scarico massima	[l/s]	0,00
Tempo di svuotamento	[h]	2,27



Tabulato afflussi/dispersione/accumulo						
Tempo [h]	Portata Entrante [m³/s]	Volume Entrante (m³)	Volume Disperso (m³)	Volume Scaricato (m³)	Volume nei pozzi (m³)	Volume in vasca (m³)
0,03	0,012	1,041	1,04	0,00	0,00	0,00
0,05	0,023	3,152	3,15	0,00	0,00	0,00
0,08	0,036	6,363	6,36	0,00	0,00	0,00
0,10	0,048	10,706	10,71	0,00	0,00	0,00
0,13	0,061	16,218	16,22	0,00	0,00	0,00
0,15	0,075	22,939	22,94	0,00	0,00	0,00
0,18	0,089	30,913	30,40	0,00	0,51	0,00
0,20	0,103	40,190	37,87	0,00	2,32	0,00
0,23	0,118	50,826	45,33	0,00	5,49	0,00
0,25	0,134	62,883	52,80	0,00	10,09	0,00
0,28	0,139	75,396	60,26	0,00	15,13	0,00
0,30	0,145	88,422	67,73	0,00	20,70	0,00
0,33	0,151	102,034	75,19	0,00	26,84	0,00
0,35	0,159	116,327	82,65	0,00	33,67	0,00
0,38	0,168	131,425	90,12	0,00	41,31	0,00
0,40	0,179	147,501	97,58	0,00	49,92	0,00
0,43	0,192	164,812	105,05	0,00	59,76	0,00
0,45	0,211	183,781	112,51	0,00	71,27	0,00
0,48	0,239	205,268	119,98	0,00	85,29	0,00
0,50	0,304	232,586	127,44	0,00	105,15	0,00
0,53	0,379	266,659	134,91	0,00	131,75	0,00
0,55	0,417	304,201	142,37	0,00	161,83	0,00
0,58	0,442	344,021	149,83	0,00	194,19	0,00
0,60	0,460	385,396	157,30	0,00	228,10	0,00
0,63	0,471	427,777	164,76	0,00	263,01	0,00
0,65	0,477	470,672	172,23	0,00	298,44	0,00
0,68	0,477	513,566	179,69	0,00	333,87	0,00
0,70	0,469	555,819	187,16	0,00	368,66	0,00
0,73	0,451	596,373	194,62	0,00	384,83	16,92
0,75	0,393	631,737	202,09	0,00	384,83	44,82
0,78	0,323	660,814	209,55	0,00	384,83	66,43
0,80	0,288	686,714	217,01	0,00	384,83	84,87
0,83	0,264	710,451	224,48	0,00	384,83	101,14
0,85	0,246	732,553	231,94	0,00	384,83	115,78
0,88	0,231	753,348	239,41	0,00	384,83	129,11
0,90	0,219	773,060	246,87	0,00	384,83	141,35
0,93	0,209	791,853	254,34	0,00	384,83	152,68
0,95	0,200	809,850	261,80	0,00	384,83	163,22
0,98	0,192	827,151	269,27	0,00	384,83	173,05
1,00	0,185	843,832	276,73	0,00	384,83	182,27
1,03	0,179	859,959	284,19	0,00	384,83	190,93
1,05	0,174	875,584	291,66	0,00	384,83	199,09
1,08	0,169	890,753	299,12	0,00	384,83	206,80
1,10	0,164	905,505	306,59	0,00	384,83	214,08
1,13	0,160	919,872	314,05	0,00	384,83	220,99
1,15	0,156	933,885	321,52	0,00	384,83	227,53
1,18	0,152	947,568	328,98	0,00	384,83	233,75
1,20	0,149	960,944	336,45	0,00	384,83	239,67
1,23	0,145	974,034	343,91	0,00	384,83	245,29
1,25	0,142	986,854	351,37	0,00	384,83	250,65
1,28	0,140	999,422	358,84	0,00	384,83	255,75
1,30	0,137	1011,751	366,30	0,00	384,83	260,61
1,33	0,134	1023,856	373,77	0,00	384,83	265,25
1,35	0,132	1035,747	381,23	0,00	384,83	269,68
1,38	0,130	1047,437	388,70	0,00	384,83	273,91
1,40	0,128	1058,934	396,16	0,00	384,83	277,94
1,43	0,126	1070,249	403,62	0,00	384,83	281,79
1,45	0,124	1081,389	411,09	0,00	384,83	285,47
1,48	0,122	1092,363	418,55	0,00	384,83	288,98
1,50	0,120	1103,178	426,02	0,00	384,83	292,33

## 5.8 Dimensionamento dei collettori

Il calcolo delle portate di acque meteoriche che affluiscono nei collettori viene condotto utilizzando il cosiddetto metodo cinematico o metodo della corrivazione.

La portata massima al colmo in una data sezione viene calcolata per una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino sotteso dalla sezione stessa ed è data da:

$$Q_M = A \cdot \varphi \cdot u_m$$

dove:

$Q_M$ : portata massima al colmo

$A$ : superficie del bacino

$\varphi$ : coefficiente medio ponderale di afflusso del bacino

$u_m$ : coefficiente udometrico medio, che rappresenta la portata per unità di superficie del bacino scolante, ovvero l'intensità media della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  data dall'equazione:

$$u_m = \frac{a \cdot t_c^n}{t_c}$$

Per una fognatura urbana il tempo di corrivazione  $t_c$  può essere determinato facendo riferimento al percorso idraulico più lungo della rete fognaria fino alla sezione di chiusura considerata, compreso il percorso che l'acqua pluviale compie sulla superficie scolante prima dell'accesso in rete.

Il tempo di corrivazione è dato da:

$$t_c = t_a + t_r$$

dove:

$t_a$ : tempo di accesso in rete

$t_r$ : tempo percorso nella rete

Il tempo di accesso in rete è in genere di difficile determinazione, variando con le pendenze delle superfici scolanti e con la natura delle stesse: scabrezza, permeabilità e irregolarità, nonché dall'altezza di pioggia precedente all'evento critico di progetto e dalla capacità del bacino di accumulare invasi minori. Salvo casi particolari, nell'ambito della progettazione delle reti urbane, il valore di  $t_a$  è compreso entro l'intervallo di 5 ÷ 15 minuti.

Nel nostro caso si può assumere:

$$t_a = 9 \text{ minuti}$$

Il tempo di rete  $t_r$  può essere stimato come rapporto tra la lunghezza del punto più lontano dalla sezione considerata e la velocità che, in prima approssimazione, si assume pari a  $V = 1 \text{ m/s}$  considerata la modesta pendenza della rete, quindi:

$$t_r = \frac{L}{V}$$

dove:

$L$  : lunghezza del punto più lontano della rete rispetto alla sezione considerata

$V$  : velocità del fluido nella rete. Ove la lunghezza non fosse facilmente misurabile si può assumere:

$$L = \sqrt{1,5 \cdot A}$$

dove:

$A$  : superficie del bacino scolante

Il calcolo del tempo di corrivazione per ciascuna sezione considerata è riepilogato nella tabella che segue:

Tab. 11.1		TEMPO DI CORRIVAZIONE				
Superfici scolanti		S [m <sup>2</sup> ]	L [m]	V [m/s]	Tc [s] [min]	
<b>1</b>	<b>Sottobacino: Piazzali e copertura Ovest</b>					
1	SEZIONE Finale	6.437				
	$t_a$		27	0,05	540	9
	$t_r$		135	1,00	135	2
	$t_c$				<b>675</b>	<b>11,00</b>
Superfici scolanti		S [m <sup>2</sup> ]	L [m]	V [m/s]	Tc [s] [min]	
<b>2</b>	<b>Sottobacino: Piazzali Est</b>					
1	SEZIONE Finale	1.970				
	$t_a$		22	0,05	440	7
	$t_r$		137	1,00	137	2
	$t_c$				<b>577</b>	<b>9,00</b>

Il calcolo del coefficiente di afflusso medio ponderale  $\phi$  del bacino di riferimento viene condotto assegnando un valore del coefficiente di afflusso per ogni insieme di aree a permeabilità omogenea che costituisce il bacino sotteso dalla sezione considerata, come riportato nella tabella che segue:

Tab. 12.1		COEFFICIENTI DI DEFLUSSO MEDI PONDERALI			
Superfici scolanti		A [m <sup>2</sup> ]	$\phi'$	A <sub>imp</sub> [m <sup>2</sup> ]	$\phi$
<b>1 Sottobacino: Piazzali e copertura Ovest</b>					
1	SEZIONE Finale	6.437			
	Sotto aree impermeabili	6.437	0,9	5.793	
	Sotto aree semipermeabili	0	0,7		
	Sotto aree permeabili	0	0,3		
	Superficie scolante impermeabile			<b>5.793</b>	<b>0,90</b>
Superfici scolanti		A [m <sup>2</sup> ]	$\phi'$	A <sub>imp</sub> [m <sup>2</sup> ]	$\phi$
<b>2 Sottobacino: Piazzali Est</b>					
1	SEZIONE Finale	1.970			
	Sotto aree impermeabili	1.970	0,9	1.773	
	Sotto aree semipermeabili	0	0,7		
	Sotto aree permeabili	0	0,3		
	Superficie scolante impermeabile			<b>1.773</b>	<b>0,90</b>

Il valore dell'intensità media di pioggia  $\frac{a \cdot t_c^n}{t_c}$  per una durata di tempo pari al tempo di corrivazione come sopra determinato, viene stimata attraverso la valutazione della curva di possibilità pluviometrica come già definita nel § 5.3 della presente relazione, per un tempo di ritorno di 50 anni e per durata dell'evento inferiore all'ora.

Pertanto, il calcolo della portata di acqua meteorica che affluisce in una data sezione della rete fognaria, condotto come rappresentato nel presente paragrafo, è riportato nella tabella che segue:

Tab. 13.1		CALCOLO DELLE PORTATE DI COLMO						
Parametro		Valore						
$T_r$	Periodo di ritorno	50 anni						
$a$	Coefficiente pluviometrico orario	56,2247						
$n$	Coefficiente di scala	0,50						
$\Phi_i$	Coeff. afflusso aree impermeabili	0,9						
$\Phi_s$	Coeff. afflusso aree semi-permeabili	0,7						
$\Phi_p$	Coeff. afflusso aree permeabili	0,3						
Sezione	Superfici			Afflussi				
	Imperm. [m <sup>2</sup> ]	Semidren. [m <sup>2</sup> ]	Drenante [m <sup>2</sup> ]	$\Phi_m$ -	$t_c$ [min]	$h(t_c)$ [mm]	$u_m$ [l/s ha]	$Q_M$ [m <sup>3</sup> /s]
<b>1</b>	<b>Sottobacino: Piazzali e copertura Ovest</b>							
1.1	2.375	0	0	0,90	7,00	19,20	457,25	<b>0,098</b>
1.2	2.690	0	0	0,90	7,00	19,20	457,25	<b>0,111</b>
1.3	3.670	0	0	0,90	9,00	21,78	403,25	<b>0,133</b>
1.4	4.777	0	0	0,90	9,00	21,78	403,25	<b>0,173</b>
1.5	5.632	0	0	0,90	11,00	24,07	364,76	<b>0,185</b>
1.6	6.437	0	0	0,90	11,00	24,07	364,76	<b>0,211</b>
<b>2</b>	<b>Sottobacino: Piazzali Est</b>							
2.1	845	0	0	0,90	7,00	19,20	457,25	<b>0,035</b>
2.2	1.265	0	0	0,90	8,00	20,53	427,72	<b>0,049</b>
2.3	1.530	0	0	0,90	9,00	21,78	403,25	<b>0,056</b>
2.3	1.970	0	0	0,90	9,00	21,78	403,25	<b>0,071</b>
<b>3</b>	<b>Sottobacino: Copertura Est per acque di riutilizzo</b>							
2.1	990	0	0	0,90	5,00	16,23	541,02	<b>0,048</b>
2.2	2.205	0	0	0,90	6,00	17,78	493,88	<b>0,098</b>
2.3	3.420	0	0	0,90	7,00	19,20	457,25	<b>0,141</b>

Dove:

$\Phi_m$	Coefficiente di afflusso medio ponderale	$u_m$	Coefficiente udometrico medio
$t_c$	Tempo di corrivazione del bacino	$Q_M$	Portata di colmo massima
$h(t_c)$	Altezza di pioggia al tempo $t_c$		

Si procede quindi al dimensionamento dei collettori in funzione della portata di colmo massima così ottenuta,

La verifica delle sezioni viene effettuata nell'ipotesi che nei collettori si instauri una corrente a pelo libero in condizioni di moto uniforme.

Per il calcolo della portata del collettore si utilizza la formula di Gaukler-Strikler:

$$Q = A \cdot k_s \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

$A$  : Area netta interna del condotto

$k_s$  : Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strikler

$i$  : Pendenza di fondo della condotta

$R_H$  : Raggio idraulico della condotta, dato dal rapporto fra Area bagnata e Perimetro bagnato:

$$R_H = \frac{A}{P}$$

dove:

$A$  : Area bagnata

$P$  : Perimetro bagnato

Che per le condotte circolari vale:

$$R_H = \frac{A}{P} = \left(1 - \frac{\sin \delta}{\delta}\right) \cdot \frac{D}{4}$$

Conseguentemente, per ciascun tratto sono stati ipotizzati i diametri e le pendenze delle condotte che garantissero una portata superiore o al limite uguale a quella di colmo massima calcolata in precedenza.

Nella determinazione del diametro ottimale, si è cercato di non superare un grado di riempimento della condotta dell'80%, in modo da avere un franco tra pelo libero e generatrice superiore della sezione (per questioni di sicurezza e per l'alimentazione d'aria della corrente).

Il grado di riempimento è dato dal rapporto tra il battente idraulico  $y$  all'interno della condotta corrispondente alla portata massima di colmo e il diametro della condotta stessa.

Nel seguito si riporta la tabella di calcolo dei collettori nelle sezioni più significative:

Tab. 14.1		DIMENSIONAMENTO DEI COLLETTORI						
Collettori								
N.	Sezione	Q <sub>M</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Materiale -	D [mm]	k <sub>s</sub> [m <sup>1/3</sup> /s]	I <sub>f</sub> [%]	Q <sub>r</sub> [m <sup>3</sup> /s]	y/D [%]
1	Sottobacino: Piazzali e copertura Ovest							
1	1.1	0,098	CLS	400	70	0,50%	0,134	64%
1	1.2	0,111	CLS	400	70	0,50%	0,134	69%
1	1.3	0,133	CLS	500	70	0,50%	0,243	53%
1	1.4	0,173	CLS	500	70	0,50%	0,243	62%
1	1.5	0,185	CLS	500	70	0,50%	0,243	65%
1	1.6	0,211	CLS	500	70	0,50%	0,243	72%
2	Sottobacino: Piazzali Est							
1	2.1	0,035	PVC	250	90	0,50%	0,049	62%
1	2.2	0,049	PVC	315	90	0,50%	0,091	52%
1	2.3	0,056	PVC	315	90	0,50%	0,091	57%
1	2.3	0,071	CLS	400	70	0,50%	0,134	52%
3	Sottobacino: Copertura Est per acque di riutilizzo							
1	2.1	0,048	PVC	315	90	0,50%	0,091	52%
1	2.2	0,098	CLS	400	70	0,50%	0,134	64%
1	2.3	0,141	CLS	400	70	0,50%	0,134	88%

Dove:

$Q_M$  Portata di colmo massima  
D Diametro del collettore  
 $k_s$  Coefficiente di scabrezza di Strikler

$I_f$  Pendenza del fondo  
 $Q_r$  Portata di massimo riempimento  
y/D Rapporto di riempimento

## 5.9 Dimensionamento dello scarico terminale

Il progetto non prevede alcuno scarico in fognatura né in corpi idrici superficiali.

## 5.10 Verifica del grado di sicurezza

L'Art. 11, comma 2, lettera a), punto 2. Del Regolamento prevede una verifica del grado di sicurezza delle opere, mirata a valutare che in presenza di un evento con tempo di ritorno di 100 anni, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose.

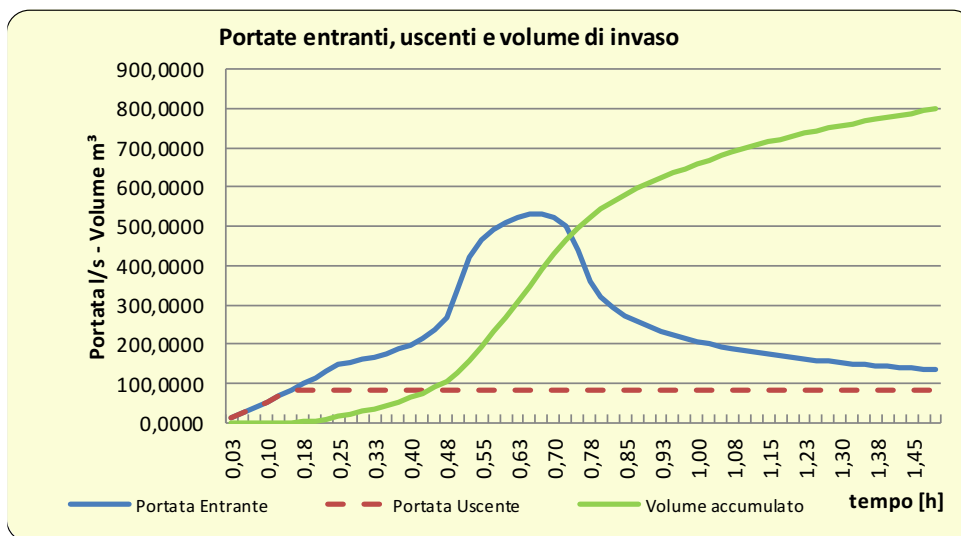
Con un tempo di ritorno di 100 anni, la curva di possibilità pluviometrica per il sito in esame riporta un Coefficiente pluviometrico orario di 62,4794.

Calcolando quindi il processo di laminazione con la stessa procedura del § 5.7, si ottiene che,

nell'istante di massimo invaso, il volume complessivo dell'insieme dei bacini di laminazione raggiunge il valore di **797,34 m<sup>3</sup>** che risulta compatibile con la capacità massima dell'insieme dei bacini di laminazione, costituito dal volume della vasca di laminazione con battente idraulico al limite di 1,50 m, pari a 721,50 m<sup>3</sup>, e dal volume della batteria di pozzi perenti, assunto come nel § 5.7 pari a 384,83 m<sup>3</sup>, per un totale di **1.106,33 m<sup>3</sup>**, pur avendo trascurato i volumi accumulabili nei collettori e sulle superfici scolanti dei piazzali e delle coperture.

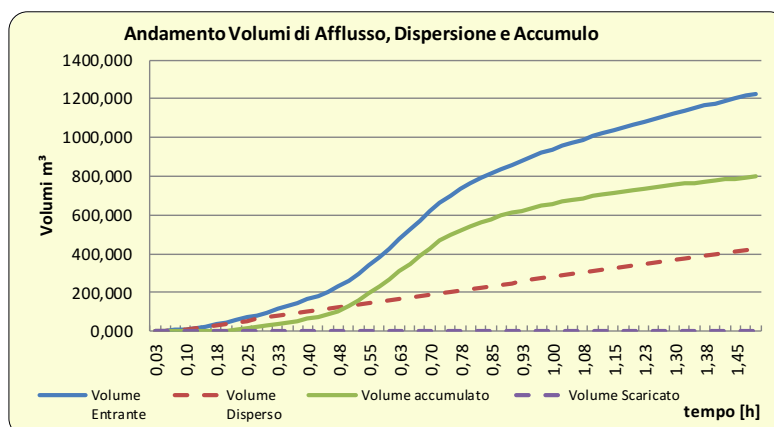
**Tab. 10.100** **DIMENSIONAMENTO INVASI DI LAMINAZIONE**

<b>1 Sottobacino: Copertura e piazzali</b>		
<b>Parametri idrologici</b>		
Tempo di ritorno ( $T_r$ )	[anni]	100 anni
Coefficiente pluviometrico orario (a)		62,48
Coefficiente di scala (n)		0,50
<b>Superficie scolante</b>		
Superficie (S)	[m <sup>2</sup> ]	16.518,67
Coefficiente di afflusso ( $\varphi$ )		1,00
<b>Geometria del bacino di laminazione</b>		
Superficie media ( $S_v$ )	[m <sup>2</sup> ]	481,00
Altezza massima del battente (H)	[m]	1,40
Volume massimo di invaso ( $V_L$ )	[m <sup>3</sup> ]	673,40
<b>Caratteristiche dello scarico</b>		
Diametro tubazione di efflusso ( $D_e$ )	[mm]	0
Altezza del battente (dall'asse del tubo di efflusso) ( $h_e$ )	[m]	0,00
Portata di massimo riempimento del tubo di scarico ( $Q_r$ )	[l/s]	0,00
Portata massima effluente (scarico)	[l/s]	0,00
<b>Ietogramma di progetto</b>		
Ietogramma tipo		Chicago
Posizione relativa del picco (r)		0,340
Durata dell'evento (T)	[h]	1,50



**Risultati del calcolo**

Portata entrante di colmo	[m <sup>3</sup> /s]	<b>0,530</b>
Volume entrato	[m <sup>3</sup> ]	<b>1.225,90</b>
Volume disperso	[m <sup>3</sup> ]	<b>428,57</b>
Volume scaricato	[m <sup>3</sup> ]	<b>0,00</b>
Volume massimo accumulato nei pozzi perdenti	[m <sup>3</sup> ]	<b>384,83</b>
Volume massimo accumulato nelle vasche di laminazione	[m <sup>3</sup> ]	<b>412,50</b>
Battente massimo nella vasca	[m]	<b>0,86</b>
Volume massimo accumulato complessivo	[m <sup>3</sup> ]	<b>797,34</b>
Portata di scarico massima	[l/s]	<b>0,00</b>
Tempo di svuotamento	[h]	<b>2,67</b>



Tabulato afflussi/dispersione/accumulo						
Tempo [h]	Portata Entrante [m³/s]	Volume Entrante (m³)	Volume Disperso (m³)	Volume Scaricato (m³)	Volume nei pozzi (m³)	Volume in vasca (m³)
0,03	0,013	1,157	1,16	0,00	0,00	0,00
0,05	0,026	3,503	3,50	0,00	0,00	0,00
0,08	0,040	7,071	7,07	0,00	0,00	0,00
0,10	0,054	11,897	11,90	0,00	0,00	0,00
0,13	0,068	18,023	18,02	0,00	0,00	0,00
0,15	0,083	25,491	25,49	0,00	0,00	0,00
0,18	0,098	34,352	32,95	0,00	1,40	0,00
0,20	0,115	44,661	40,42	0,00	4,25	0,00
0,23	0,131	56,480	47,88	0,00	8,60	0,00
0,25	0,149	69,879	55,34	0,00	14,53	0,00
0,28	0,154	83,784	62,81	0,00	20,97	0,00
0,30	0,161	98,258	70,27	0,00	27,98	0,00
0,33	0,168	113,385	77,74	0,00	35,65	0,00
0,35	0,176	129,268	85,20	0,00	44,07	0,00
0,38	0,186	146,046	92,67	0,00	53,38	0,00
0,40	0,198	163,910	100,13	0,00	63,78	0,00
0,43	0,214	183,147	107,60	0,00	75,55	0,00
0,45	0,234	204,226	115,06	0,00	89,17	0,00
0,48	0,265	228,104	122,52	0,00	105,58	0,00
0,50	0,337	258,461	129,99	0,00	128,47	0,00
0,53	0,421	296,324	137,45	0,00	158,87	0,00
0,55	0,464	338,043	144,92	0,00	193,12	0,00
0,58	0,492	382,292	152,38	0,00	229,91	0,00
0,60	0,511	428,270	159,85	0,00	268,42	0,00
0,63	0,523	475,366	167,31	0,00	308,05	0,00
0,65	0,530	523,032	174,78	0,00	348,26	0,00
0,68	0,530	570,699	182,24	0,00	384,83	3,63
0,70	0,522	617,651	189,70	0,00	384,83	43,11
0,73	0,501	662,717	197,17	0,00	384,83	80,71
0,75	0,437	702,016	204,63	0,00	384,83	112,55
0,78	0,359	734,327	212,10	0,00	384,83	137,40
0,80	0,320	763,108	219,56	0,00	384,83	158,71
0,83	0,293	789,486	227,03	0,00	384,83	177,63
0,85	0,273	814,047	234,49	0,00	384,83	194,72
0,88	0,257	837,155	241,96	0,00	384,83	210,37
0,90	0,243	859,060	249,42	0,00	384,83	224,81
0,93	0,232	879,943	256,88	0,00	384,83	238,23
0,95	0,222	899,943	264,35	0,00	384,83	250,76
0,98	0,214	919,168	271,81	0,00	384,83	262,52
1,00	0,206	937,706	279,28	0,00	384,83	273,59
1,03	0,199	955,626	286,74	0,00	384,83	284,05
1,05	0,193	972,989	294,21	0,00	384,83	293,95
1,08	0,187	989,846	301,67	0,00	384,83	303,34
1,10	0,182	1006,239	309,14	0,00	384,83	312,27
1,13	0,177	1022,205	316,60	0,00	384,83	320,77
1,15	0,173	1037,776	324,06	0,00	384,83	328,88
1,18	0,169	1052,981	331,53	0,00	384,83	336,62
1,20	0,165	1067,846	338,99	0,00	384,83	344,02
1,23	0,162	1082,391	346,46	0,00	384,83	351,10
1,25	0,158	1096,638	353,92	0,00	384,83	357,88
1,28	0,155	1110,604	361,39	0,00	384,83	364,38
1,30	0,152	1124,305	368,85	0,00	384,83	370,62
1,33	0,149	1137,756	376,31	0,00	384,83	376,61
1,35	0,147	1150,970	383,78	0,00	384,83	382,36
1,38	0,144	1163,960	391,24	0,00	384,83	387,88
1,40	0,142	1176,736	398,71	0,00	384,83	393,19
1,43	0,140	1189,310	406,17	0,00	384,83	398,30
1,45	0,138	1201,690	413,64	0,00	384,83	403,22
1,48	0,135	1213,884	421,10	0,00	384,83	407,95
1,50	0,134	1225,902	428,57	0,00	384,83	412,50

Inoltre, al fine di preservare i beni insediati da possibili allagamenti, i piazzali dovranno avere una quota media di almeno 10 cm inferiore a quella dei pavimenti interni, con colmi posti ad una quota inferiore di almeno 10 cm rispetto alla quota del pavimento interno più vulnerabile, evitando pendenze verso i fabbricati. In corrispondenza delle aperture e di ogni possibile punto di infiltrazione dai piazzali non adeguatamente impermeabilizzato, dovrà essere mantenuto sempre un dislivello opportunamente raccordato di almeno 5 cm fra la pavimentazione interna e quella immediatamente esterna al fabbricato.

Pian Camuno, 10 luglio 2025

Progetto Strutture s.r.l.  
Ing. Ezio Rosa