

Ing. GIORGIO CASTELVEDERE
Ing. LAURA AMADIO
Ing. FEDERICO ZUCCHI
Ing. GUIDO ROMANO
Ing. GIANLUCA PERTICA
Geom. FABRIZIO BARUFFI
Geom. SABINA ZANOTTI
Arch. GLENDA SAVOLDI

Via Leno, 9/c – 25021 Bagnolo Mella (BS)
Telefono: 030 621980 – Fax: 030 6824703
E-mail: studio@castelvedere.com
<https://www.castelvedere.com>

PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

NUOVO COMPLESSO RESIDENZIALE
Via Gardesana
25086 – Rezzato (BS)

Revisione n. 0

Prima emissione

11.02.2026

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	3
3	PROVE DI PERMEABILITÀ IN SITO	4
4	IMPOSTAZIONE DI BASE E PARAMETRI PLUVIOMETRICI.....	7
4.1	PARAMETRI PLUVIOMETRICI.....	7
4.1.1	Eventi di durata minore di 24 ore	7
4.1.2	Eventi di durata maggiore di 24 ore.....	8
4.2	EVENTO METEORICO DI PROGETTO	9
5	TEMPO DI CORRIVAZIONE	10
6	VERIFICA DELLE CONDOTTE	10
6.1	SEZIONE CIRCOLARE	10
7	LAMINAZIONE.....	11
8	SISTEMA DI RACCOLTA E SCARICO ACQUE METEORICHE	12
8.1	ALLACCI DEI PLUVIALI	13
8.2	COLLETTORI RETE COPERTURE	17
8.3	CADITOIE CON GRIGLIA	22
8.4	ALLACCI DELLE CADITOIE	22
8.5	COLLETTORI RETE PIAZZALI E STRADA	24
9	INVARIANZA IDRAULICA	27
9.1	SCELTA DEL SISTEMA DI SMALTIMENTO	29
9.2	IETOGRAMMA DI PIOGGIA.....	30
9.2.1	IETOGRAMMA NETTO.....	30
9.3	IDROGRAMMA DI PIENA	31
9.4	ONDA DI PIENA	31
9.5	VERIFICA DEL GRADO DI SICUREZZA DELLE OPERE	32
9.5.1	EVENTO METEORICO CON $T_r=100$ anni	32
9.6	VERIFICA DEL SISTEMA DI LAMINAZIONE E INFILTRAZIONE	33
9.6.1	AREA PRIVATA "EST".....	34
9.6.2	AREA PRIVATA "OVEST"	37
9.6.3	AREA PUBBLICA.....	40
9.6.4	INTERA AREA DI INTERVENTO.....	43
9.7	VERIFICA DEI REQUISITI MINIMI	46
10	VERIFICA STATICA DELLE TUBAZIONI	47

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di illustrare dimensionamenti e verifiche condotti in merito ai sistemi di raccolta, laminazione e infiltrazione delle acque meteoriche per il rispetto dell'invarianza idraulica e idrologica per l'intervento di realizzazione di nuovo complesso residenziale da parte della società Noranda s.p.a. nel lotto sito in comune di Rezzato, Via Gardesana.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area in oggetto è ubicata a est dell'abitato del Comune di Rezzato. Attualmente l'area oggetto d'intervento è occupata da edifici produttivi / commerciali. L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un nuovo complesso residenziale con relative aree verdi, aree di sosta e di circolazione. A seguire si riportano le planimetrie di inquadramento dell'intervento su base ortofoto e su base aerofotogrammetrica; l'intervento in progetto è rappresentato in colore rosso.

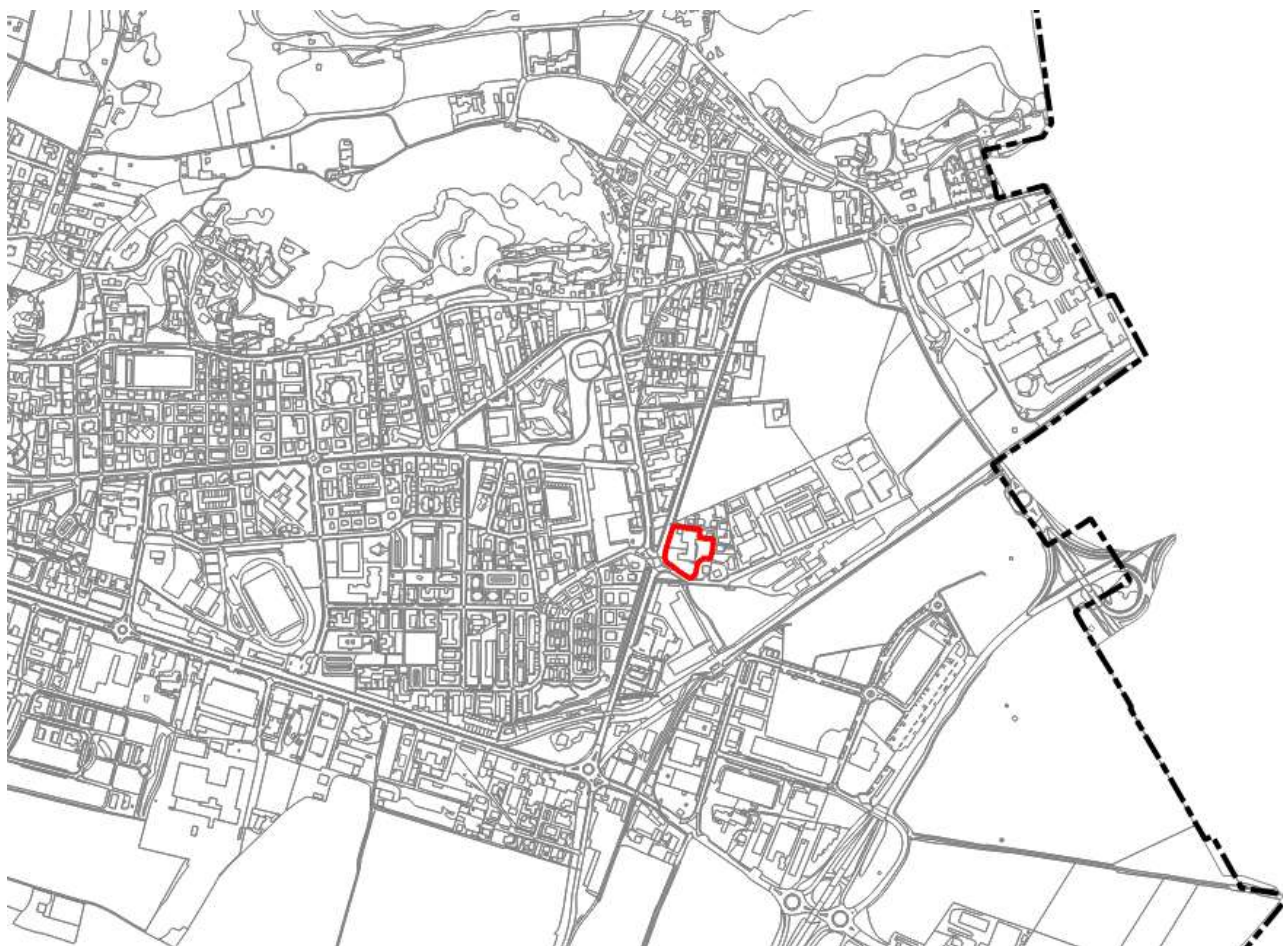


Figura 1 – Planimetria di inquadramento



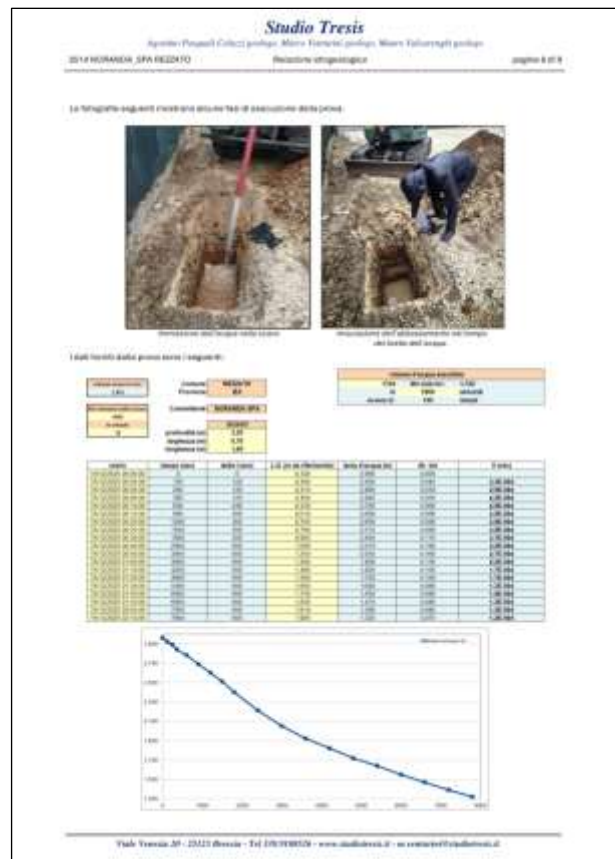
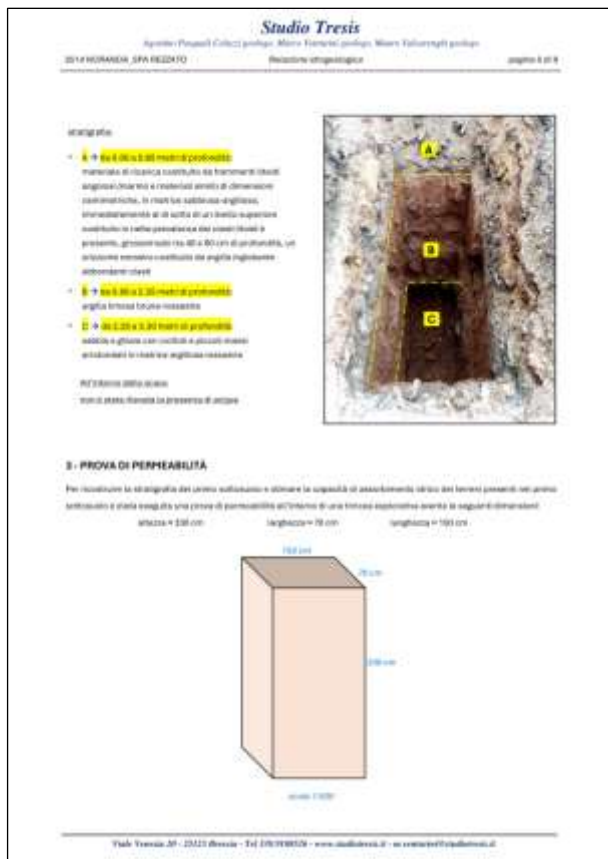
*Figura 2 – Individuazione area oggetto di studio su base ortofoto (inquadramento generale)
“Ortofoto 20 cm/Ortofoto 50 cm ©2015 Consorzio TeA” – fonte Regione Lombardia*



*Figura 3 – Individuazione area oggetto di studio su base ortofoto (particolare)
“Ortofoto 20 cm/Ortofoto 50 cm ©2015 Consorzio TeA” – fonte Regione Lombardia*

3 PROVE DI PERMEABILITÀ IN SITO

Di seguito si riporta un breve stralcio della relazione relativa alle prove di permeabilità eseguite in sito.



Studio Tesis

Agostino Pasquali Colucci geologo, Marco Venturini geologo, Mauro Valcarenghi geologo

3514 NORANDA SPA REZZATO

Relazione idrogeologica

pagina 9 di 9

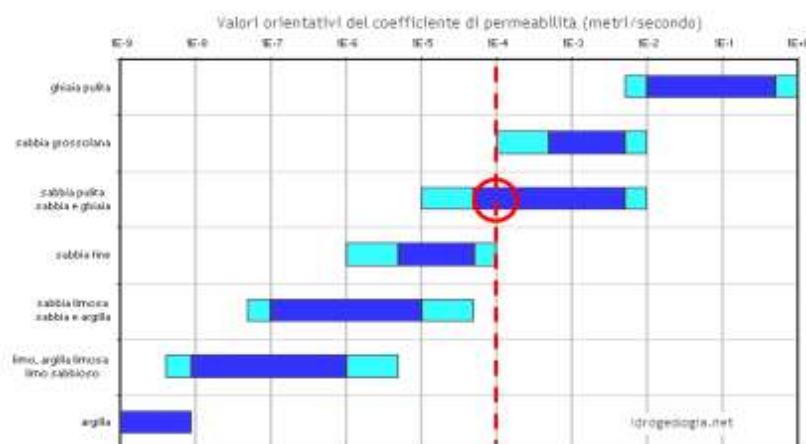


figura 3: valori orientativi del coefficiente di permeabilità orizzontale in m/s per terreni sciolti a granulometria decrescente dalle ghiaie alle argille (fonte: www.idrogeologia.net - PhD. Geol. Gabriele Bernagozzi)

In conclusione, si consiglia di considerare nei calcoli di progetto un coefficiente di permeabilità $K = 1 \times 10^{-4}$ m/s per i terreni drenanti dell'unità C, tenendo in considerazione quanto sottolineato ai punti seguenti:

➤ è fondamentale tenere conto della presenza dello strato superficiale argilloso impermeabile (quindi con capacità nulla di drenaggio) che, in corrispondenza dello scavo eseguito, era esteso fino a circa 2.2 metri di profondità dal piano del piazzale; le prove penetrometriche eseguite nell'area (oggetto della "Relazione geologica con caratterizzazione geotecnica" di progetto, a firma dello scrivente) hanno però dimostrato che tale strato ha spessore leggermente variabile da zona a zona, e che è localmente esteso anche fino a 2.5-2.7 metri di profondità dal piano del piazzale: fino a tali profondità non sarà possibile disperdere acqua nel sottosuolo.

➤ Dall'inizio al termine della prova lo scavo è stato in grado di disperdere nel sottosuolo la seguente quantità d'acqua:

$$\text{lunghezza scavo} \times \text{larghezza scavo} \times (\text{altezza iniziale acqua} - \text{altezza finale acqua}) =$$

$$1,5 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times (2,96 \text{ m} - 1,32 \text{ m}) = 1,722 \text{ mc} = 1722 \text{ litri di acqua in 130 minuti}$$

si tratta di circa 800 litri (0,8 mc) all'ora; ciò è avvenuto, come prevede la norma, in condizioni di saturazione dei terreni in quanto la prova è stata eseguita dopo avere immesso nello scavo 4 mc di acqua in circa 38 minuti, realizzando così la situazione di prova ottimale, ovvero la completa saturazione dei terreni.

Nel caso di realizzazione di pozzi drenanti, tali opere saranno di dimensioni certamente superiori allo scavo eseguito, sia per larghezza che per profondità; è quindi logico ammettere che i pozzi saranno in grado di disperdere nel sottosuolo volumi d'acqua superiori a quelli dispersi dallo scavo.

Brescia, 20 dicembre 2025

Dott. Geologo Marco Venturini

Viale Venezia 20 - 25123 Brescia - Tel 338.9108526 - www.studiotesis.it - m.venturini@studiotesis.it

4 IMPOSTAZIONE DI BASE E PARAMETRI PLUVIOMETRICI

Di seguito si descrivono i criteri alla base della soluzione progettuale proposta.

4.1 PARAMETRI PLUVIOMETRICI

Si assumono, per l'evento meteorico di progetto, i parametri desunti dal Sistema Informativo Idrologico SIDRO - ARPA Lombardia ARPA Lombardia di seguito riportati.

4.1.1 Eventi di durata minore di 24 ore

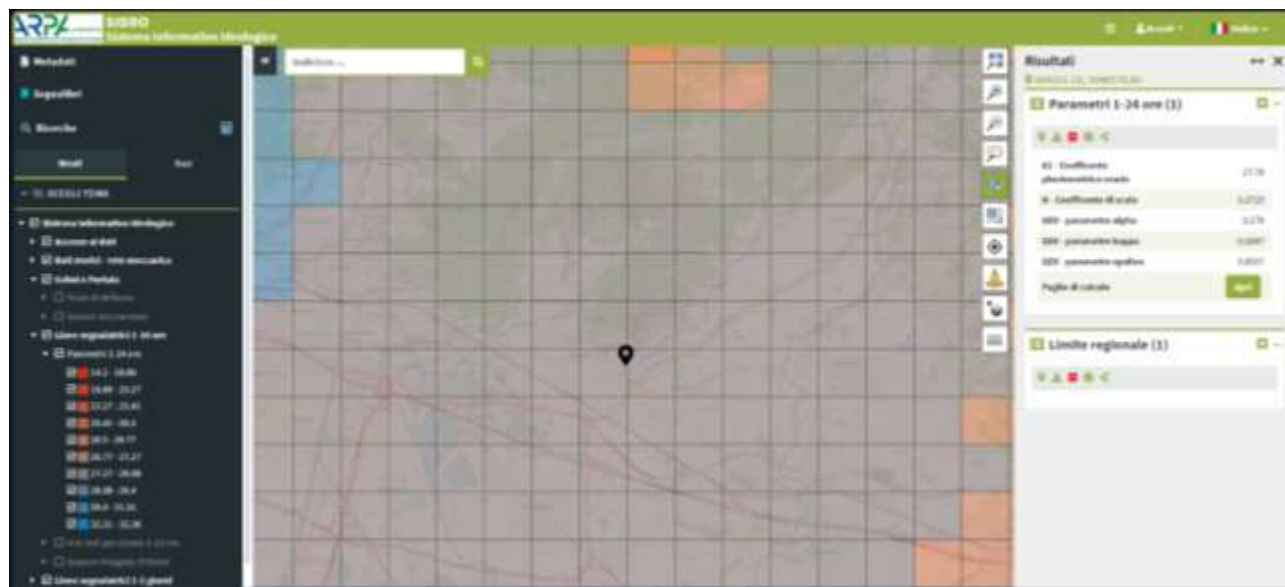


Figura 4 – Sistema Informativo Idrologico SIDRO – ARPA Lombardia
Parametri pluviometrici per eventi $1h < t < 24h$

Per eventi con durata $D < 1 h$

$$a = 27,76 \quad \alpha = 0,279 \quad \kappa = -0,0287 \quad \varepsilon = 0,8307 \quad n = 0,50 \text{ (All.G R.R. 7/2017)}$$

Per eventi con durata $1 > D > 24 h$

$$a = 27,76 \quad \alpha = 0,279 \quad \kappa = -0,0287 \quad \varepsilon = 0,8307 \quad n = 0,2725$$



Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: Rezzato

Coordinate: 604260 E; 5040570 N

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) 100

Parametri ricavati da: <http://idro.arpa.lombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 27,76

N - Coefficiente di scala 0,2725

GEV - parametro alpha 0,279

GEV - parametro kappa -0,0287

GEV - parametro epsilon 0,8307

Evento pluviometrico

Durata dell'evento (ore)

Precipitazione cumulata (mm)

Formulazione analitica

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

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

Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpa.lombardia.it/manuali/Idro.pdf>

http://idro.arpa.lombardia.it/manuali/STRADA_report.pdf

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

Tr	2	5	10	20	50	100	200	1000
Tr 2 anni	0,93350	1,25832	1,47927	1,69573	1,98264	2,20272	2,42643	2,20271924
1	25,9	34,9	41,1	47,1	55,0	61,1	67,4	61,147486
2	31,3	42,2	49,6	56,9	66,5	73,9	81,4	73,859996
3	35,0	47,1	55,4	63,5	74,2	82,5	90,9	82,488809
4	37,8	51,0	59,9	68,7	80,3	89,2	98,3	89,2154261
5	40,2	54,2	63,7	73,0	85,3	94,8	104,4	94,8086434
6	42,2	56,9	66,9	76,7	89,7	99,6	109,8	99,6379588
7	44,0	59,4	69,8	80,0	93,5	103,9	114,5	103,912507
8	45,7	61,6	72,4	83,0	97,0	107,8	118,7	107,763237
9	47,2	63,6	74,7	85,7	100,2	111,3	122,6	111,278097
10	48,5	65,4	76,9	88,2	103,1	114,5	126,1	114,519279
11	49,8	67,1	78,9	90,5	105,8	117,5	129,5	117,532538
12	51,0	68,8	80,8	92,7	108,3	120,4	132,6	120,352605
13	52,1	70,3	82,6	94,7	110,7	123,0	135,5	123,006631
14	53,2	71,7	84,3	96,6	113,0	125,5	138,3	125,515809
15	54,2	73,1	85,9	98,5	115,1	127,9	140,9	127,897918
16	55,2	74,4	87,4	100,2	117,2	130,2	143,4	130,167122
17	56,1	75,6	88,9	101,9	119,1	132,3	145,8	132,33537
18	57,0	76,8	90,3	103,5	121,0	134,4	148,1	134,412718
19	57,8	77,9	91,6	105,0	122,8	136,4	150,3	136,407724
20	58,6	79,0	92,9	106,5	124,5	138,3	152,4	138,327774
21	59,4	80,1	94,1	107,9	126,2	140,2	154,4	140,179131
22	60,2	81,1	95,3	109,3	127,8	142,0	156,4	141,967452
23	60,9	82,1	96,5	110,6	129,3	143,7	158,3	143,897576
24	61,6	83,0	97,6	111,9	130,8	145,4	160,1	145,373809

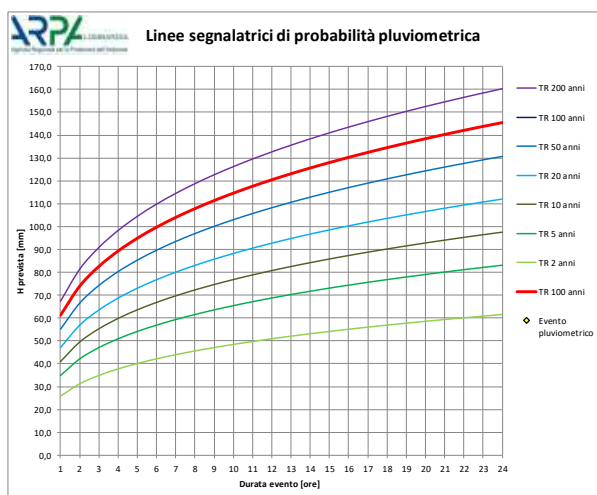


Tabella 1 – Linee segnatrici di probabilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 24 ore

4.1.2 Eventi di durata maggiore di 24 ore

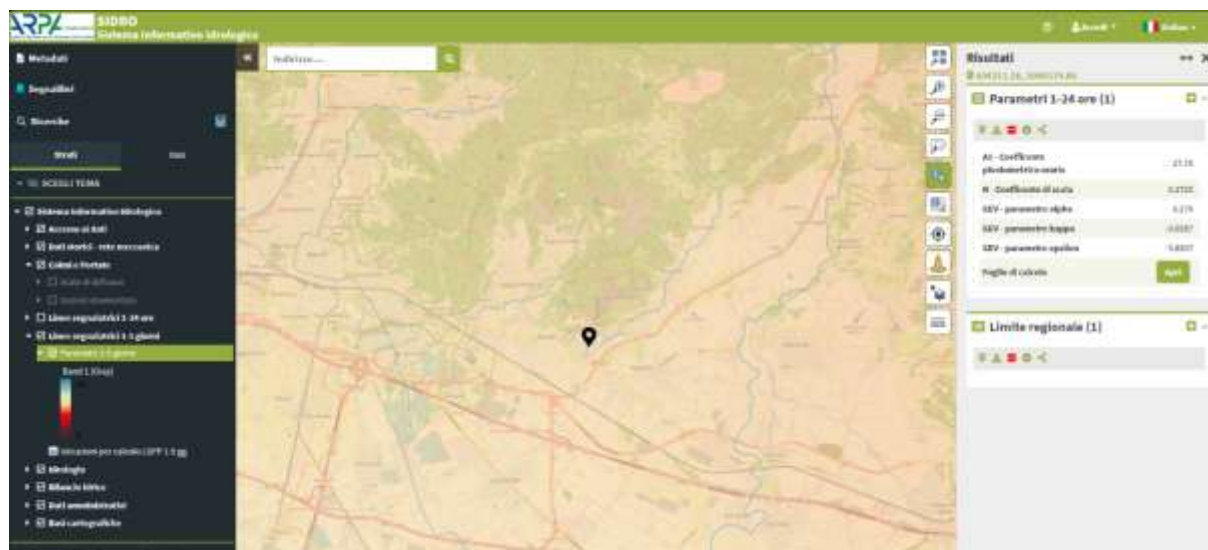


Figura 5 – Sistema Informativo Idrologico” SIDRO – ARPA Lombardia
Parametri pluviometrici per eventi $t > 24h$

Per eventi con durata $1 > D > 5$ gg

$$a = 19,7633$$

$$n = 0,325885$$

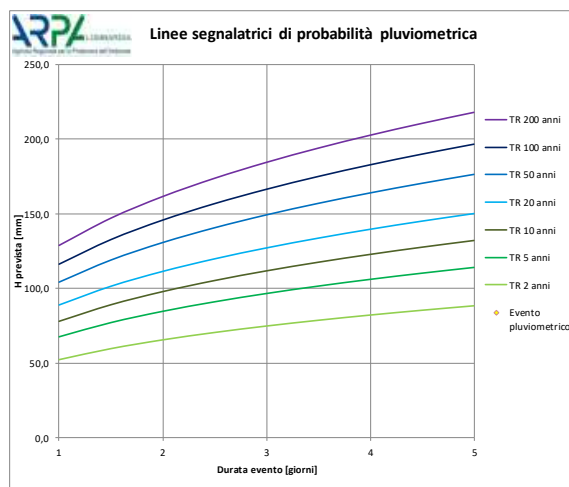
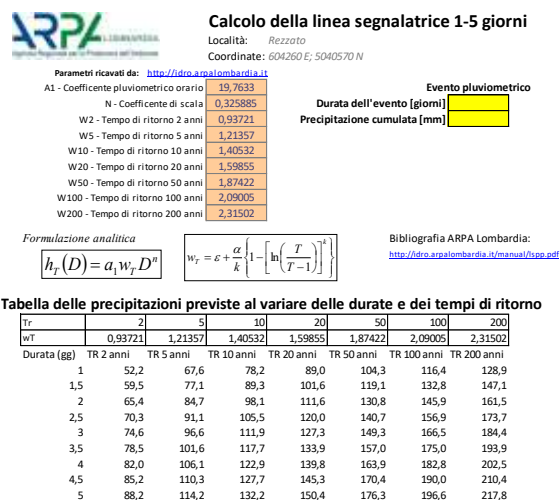


Tabella 2 – Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 5 giorni

4.2 EVENTO METEORICO DI PROGETTO

Il tempo di ritorno dell'evento è assunto pari a 50 anni, la legge di pioggia è pertanto così espressa:

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

Dove w_T è:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} = 1,98264$$

Il parametro n è assunto pari a 0,2725 per eventi con durata maggiore di 1 ora, per eventi con durata minore di 1 ora n si assume pari a 0,50, secondo quanto previsto dall'All.G del Regolamento Regione Lombardia n. 7/2017 e dall'art.1 lettera bb) del Regolamento Regione Lombardia n.8/2019.

Le altezze di pioggia determinate in funzione del tempo sono rappresentate nei grafici riportati di seguito.

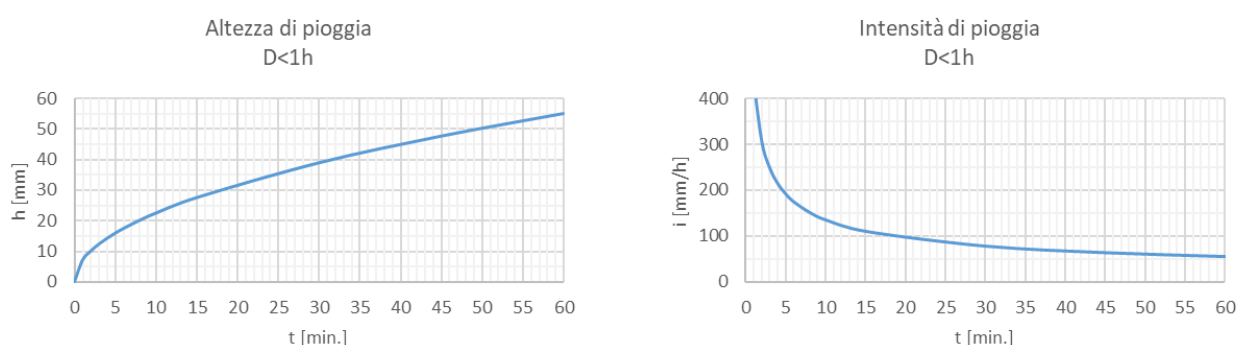


Figura 6 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto (durata minore di 1 ora)

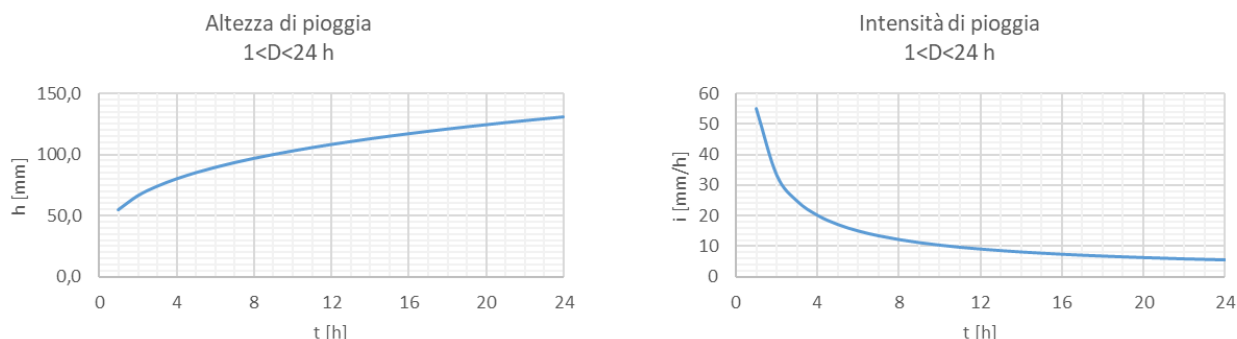


Figura 7 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto (durata compresa tra 1 e 24 ore)

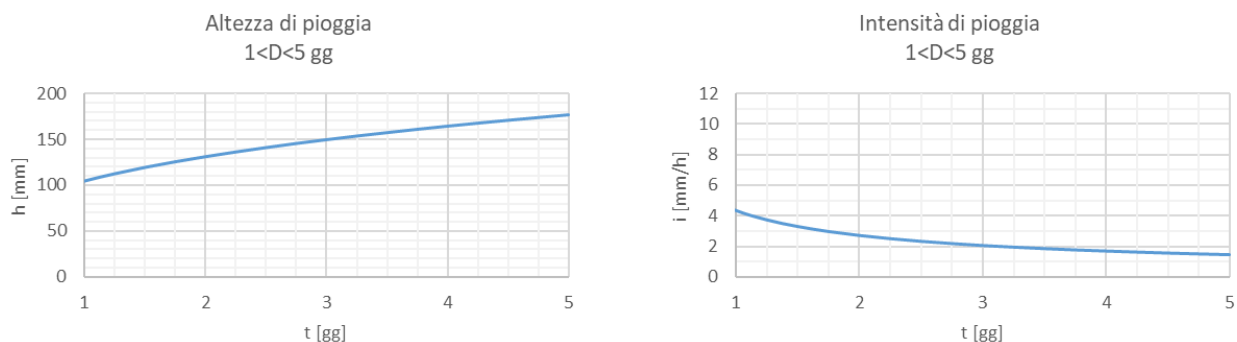


Figura 8 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto (durata compresa tra 1 e 5 giorni)

5 TEMPO DI CORRIVAZIONE

Per l'esecuzione delle verifiche l'intensità di pioggia è determinata in funzione del tempo di corrivazione, valutato in funzione delle caratteristiche del sistema di raccolta e dell'estensione del bacino scolante. In particolare, il tempo di corrivazione è determinato come somma del tempo di accesso in rete e del tempo di rete.

$$T_c = t_{a.i.r.} + t_r$$

Il tempo di accesso in rete è calcolato con la formula di Kirpich, valida per bacini di piccole dimensioni:

$$t_{a.i.r.} = 0,0195 \cdot L_{rusc}^{0.77} \cdot S^{-0.385}$$

dove:

$t_{a.i.r.}$ è il tempo di accesso in rete espresso in minuti

L_{rusc} è la lunghezza del bacino (in questo caso la distanza di ruscellamento)

S è la pendenza media del bacino

Il tempo di rete è calcolato come:

$$t_r = L_{tronco} / V_{med,rete}$$

dove:

L_{tronco} è la lunghezza del tronco di rete o del tratto di tubazione percorsa

$V_{med,rete}$ è la velocità media del fluido nella tubazione

6 VERIFICA DELLE CONDOTTE

6.1 SEZIONE CIRCOLARE

Nell'operazione di dimensionamento e verifica è stato utilizzato un foglio elettronico di cui si riportano i valori significativi nelle tabelle allegate alla presente relazione.

Il problema si può ricondurre, esplicitando le opportune incognite, alla risoluzione di un'equazione non lineare relativa al moto di pelo libero nei condotti circolari. Semplici considerazioni geometriche permettono di esprimere la velocità ed il coefficiente di riempimento nelle condotte in funzione del battente idrico:

h : battente idrico

R : raggio della sezione circolare

φ : angolo al centro

$$h = R \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right]$$

[1] (Battente)

$$A_s = \frac{R^2}{2} \cdot \varphi$$

(Settore circolare sotteso all'angolo φ)

$$A_T = R^2 \cdot \left[\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right]$$

(Area del triangolo OAB)

$$A = A_s + A_T$$

(Area sezione idrica)

$$A = R^2 \cdot \left[\frac{\varphi}{2} - \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right]$$

[2] (Area sezione idrica)

$$C = \varphi \cdot R$$

[3] (Contorno bagnato)

$$R_I = \frac{A}{C} = \frac{R}{2 \cdot \varphi} \cdot [\varphi - \sin(\varphi)]$$

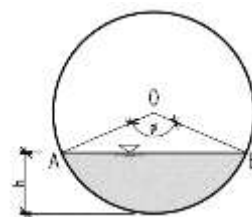
[4] (Raggio idraulico)

$$V = K_S \left[\frac{R}{2 \cdot \varphi} \cdot (\varphi - \sin(\varphi)) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

[5] (Velocità effettiva)

$$Q = R^2 \cdot \left[\frac{\varphi}{2} - \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right] \cdot K_S \left[\frac{R}{2 \cdot \varphi} \cdot (\varphi - \sin(\varphi)) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

[6] (Portata effettiva)



Calcolando gli zeri della funzione ottenuta eguagliando l'equazione [6] alla Q, calcolata con la formula di Chezy, si sono ottenuti i valori delle grandezze di verifica: velocità effettiva, grado di riempimento, rapporto tra portata effettiva e portata di massimo riempimento e rapporto tra battente effettivo e diametro della condotta.

7 LAMINAZIONE

Per il dimensionamento delle caratteristiche geometriche degli invasi di laminazione si è considerata la portata in uscita costante durante il colmo (laminazione ottimale). Tale ipotesi è con buona approssimazione accettabile, considerando che la portata di scarico è definita dalla stazione di sollevamento. 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 la portata uscente. Il processo di laminazione, nel tempo t, è perciò descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- [1] equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{\partial W(t)}{\partial t}$$

- [2] legge di efflusso che governa l'uscita dall'invaso:

$$Q_u(t) = Q_u[S_d(t), K_s]$$

- [3] legame geometrico tra il volume invasato ed il battente idrico H nell'invaso:

$$W(t) = W[H(t)]$$

dove $Q_e(t)$ rappresenta la portata entrante, $Q_u(t)$ quella uscente, $W(t)$ il volume invasato, $H(t)$ il battente idrico.

Da un punto di vista matematico, l'integrazione del sistema [1], [2] e [3] descritto in precedenza consente di simulare il comportamento dell'invaso nel tempo ed, in particolare, di determinare il massimo volume invasato $W_{\max}$ e quindi – note le caratteristiche geometriche del manufatto e l'eventuale coefficiente di permeabilità – la massima portata in uscita $Q_{u\max}$ e il massimo livello idrico nell'invaso $h_{\max}$. Tale integrazione richiede che siano note le funzioni $q_e(t)$, cioè l'onda di piena in ingresso, $q_u(t)$, cioè la legge con la quale varia nel tempo la portata uscente, $W(t)$, cioè la legge d'invaso del bacino. L'equazione [1] è integrabile in forma chiusa solo quando le relazioni [2] e [3] e l'onda di piena in ingresso all'invaso siano rappresentabili mediante espressioni semplici.

8.1 ALLACCI DEI PLUVIALI

Per il dimensionamento delle tubazioni si è proceduto confrontando la portata confluyente in ciascun tratto di tubazione con la capacità di trasporto della tubazione stessa.

Come indicato dalle norme di buona tecnica, per evitare fenomeni di allagamento in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi associati ad una possibile riduzione della sezione di passaggio delle tubazioni per deposito di materiali all'interno della tubazione, nel dimensionamento è stato considerato un grado di riempimento della tubazione non superiore al 70%. La pendenza massima di progetto sarà tale che la velocità massima non superi i 5m/s per portate eccezionali (*Circolare Ministero LL.PP. – Servizio Tecnico Centrale – 7 gennaio 1974, n. 11633*)¹.

A seguire, rappresentativamente, si riporta il dettaglio delle verifiche idrauliche per gli allacci dei pluviali con la portata massima per ciascun diametro e pendenza adottata, di tali condotte sono riportate le scale delle velocità e delle portate per tubi nuovi e in servizio corrente.

¹ Circolare Ministero LL.PP. - Servizio Tecnico Centrale - 7 gennaio 1974, n. 11633

Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto.

Capitolo III – Progetto esecutivo

VIII

Calcolo delle **portate pluviali** di tutte le canalizzazioni della rete facente parte del progetto esecutivo, esponendo il metodo di calcolo adoperato, eseguito sulla base dello studio idrologico delle durate degli eventi meteorici, dell'estensione, delle aree dei bacini colanti e dei coefficienti di assorbimento dei terreni; dovrà tenersi conto anche della frequenza con cui potranno verificarsi gli eventi più gravosi; i risultati saranno presentati sotto forma tabellare, con l'indicazione dei coefficienti udometrici calcolati, delle pendenze, delle sezioni, delle portate, delle velocità, delle altezze d'acqua. La velocità massima eccezionale non dovrà superare di norma i 5 m/s.

La velocità di esercizio, a prescindere dai detti limiti che hanno valore indicativo dovranno comunque essere correlate alla resistenza all'usura dei materiali di cui le fogne sono rivestite.

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	2,92	[l/s]
Diametro canale	0,1035	[m]
Pendenza	1,0000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,052	0,05	[m]
Area bagnata	0,003	0,004	[m ²]
Perimetro bagnato	0,141	0,162	[m]
Raggio idraulico	0,022	0,026	[m]
Riempimento	39,6%	49,7%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,045	0,025	[m]
Energia specifica	0,086	0,076	[m]
Altezza critica	0,057	0,051	[m]
Velocità critica	0,751	0,707	[m/s]
Coeff. di Chezy	63,522	43,486	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,721	3,131	[-]
Larghezza pelo libero	0,101	0,104	[m]
Numero di Froude	1,487	0,983	[-]
Velocità	0,942	0,698	[m/s]
Portata	2,92	2,92	[l/s]
Tirante idrico	0,041	0,051	[m]

Diametro	[mm]	103,529412	
Pendenza	[-]	1,00%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	30,7%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	39,6%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	0,942	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	9,50	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	46,1%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	49,7%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,698	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	6,33	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	110 mm
spessore	s	3,2 mm
diametro interno	ϕ int	103,5 mm
SN		8 [-]

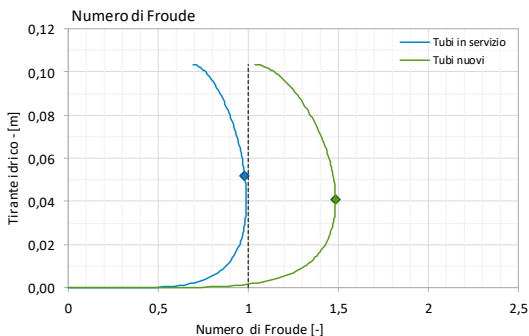
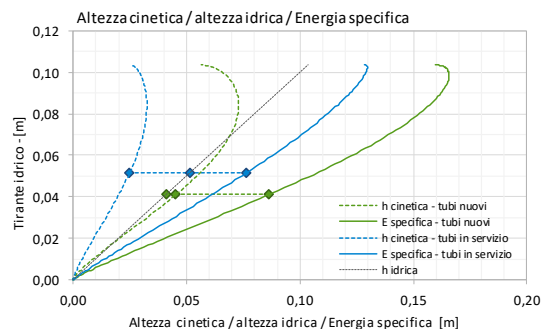
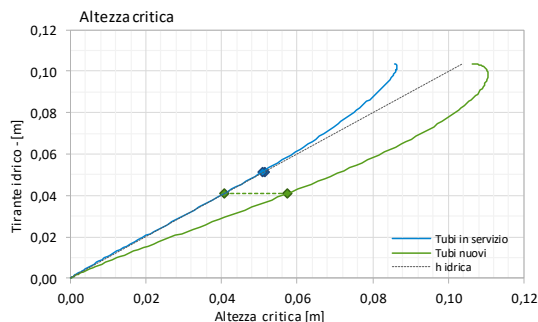
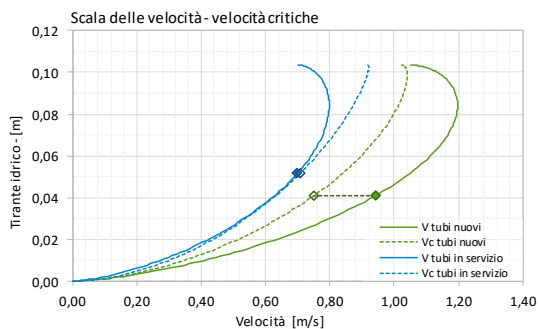
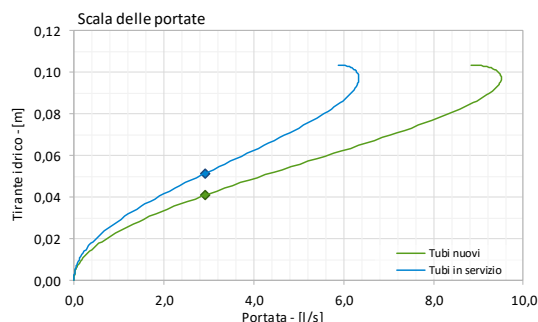
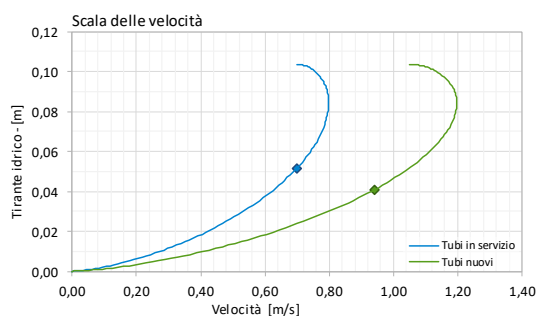


Tabella 3 – Verifiche idrauliche – allaccio pluviale D.007 – ϕ 110mm p=1%

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	3,57	[l/s]
Diametro canale	0,1506	[m]
Pendenza	1,0000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,075	0,08	[m]
Area bagnata	0,004	0,005	[m ²]
Perimetro bagnato	0,161	0,181	[m]
Raggio idraulico	0,023	0,027	[m]
Riempimento	26,1%	32,1%	[%]
Diff.	0,000	-0,001	[l/s]
Altezza cinematica	0,048	0,027	[m]
Energia specifica	0,087	0,075	[m]
Altezza critica	0,058	0,050	[m]
Velocità critica	0,754	0,700	[m/s]
Coeff. di Chezy	63,937	43,871	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,143	2,409	[-]
Larghezza pelo libero	0,132	0,141	[m]
Numero di Froude	1,559	1,051	[-]
Velocità	0,967	0,724	[m/s]
Portata	3,57	3,57	[l/s]
Tirante idrico	0,039	0,048	[m]

Diametro	[mm]	150,588235	
Pendenza	[-]	1,00%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	13,8%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	26,1%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	0,967	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	25,80	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	20,8%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	32,1%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,724	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	17,20	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	160 mm
spessore	s	4,7 mm
diametro interno	ϕ int	150,6 mm
SN		8 [-]

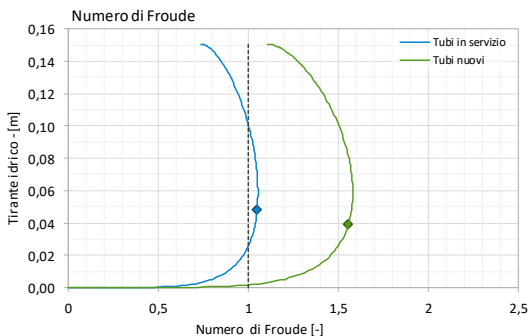
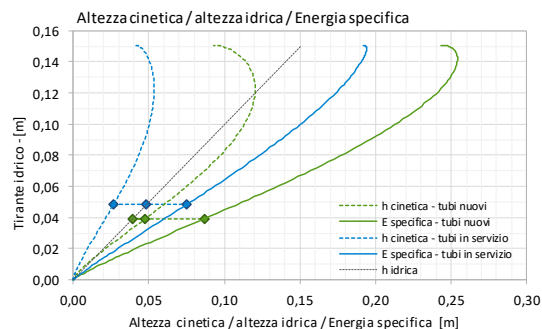
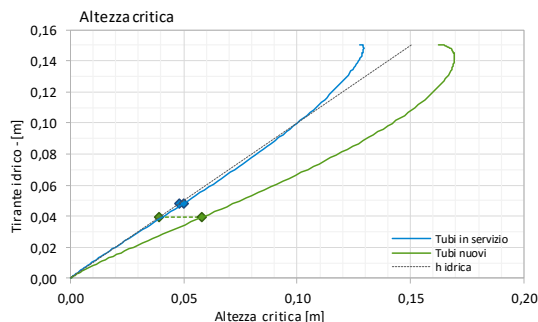
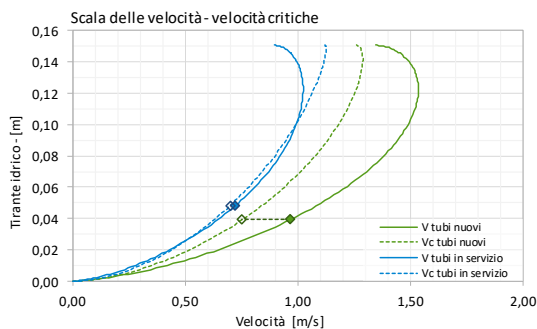
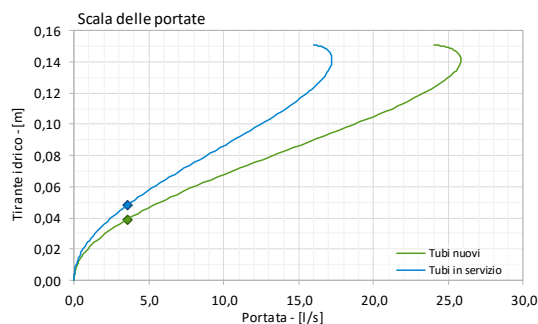
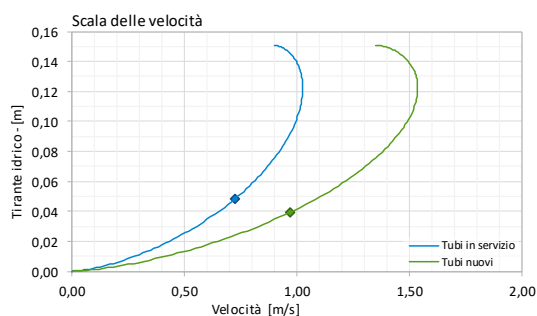


Tabella 4 – Verifiche idrauliche – allaccio pluviale D.002 – ϕ 160mm p=1%

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	3,96	[l/s]
Diametro canale	0,1506	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,075	0,08	[m]
Area bagnata	0,005	0,007	[m ²]
Perimetro bagnato	0,184	0,209	[m]
Raggio idraulico	0,028	0,033	[m]
Riempimento	32,9%	40,8%	[%]
Diff.	-0,001	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,031	0,017	[m]
Energia specifica	0,080	0,079	[m]
Altezza critica	0,054	0,052	[m]
Velocità critica	0,724	0,717	[m/s]
Coeff. di Chezy	66,013	45,252	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,442	2,773	[-]
Larghezza pelo libero	0,141	0,148	[m]
Numero di Froude	1,116	0,746	[-]
Velocità	0,777	0,579	[m/s]
Portata	3,96	3,96	[l/s]
Tirante idrico	0,049	0,061	[m]

Diametro	[mm]	150,588235	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	21,7%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	32,9%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	0,777	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	18,24	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	32,6%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	40,8%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,579	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	12,16	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	160	mm
spessore	s	4,7	mm
diametro interno	ϕ int	150,6	mm
SN		8	[-]

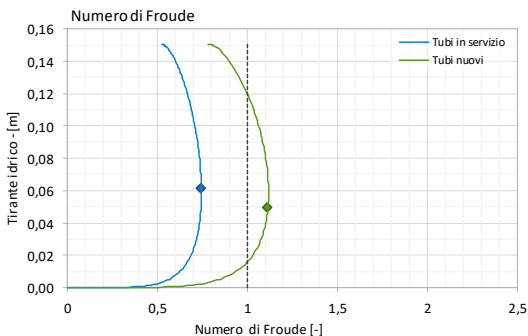
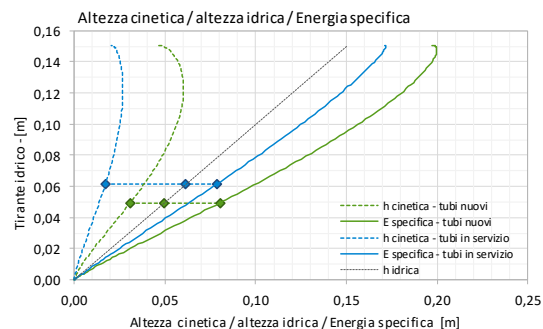
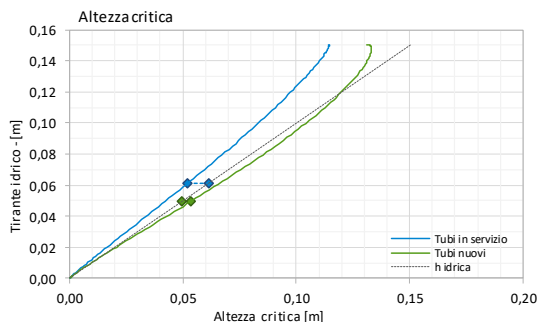
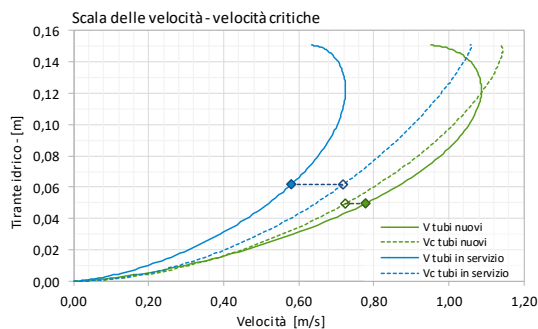
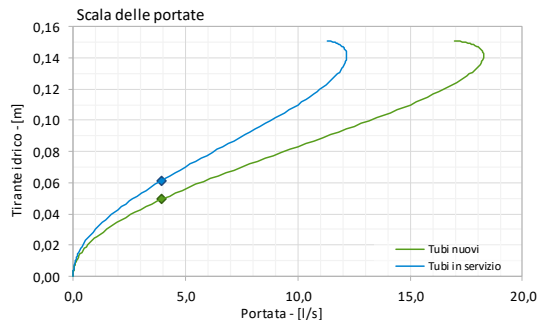
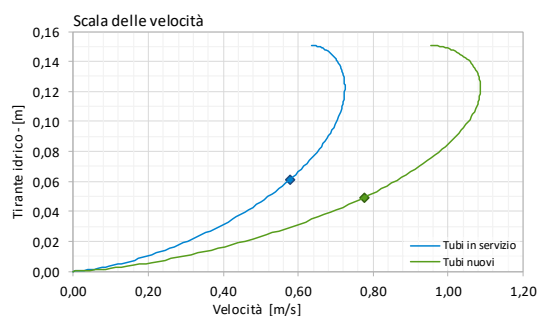


Tabella 5 – Verifiche idrauliche – allaccio piovale E.002 – ϕ 160mm p=0,5%

8.2 COLLETTORI RETE COPERTURE

I collettori delle acque meteoriche raccolte dai pluviali sono realizzati con tubi in PVC con diametro 160mm, 200mm, 250mm e 315mm e pendenza dello 0,5% e 1%.

A seguire, rappresentativamente, per ciascun diametro previsto e per ciascuna pendenza, si riporta il dettaglio delle verifiche idrauliche per il tronco con la portata massima, di tale condotta sono riportate le scale delle velocità e delle portate per tubi nuovi e in servizio corrente.

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	5,13	[l/s]
Diametro canale	0,1506	[m]
Pendenza	0,5000	[‰]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/2} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/2} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,075	0,08	[m]
Area bagnata	0,006	0,008	[m ²]
Perimetro bagnato	0,199	0,228	[m]
Raggio idraulico	0,031	0,036	[m]
Riempimento	37,7%	47,2%	[‰]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,036	0,020	[m]
Energia specifica	0,092	0,091	[m]
Altezza critica	0,062	0,060	[m]
Velocità critica	0,777	0,770	[m/s]
Coeff. di Chezy	67,207	46,027	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,645	3,031	[-]
Larghezza pelo libero	0,146	0,150	[m]
Numero di Froude	1,119	0,742	[-]
Velocità	0,835	0,620	[m/s]
Portata	5,13	5,13	[l/s]
Tirante idrico	0,057	0,071	[m]

Diametro	[mm]	150,588235	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	28,1%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	37,7%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	0,835	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	18,24	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	42,2%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	47,2%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,620	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	12,16	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	160 mm
spessore	s	4,7 mm
diametro interno	ϕ int	150,6 mm
SN		8 [-]

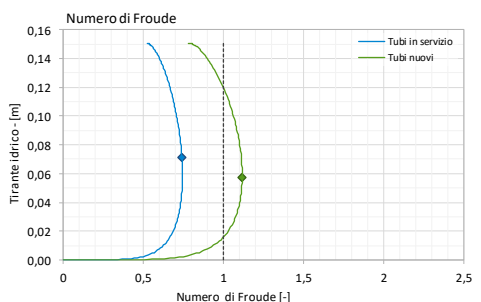
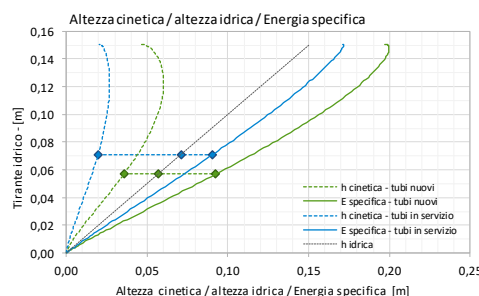
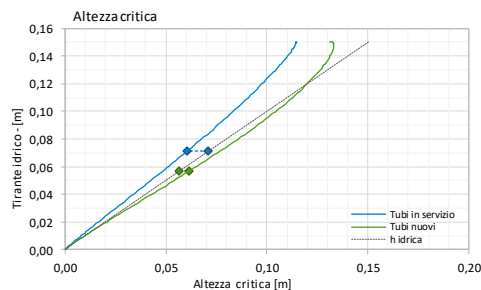
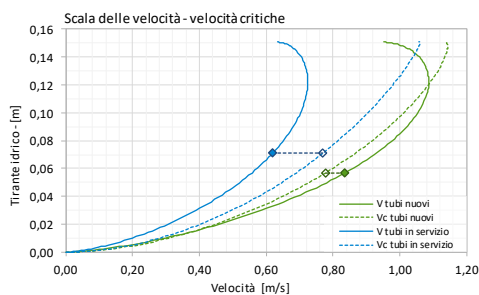
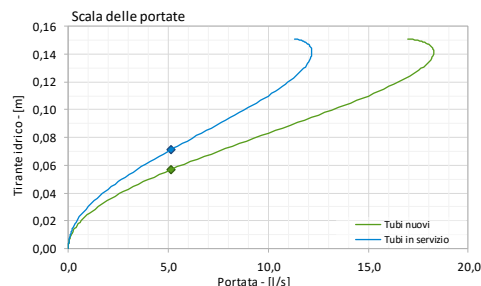
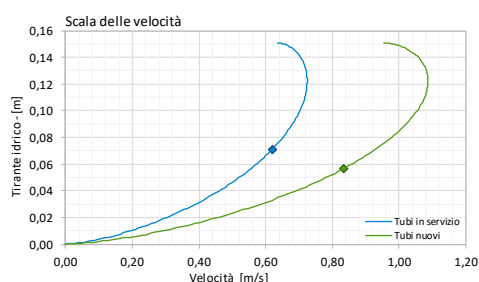


Tabella 6 – Verifiche idrauliche – collettore pluviali ϕ 160mm – pendenza 0,5% – tronco B.308–B.309

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	10,65	[l/s]
Diametro canale	0,1882	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,094	0,09	[m]
Area bagnata	0,011	0,014	[m ²]
Perimetro bagnato	0,260	0,300	[m]
Raggio idraulico	0,041	0,048	[m]
Riempimento	40,6%	51,1%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,051	0,028	[m]
Energia specifica	0,128	0,124	[m]
Altezza critica	0,085	0,083	[m]
Velocità critica	0,914	0,902	[m/s]
Coeff. di Chezy	70,396	48,181	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,763	3,186	[-]
Larghezza pelo libero	0,185	0,188	[m]
Numero di Froude	1,161	0,766	[-]
Velocità	1,005	0,744	[m/s]
Portata	10,65	10,65	[l/s]
Tirante idrico	0,076	0,096	[m]

Diametro	[mm]	188,235294	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	32,2%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	40,6%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,005	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	33,07	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	48,3%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	51,1%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,744	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	22,05	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	200 mm
spessore	s	5,9 mm
diametro interno	ϕ int	188,2 mm
SN		8 [-]

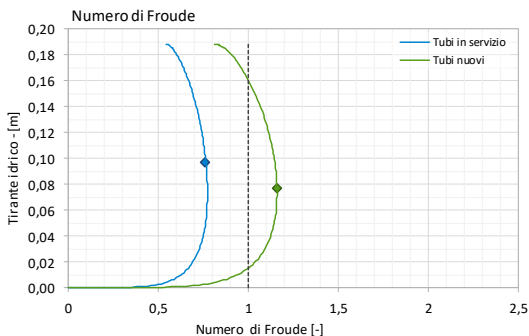
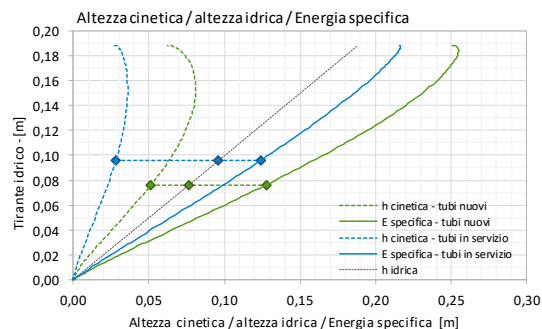
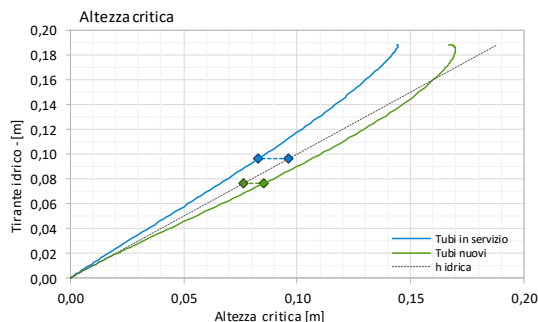
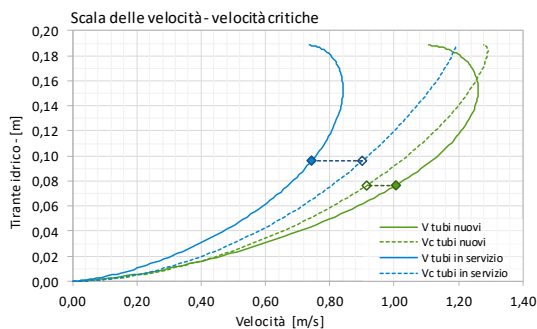
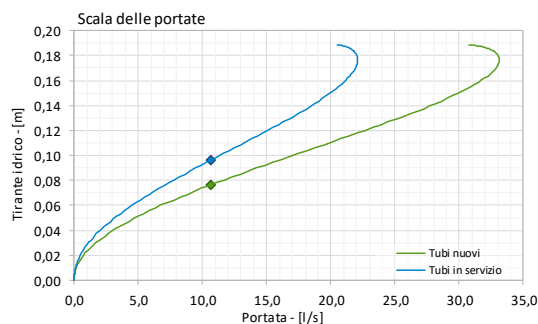
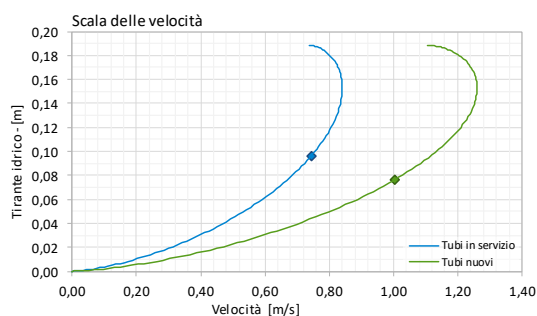


Tabella 7 – Verifiche idrauliche – collettore pluviali ϕ 200mm – pendenza 0,50% – tronco B.310–B.311

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	19,48	[l/s]
Diametro canale	0,2353	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,118	0,12	[m]
Area bagnata	0,017	0,023	[m ²]
Perimetro bagnato	0,326	0,376	[m]
Raggio idraulico	0,051	0,060	[m]
Riempimento	40,8%	51,4%	[%]
Diff.	-0,001	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,070	0,038	[m]
Energia specifica	0,166	0,159	[m]
Altezza critica	0,110	0,106	[m]
Velocità critica	1,041	1,020	[m/s]
Coeff. di Chezy	73,106	50,033	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,771	3,197	[-]
Larghezza pelo libero	0,231	0,235	[m]
Numero di Froude	1,205	0,795	[-]
Velocità	1,169	0,865	[m/s]
Portata	19,48	19,48	[l/s]
Tirante idrico	0,096	0,121	[m]

Diametro	[mm]	235,294118	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	32,5%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	40,8%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,169	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	59,96	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	48,7%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	51,4%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,865	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	39,98	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	250 mm
spessore	s	7,4 mm
diametro interno	ϕ int	235,3 mm
SN		8 [-]

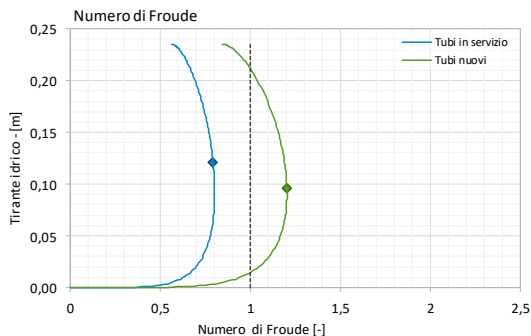
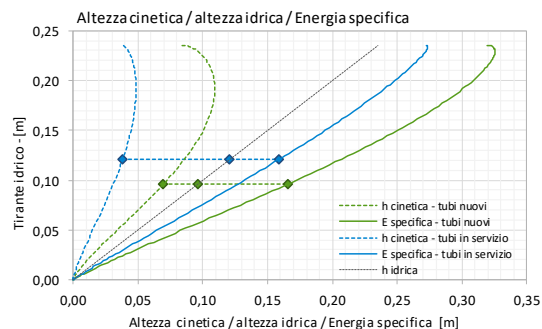
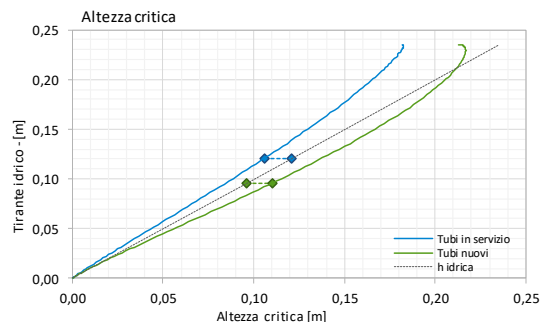
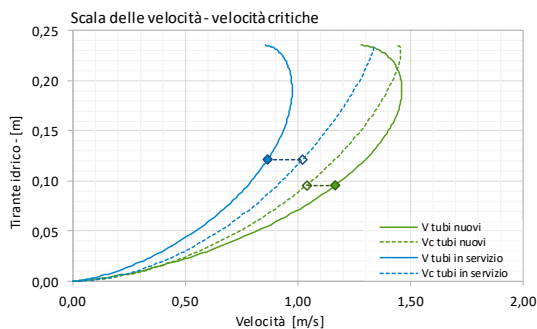
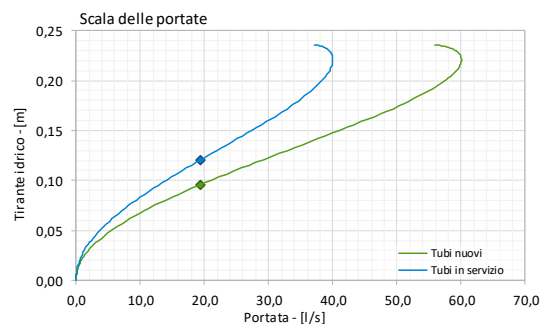
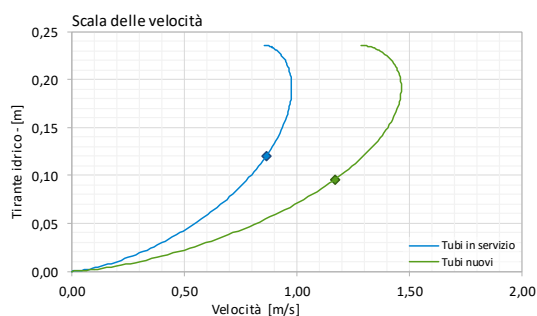


Tabella 8 – Verifiche idrauliche – collettore pluviali ϕ 250mm – pendenza 0,5% – tronco B.325–B.324

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	29,33	[l/s]
Diametro canale	0,2965	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,148	0,15	[m]
Area bagnata	0,023	0,031	[m ²]
Perimetro bagnato	0,384	0,439	[m]
Raggio idraulico	0,059	0,070	[m]
Riempimento	36,5%	45,6%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,085	0,047	[m]
Energia specifica	0,193	0,182	[m]
Altezza critica	0,129	0,121	[m]
Velocità critica	1,123	1,090	[m/s]
Coeff. di Chezy	74,916	51,320	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,593	2,964	[-]
Larghezza pelo libero	0,285	0,295	[m]
Numero di Froude	1,252	0,832	[-]
Velocità	1,289	0,958	[m/s]
Portata	29,33	29,33	[l/s]
Tirante idrico	0,108	0,135	[m]

Diametro	[mm]	296,470588	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	26,4%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	36,5%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,289	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	111,06	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	39,6%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	45,6%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,958	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	74,04	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	315	mm
spessore	s	9,3	mm
diametro interno	ϕ int	296,5	mm
SN		8	[-]

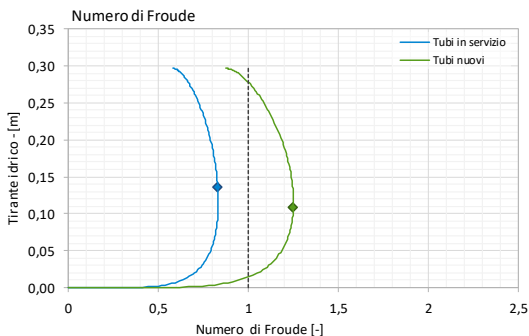
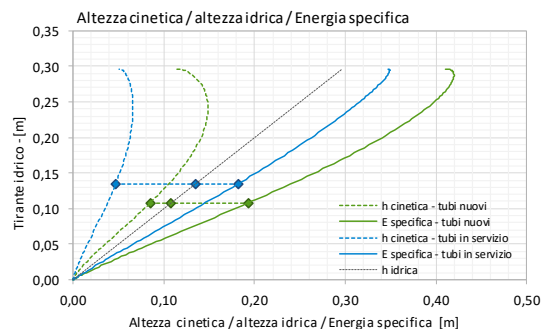
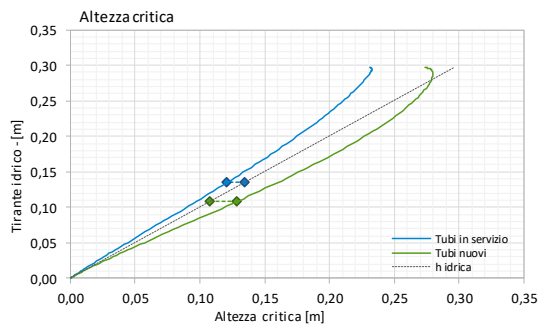
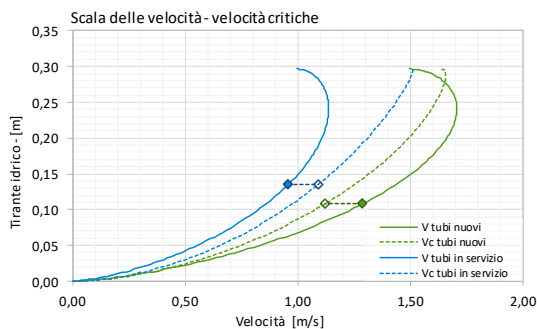
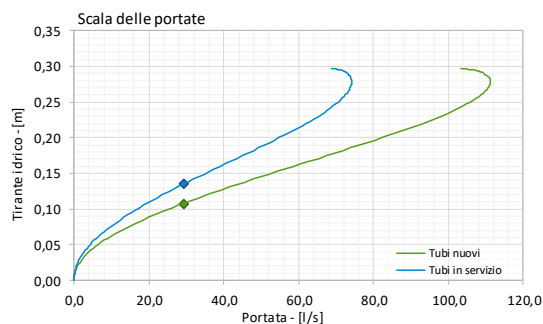
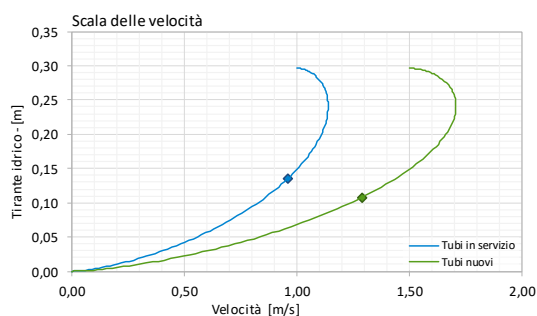


Tabella 9 – Verifiche idrauliche – collettore pluviali ϕ 315mm – pendenza 0,5% – tronco B.322–B.321

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	43,71	[l/s]
Diametro canale	0,2965	[m]
Pendenza	1,0000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,148	0,15	[m]
Area bagnata	0,024	0,032	[m ²]
Perimetro bagnato	0,391	0,448	[m]
Raggio idraulico	0,060	0,071	[m]
Riempimento	37,5%	46,9%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,174	0,096	[m]
Energia specifica	0,286	0,235	[m]
Altezza critica	0,190	0,157	[m]
Velocità critica	1,366	1,240	[m/s]
Coeff. di Chezy	75,186	51,494	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,636	3,019	[-]
Larghezza pelo libero	0,287	0,296	[m]
Numero di Froude	1,771	1,176	[-]
Velocità	1,849	1,373	[m/s]
Portata	43,71	43,71	[l/s]
Tirante idrico	0,111	0,139	[m]

Diametro	[mm]	296,470588	
Pendenza	[-]	1,00%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	27,8%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	37,5%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,849	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	157,06	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	41,7%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	46,9%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	1,373	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	104,71	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	315	mm
spessore	s	9,3	mm
diametro interno	ϕ int	296,5	mm
SN		8	[-]

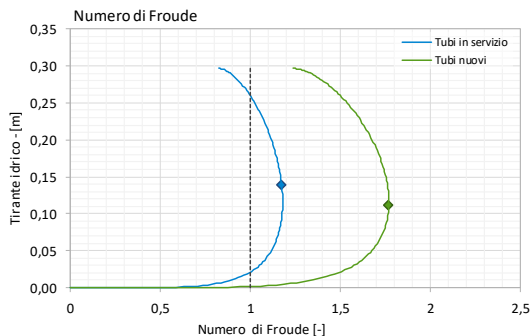
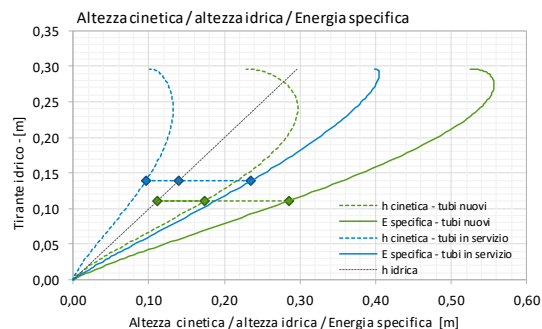
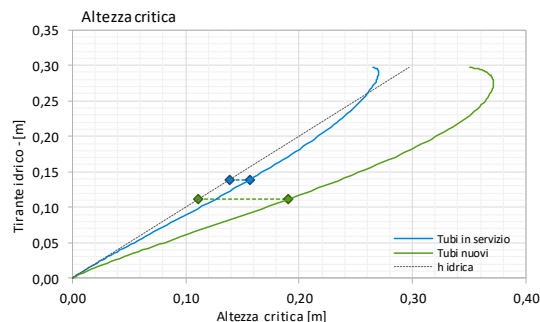
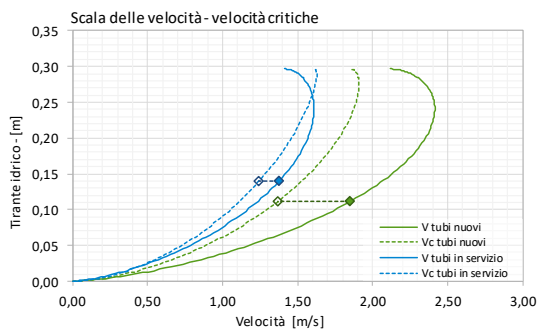
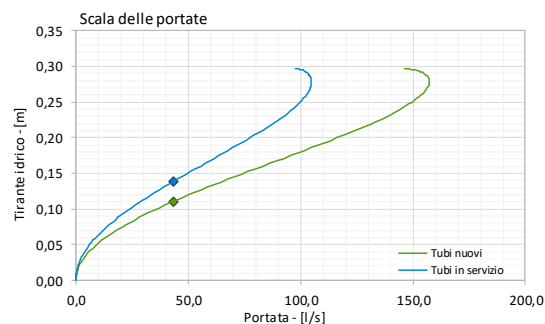
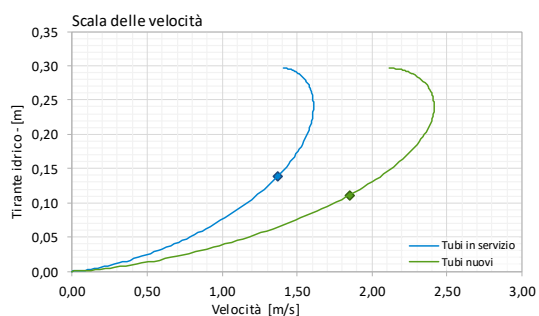


Tabella 10 – Verifiche idrauliche – collettore pluviali ϕ 315mm – pendenza 1% – tronco B.321–P.P.11

8.3 CADITOIE CON GRIGLIA

Si prevedono caditoie prefabbricate in cls di dimensioni interne 45cm x 45cm, con sovrastante griglia in ghisa sferoidale con superficie 400mmx400mm e percentuale di foratura pari al 40%.

Il deflusso delle portate catturate dalla caditoia è considerato, a favore di sicurezza, di tipo “a battente”. La portata che defluisce è data dalla relazione:

$$Q = C \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,50}$$

Dove:

$C=0,67$ è un coefficiente funzione della geometria della griglia

$A=0,0640 \text{ m}^2$ è l'area netta della griglia interessata dal deflusso a battente

$h=0,010 \text{ m}$ ammettendo un accumulo massimo di acqua pari a 1,0 cm sopra la caditoia

La portata massima defluente è:

$$Q = 5,92 \text{ l/s}$$

La portata massima raccolta dalle griglie è pari a:

$$Q_{\max eff, griglia} = 5,92 \text{ l/s} \ll Q_{amm, griglia} = 19,0 \text{ l/s} \rightarrow \text{Verificato}$$

8.4 ALLACCI DELLE CADITOIE

La portata massima scaricata dalle caditoie è pari a **5,92 l/s**. Gli allacci sono realizzati con tronchi di tubo in PVC diametro 160mm con pendenza dello 0,5%; tali allacci risultano verificati con grado di riempimento pari al 41% per tubi nuovi e pari al 51% per tubi in servizio corrente. Le velocità risultano pari, rispettivamente, a 0,87 m/s e 0,64 m/s.

A seguire, rappresentativamente, si riporta il dettaglio delle verifiche idrauliche per l'allaccio della caditoia con la portata massima, di tale condotta sono riportate le scale delle velocità e delle portate per tubi nuovi e in servizio corrente.

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	5,92	[l/s]
Diametro canale	0,1506	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,075	0,08	[m]
Area bagnata	0,007	0,009	[m ²]
Perimetro bagnato	0,209	0,241	[m]
Raggio idraulico	0,033	0,038	[m]
Riempimento	40,8%	51,4%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,038	0,021	[m]
Energia specifica	0,100	0,098	[m]
Altezza critica	0,067	0,066	[m]
Velocità critica	0,808	0,802	[m/s]
Coeff. di Chezy	67,862	46,444	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,770	3,196	[-]
Larghezza pelo libero	0,148	0,151	[m]
Numero di Froude	1,119	0,738	[-]
Velocità	0,868	0,643	[m/s]
Portata	5,92	5,92	[l/s]
Tirante idrico	0,061	0,077	[m]

Diametro	[mm]	150,588235	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	32,5%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	40,8%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	0,868	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	18,24	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	48,7%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	51,4%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,643	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	12,16	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	160	mm
spessore	s	4,7	mm
diametro interno	ϕ int	150,6	mm
SN		8	[-]

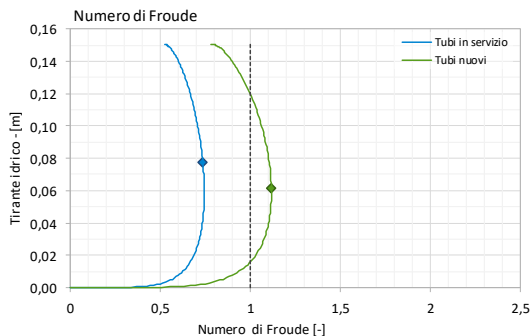
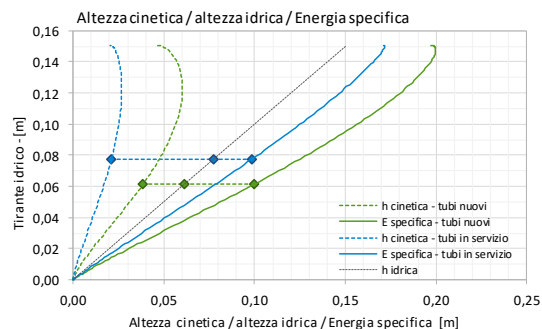
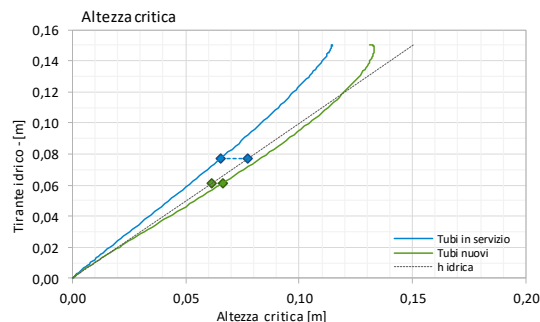
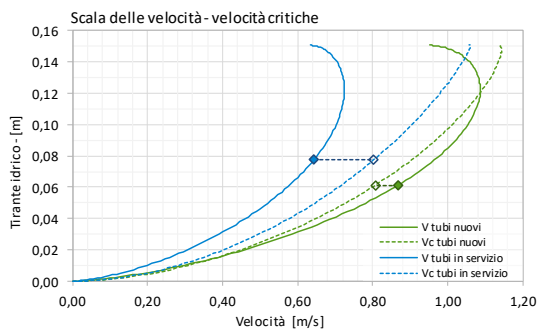
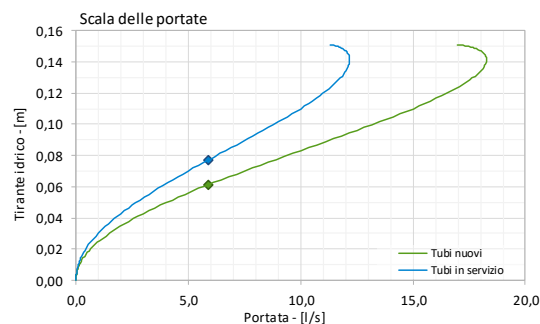
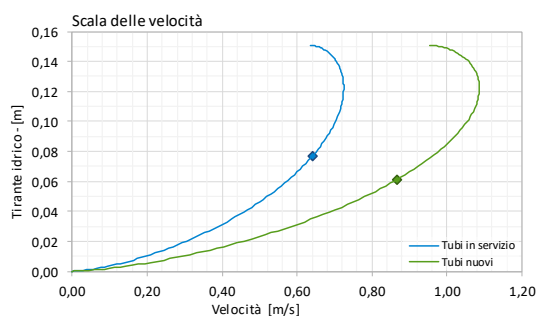


Tabella 11 – Verifiche idrauliche – allaccio caditoia C.004 – ϕ 160mm $p=0,5\%$

8.5 COLLETTORI RETE PIAZZALI E STRADA

I collettori delle acque meteoriche raccolte dalle caditoie sono realizzati con tubi in PVC con diametro 200mm, 250mm e 315mm e pendenza dello 0,5%.

A seguire, rappresentativamente, si riporta il dettaglio delle verifiche idrauliche per il tronco di collettore con la portata massima, di tale condotta sono riportate le scale delle velocità e delle portate per tubi nuovi e in servizio corrente.

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	10,99	[l/s]
Diametro canale	0,1882	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,094	0,09	[m]
Area bagnata	0,011	0,015	[m ²]
Perimetro bagnato	0,263	0,304	[m]
Raggio idraulico	0,041	0,048	[m]
Riempimento	41,3%	52,1%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,052	0,029	[m]
Energia specifica	0,130	0,127	[m]
Altezza critica	0,087	0,084	[m]
Velocità critica	0,922	0,910	[m/s]
Coeff. di Chezy	70,545	48,274	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,791	3,225	[-]
Larghezza pelo libero	0,185	0,188	[m]
Numero di Froude	1,161	0,765	[-]
Velocità	1,013	0,750	[m/s]
Portata	10,99	10,99	[l/s]
Tirante idrico	0,078	0,098	[m]

Diametro	[mm]	188,235294	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	33,2%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	41,3%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,013	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	33,07	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	49,8%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	52,1%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,750	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	22,05	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	200 mm
spessore	s	5,9 mm
diametro interno	ϕ int	188,2 mm
SN		8 [-]

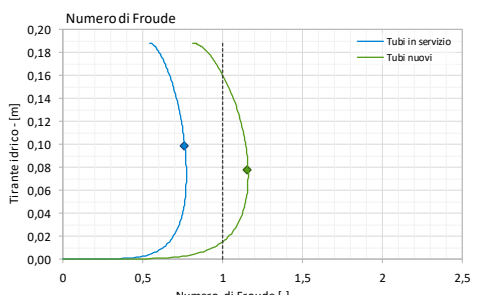
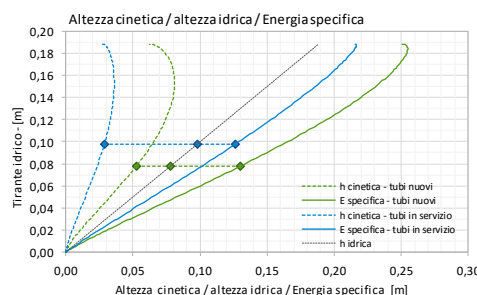
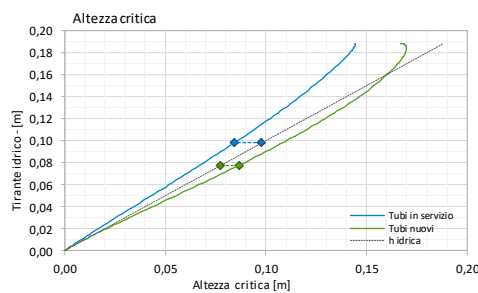
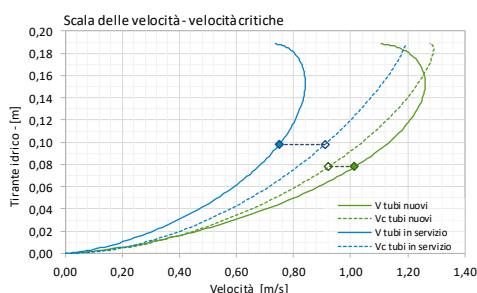
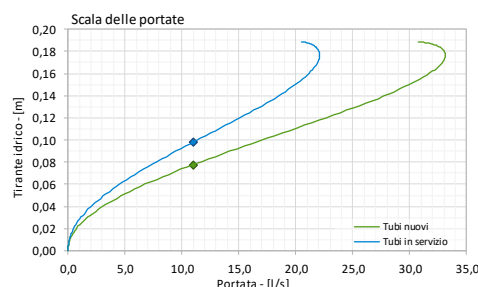
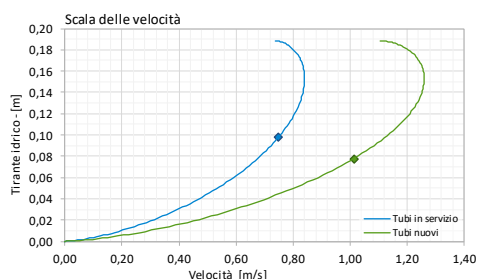


Tabella 12 – Verifiche idrauliche – collettore caditoie ϕ 200mm – pendenza 0,50% – tronco B.203 – B.201

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	14,41	[l/s]
Diametro canale	0,2353	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,118	0,12	[m]
Area bagnata	0,013	0,018	[m ²]
Perimetro bagnato	0,296	0,337	[m]
Raggio idraulico	0,045	0,053	[m]
Riempimento	34,7%	43,2%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,059	0,033	[m]
Energia specifica	0,141	0,134	[m]
Altezza critica	0,094	0,090	[m]
Velocità critica	0,959	0,937	[m/s]
Coeff. di Chezy	71,617	49,076	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,518	2,869	[-]
Larghezza pelo libero	0,224	0,233	[m]
Numero di Froude	1,204	0,802	[-]
Velocità	1,076	0,801	[m/s]
Portata	14,41	14,41	[l/s]
Tirante idrico	0,082	0,102	[m]

Diametro	[mm]	235,294118	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	24,0%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	34,7%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,076	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	59,96	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	36,0%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	43,2%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,801	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	39,98	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	250	mm
spessore	s	7,4	mm
diametro interno	ϕ int	235,3	mm
SN		8	[-]

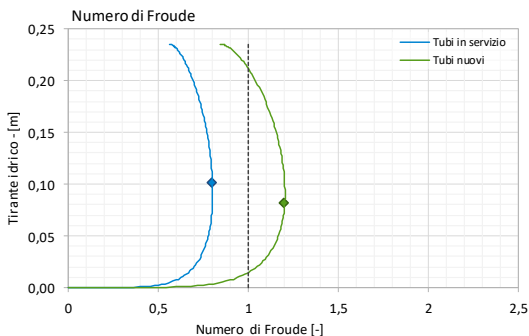
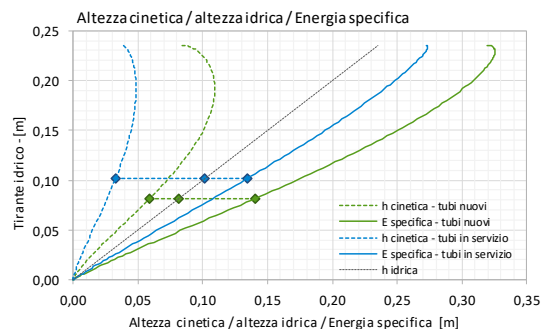
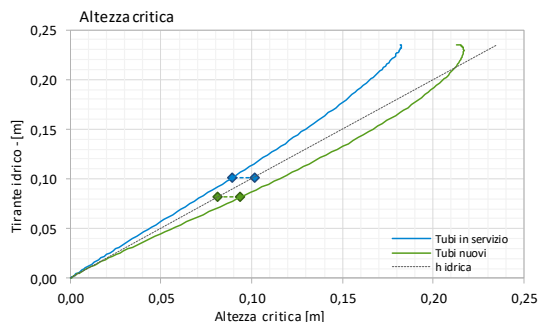
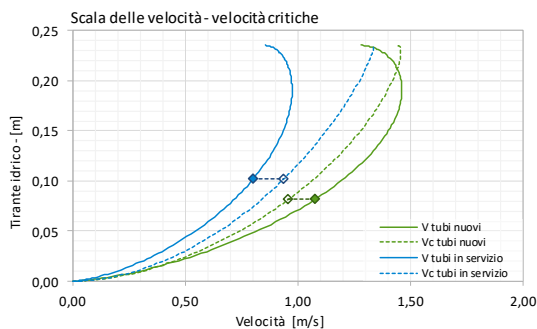
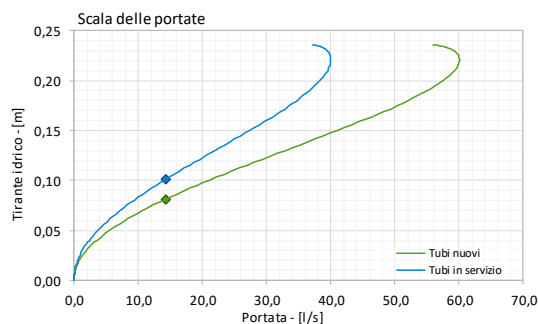
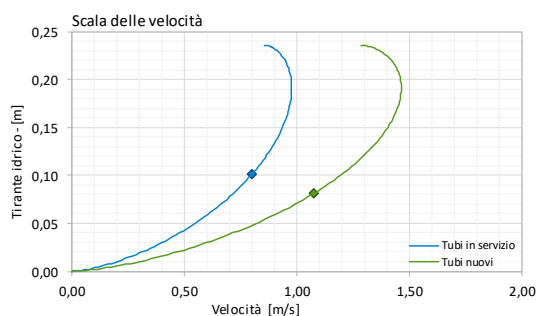


Tabella 13 – Verifiche idrauliche – collettore caditoie ϕ 250mm – pendenza 0,50% – tronco B.205 – P.P.14

Verifica condotta a pelo libero a sezione circolare

DATI		u.m.
Portata	18,31	[l/s]
Diametro canale	0,2965	[m]
Pendenza	0,5000	[%]
Materiale	PVC	[-]
Coeff. Strickler - tubi nuovi	120	[m ^{1/3} /s]
Coeff. Strickler - tubi usati	80	[m ^{1/3} /s]

GRANDEZZE IDRAULICHE	Tubi Nuovi	Tubi usati	u.m.
Raggio	0,148	0,15	[m]
Area bagnata	0,016	0,022	[m ²]
Perimetro bagnato	0,334	0,377	[m]
Raggio idraulico	0,049	0,058	[m]
Riempimento	28,5%	35,2%	[%]
Diff.	0,000	0,000	[l/s]
Altezza cinematica	0,065	0,036	[m]
Energia specifica	0,150	0,141	[m]
Altezza critica	0,100	0,094	[m]
Velocità critica	0,989	0,959	[m/s]
Coeff. di Chezy	72,481	49,718	[m ^{1/2} /s]
ϕ	2,252	2,540	[-]
Larghezza pelo libero	0,268	0,283	[m]
Numero di Froude	1,241	0,834	[-]
Velocità	1,129	0,844	[m/s]
Portata	18,31	18,31	[l/s]
Tirante idrico	0,084	0,104	[m]

Diametro	[mm]	296,470588	
Pendenza	[-]	0,50%	
Riempimento Q/Qmax (tubi nuovi)	[-]	16,5%	Tubi nuovi
Riempimento H/D (tubi nuovi)	[-]	28,5%	
Velocità (tubi nuovi)	[m/s]	1,129	
Q max (tubi nuovi)	[l/s]	111,06	
Riempimento Q/Qmax (tubi in servizio)	[-]	24,7%	Tubi in servizio
Riempimento H/D (tubi in servizio)	[-]	35,2%	
Velocità (tubi in servizio)	[m/s]	0,844	
Q max (tubi in servizio)	[l/s]	74,04	

Calcolo ϕ interno tubi PVC

diametro esterno	ϕ est	315	mm
spessore	s	9,3	mm
diametro interno	ϕ est	296,5	mm
SN		8	[-]

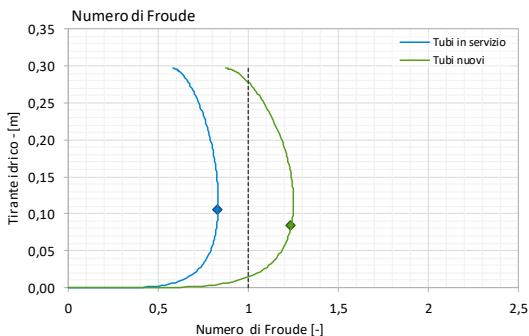
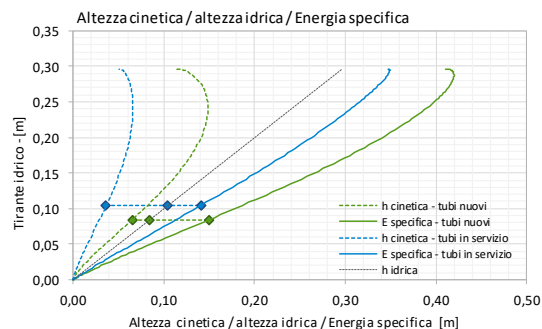
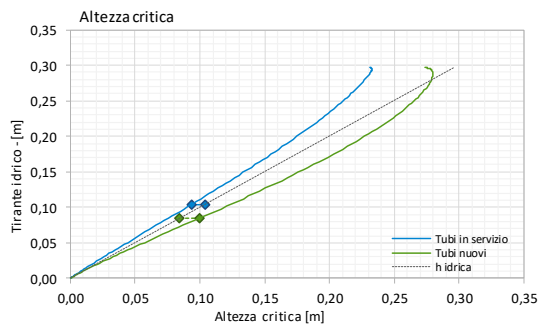
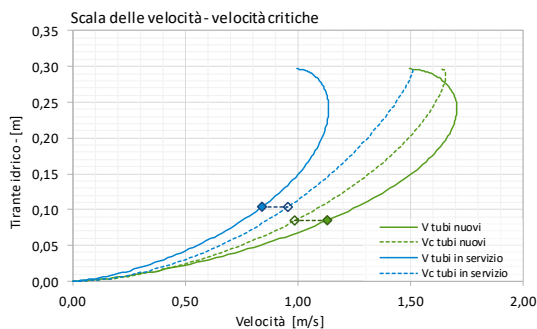
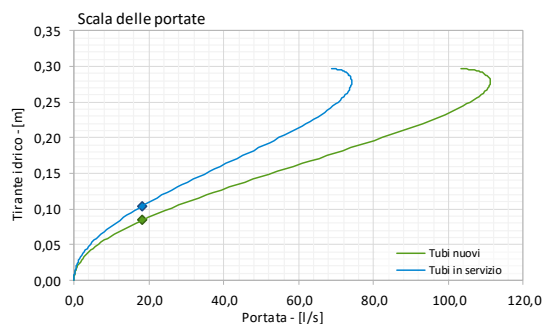
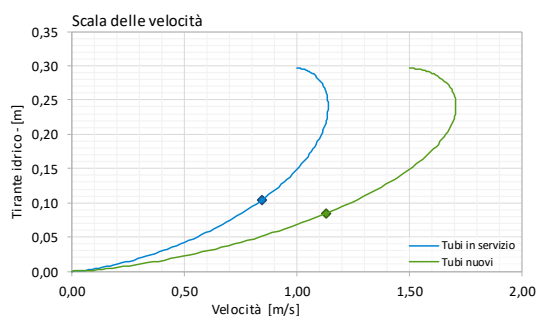


Tabella 14 – Verifiche idrauliche – collettore caditoie ϕ 315mm – pendenza 0,50% – tronco B.115 – P.P.06

9 INVARIANZA IDRAULICA

L'intervento è soggetto al rispetto dei principi di invarianza idraulica, e quindi al rispetto delle disposizioni del Regolamento Regione Lombardia n. 7/2017 aggiornato dal Regolamento Regione Lombardia n. 8/2019.

Il territorio del Comune di Rezzato rientra nelle aree di tipo B, ovvero a media criticità idraulica; da ciò deriva un valore ammissibile per le portate scaricabili nei ricettori di 20 l/s per ettaro.



Figura 10 – Individuazione del livello di criticità dei comuni

A seguire si riporta planimetria schematica dello stato di progetto dell'area oggetto di intervento.



Figura 11 – Planimetria di progetto

Area privata "Ovest"

	ϕ	Superficie m ²	Sup. imp. Eq. m ²
Sup. edifici / coperture	1,0	1.671,98	1.671,98
Sup. pavimentata impermeabile (cortili, marciapiedi, strade, parcheggi)	1,0	354,36	354,36
Sup. pavimentata semipermeabile (parcheggi)	0,7	0,00	0,00
Sup. pavimentata semipermeabile (aree di manovra)	0,7	604,16	422,91
Sup. verde	0,0	770,07	0,00
Sup. totale		3.400,57	2.449,25
		ϕ	0,7202

Tabella 15 – Destinazioni d'uso delle superfici e coefficienti di deflusso – Area privata "Ovest"

Area privata "Est"

	ϕ	Superficie m ²	Sup. imp. Eq. m ²
Sup. edifici / coperture	1,0	0,00	0,00
Sup. pavimentata impermeabile (cortili, marciapiedi, strade, parcheggi)	1,0	27,82	27,82
Sup. pavimentata semipermeabile (parcheggi)	0,7	311,71	218,20
Sup. pavimentata semipermeabile (aree di manovra)	0,7	326,80	228,76
Sup. verde	0,0	190,54	0,00
Sup. totale		856,87	474,78
		ϕ	0,5541

Tabella 16 – Destinazioni d'uso delle superfici e coefficienti di deflusso – Area privata "Ovest"

Area pubblica

	ϕ	Superficie m ²	Sup. imp. Eq. m ²
Sup. edifici / coperture	1,0	0,00	0,00
Sup. pavimentata impermeabile (cortili, marciapiedi, strade, parcheggi)	1,0	1.020,12	1.020,12
Sup. pavimentata semipermeabile (parcheggi)	0,7	0,00	0,00
Sup. pavimentata semipermeabile (aree di manovra)	0,7	0,00	0,00
Sup. verde	0,0	104,81	0,00
Sup. totale		1.124,93	1.020,12
		ϕ	0,9068

Tabella 17 – Destinazioni d'uso delle superfici e coefficienti di deflusso – Area pubblica

Area complessiva

	ϕ	Superficie m ²	Sup. imp. Eq. m ²
Sup. edifici / coperture	1,0	1.671,98	1.671,98
Sup. pavimentata impermeabile (cortili, marciapiedi, strade, parcheggi)	1,0	1.402,28	1.402,28
Sup. pavimentata semipermeabile (parcheggi)	0,7	311,71	218,20
Sup. pavimentata semipermeabile (aree di manovra)	0,7	930,96	651,67
Sup. verde	0,0	1.065,45	0,00
Sup. totale		5.382,38	3.944,13
		ϕ	0,7328

Tabella 18 – Destinazioni d'uso delle superfici e coefficienti di deflusso – Area pubblica

La superficie interessata dall'intervento è pari a $S = 5\,382,38\text{ mq}$ (ed è compresa tra 1 000 e 10 000 m^2). Il coefficiente di deflusso medio ponderale risulta pari a $\phi=0,7328$ nella situazione post-intervento.

l'intervento rientra nella classe di intervento 2 "Impermeabilizzazione potenziale media" e può essere applicato il metodo delle sole piogge. **Si impiegherà, comunque, il metodo di calcolo dettagliato per valutare, oltre ai volumi di laminazione necessari, anche il processo e i tempi di svuotamento dei pozzi perdenti.**

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	$\leq 0,03\text{ ha}$ ($\leq 300\text{ mq}$)	qualsiasi	Arece A, B	Requisiti minimi articolo 12 comma 1
				Arece C	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da $> 0,03\text{ ha}$ a $\leq 0,1\text{ ha}$ (da $> 300\text{ mq}$ a $\leq 1.000\text{ mq}$)	$\leq 0,4$	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da $> 0,03\text{ ha}$ a $\leq 0,1\text{ ha}$ (da $> 300\text{ mq}$ a $\leq 1.000\text{ mq}$)	$> 0,4$	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da $> 0,1\text{ ha}$ a $\leq 1\text{ ha}$ (da $> 1.000\text{ mq}$ a $\leq 10.000\text{ mq}$)	qualsiasi		
		da $> 1\text{ ha}$ a $\leq 10\text{ ha}$ (da $> 10.000\text{ mq}$ a $\leq 100.000\text{ mq}$)	$\leq 0,4$		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da $> 1\text{ ha}$ a $\leq 10\text{ ha}$ (da $> 10.000\text{ mq}$ a $\leq 100.000\text{ mq}$)	$> 0,4$	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		$> 10\text{ ha}$ ($> 100.000\text{ mq}$)	qualsiasi		

Tabella 19 – Tab.1 – Modalità di calcolo per ambiti territoriali e classe di intervento

9.1 SCELTA DEL SISTEMA DI SMALTIMENTO

Ai sensi del Regolamento Regione Lombardia, il controllo e la gestione delle acque pluviali sono effettuati, ove possibile, mediante sistemi che garantiscono l'infiltrazione, l'evapotraspirazione e il riuso. Il comma 2 stabilisce che la realizzazione di uno scarico delle acque pluviali in un ricettore è dovuta in caso di capacità di infiltrazione dei suoli inferiore rispetto all'intensità delle piogge più intense; stabilisce altresì che il medesimo scarico deve avvenire a valle di invasi di laminazione dimensionati per rispettare le portate massime ammissibili di cui all'articolo 8. Il comma 3 dello stesso articolo prevede che lo smaltimento dei volumi invasati debba avvenire secondo il seguente ordine decrescente di priorità:

- mediante il riuso dei volumi stoccati**, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto;
- mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo**, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale;
- scarico in corpo idrico superficiale** naturale o artificiale, con i limiti di portata di cui all'art.8;
- scarico in fognatura**, con i limiti di portata di cui all'articolo 8.

Per l'intervento in oggetto risulta possibile procedere all'infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, come verificato anche con l'esecuzione della prova di permeabilità in sito.

Si procederà alla infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo.

9.2 IETOGRAMMA DI PIOGGIA

Per la determinazione della massima portata al colmo si considera uno ietogramma di pioggia di tipo Chicago, con posizione del picco pari a 0,40 e durata $D=1$ ora, sicuramente maggiore del tempo di corrivazione della rete.

Lo ietogramma Chicago è caratterizzato da un picco di intensità massima $i_{\max}$ e da un'intensità media pari a quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica; considerando, per la curva di possibilità pluviometrica, la consueta formula monomia a due parametri, l'intensità $i(t)$ dello ietogramma è data dalle seguenti equazioni:

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t_r - t}{\kappa} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t - t_r}{1 - \kappa} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \geq t_r$$

Dove $t_r = \kappa \cdot \theta$

Caratteristica importante dello ietogramma Chicago è quella di essere poco sensibile al variare della durata complessiva dell'evento θ ; l'aumento di quest'ultima non influisce sulla parte centrale dello ietogramma, quella attorno al picco, che rimane pressoché immutata, ma solo sull'allungamento delle sue due code estreme prima e dopo il picco. Ciò significa che uno ietogramma Chicago di durata generica θ contiene in sé anche gli ietogrammi di durata inferiore.

Per quanto riguarda il valore massimo dell'intensità di pioggia, è bene osservare che le equazioni sopra riportate portano a valori infiniti dell'intensità di pioggia $i(t)$ al tendere a zero delle distanze tra il tempo considerato t e t_r . Per ovviare a tale incongruenza si taglia lo ietogramma in corrispondenza del picco, valutando il valore massimo dell'intensità di pioggia per un intervallo finito di tempo, dipendente dalla conoscenza della cpp per durate brevi. A tale riguardo il picco dello ietogramma è stato calcolato per un intervallo di tempo pari al tempo di corrivazione (5 minuti). Lo ietogramma risultante è il seguente:

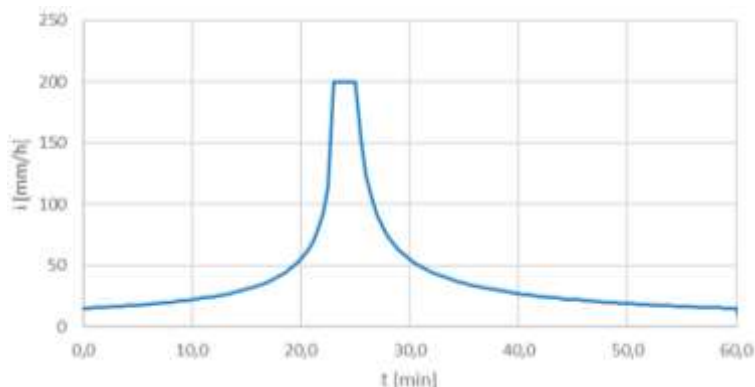


Figura 12 – Ietogramma Chicago per eventi di durata 1 ora con picco in corrispondenza di 0,40h

9.2.1 IETOGRAMMA NETTO

Per la costruzione dello ietogramma netto le perdite idrologiche sono state considerate, in modo globale, attraverso il coefficiente di afflusso φ ed il metodo percentuale. Tale coefficiente è stato calibrato in modo differenziato in funzione delle componenti di portata che concorrono alla formazione dell'onda di piena. In particolare, si sono adottati i valori forniti dal Regolamento Regionale n.8/2019 e pari a:

- | | |
|--|----------------|
| - sup. impermeabile | $\varphi=1,00$ |
| - sup. semipermeabile | $\varphi=0,70$ |
| - verde semipermeabile | $\varphi=0,30$ |
| - verde permeabile, terreno agricolo o incolto | $\varphi=0,00$ |

9.3 IDROGRAMMA DI PIENA

Per la valutazione dell'idrogramma di piena si procederà in base ai dati relativi alle precipitazioni intense (ovvero in base alle curve di probabilità pluviometrica) e si adotterà il modello afflussi-deflussi. Per la costruzione dell'idrogramma a partire dallo ietogramma netto la trasformazione afflussi-deflussi è stata eseguita adottando un modello lineare in cui la relazione ingresso-uscita è descritta da un'equazione differenziale lineare a coefficienti costanti.

La portata uscente $q(t)$ è data dall'integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t u(t - \tau) \cdot p(\tau) \cdot d\tau$$

Dove $p(t) = S \cdot \varphi \cdot i(t)$ è la portata di pioggia netta

$i(t)$ è lo ietogramma lordo

$u(t)$ è l'idrogramma unitario istantaneo, detto anche IUH

(Instantaneous Unit Hydrograph) che rappresenta la risposta del bacino ad una pioggia unitaria impulsiva

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è il modello cinematico (o della corrivazione), che schematizza i bacini come un insieme di canali lineari caratterizzati da tempi di percorrenza invarianti. L'IUH risultante è il seguente:

$$u(t) = \frac{1}{S} \cdot \frac{ds}{dt}$$

L'IUH è dedotto dalla curva aree-tempi che è una funzione $s = s(t)$ che definisce per ogni tempo t l'area s di quella parte del bacino i cui tempi di corrivazione sono minori o uguali a t .

Ipotizzando che la curva $s = s(t)$ sia lineare risulta:

$$u(t) = \frac{1}{T_c}$$

Dove T_c è il tempo di corrivazione del bacino, stimato con la formula di Kirpich (1940).

9.4 ONDA DI PIENA

In funzione di quanto sopra esposto e in base alle superfici del bacino si è implementato, mediante foglio di calcolo Ms Excel, il sistema per valutare l'onda di piena con l'idrogramma costruito a partire dallo ietogramma netto attraverso la trasformazione afflussi-deflussi.

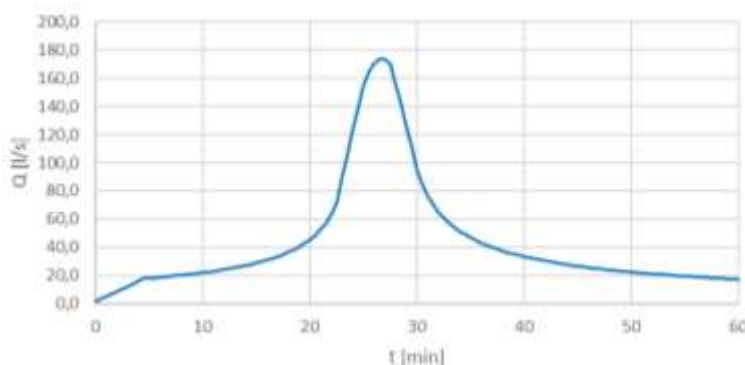


Figura 13 – Idrogramma di pioggia per $D=1h$

9.5 VERIFICA DEL GRADO DI SICUREZZA DELLE OPERE

Ai sensi dell'art.11, comma 2, lettera a) numero 2. (così modificato dal R.R.8/2019) è necessario, per un tempo di ritorno pari a 100 anni, eseguire la verifica del grado sicurezza delle opere come sopra dimensionate. Tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con $T_r=100$ anni, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno.

9.5.1 EVENTO METEORICO CON $T_r=100$ anni

Per un tempo di ritorno dell'evento assunto pari a 100 anni la legge di pioggia è così espressa:

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

Dove w_T è:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} = 2,20272$$

Il parametro n è assunto pari a 0,2689 per eventi con durata maggiore di 1 ora, per eventi con durata minore di 1 ora n si assume pari a 0,50, secondo quanto previsto dall'All.G del Regolamento Regione Lombardia n. 7/2017 e dall'art.1 lettera bb) del Regolamento Regione Lombardia n.8/2019.

Le altezze di pioggia in funzione del tempo sono rappresentate nei grafici riportati di seguito.

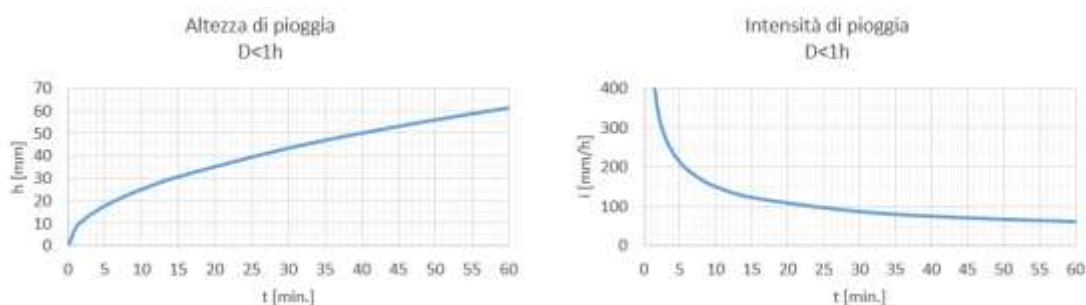


Figura 14 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto con $D < 1h$

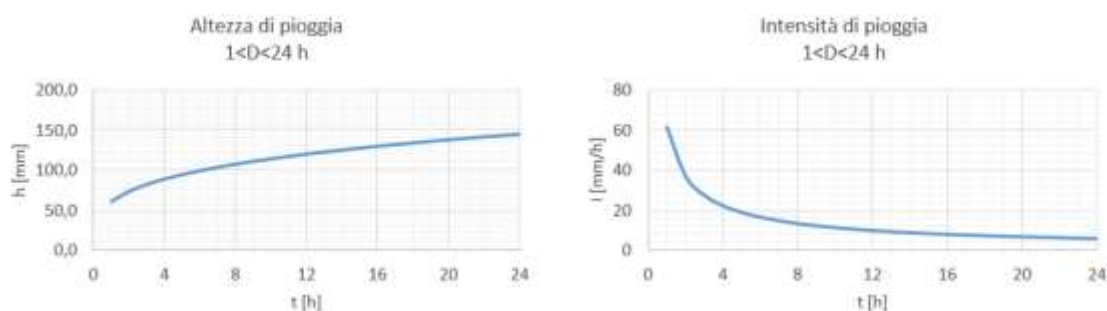


Figura 15 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto con $1h < D < 24h$

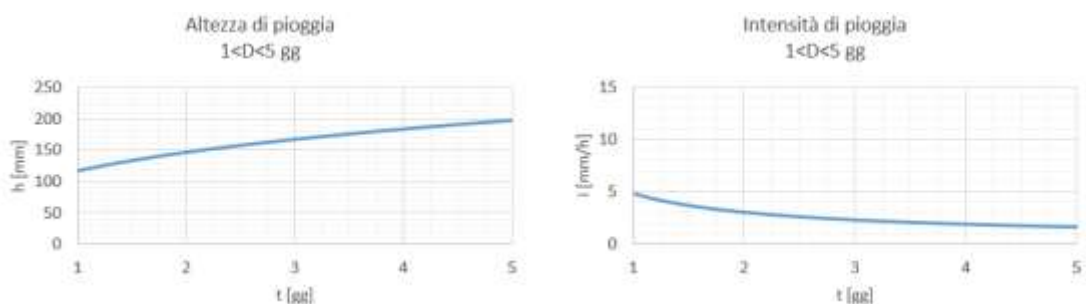


Figura 16 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto con $1g < D < 5gg$

9.6 VERIFICA DEL SISTEMA DI LAMINAZIONE E INFILTRAZIONE

Per la verifica dei pozzi perdenti per la laminazione e l'infiltrazione negli strati superficiali del sottosuolo si procede all'integrazione del sistema di equazioni descritto in precedenza, ciò consente di simulare il comportamento dell'invaso nel tempo e, in particolare, di determinare il massimo volume invasato W_{max} e quindi – note le caratteristiche geometriche del manufatto – la massima portata in uscita Q_{umax} e il massimo livello idrico nell'invaso h_{max} . Le equazioni, come già esposto, sono integrabili in forma chiusa solo quando le relazioni siano rappresentabili mediante espressioni semplici; si procede pertanto alla simulazione del funzionamento dell'invaso nel tempo mediante calcolo alle differenze finite e mediante foglio di calcolo sviluppato in Ms Excel.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche condotte, esposti sinteticamente mediante grafici che rappresentano, per un dato evento meteorico di durata fissata, l'andamento nel tempo del volume entrante nel sistema, del volume netto invasato all'interno dei pozzi e del volume infiltrato.

Da tali valori è possibile verificare il funzionamento del sistema, il volume dei pozzi necessario (e quindi l'altezza idrica in essi) ed il tempo di svuotamento.

Nei prossimi paragrafi si riportano le verifiche distinte per area di competenza (area privata "Ovest", area privata "Est" e area pubblica) e, a seguire, le verifiche sull'intera area di intervento.

9.6.1 AREA PRIVATA “EST”

9.6.1.1 Eventi di durata minore di 24h

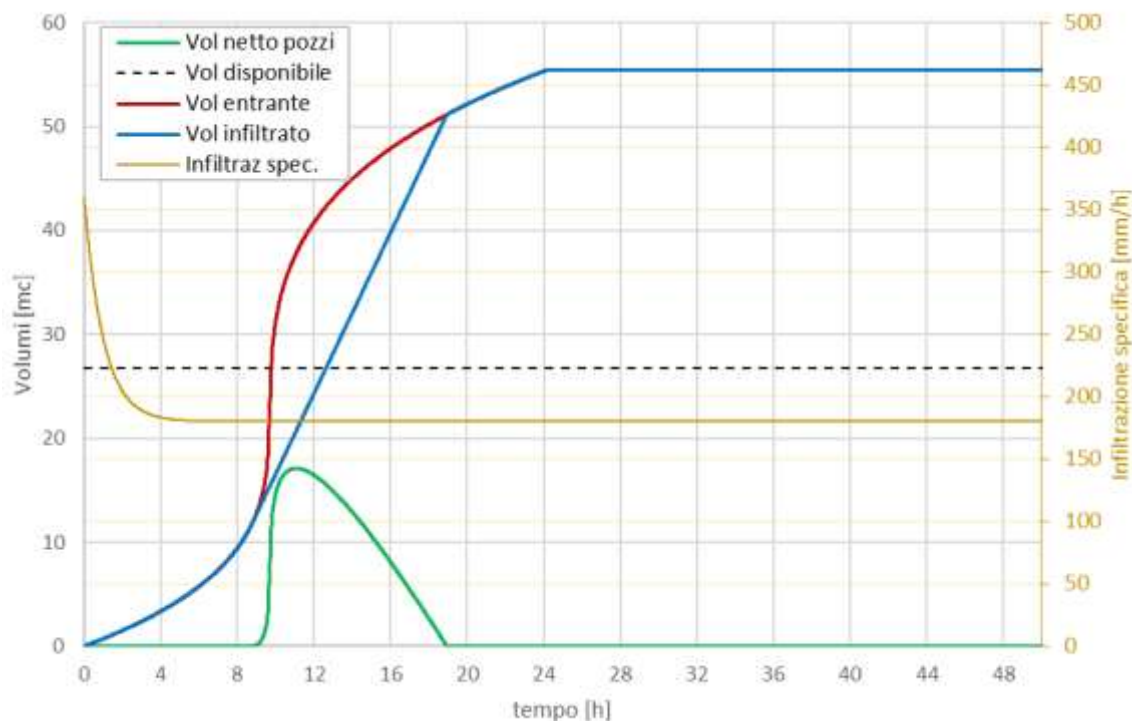


Figura 17 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per $D=24h$

9.6.1.2 Eventi di durata maggiore di 24h

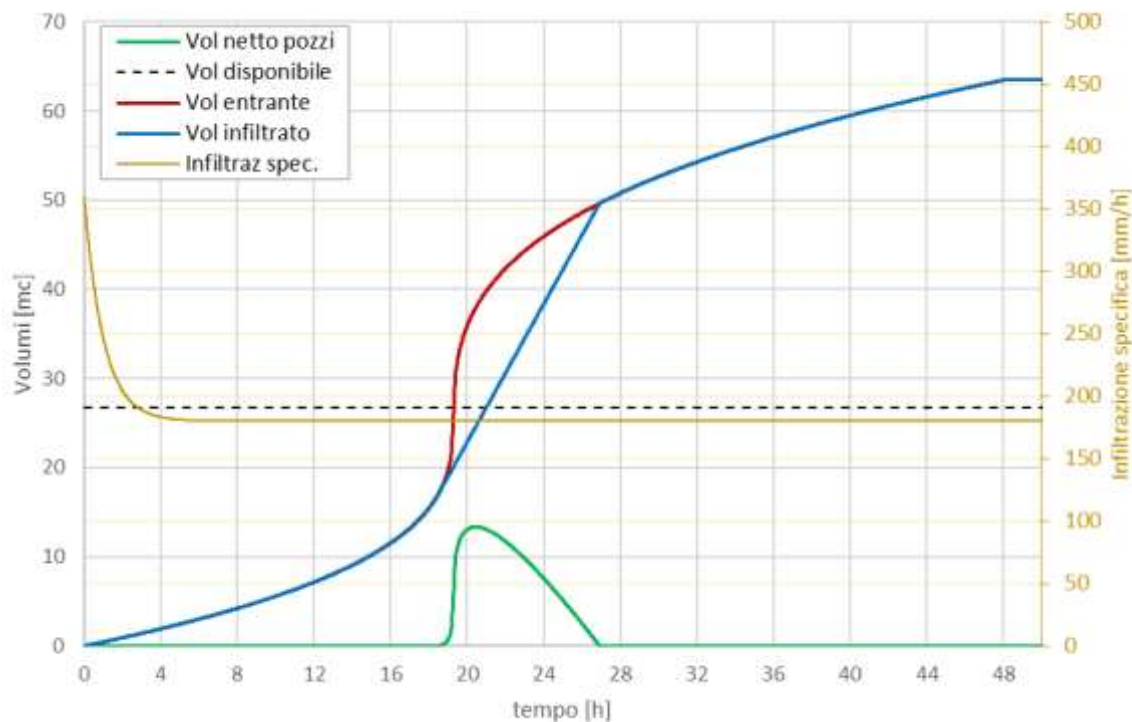


Figura 18 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per $D=48h$

9.6.1.3 VERIFICA DI FUNZIONALITÀ

A seguire si riporta l'involuppo dei volumi netti per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

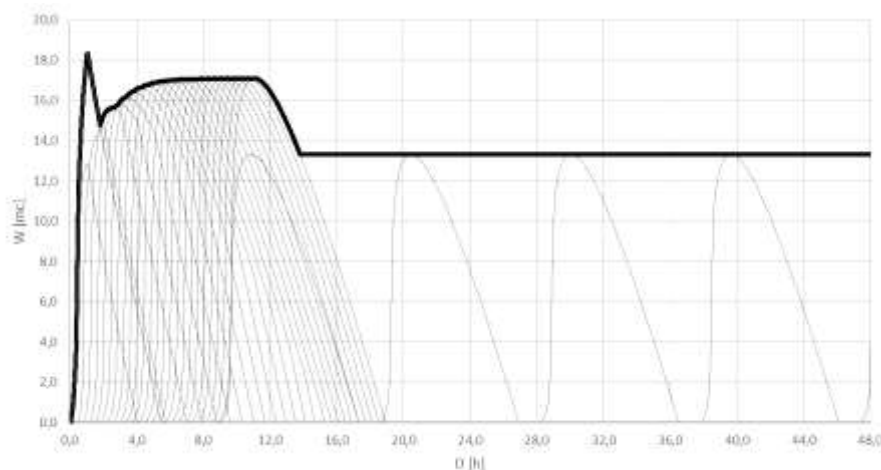


Figura 19 – Involuppo dei volumi laminati per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un volume richiesto al colmo pari a $18,35 \text{ m}^3$, a fronte di un volume disponibile pari a $26,78 \text{ m}^3$.

$$W_{max,rich_{Tr=50}} = 18,35 \text{ m}^3 < W_{eff} = 26,78 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta l'involuppo delle massime altezze idriche per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

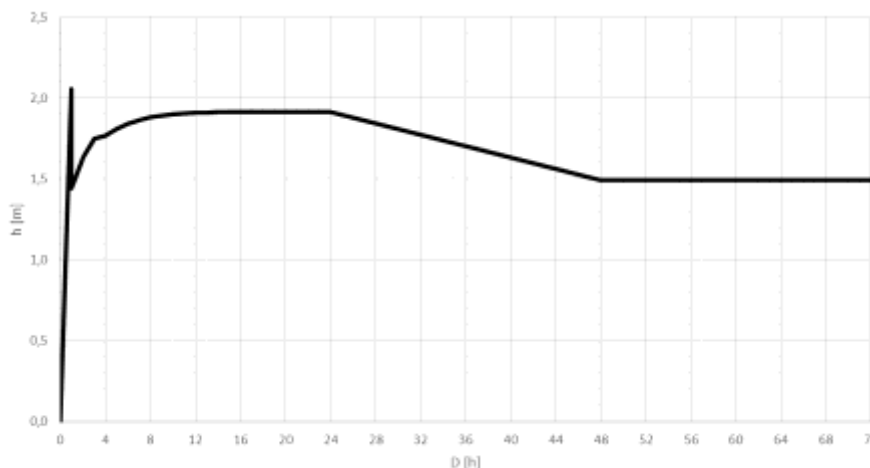


Figura 20 – Involuppo dell'altezza idrica per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un'altezza idrica al colmo pari a $2,06 \text{ m}$, a fronte di un'altezza disponibile pari a $3,00 \text{ m}$.

$$h_{max,rich_{Tr=50}} = 2,06 \text{ m} < h_{eff} = 3,00 \text{ m} \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta grafico in cui si evidenziano gli involuppi, per vari eventi di durata fissata, dei tempi di svuotamento. In particolare:

- in ascissa è riportata la durata dell'evento di pioggia;
- in ordinata è riportato il tempo di svuotamento.

Il grafico riporta due curve:

- con linea sottile continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante "zero" di INIZIO dell'evento di pioggia;
- con linea spessa continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante di FINE dell'evento di pioggia.

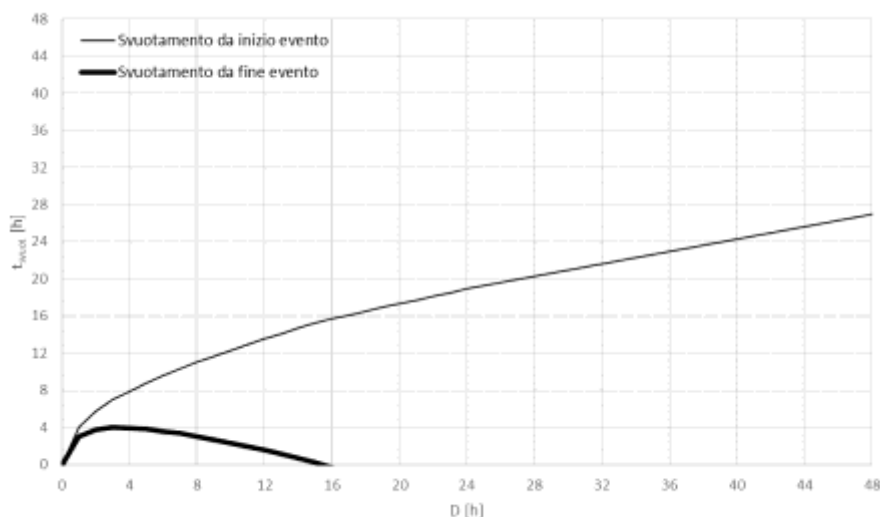


Figura 21 – Involuppo dei tempi di svuotamento

Lo svuotamento avviene sempre entro **4 ore e 28 minuti** (è quindi rispettato il limite di 48 ore previsto dal regolamento).

9.6.1.4 VERIFICA DEL GRADO DI SICUREZZA

A seguire si riporta la verifica per eventi meteorici con $T_r=100$ anni; tale verifica è riportata solo per la condizione relativa a eventi di durata 24 ore.

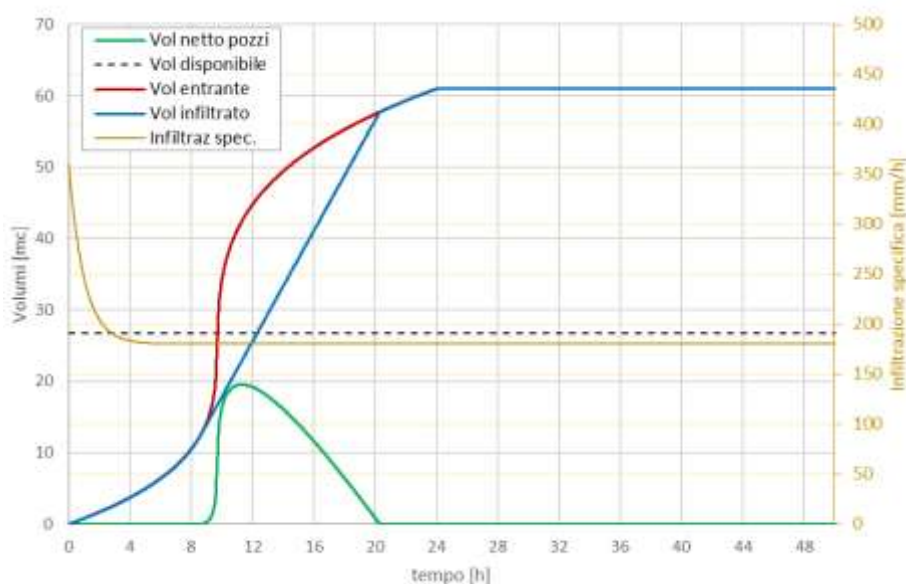


Figura 22 – Volumi entranti, laminati e scaricati per $D=24h$

$$W_{max,rich_{Tr=100}} = 20,64 \, m^3 < W_{eff} = 26,78 \, m^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

$$h_{max,rich_{Tr=100}} = 2,31 \, m < h_{eff} = 3,00 \, m \rightarrow \text{Verificato}$$

9.6.2 AREA PRIVATA “OVEST”

9.6.2.1 Eventi di durata minore di 24h

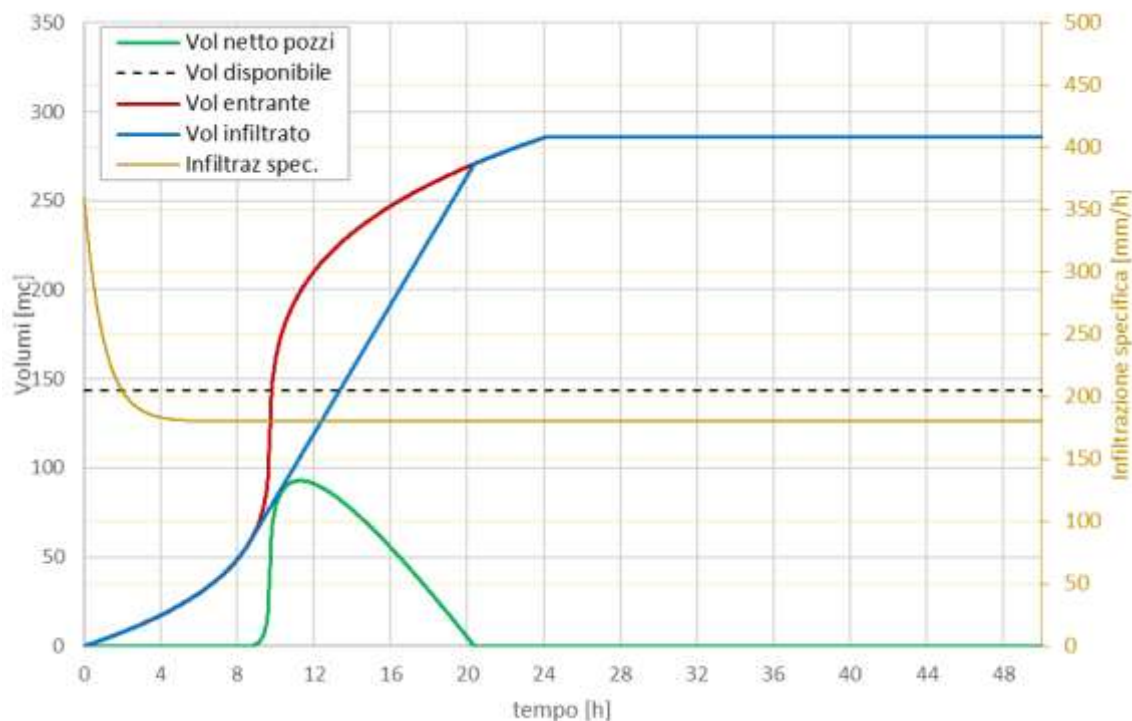


Figura 23 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per $D=24h$

9.6.2.2 Eventi di durata maggiore di 24h

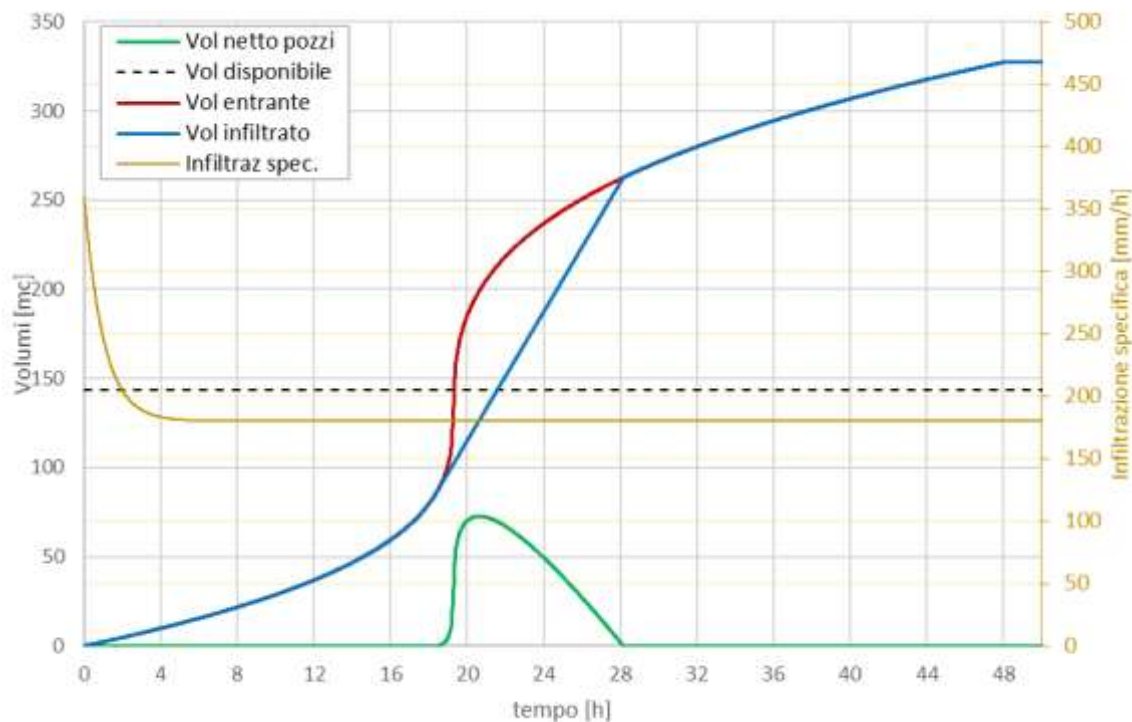


Figura 24 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per $D=48h$

9.6.2.3 VERIFICA DI FUNZIONALITÀ

A seguire si riporta l'involuppo dei volumi netti per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

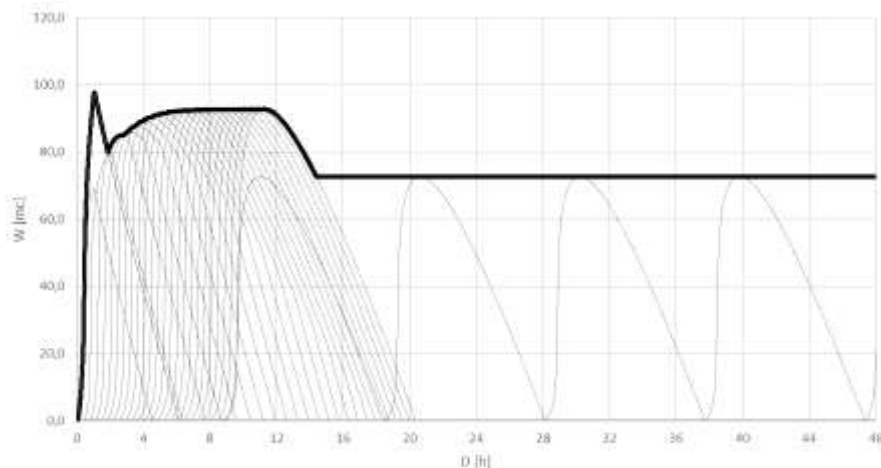


Figura 25 – Involuppo dei volumi laminati per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un volume richiesto al colmo pari a $97,68 \text{ m}^3$, a fronte di un volume disponibile pari a $143,26 \text{ m}^3$.

$$W_{max,rich_{Tr=50}} = 97,68 \text{ m}^3 < W_{eff} = 143,26 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta l'involuppo delle massime altezze idriche per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

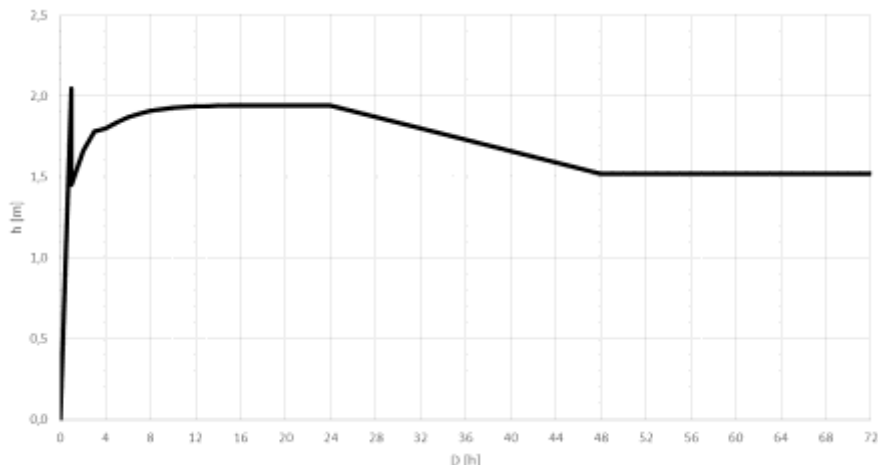


Figura 26 – Involuppo dell'altezza idrica per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un'altezza idrica al colmo pari a $2,05 \text{ m}$, a fronte di un'altezza disponibile pari a $3,00 \text{ m}$.

$$h_{max,rich_{Tr=50}} = 2,05 \text{ m} < h_{eff} = 3,00 \text{ m} \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta grafico in cui si evidenziano gli involuppi, per vari eventi di durata fissata, dei tempi di svuotamento. In particolare:

- in ascissa è riportata la durata dell'evento di pioggia;

- in ordinata è riportato il tempo di svuotamento.

Il grafico riporta due curve:

- con linea sottile continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante "zero" di INIZIO dell'evento di pioggia;
- con linea spessa continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante di FINE dell'evento di pioggia.

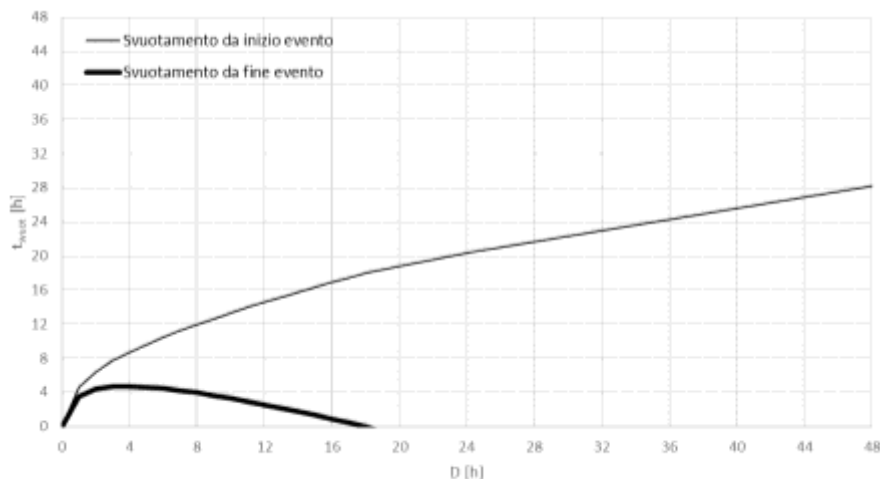


Figura 27 – Involuppo dei tempi di svuotamento

Lo svuotamento avviene sempre entro **5 ore e 7 minuti** (è quindi rispettato il limite di 48 ore previsto dal regolamento).

9.6.2.4 VERIFICA DEL GRADO DI SICUREZZA

A seguire si riporta la verifica per eventi meteorici con $Tr=100$ anni; tale verifica è riportata solo per la condizione relativa a eventi di durata 24 ore.

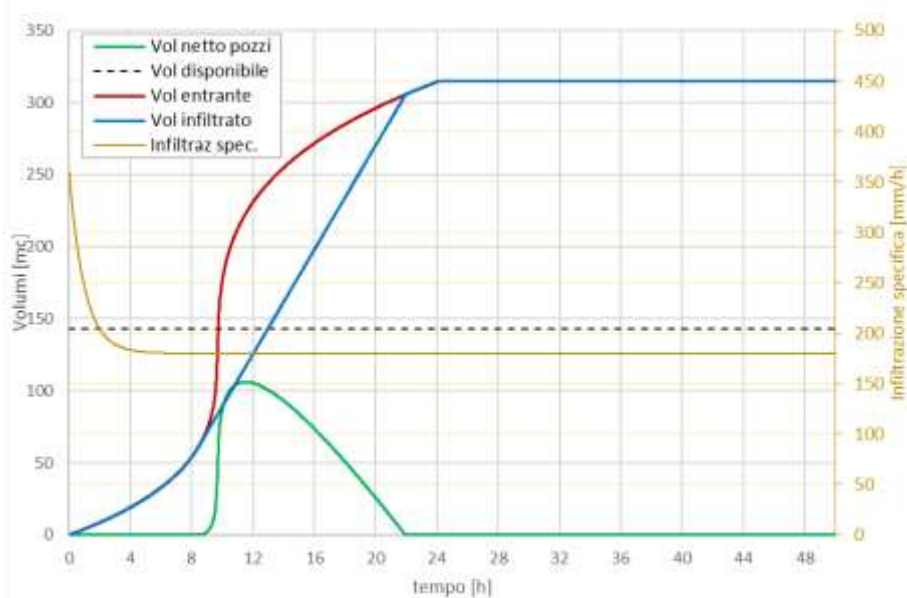


Figura 28 – Volumi entranti, laminati e scaricati per $D=24h$

$$W_{max,rich_{Tr=100}} = 109,55 \, m^3 < W_{eff} = 143,26 \, m^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

$$h_{max,rich_{Tr=100}} = 2,29 \, m < h_{eff} = 3,00 \, m \rightarrow \text{Verificato}$$

9.6.3 AREA PUBBLICA

9.6.3.1 Eventi di durata minore di 24h

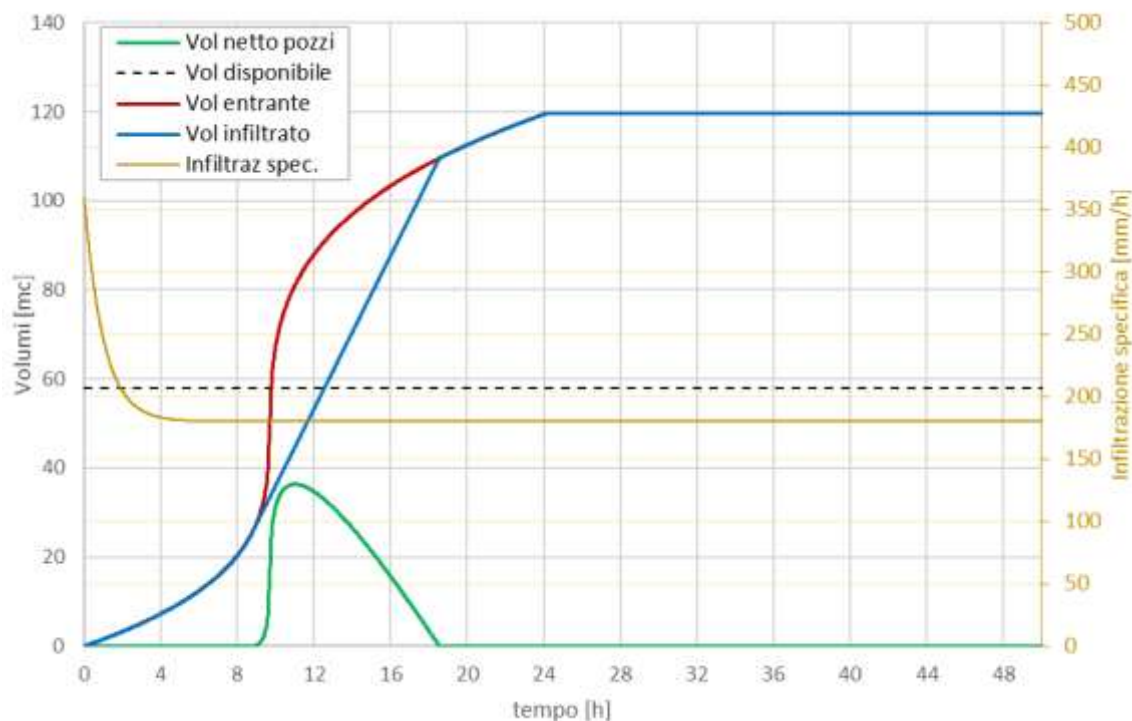


Figura 29 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per D=24h

9.6.3.2 Eventi di durata maggiore di 24h

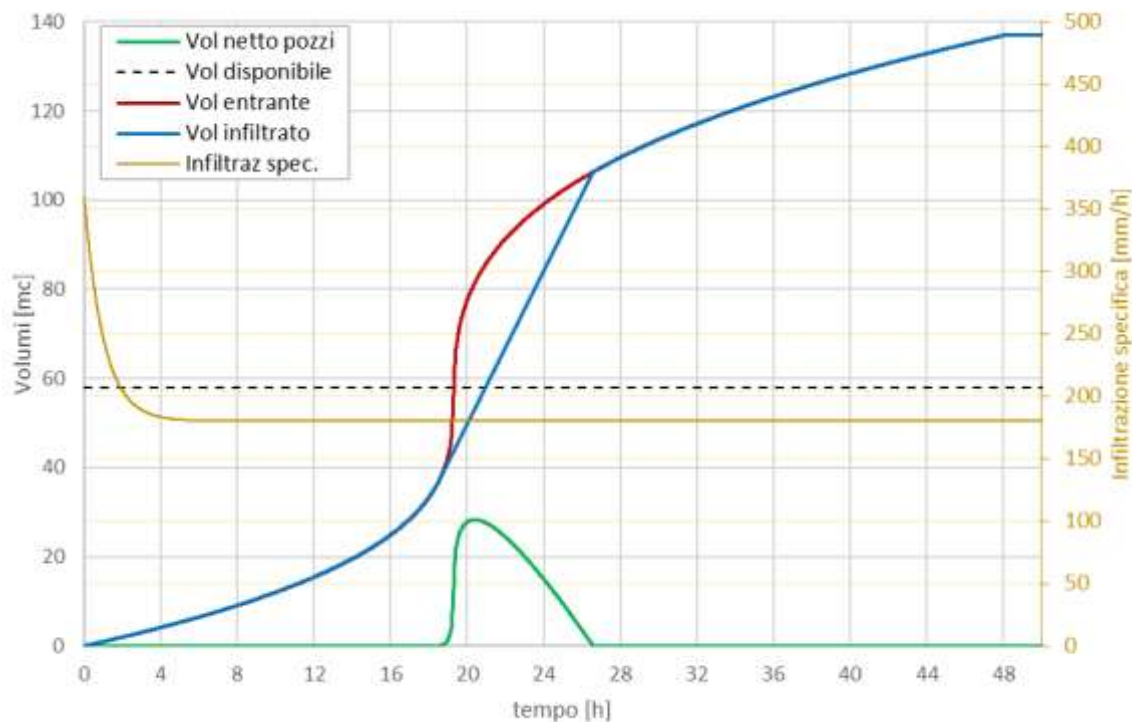


Figura 30 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per D=48h

9.6.3.3 VERIFICA DI FUNZIONALITÀ

A seguire si riporta l'involuppo dei volumi netti per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

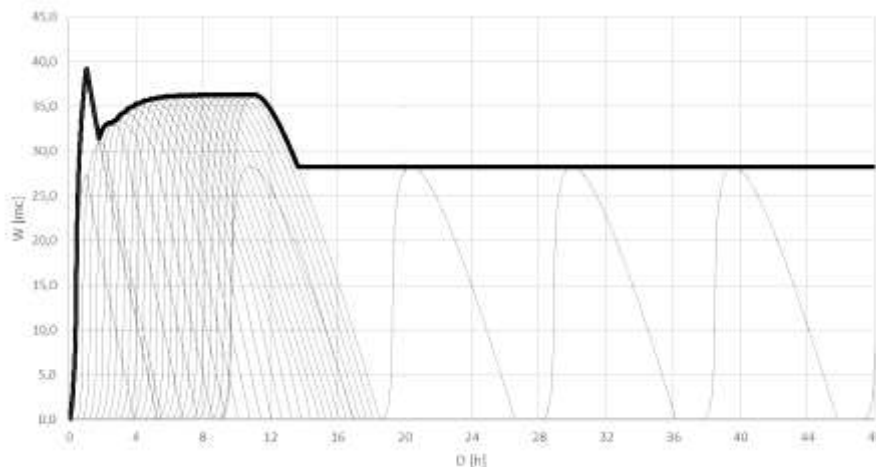


Figura 31 – Involuppo dei volumi laminati per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un volume richiesto al colmo pari a $39,19 \text{ m}^3$, a fronte di un volume disponibile pari a $57,85 \text{ m}^3$.

$$W_{max,rich,Tr=50} = 39,19 \text{ m}^3 < W_{eff} = 57,85 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta l'involuppo delle massime altezze idriche per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

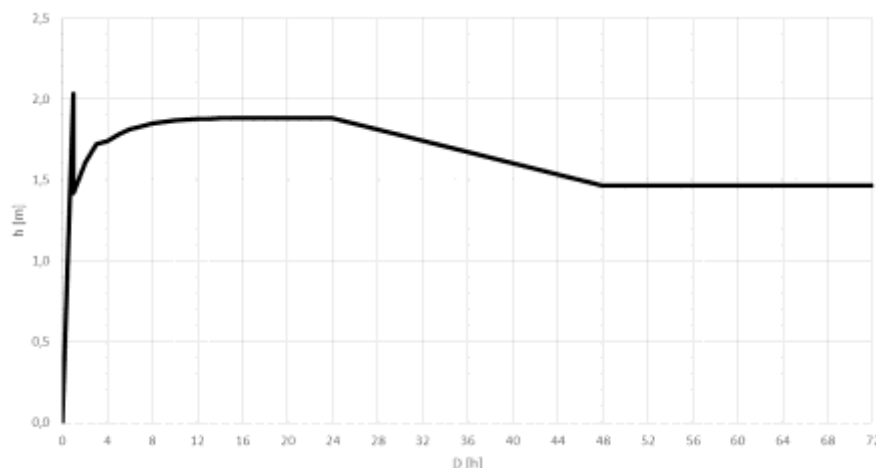


Figura 32 – Involuppo dell'altezza idrica per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un'altezza idrica al colmo pari a $2,03 \text{ m}$, a fronte di un'altezza disponibile pari a $3,00 \text{ m}$.

$$h_{max,rich,Tr=50} = 2,03 \text{ m} < h_{eff} = 3,00 \text{ m} \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta grafico in cui si evidenziano gli involuppi, per vari eventi di durata fissata, dei tempi di svuotamento. In particolare:

- in ascissa è riportata la durata dell'evento di pioggia;

- in ordinata è riportato il tempo di svuotamento.

Il grafico riporta due curve:

- con linea sottile continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante "zero" di INIZIO dell'evento di pioggia;
- con linea spessa continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante di FINE dell'evento di pioggia.

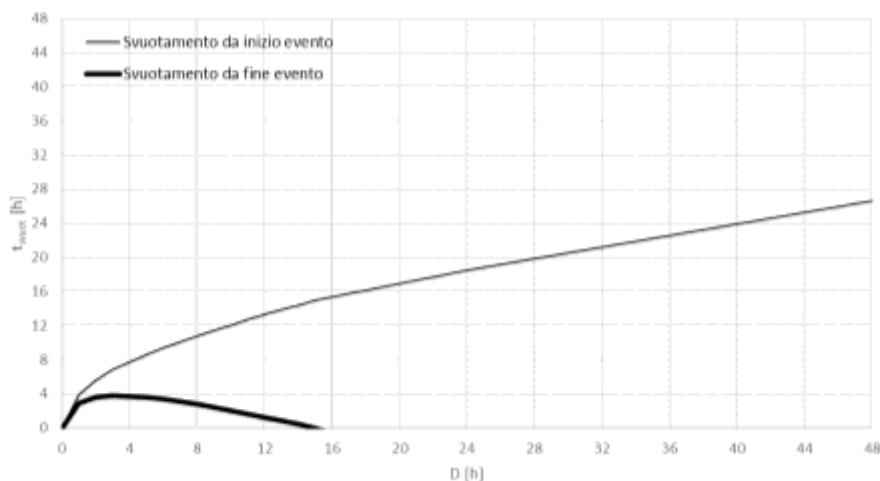


Figura 33 – Involuppo dei tempi di svuotamento

Lo svuotamento avviene sempre entro **4 ore e 17 minuti** (è quindi rispettato il limite di 48 ore previsto dal regolamento).

9.6.3.4 VERIFICA DEL GRADO DI SICUREZZA

A seguire si riporta la verifica per eventi meteorici con $Tr=100$ anni; tale verifica è riportata solo per la condizione relativa a eventi di durata 24 ore.

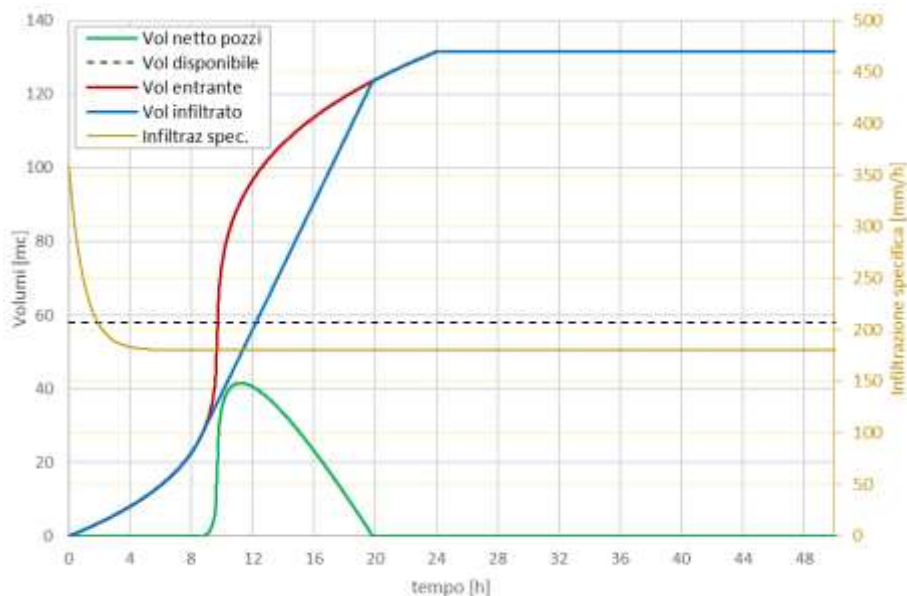


Figura 34 – Volumi entranti, laminati e scaricati per $D=24h$

$$W_{max,rich_{Tr=100}} = 44,14 \, m^3 < W_{eff} = 57,85 \, m^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

$$h_{max,rich_{Tr=100}} = 2,29 \, m < h_{eff} = 3,00 \, m \rightarrow \text{Verificato}$$

9.6.4 INTERA AREA DI INTERVENTO

9.6.4.1 Eventi di durata minore di 24h

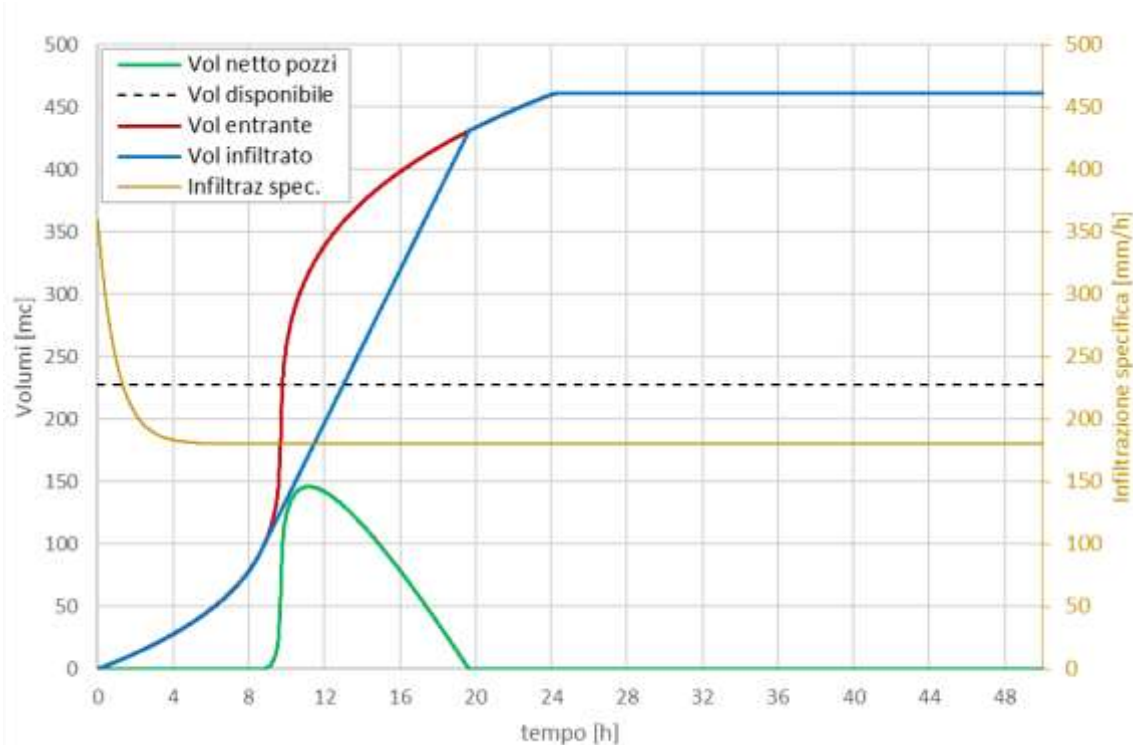


Figura 35 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per D=24h

9.6.4.2 Eventi di durata maggiore di 24h

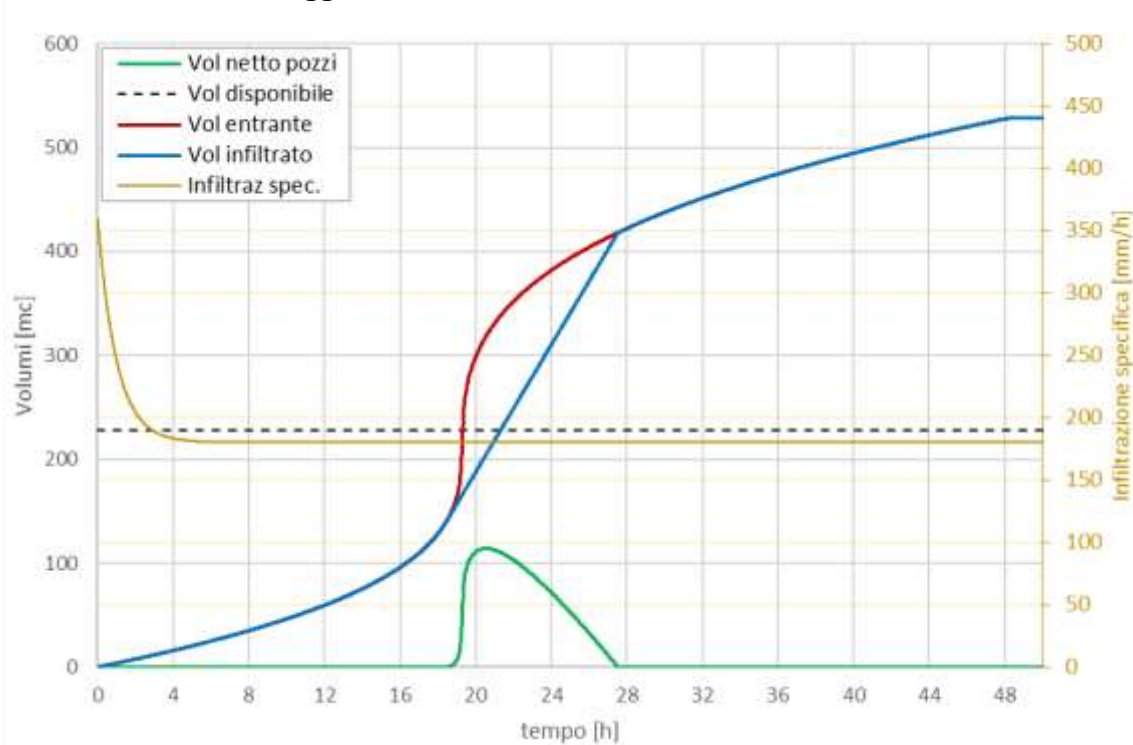


Figura 36 – Volumi entranti, laminati e infiltrati per D=48h

9.6.4.3 VERIFICA DI FUNZIONALITÀ

A seguire si riporta l'involuppo dei volumi netti per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

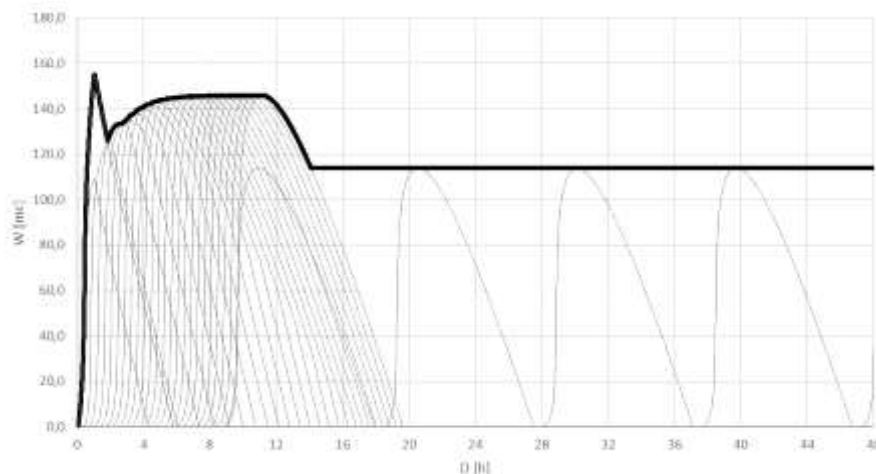


Figura 37 – Involuppo dei volumi laminati per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un volume richiesto al colmo pari a $155,13 \text{ m}^3$, a fronte di un volume disponibile pari a $227,89 \text{ m}^3$.

$$W_{max,rich_{Tr=50}} = 155,13 \text{ m}^3 < W_{eff} = 227,89 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta l'involuppo delle massime altezze idriche per tutte le durate di evento meteorico valutate (da 1 ora a 5 giorni).

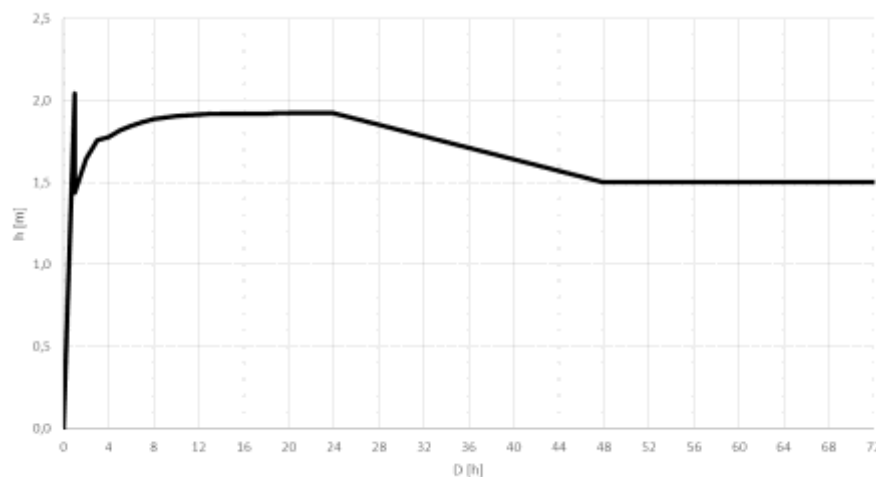


Figura 38 – Involuppo dell'altezza idrica per $1h < D < 120h$

In tali condizioni il sistema risulta verificato con un'altezza idrica al colmo pari a $2,04 \text{ m}$, a fronte di un'altezza disponibile pari a $3,00 \text{ m}$.

$$h_{max,rich_{Tr=50}} = 2,04 \text{ m} < h_{eff} = 3,00 \text{ m} \rightarrow \text{Verificato}$$

A seguire si riporta grafico in cui si evidenziano gli involuppi, per vari eventi di durata fissata, dei tempi di svuotamento. In particolare:

- in ascissa è riportata la durata dell'evento di pioggia;

- in ordinata è riportato il tempo di svuotamento.

Il grafico riporta due curve:

- con linea sottile continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante "zero" di INIZIO dell'evento di pioggia;
- con linea spessa continua il tempo dopo cui il volume si svuota a partire dall'istante di FINE dell'evento di pioggia.

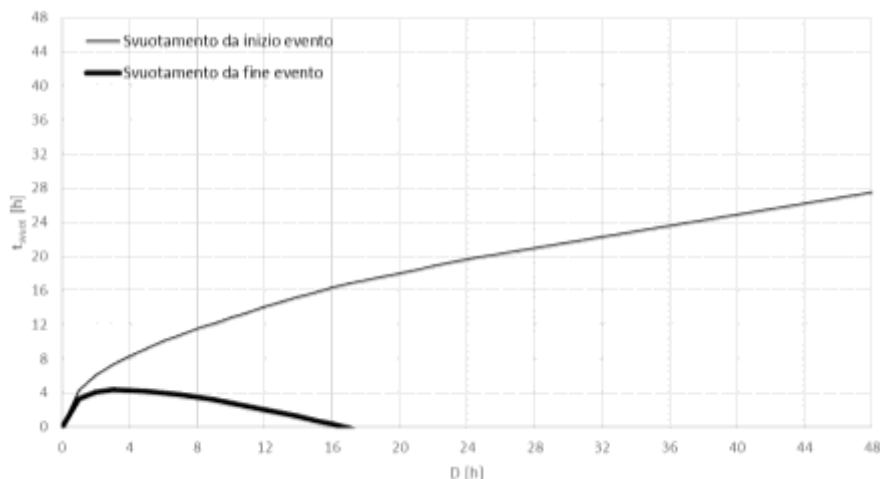


Figura 39 – Involuppo dei tempi di svuotamento

Lo svuotamento avviene sempre entro **4 ore e 47 minuti** (è quindi rispettato il limite di 48 ore previsto dal regolamento).

9.6.4.4 VERIFICA DEL GRADO DI SICUREZZA

A seguire si riporta la verifica per eventi meteorici con $T_r=100$ anni; tale verifica è riportata solo per la condizione relativa a eventi di durata 24 ore.

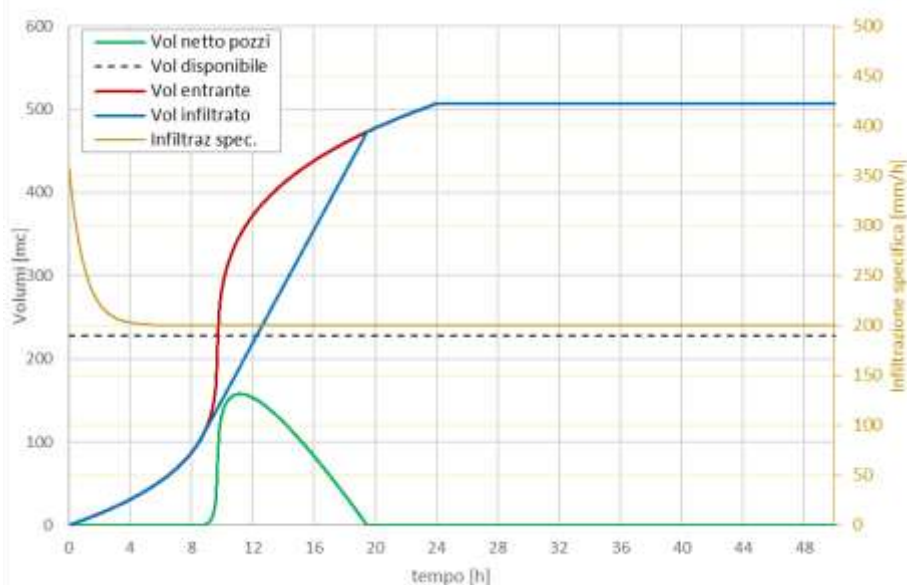


Figura 40 – Volumi entranti, laminati e scaricati per $D=24h$

$$W_{max,rich_{Tr=100}} = 172,88 \text{ m}^3 < W_{eff} = 227,89 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

$$h_{max,rich_{Tr=100}} = 2,28 \text{ m} < h_{eff} = 3,00 \text{ m} \rightarrow \text{Verificato}$$

9.7 VERIFICA DEI REQUISITI MINIMI

Secondo l'art 12, comma 3, qualora il volume risultante dai calcoli di cui all'art.11 comma 2 lettera e) risultasse minore dei requisiti minimi previsti dall'art.12 comma 2, il volume di laminazione da realizzare dovrà essere pari al valore del requisito minimo.

Per l'intervento in oggetto, posto in area B a media criticità idraulica, il requisito minimo sarebbe pari a 500 m^3 per ettaro di superficie scolante impermeabile; trattandosi, però, di un lotto classificato come ambito di trasformazione il regolamento impone di trattarlo come se fosse in area A ad alta criticità idraulica, con un volume minimo di 800 m^3 per ettaro di superficie scolante impermeabile.

Il volume previsto per il rispetto del requisito minimo (applicando il fattore che riduce del 30% il minimo da regolamento – avendo eseguito la prova di permeabilità in sito) è pari a:

$$W_{0,RR} = 3950 \cdot 10^{-4} \cdot 800 \cdot 0,70 = 221,20 \text{ m}^3$$

Il volume netto richiesto per eventi con Tr 50 anni è pari a

$$W_{rich,Tr=50} = 18,35 + 97,68 + 39,19 = 155,22 \text{ m}^3$$

Il volume netto richiesto per la verifica di sicurezza, per eventi con Tr 100 anni è pari a:

$$W_{rich,Tr=100} = 20,64 + 109,55 + 44,14 = 174,33 \text{ m}^3$$

Il volume effettivo disponibile, in funzione della geometria delle opere, è pari a:

$$W_{Eff} = 26,78 + 143,26 + 57,85 = 227,89 \text{ m}^3$$

$$W_{Eff} > \max\{W_{0,RR}; W_{min,Tr=50}; W_{min,Tr=100}\}$$

$$227,89 \text{ m}^3 > \max\{221,20 \text{ m}^3; 155,22 \text{ m}^3; 174,33 \text{ m}^3\} = 221,20 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Verificato}$$

10 VERIFICA STATICA DELLE TUBAZIONI

larghezza trincea sulla generatrice sup.	B	0,4600 m
rinterro sulla generatrice superiore	H	0,5547 m
diametro esterno	D	0,1600 m
spessore	s	0,0047 m
diametro interno	d	0,1506 m
peso spec. rinterro	γ_t	20000 N/m ³
angolo d'attrito interno	ρ	30,00 gradi
quota fondo tubo		0,710 m
SN		8

tipo di posa	trincea larga
---------------------	----------------------

Sovraccarico dovuto al rinterro

coefficiente	Ce	3,467
carico verticale	Pst	1775,059 N/m

Sovraccarico dovuto a carichi mobili (per trincea infinita a favore di sicurezza)

carico	P	100000 N
fattore dinamico	φ	1,54
carico mobile	Qm	29219 N/m

Verifica inflessione diametrale

Carico suolo	Wc	17,75 N/cm
Carico mobile	WL	292,19 N/cm
fattore di ritardo	De	2,0
Coef. Inflessione	Kx	0,083
Raggio medio	r	7,765
Modulo elastico tub	Et	150000 N/cm ²
Inerzia tub	I	0,0087 cm ³
parametri	ka	0,75 se H<4,9m
Modulo elastico ter	Es	690
	$\Delta\alpha$	0 se H<4,9m
Dy		0,792
Dy/D		4,949 <5% PER PVC E Pead

Tabella 20 – Verifica statica tubazioni in PVC – ϕ 160mm

larghezza trincea sulla generatrice sup.	B	0,5000 m
rinterro sulla generatrice superiore	H	0,5559 m
diametro esterno	D	0,2000 m
spessore	s	0,0059 m
diametro interno	d	0,1882 m
peso spec. rinterro	γ_t	20000 N/m ³
angolo d'attrito interno	ρ	30,00 gradi
quota fondo tubo		0,750 m
SN		8

tipo di posa	trincea larga
---------------------	----------------------

Sovraccarico dovuto al rinterro

coefficiente	Ce	2,779
carico verticale	Pst	2223,529 N/m

Sovraccarico dovuto a carichi mobili (per trincea infinita a favore di sicurezza)

carico	P	100000 N
fattore dinamico	ϕ	1,54
carico mobile	Qm	34178 N/m

Verifica inflessione diametrale

Carico suolo	Wc	22,24 N/cm
Carico mobile	WL	341,78 N/cm
fattore di ritardo	De	2,0
Coef. Inflessione	Kx	0,083
Raggio medio	r	9,706
Modulo elastico tub	Et	150000 N/cm ²
Inerzia tub	I	0,0170 cm ³
parametri	ka	0,75 se H<4,9m
Modulo elastico ter	Es	690
	$\Delta\alpha$	0 se H<4,9m
Dy		0,933
Dy/D		4,667 <5% PER PVC E Pead

Tabella 21 – Verifica statica tubazioni in PVC – ϕ 200mm

larghezza trincea sulla generatrice sup.	B	0,5500 m
rinterro sulla generatrice superiore	H	0,5274 m
diametro esterno	D	0,2500 m
spessore	s	0,0074 m
diametro interno	d	0,2353 m
peso spec. rinterro	γ_t	20000 N/m ³
angolo d'attrito interno	ρ	30,00 gradi
quota fondo tubo		0,770 m
SN		8

tipo di posa	trincea larga
---------------------	----------------------

Sovraccarico dovuto al rinterro

coefficiente	Ce	2,109
carico verticale	Pst	2636,765 N/m

Sovraccarico dovuto a carichi mobili (per trincea infinita a favore di sicurezza)

carico	P	100000 N
fattore dinamico	ϕ	1,57
carico mobile	Qm	44005 N/m

Verifica inflessione diametrale

Carico suolo	Wc	26,37 N/cm
Carico mobile	WL	440,05 N/cm
fattore di ritardo	De	2,0
Coef. Inflessione	Kx	0,083
Raggio medio	r	12,132
Modulo elastico tub	Et	150000 N/cm ²
Inerzia tub	I	0,0331 cm ³
parametri	ka	0,75 se H<4,9m
Modulo elastico ter	Es	690
	$\Delta\alpha$	0 se H<4,9m
Dy		1,191
Dy/D		4,763 <5% PER PVC E Pead

Tabella 22 – Verifica statica tubazioni in PVC – ϕ 250mm

larghezza trincea sulla generatrice sup.	B	0,6150 m
rinterro sulla generatrice superiore	H	0,4943 m
diametro esterno	D	0,3150 m
spessore	s	0,0093 m
diametro interno	d	0,2965 m
peso spec. rinterro	γ_t	20000 N/m ³
angolo d'attrito interno	ρ	30,00 gradi
quota fondo tubo		0,800 m
SN		8

tipo di posa	trincea larga
---------------------	----------------------

Sovraccarico dovuto al rinterro

coefficiente	Ce	1,569
carico verticale	Pst	3113,868 N/m

Sovraccarico dovuto a carichi mobili (per trincea infinita a favore di sicurezza)

carico	P	100000 N
fattore dinamico	ϕ	1,61
carico mobile	Qm	56895 N/m

Verifica inflessione diametrale

Carico suolo	Wc	31,14 N/cm
Carico mobile	WL	568,95 N/cm
fattore di ritardo	De	2,0
Coef. Inflessione	Kx	0,083
Raggio medio	r	15,287
Modulo elastico tub	Et	150000 N/cm ²
Inerzia tub	I	0,0663 cm ³
parametri	ka	0,75 se H<4,9m
Modulo elastico ter	Es	690
	$\Delta\alpha$	0 se H<4,9m
Dy		1,525
Dy/D		4,842 <5% PER PVC E Pead

Tabella 23 – Verifica statica tubazioni in PVC – ϕ 315mm

Bagnolo Mella, 12/02/2026

Ing. Giorgio Castelvvedere
(documento firmato digitalmente)