



Ing. Omar William Cella  
Via Gino Marini, 17, 26900 – Lodi (LO)  
Cell. 392-9288358 - Mail: ing.owc@gmail.com

---

## **Relazione di invarianza idraulica**

---

Piano particolareggiato di Iniziativa Privata “Belvedere”  
Proprietà Belvedere di Bruschi Osvaldo & C. SNC  
Comune di Gragnano Trebbiense (PC)

---

*Dott. Ing. Omar William Cella*

---



# INDICE

1	PREMESSA	1
2	CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO DI TRASFORMAZIONE	2
2.1	INQUADRAMENTO	2
2.2	CARATTERISTICHE GENERALI	3
2.3	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA D'INTERVENTO	1
2.4	CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI PRE E POST INTERVENTO	1
3	OPERE DI INVARIANZA IDRAULICA IN PROGETTO	2
4	ANALISI DELLE PIOGGE INTENSE	4
5	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	5
6	CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI RICHIEDENTI MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA E MODALITÀ DI CALCOLO	6
7	CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO	7
7.1	VOLUME MINIMO DI LAMINAZIONE	7
7.2	VOLUME DI INVASO CON IL METODO DELLE SOLE PIOGGE	8
7.3	CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELLA VASCA	10
8	PREDIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI POMPAGGIO	10
9	VERIFICA DEL SISTEMA DI DRENAGGIO	12



## **1    PREMESSA**

La presente relazione riporta le considerazioni e i calcoli effettuati per determinare il volume da laminare allo scopo di garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica, ai sensi del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico Regolamento “*Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano*” per la realizzazione del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata Belvedere in Comune di Gragnano Trebbiense (PC).

Ai sensi della Direttiva, gli interventi di trasformazione del territorio devono garantire la conservazione della portata massima defluente dall’area in trasformazione ai valori precedenti l’impermeabilizzazione, per cui è necessario prevedere interventi che compensino le impermeabilizzazioni attraverso il potenziamento dei meccanismi di laminazione. A tal scopo la presente relazione di invarianza idraulica e idrologica definisce, ai sensi della Direttiva, il volume minimo di invaso necessario per garantire la conservazione della portata massima defluente dall’area in trasformazione ai valori precedenti l’impermeabilizzazione ed in funzione della Classe d’Intervento definisce le caratteristiche del volume di accumulo e le luci di scarico verso il corpo idrico ricettore.

Il progetto di comprende i seguenti elementi:

a) la presente relazione tecnica comprendente:

1. descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica e idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico nel ricettore o di disperdimento nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo;
2. definizione delle precipitazioni di progetto;
3. calcolo del volume minimo di invaso;
4. calcoli dell’eventuale processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
5. calcoli e relativi dimensionamenti di tutte le componenti del sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico;
6. dimensionamento del sistema di scarico terminale nel ricettore nel rispetto dei requisiti ammissibili del presente regolamento.



## 2 Caratteristiche dell'Intervento di trasformazione

### 2.1 Inquadramento

L'intervento consiste nella realizzazione del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata Belvedere posto in Comune di Gragnano Trebbiense (PC). Il Lotto edificabile risulta compreso tra Via C. Fulgosi a Nord, Via Grazia Cherchi a Est e da terreni agricoli a Ovest ed a Sud.

**Figura 1 - Localizzazione del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata Belvedere - Gragnano T.se (PC)**





## 2.2 Caratteristiche generali

Il PIP è previsto su un lotto di superficie complessiva pari a 28.940 mq (2,89 ha), attualmente ad indirizzo agricolo, suddiviso nelle seguenti tipologie di area:

<b>SUPERFICIE</b>	<b>Area</b>	
<b>Tipologia</b>	<b>mq</b>	<b>%</b>
Viabilità	4273	14.8%
Parcheggi	2468	8.5%
Verde pubblico	7729	26.7%
Sup. fondiaria	14470	50.0%
<b>Totale</b>	<b>28940</b>	<b>10000.0%</b>

La lottizzazione è costituita da n. 7 comparti edificabili con accesso lungo una nuova strada realizzata tra i comparti e confluyente in via C. Fulgosi a Nord dell'area edificabile. L'area sarà munita di due aree destinate a parcheggio e da n. 4 aree destinate a verde.

Per quanto riguarda le opere di drenaggio e di invarianza idraulica previste, l'area sarà servita da una rete di drenaggio acque bianche la cui condotta principale avrà una lunghezza di circa 250 m, posta lungo la viabilità principale in progetto, che confluirà in un'apposita vasca di laminazione (~3.700 mq) posta nella zona verde n.2.

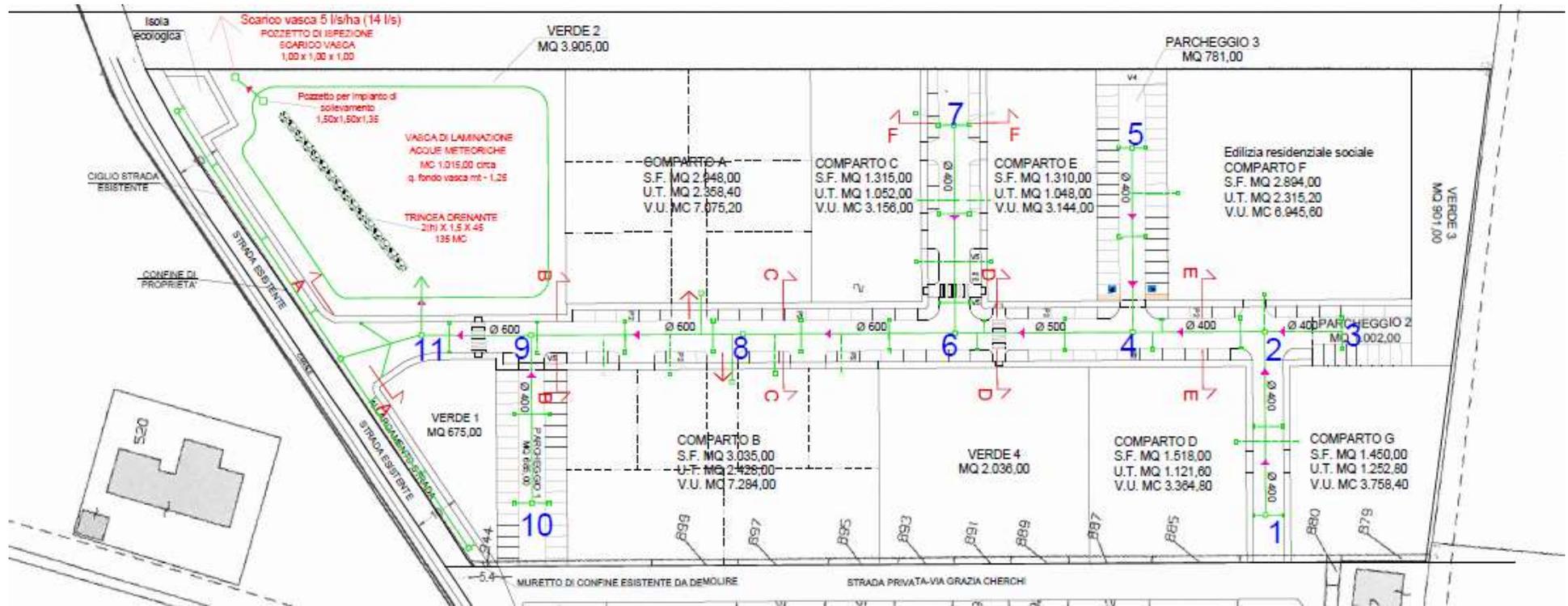
Il ricettore della vasca di laminazione in progetto è un diversivo del Rio Gragnano (indicato dal Consorzio di Bonifica), posto circa 50 m a Ovest dell'area, che verrà raggiunto con una condotta a gravità DN 200 mm e pendenza 2%.

Lo svuotamento della vasca, considerate sia la quota di carico della vasca (- 0,90 m dal p.c.), sia la quota di scarico nel ricettore (- 0,76 m dal p.c.), avverrà con una piccola stazione di sollevamento avente prevalenza 2,0 m e una portata nominale di 14 l/s, corrispondente alla portata massima di scarico di 5 l/s ha indicata dal gestore del diversivo del Rio Gragnano, che solleverà la portata di progetto in un pozzetto di calma, posto in prossimità della vasca, da cui dipartirà la condotta di scarico a gravità verso il ricettore finale.

Di seguito si riporta una planimetria di inquadramento della lottizzazione Belvedere con l'indicazione della suddivisione delle aree e del sistema di drenaggio acque bianche a servizio del PIP in progetto.



Figura 2 – Planimetria di inquadramento PIP Belvedere





### **2.3 Caratteristiche idrogeologiche dell'area d'intervento**

Si riportano di seguito le principali caratteristiche idrogeologiche dell'area in studio tratte dallo studio geologico allegato al progetto.

Dall'analisi della cartografia della pianificazione sovraordinata e dalle valutazioni geologico-ambientali si rileva che l'area in oggetto non è sottoposta a particolari vincoli e limitazioni ostativi alla realizzazione dell'intervento.

L'area interessata dall'intervento urbanistico è pianeggiante e stabile; non sono presenti fenomeni geologici e geomorfologici attivi in grado di comprometterne la stabilità.

La successione delle diverse unità litostratigrafiche è sufficientemente regolare ed è caratterizzata dalla presenza di due orizzonti prevalenti: un orizzonte argilloso e argilloso sabbioso limoso fino alla profondità di 1,5/2,0 m ca dall'attuale p.c. e da un orizzonte prevalentemente ghiaioso fino alla profondità di oltre 30 m dal p.c.

La falda freatica da studi effettuati nell'ambito del PSC è stata individuata ad una profondità superiore di -15.00 m dall'attuale p.c. e presenta una direzione di drenaggio prevalentemente orientata verso Nord - Nord Est; si esclude quindi l'interferenza della falda con le opere di fondazione.

In questo caso, l'eventuale realizzazione di una vasca di laminazione disperdente dovrà avere il fondo che by-passerà gli strati di terreno meno permeabili, sino al raggiungimento degli strati ghiaiosi più profondi.

### **2.4 Caratteristiche delle superfici pre e post intervento**

Come anticipato nei paragrafi precedenti, l'intervento consiste nella realizzazione del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata Belvedere posto in Comune di Gragnano Trebbiense (PC) ed interessa un'area complessiva di circa pari a 28.940 mq (2,89 ha), attualmente ad indirizzo agricolo. Ai sensi della Direttiva del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico della Regione Emilia Romagna, le misure di invarianza idraulica e idrologica si applicano a tutta la superficie dell'intervento di trasformazione comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione, comprensiva delle aree a verde che verranno rimodellate.

In considerazione di ciò, nelle seguenti tabelle si riporta l'estensione delle varie tipologie di superfici in cui è suddivisa l'area di trasformazione urbanistica nelle condizioni pre-intervento e post-intervento, con l'indicazione del coefficiente di deflusso di ogni area e la rispettiva quota di



area impermeabile. Per quanto riguarda lo stato di fatto, i valori delle superfici sono relativi alla condizione attuale dell'area, mentre per il progetto il valore delle aree è stato ricavato dai dati riportati nelle planimetrie di progetto.

Secondo la classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici della Direttiva regionale, l'intervento di urbanizzazione in progetto, ai fini dell'invarianza idraulica, è inserito nella Classe d'intervento: "Significativa impermeabilizzazione potenziale", intervento su superficie compresa tra 1 ha e 10 ha.

**Tabella 1 – Suddivisione delle aree permeabili ed impermeabili dell'intero lotto - pre intervento**

Condizione pre intervento					
SUPERFICIE	Area	Coeff. di deflusso	Area imp.	imp	perm
Tipologia	mq	$\varphi$	mq	%	%
Agricola	28940	0.2	5788	0.20	0.80

**Tabella 2 – Suddivisione delle aree permeabili ed impermeabili dell'intero lotto - post intervento**

Condizione post intervento					
SUPERFICIE	Area	Coeff. di deflusso	Area imp.	imp	perm
Tipologia	mq	$\varphi$	mq	%	%
Viabilità	4273	0.9	3845.7	0.13	0.87
Parcheggi	2468	0.9	2221.2	0.08	0.92
Verde pubblico	7729	0.2	1545.8	0.05	0.95
Sup. fondiaria (50% urb.)	7235	0.9	6511.5	0.23	0.78
Sup. fondiaria (50% verde)	7235	0.2	1447	0.05	0.95
<b>Totale</b>	<b>28940</b>		<b>15571.2</b>	<b>0.54</b>	<b>0.46</b>

### 3 Opere di invarianza idraulica in progetto

La Direttiva Regionale riporta le seguenti prescrizioni di carattere generale:

1. le norme del piano di bacino prevedono in via prioritaria che l'effetto dell'impermeabilizzazione sia compensato con volumi di invaso la cui dimensione viene calcolata in ragione del tasso impermeabilizzazione indotto.
2. nel caso di significativa impermeabilizzazione, si consiglia di dimensionare le luci di scarico e i tiranti idrici ammessi nell'invaso in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni. Nel caso in esame il volume di laminazione è stato determinato considerando eventi di tempo di ritorno T 50 anni, come richiesto dal Consorzio di Bonifica.



3. utilizzo dell'80% del volume della rete di drenaggio a compenso del volume necessario per la laminazione;
4. di regola è preferibile che si realizzino volumi allagabili in aree verdi con superfici in terreno naturale, associate a un uso ricreativo e a una sistemazione paesaggistica compatibili con il periodico allagamento.

Nel caso in esame, considerato il minimo volume di invaso necessario calcolato ai sensi del regolamento regionale, le scarse caratteristiche di filtrazione dei primi 2 m di terreno dell'area, che non consentono un efficiente smaltimento delle acque pluviali per sola infiltrazione, e la disponibilità di un'area verde posta a monte del punto di scarico individuato di oltre 3.700 mq, per il rispetto dell'invarianza idraulica è stato scelto di realizzare un volume allagabile in area verde con superficie in terreno naturale che consentirà lo stoccaggio dei volumi pluviali in eccesso.

Considerando la stratigrafia geologica del terreno interessato, l'opera sarà dotata nella parte centrale di una trincea drenante, collegata agli strati più profondi di terreno e più permeabili, che consentirà in parte di svuotare la vasca per filtrazione e di stoccare un certo quantitativo di volumi di pioggia al di sotto del fondo vasca. Questo accorgimento risulta utile soprattutto in occasione di tutti quegli eventi di minima entità che non riempiendo l'opera, non necessiteranno dell'avvio delle operazioni di pompaggio verso il ricettore finale.

In conformità ai principi di invarianza idraulica espressi nel Regolamento Regionale, il progetto prevede la realizzazione di un volume totale di accumulo di  $\sim 1207 \text{ m}^3$  delle acque pluviali, composto da  $\sim 1040 \text{ m}^3$  accumulabili in vasca di laminazione,  $135 \text{ m}^3$  cumulabili in una trincea drenante posta sul fondo vasca e circa  $30 \text{ m}^3$  (80 % di riempimento delle condotte di drenaggio) cumulabili nella rete di drenaggio e scarico a servizio del lotto e dell'invaso.

Le opere per il deflusso e l'accumulo delle acque pluviali previste in progetto sono le seguenti:

- Rete di drenaggio per il convogliamento delle acque pluviali verso il volume di accumulo previsto. La rete di drenaggio è formata da condotte in cls, diametro compreso tra DN 400 mm e DN 600 mm e pendenza minima del 3%. Ai fini dell'invarianza idraulica il volume accumulabile nel tubo è pari all'80% del volume della rete e pari a  $\sim 30 \text{ m}^3$ .
- Volume di accumulo delle acque pluviali, dimensionato per eventi di tempo di ritorno  $T=50$  anni e durata minima 2 ore, realizzato mediante la profilatura dell'area "verde n.2" posta lungo il confine Nord del lotto ed avente un volume utile di circa  $1.040 \text{ m}^3$  con un'area utile di circa  $3.500 \text{ m}^2$  e battente di 30 cm. In condizioni di emergenza, mantenendo opportuni franchi idrici di sicurezza, il volume invasato in vasca potrà arrivare anche a valori di  $1.800 \text{ m}^3$  rispetto ai valori di progetto con battente idrico di circa 50 cm. La vasca avrà una quota



di fondo ribassata di circa 100 cm dal p.c. mentre la condotta in entrata avrà una quota di scorrimento posta a circa -90 cm dal p.c.

- Realizzazione di una trincea drenante posta nella parte centrale della vasca in direzione Oves-Est di dimensioni minime 2 m (h) x 1.5 (b) m e lunghezza circa 45 m, dotata di tubazione DN 160 mm microforata protetta con materiale arido a formare un cassonetto e TNT peso min. 300 gr/mq per impedire l'infiltrazione di materiale fine e limitare di fatto l'intasamento della condotta drenante. La trincea drenante disporrà di un volume di accumulo di circa 135 m<sup>3</sup>.
- Realizzazione di n.1 pozzetto per alloggiamento impianto di sollevamento di dimensioni interne 1,50 m x 1,50 m x 1,50 m di altezza e di n.1 pozzetto di ispezione a valle del pozzetto di sollevamento di dimensioni 1,0 m x 1,0 m x 1,10 m che funzionerà anche come pozzetto di calma da cui dipartirà la condotta a gravità verso il ricettore finale. Infine, verrà realizzato un pozzetto 1 m x 1 m x 1 m di altezza per alloggiamento Q.E. e di controllo della stazione di sollevamento.
- Realizzazione di una stazione di sollevamento a valle dell'opera di laminazione per il convogliamento della portata limite indicata dal Consorzio di Bonifica nel ricettore finale, pari a ~14,7 l/s (5 l/s ha). La limitazione della portata della pompa verso la condotta di scarico a gravità verrà realizzata mediante l'utilizzo di un'apposita valvola a sfera in ghisa posta a valle della mandata della pompa, opportunamente tarata in fase di collaudo per restituire una portata massima di ~14,7 l/s.
- Condotta di scarico per il convogliamento delle acque stoccate in vasca verso il ricettore finale. La condotta di scarico sarà realizzata con tubazioni in PVC SN8, diametro DN 200 mm e pendenza minima del 2‰.

#### 4 Analisi delle piogge intense

L'analisi della precipitazione intensa permette la definizione della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica, strumento che come ben noto caratterizza la frequenza delle portate calcolate con metodologia indiretta. La curva di possibilità pluviometrica è espressa nella seguente forma:

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$
$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\langle 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\rangle$$



in cui  $D$  rappresenta la durata dell'evento meteorico,  $T$  il tempo di ritorno, mentre  $a_1$  (coefficiente pluviometrico orario),  $w_T$  (quantili normalizzati per i diversi tempi di ritorno espressi in anni) e  $n$  (esponente di scala),  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $k$  sono i parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate.

I valori dei diversi parametri sono stati estrapolabili dalle carte raster dell'ARPA Lombardia al confine con la regione Emilia Romagna, in prossimità del quadrante vicino a Rottofreno (PC) posto a pochi chilometri da Gragnano Trebbiense.

Per il caso in esame, considerando un tempo di ritorno  $T$  pari a 10 anni e  $T$  50 anni, rispettivamente tempi di ritorno utilizzati per il progetto della rete di drenaggio e per la progettazione della vasca di laminazione, la curva fornita da ARPAL restituisce il parametro "a" pari rispettivamente a 37,76  $\text{mm h}^{-1}$  e 52,50  $\text{mm h}^{-1}$ , mentre il parametro "n" è uguale a 0,295. Poiché tali parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica si riferiscono generalmente a durate di pioggia maggiori dell'ora, per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare i dati ottenuti con la formula di Bell.

Di seguito si riportano i parametri medi delle LSPP.

**Tabella 3 - Parametri delle LSPP per il sito dell'intervento in progetto per durata > 1 ora**

<b>Tr</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>wT</b>	0.919	1.255	1.495	1.740	1.887	2.079	2.351	2.637
<b>a</b>	23.21	31.69	37.76	43.94	47.65	52.50	59.35	66.59
<b>n</b>	0.295	0.295	0.30	0.295	0.30	0.30	0.295	0.295

**Tabella 4 - Parametri delle LSPP per il sito dell'intervento in progetto per durata < 1 ora**

<b>Tr</b>	<b>10</b>	<b>50</b>
<b>a</b>	38.51	53.54
<b>n</b>	0.43	0.43

Per il dimensionamento e verifica del volume di accumulo della vasca sono stati utilizzati i parametri per eventi di durata maggiore di 1 ora in quanto l'evento critico risulta avere durate maggiori di 1 ora. Per il dimensionamento della rete di drenaggio sono stati utilizzati i parametri per eventi di durata minore di 1 ora.

## **5 Coefficiente di deflusso**

La valutazione delle perdite idrologiche per il calcolo dell'idrogramma netto di piena, in arrivo nell'opera di laminazione o nell'insieme delle opere di laminazione, può essere effettuata in via semplificata adottando i seguenti valori standard del coefficiente di deflusso:



- pari a 0,9 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, tetti verdi e giardini pensili sovrapposti a solette comunque costituite e pavimentazioni continue quali strade, vialetti, parcheggi;
- pari a 0,20 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo;

I coefficienti di deflusso vengono calcolati nella condizione ante e post intervento e sono utilizzati per la successiva stima dei volumi di invaso minimi richiesti dalla Direttiva.

Nel caso in esame considerando le aree Imp e Perm già individuate nei paragrafi precedenti, il coefficiente di deflusso ante e post opera viene definito con la seguente formulazione:

$$\phi^{\circ} = 0.9 \text{Imp}^{\circ} + 0.2 \text{Per}^{\circ}$$

$$\phi = 0.9 \text{Imp} + 0.2 \text{Per}$$

In cui:

Imp<sup>°</sup>/Imp      frazione di aree impermeabili (°ante intervento)

Per<sup>°</sup>/Per      frazione di aree permeabili (°ante intervento)

$\phi^{\circ}$       coefficiente di deflusso ante intervento

$\phi$       coefficiente di deflusso post intervento

**Figura 3: coefficiente di deflusso prima della trasformazione**

PRIMA DELLA TRASFORMAZIONE °	
$\phi^{\circ}$	<b>0.2</b>
Imp <sup>°</sup>	0
Per <sup>°</sup>	1

**Figura 4: coefficiente di deflusso dopo la trasformazione**

DOPO LA TRASFORMAZIONE	
$\phi$	<b>0.58</b>
Imp	0.54
Per	0.46

## **6 Classificazione degli interventi richiedenti misure di invarianza idraulica e idrologica e modalità di calcolo**

Ai fini dell'individuazione di diverse soglie dimensionali in base alle quali si applicano considerazioni differenziate in relazione all'effetto atteso dell'intervento, si introduce qui una



classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici. La classificazione è riportata nella seguente Tabella.

**Tabella 5 – Classificazione degli interventi**

<b>Classe di Intervento</b>	<b>Definizione</b>
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $Imp > 0,3$

L'intervento in oggetto ricade nella classe di intervento di significativa impermeabilizzazione potenziale in quanto la superficie di intervento è pari a 2.89 ha, per cui nel caso di significativa impermeabilizzazione, si consiglia di dimensionare le luci di scarico e i tiranti idrici ammessi nell'invaso in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni la modalità di calcolo dei volumi da applicare per tale tipologia di intervento è il metodo delle sole piogge.

Nel caso in oggetto il volume di accumulo della vasca di laminazione è stato individuato considerando eventi di tempo di ritorno T 50 anni e durata pari alla durata critica per la vasca determinati con il metodo delle sole piogge.

## **7 Calcolo dei volumi di invaso**

### **7.1 Volume minimo di laminazione**

Il volume minimo specifico di laminazione da adottare per la progettazione degli interventi di invarianza idraulica viene fornito dalla formula riportata nella Direttiva della Regione Emilia Romagna secondo la seguente formula:

$$w = w^{\circ} (\phi / \phi^{\circ})^{1/(1-n)} - 15 I - w^{\circ} P$$

In cui:

$w^{\circ} = 50 \text{ mc/ha}$ ;

$\phi =$  coefficiente di deflusso dopo la trasformazione;



$\phi^{\circ}$  = coefficiente di deflusso prima della trasformazione,

$n=0,48$  esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora;

$I = 1$  frazione impermeabile dell'area trasformata

$P = 0$  frazione permeabile dell'area trasformata.

In questo caso il volume minimo specifico da adottare è pari a:

$$W_{\min} = 50 \text{ mc/ha}_{\text{imp}} \times (0.2/0.58)^{(1/(1-0,48))} - 15 \times 1 - 50 \text{ mc/ha}_{\text{imp}} \times 0 = 368 \text{ mc/ha}$$

Per cui il volume minimo di laminazione per l'intervento in oggetto è pari a:

$$W = 368 \text{ mc/ha} \times 2,894 \text{ ha} = 1.065 \text{ mc}$$

## 7.2 Volume di invaso con il metodo delle sole piogge

Di seguito si riporta il dimensionamento e la verifica della vasca in progetto con il metodo delle sole piogge in funzione della durata critica.

Il dimensionamento della vasca è stato realizzato con il metodo delle sole piogge che determina il volume di laminazione, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante ( $W_e$ ) e dell'onda uscente ( $W_u$ ) calcolati al termine della durata di pioggia ( $D$ ), considerando la curva di possibilità pluviometrica con un tempo di ritorno  $T = 50$  anni.

Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione. Nello specifico:

$$DW = W_e - W_u$$

$$W_e = S \cdot \phi \cdot a \cdot D^n = \text{Volume entrante}$$

$$W_u = S \cdot u_{\text{lim}} \cdot D = \text{Volume uscente}$$

dove  $\phi$  è il coefficiente di deflusso,  $S$  la superficie dell'area in ettari,  $D$  è la durata di pioggia in ore,  $a = a_{1WT}$  ed  $n$  i parametri della curva di possibilità climatica e  $u_{\text{lim}}$  è la portata specifica limite ammissibile allo scarico, indicata dal gestore del ricettore.

Il volume massimo  $\Delta W$  che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica  $D$  (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \phi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{\text{lim}} \cdot D$$



Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza  $\Delta W = We - Wu$ , si ricava la durata critica  $D_w$  per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione  $W_0$  riferito alla durata critica.

$$D_w = \left( \frac{Q_{u,lim}}{2.78 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,lim} \cdot D_w$$

Lo scarico dell'invaso di laminazione è addotto al reticolo secondario del Rio Gragnano nel rispetto della portata limite ammissibile richiesta dal gestore che, essendo  $u_{lim} = 5$  l/s per ettaro di superficie scolante dell'intervento è pari a 14,47 l/s.

Applicando le formule sopra riportate si ottengono i seguenti risultati:

- durata critica  $D_w = 9,71$  ore (utilizzando l'esponente  $n = 0,298$  valido per  $D \geq 1$  ora);
- volume di laminazione  $W_0 = 1207,31$  m<sup>3</sup> (volume specifico  $\approx 723$  m<sup>3</sup>/ha<sub>imp</sub>).

I valori del calcolo del volume di laminazione con il metodo delle sole piogge sono riportati nella seguente tabella.

**Tabella 6 - Calcolo del volume dell'opera di accumulo T50 anni (metodo delle sole piogge)**

T50 anni								
S1	Simp	Sperm	Qu,lim	Ulim	Dw	w0	W	Vol spec
mq	mq	mq	l/s	l/s ha	ore	mc/ha	mc	mc/ha imp
28940.0	15571.2	13369	14.47	5.0	9.71	417.2	1207.3	723.5

Come si evince dai calcoli sopra riportati, per eventi di tempo di ritorno pari a T 50 anni, il metodo delle sole piogge determina un volume (W) necessario per la laminazione pari a ~1207.3 mc, corrispondente ad un volume specifico pari a 631 m<sup>3</sup>/ha<sub>imp</sub>. Il volume così calcolato, corrispondente ad una durata critica di 9,71 ore, è maggiore del volume minimo richiesto dalla Direttiva regionale.

Il volume necessario ai processi di accumulo e laminazione verrà realizzato mediante un sistema di accumulo formato da una vasca in terra inerbata con annessa trincea drenante e stazione di sollevamento, avente un volume utile per l'accumulo di 1.040 m<sup>3</sup> con battenti di 30 cm a cui va aggiunto un volume di 135 m<sup>3</sup> invasato nella trincea drenante prevista in progetto e circa 30 m<sup>3</sup> stoccati nell'80% del volume della rete di drenaggio. Considerando che il volume necessario per la laminazione per eventi di tempo di ritorno T 50 anni è pari a 1.207 m<sup>3</sup> e che la somma del volume corrispondente all'80% delle condotte di drenaggio e del volume stoccato nella trincea drenante posta sul fondo della vasca di laminazione è pari a 165 m<sup>3</sup>, il volume stoccato nella vasca di laminazione sarà pari a 1.040 m<sup>3</sup>, corrispondente ad un tirante idrico in vasca di circa 30 cm distribuito su un'area di laminazione di circa 3.500 m<sup>2</sup>.



La verifica dei franchi di sicurezza delle opere di laminazione o per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati deve essere effettuata anche per eventi di tempo di ritorno pari o superiori. Di seguito si riportano i calcoli eseguiti per determinare il volume di laminazione necessario per eventi di 100 anni di tempo di ritorno.

**Tabella 7 – Verifica per tempo di ritorno T100 anni del volume dell’opera di accumulo**

T100 anni								
S1	Simp	Sperm	Qu,lim	Ulim	Dw	w0	W	Vol spec
mq	mq	mq	l/s	l/s ha	ore	mc/ha	mc	mc/ha imp
28940.0	15571.2	13369	14.47	5.0	11.55	496.4	1436.7	860.9

Considerando che il volume necessario per la laminazione per eventi di tempo di ritorno T 100 anni è pari a 1.436 m<sup>3</sup>, si ottiene un battente idrico in vasca pari a 37 cm, ottenuto dividendo il volume T100 anni depurato dal volume stoccato in trincea e nella rete di drenaggio (135 m<sup>3</sup> + 30 m<sup>3</sup>) su un’area di laminazione di 3.500 mq.

Considerando che il fondo vasca sarà posto a – 100 cm dal p.c., la verifica dei franchi idraulici di sicurezza risulta positiva, in quanto per eventi di T 50 anni il franco idraulico di sicurezza rispetto al p.c. è di 70 cm ed il franco idraulico di sicurezza per eventi di tempo di ritorno T 100 anni è pari a 63 cm, per cui non è prevista la realizzazione di ulteriori misure di sicurezza.

### **7.3 Calcolo del tempo di svuotamento della vasca**

Il tempo di svuotamento dei volumi calcolati non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d’invaso quanto prima possibile.

Nel caso in esame considerando una portata uscente pari a ~14,47 l/s, il tempo di svuotamento dell’invaso è pari a  $(1.040 \text{ mc}) \times 1000 \text{ (l/mc)} / 14,47 \text{ (l/s)} = 71.872 \text{ sec} \sim 20 \text{ ore} < 24 \text{ ore}$ , che risulta pienamente accettabile.

## **8 PREDIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI POMPAGGIO**

Lo scarico dalla vasca di laminazione avviene per pompaggio della portata limite di progetto che, si ricorda, è pari a ~14,47 l/s.

Per il sollevamento di tale portata si sono adottati i seguenti dati progettuali:

- n. pompe = 1;
- portata di progetto della singola pompa = 14,0 l/s;
- prevalenza totale = 2,0 m;

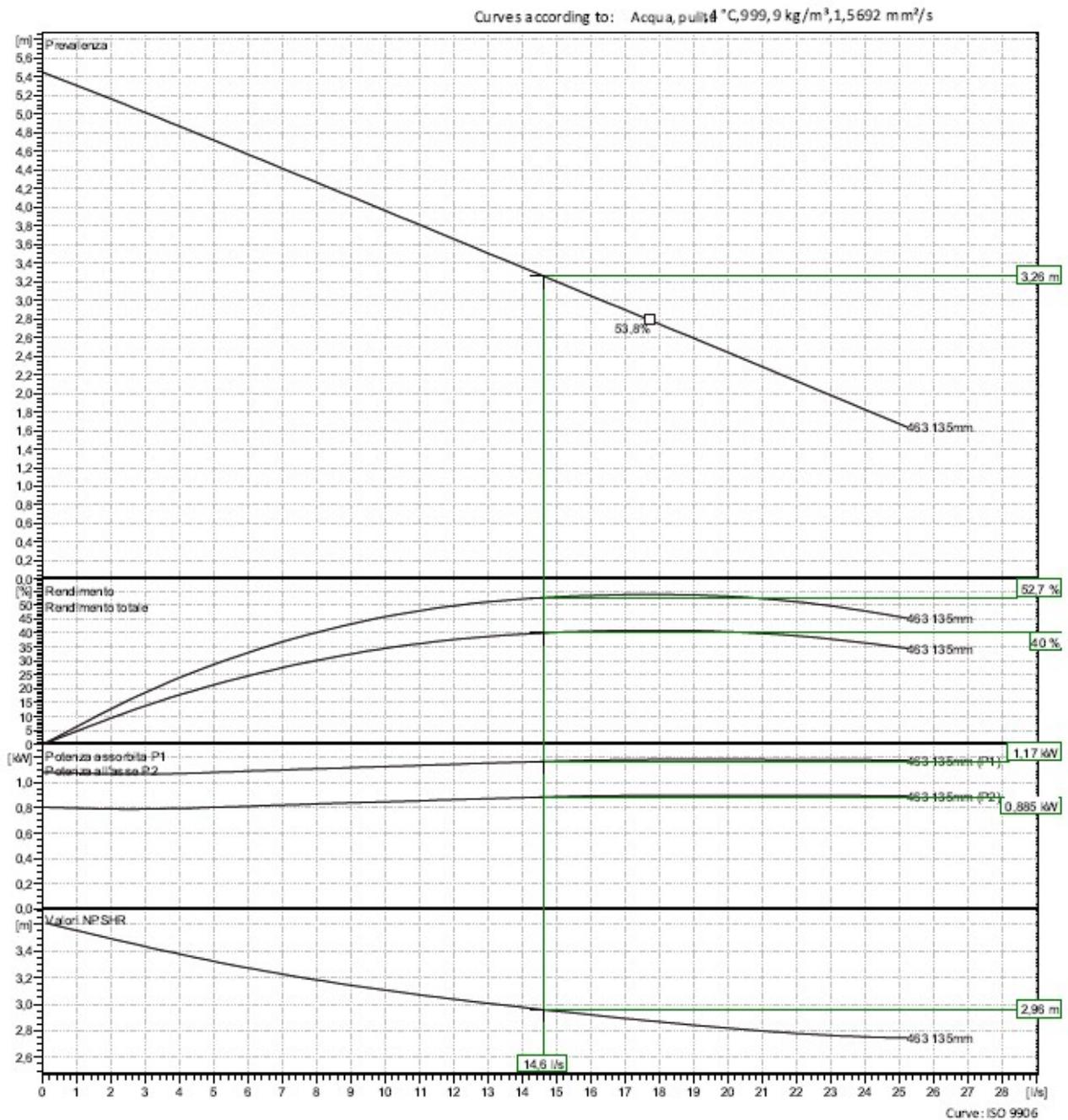


La pompa che può essere utilizzata nel campo di funzionamento indicato è una pompa sommergibile di tipo flyght NP 3085 MT 1~ Adaptive 463 o simile di pari prestazioni.

La potenza nominale del motore della pompa è di 1,5 kW con un rendimento del 54%.

La limitazione della portata della pompa nella rete fognaria comunale verrà realizzata mediante l'utilizzo di un'apposita valvola a sfera in ghisa DN 2" posta a valle della mandata della pompa, opportunamente tarata in fase di collaudo per convogliare al ricettore una portata massima di 14 l/s.

Di seguito, si riportano le curve di lavoro della pompa prescelta.





## 9 Verifica del sistema di drenaggio

In questa fase sono state dimensionate per eventi di tempo di ritorno T10 anni i tratti di condotta necessari al convogliamento delle acque pluviali verso il volume di invaso in progetto e successivamente sono stati verificati per eventi di tempo di ritorno T 30 anni, tempo di progetto della vasca di laminazione.

### Rete di drenaggio

Le tubazioni sono previste in cls e PVC con parete interna liscia " secondo pr EN 13476 (ex TC155), classe di rigidità circonferenziale SN 8 kN/m<sup>2</sup>.

I pozzetti di ispezione e caduta delle reti di drenaggio sono realizzati in calcestruzzo vibrocompresso di cemento ad alta resistenza devono sopportare le spinte del terreno e del sovraccarico stradale in ogni suo componente.

I chiusini di ispezione sono previsti in ghisa lamellare UNI ISO 185, costruito secondo le norme UNI EN 124 classe D 400 (carico di rottura 40 tonnellate), marchiato a rilievo con: norme di riferimento (UNI EN 124), classe di resistenza (D 400).

Le caditoie a griglia saranno formate da elementi prefabbricati in c.a. con sifone a base quadrata, completo di fondo, di larghezza minima 100 mm e lunghezza variabile complete di griglia piana in acciaio zincato o ghisa lamellare UNI EN 1561 (ex UNI ISO 185), costruita secondo le norme UNI EN124 classe 400 (carico di rottura 40 tonnellate).

### Verifiche idrauliche

In questa fase sono state verificate per eventi di tempo di ritorno T10 e 30 anni i tratti di condotta necessari al convogliamento delle acque pluviali verso il volume di invaso.

Il dimensionamento delle condotte è stato effettuato con la formula razionale di Gauckler-Strickler per il moto uniforme:

$$Q = k_S A R^{2/3} i^{1/2}$$

dove  $k_S$  è il coefficiente di scabrezza,  $A$  la sezione bagnata,  $R$  il raggio idraulico e  $i$  la pendenza del condotto. Il coefficiente dimensionale di Chezy è stato valutato mediante la formula di Gauckler-Strickler, dove  $k_S$  è l'indice di scabrezza di Strickler che dipende dalle caratteristiche fisiche del tubo. Nel caso in esame trattandosi di una tubazione in cls e PVC il valore di  $k_S$  è stato assunto pari 90 e 100 [m<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup>].

Le verifiche di dimensionamento sono state effettuate confrontando la portata di progetto afferente al nodo terminale di ogni tronco di rete analizzato con la portata convogliabile dal tronco in esame



considerando un riempimento della tubazione del 75%.

La portata di progetto ( $Q_{pr}$ ) è stata calcolata con il metodo cinematico considerando l'area drenante nel tronco considerato, uno ietogramma Chicago di 30 minuti, il coefficiente di deflusso medio ponderale e il tempo di corrivazione  $t_c$ . La portata ( $Q_{75\%}$ ) transitante al 75% di riempimento nella condotta verificata è stata calcolata con la formula razionale.

Nelle seguenti tabelle si riportano le aree ed i coefficienti di deflusso relativi ad ogni tronco di rete verificato ed i risultati delle verifiche effettuate per eventi di tempo di ritorno T 10 anni. I diametri indicati sono i diametri minimi necessari per ottenere una rete di drenaggio verificata, in progetto i tronchi di diametro DN 315 sono stati sostituiti con diametri DN 400.

**Tabella 8 – Verifica tratto principali della rete di drenaggio acque pluviali – T 10 anni.**

Tratto	Dn	Area	$\phi$	$t_c$	Pendenza	h (75%)	A (75%)	ks	Q (75%)	Q <sub>pr10</sub>
	mm	m <sup>2</sup>		min	m/m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>1/2</sup> s <sup>-1</sup>	l/s	l/s
1-2	315	3401	0.48	6	0.003	0.24	0.0627	100	71.51	48.48
3-4	400	6709.20	0.45	6	0.003	0.30	0.1011	90	121.70	89.56
5-4	315	3630	0.51	6	0.003	0.24	0.0627	100	71.51	54.54
4-6	500	10339	0.47	8	0.003	0.38	0.1580	90	220.65	145.19
7-6	315	3411	0.51	6	0.003	0.24	0.0627	100	71.51	51.51
6-8	600	15193	0.50	11	0.003	0.45	0.2275	90	358.81	225.75
8-9	600	21179	0.49	13	0.003	0.45	0.2275	90	358.81	240.29

Dove:

Dn diametro nominale;

$\phi$  coeff. di deflusso;

$V_{75\%}$  velocità idrica al 75% di riempimento;

$Q_{75\%}$  portata di progetto al 75% di riempimento.

$Q_{pr}$  portata di progetto.

I risultati delle verifiche, riportati sopra, indicano che le portate di progetto sono sempre inferiori alle portate potenzialmente transitanti nelle condotte prescelte con grado di riempimento pari al 75%, per cui le condotte in progetto risultano verificate. I tronchi laterali DN 315 sostituiti in progetto con condotte DN 400 sono ampiamente verificati.

Le verifiche per eventi di tempo di ritorno T 50 anni sono state effettuate confrontando la portata di progetto afferente al nodo terminale di ogni tronco ( $Q_{pr50}$ ) di rete analizzato con la massima portata convogliabile dal tronco in esame.

Di seguito si riportano le verifiche effettuate per eventi di tempo di ritorno T 50 anni, tempo di



progetto della vasca di laminazione.

**Tabella 9 – Verifica tratto principali della rete di drenaggio acque pluviali – T 50 anni.**

Tratto	Dn	Area	$\phi$	tc	Pendenza	h (75%)	A (75%)	ks	Qmax	Qpr50
	mm	mq		min	m/m	m	mq	m <sup>1/2</sup> s <sup>-1</sup>	l/s	l/s
1-2	315	3401	0.48	6	0.003	0.24	0.0627	100	80.00	67.41
3-4	400	6709.20	0.45	6	0.003	0.30	0.1011	90	142.00	124.53
5-4	315	3630	0.51	6	0.003	0.24	0.0627	100	80.00	75.84
4-6	500	10339	0.47	8	0.003	0.38	0.1580	90	258.00	201.90
7-6	315	3411	0.51	6	0.003	0.24	0.0627	100	80.00	71.62
6-8	600	15193	0.50	11	0.003	0.45	0.2275	90	420.00	313.92
8-9	600	21179	0.49	13	0.003	0.45	0.2275	90	420.00	334.13

I risultati delle verifiche effettuate per eventi di tempo di ritorno T 50 anni indicano che le portate di progetto sono sempre inferiori alle portate massime convogliabili dalle condotte in progetto, per cui le verifiche hanno esito positivo.

Gagnano, dicembre 2021

**Il Professionista incaricato**

(Dott. Ing. Omar William Cella)