

# ACCORDO OPERATIVO

AI SENSI DELL'ART. 38 L.R. N. 24 DEL 21/12/2017


**AMBITO RIALE GALVANO NORD - 2**

**VIA BENINI - ZOLA PREDOSA (BO)**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Committenti:               | <b>Gini s.r.l.</b><br><br><b>Via Porrettana n.277</b><br><br><b>40033 Casalecchio di Reno (BO)</b>  |
| Lavoro:<br><br><b>0396</b> | Progettisti:<br><br><b>Ing. Roberto Brunelli</b><br><b>C.F. BRNRRT66C02A944Q</b><br>e_mail: <a href="mailto:brunelli@studiosap.it">brunelli@studiosap.it</a><br>PEC: <a href="mailto:roberto.brunelli@ingpec.eu">roberto.brunelli@ingpec.eu</a> |

|               |   |               |             |                       |             |
|---------------|---|---------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Aggiornamenti | 4 |               |             |                       |             |
|               | 3 |               |             |                       |             |
|               | 2 |               | Definitivo  |                       |             |
|               | 1 |               | Bozza       |                       |             |
|               | 0 | 05 Marzo 2019 | Preliminare | Ing. Roberto Brunelli | Emissione   |
|               | N | Data          | Fase        | Redatto               | Descrizione |

|  |           |               |
|--|-----------|---------------|
| Elaborato:                                   | Codice:   | N. Elaborato: |
| <b>RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</b> | <b>RE</b> | <b>04</b>     |

|   |  |
|---|--|
| Redatto da:   |  |
|  | <b>SAPtecnica srl. Società di Ingegneria</b><br><b>Via Dante,11 - 40016 - San Giorgio di Piano (BO)</b><br><b>Tel. 051893797 - fax. 0516631032 - e_mail <a href="mailto:info@studiosap.it">info@studiosap.it</a></b> |

**ACCORDO OPERATIVO ART. 8 l.r. 24/2017**

**AMBITO RIALE GALVANO NORD – 2**

**VIA BENINI, 2 – ZOLA PREDOSA**

**RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA**

**INDICE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Premessa .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2. Bacino urbano servito .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>3. Eventi meteorici di progetto .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>4. Metodi per la determinazione delle massime portate di piena .....</b>                 | <b>12</b> |
| 4.1 Metodo della corrivazione.....  | 12        |
| 4.2 Metodo dell'invaso .....  | 14        |
| 4.3 Metodo dell'invaso "italiano" .....   | 15        |
| <b>5. Metodi per la determinazione dei volumi necessari alla laminazione.....</b>           | <b>16</b> |
| 5.1 Metodo di dimensionamento sulla base delle sole piogge.....                             | 18        |
| 5.2 Metodo di dimensionamento tramite l'integrazione dell'equazione del serbatoio .....     | 19        |
| 5.3 Metodi di dimensionamento basati sulla trasformazione afflussi-deflussi .....           | 19        |
| <b>6. Determinazione delle portate massime .....</b>  | <b>21</b> |
| 6.1 Metodo della corrivazione.....  | 21        |
| 6.2 Metodo dell'invaso .....  | 26        |
| 6.3 Metodo dell'invaso "italiano" .....   | 29        |
| <b>7. Determinazione dei massimi volumi da invasare nel sistema di laminazione .....</b>    | <b>30</b> |
| 7.1 Metodo basato sulle sole piogge .....   | 30        |
| 7.2 Formula di Marone .....   | 31        |
| 7.3 Metodo cinematico .....   | 31        |
| 7.4 Metodo dell'invaso .....  | 35        |
| <b>8. Idoneità del sistema di laminazione e di smaltimento delle acque meteoriche .....</b> | <b>39</b> |
| <b>9. Verifica del collettore di scarico verso la rete comunale.....</b>                    | <b>41</b> |
| <b>10. Conclusioni.....</b>   | <b>41</b> |

## **1. Premessa**

La presente relazione di accompagnamento al Masterplan per la nuova urbanizzazione in progetto, è volta a dimostrare in via preliminare la compatibilità della stessa, grazie alle opere di raccolta, sistemazione e mitigazione idraulica che si descriveranno nel seguito, con i principi basilari dell'invarianza idraulica delle nuove antropizzazioni di aree rurali, e con gli strumenti di pianificazione sovra-ordinati, quali in particolare:

- *Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico per il Torrente Samoggia*
- *Linee guida per la progettazione dei sistemi di raccolta delle acque piovane per il controllo degli apporti nelle reti idrografiche di pianura, Allegato A) alla Deliberazione n. 1/3 del 1 agosto 2013 dell'Autorità di Bacino del Reno.*

Il sito oggetto della nuova urbanizzazione sorge nel territorio del Comune di Zola Predosa, località Riale; l'area è da ritenersi, ai sensi dei documenti di cui sopra, zona di pianura, per quanto il sito si collochi in una fascia pedecollinare caratterizzata da pendenze minime ma non del tutto trascurabili.

Nell'ambito della presente relazione, pertanto, si procederà nello specifico a:

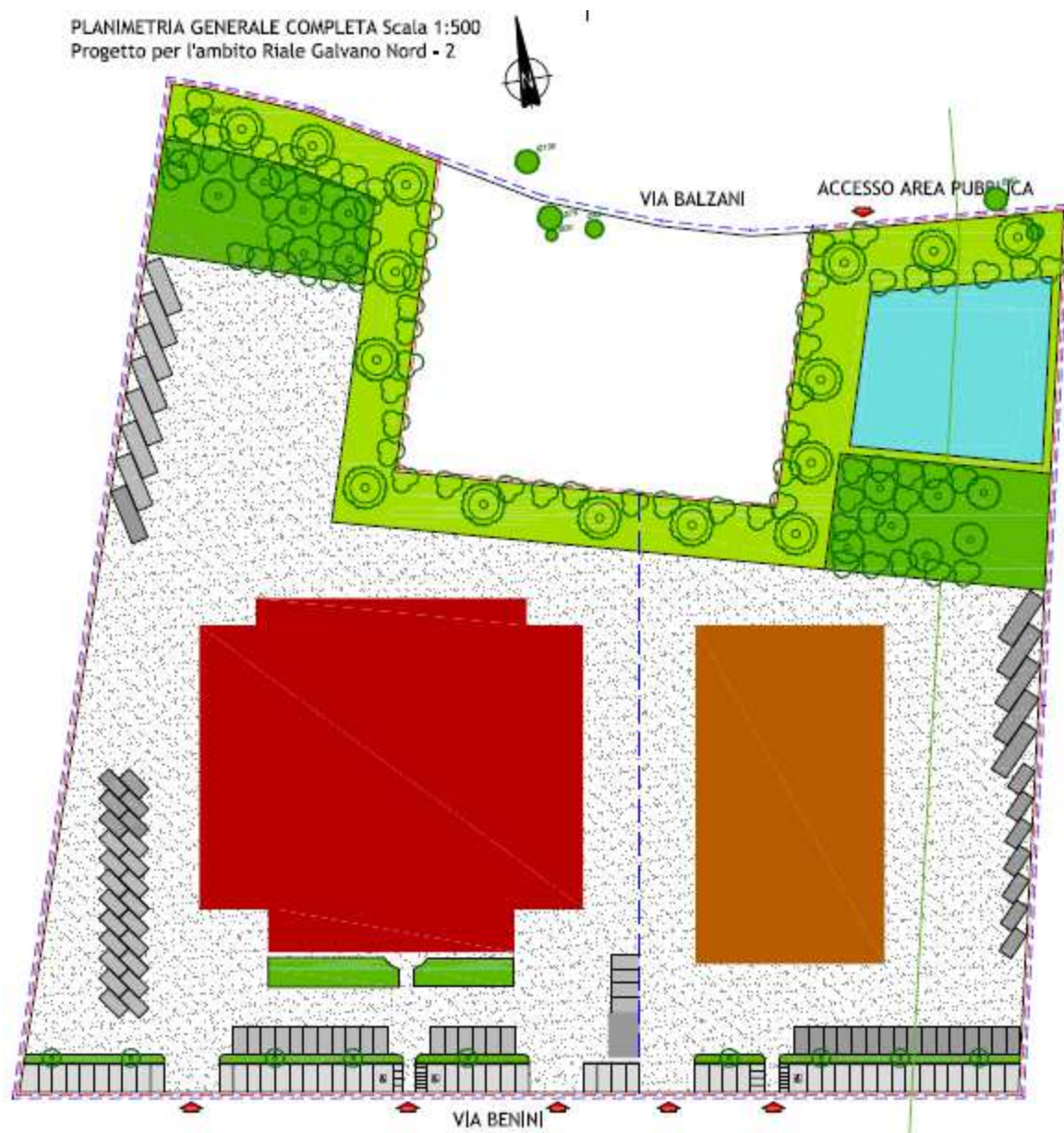
- a) valutare gli afflussi recapitati nella fognatura bianca dal bacino di nuova urbanizzazione in studio, che smaltirà le acque piovane in una rete fognaria separata della quale si forniscono uno schema ed un dimensionamento di prima definizione, per quanto passivo di modifiche e ottimizzazioni nelle successive fasi di progettazione ed esecuzione delle opere;
- b) valutare e quantificare l'esigenza di invasare i picchi dei volumi di pioggia in arrivo, in apposite strutture che consentono la laminazione delle portate, rilasciandole in un tempo successivo, dimensionando in prima approssimazione il sistema di laminazione, costituito da una vasca di accumulo nella zona topograficamente più depressa dell'area.

Analisi e verifiche verranno condotte con riferimento sia ai procedimenti speditivi indicati dalle Linee Guida su citate che utilizzando i metodi e modelli di analisi idrologica di piccoli bacini tradizionalmente più utilizzati (metodo della corrivazione, metodo dell'invaso).

## **2. Bacino urbano servito**

Si farà riferimento al bacino rappresentato nella illustrazione seguente, tratta dal masterplan della nuova urbanizzazione. Si individuano, ai fini delle valutazioni del prosieguo della relazione, le aree totalmente impermeabili, schematizzabili come quelle asfaltate (piazze di manovra e parcheggi, a campitura o puntinatura grigia nell'illustrazione), quelle edificate (due edifici da realizzare, individuati con colori diversi) e quelle di verde pertinenziale "non compatto" (superfici in verde

nella parte sud del comparto, sul fronte degli edifici); le porzioni “a verde compatto” (campitura più chiara al perimetro nord e aree in verde più scuro contigue) e quelle da destinarsi alla realizzazione della vasca di laminazione (azzurro) non costituiscono invece superfici impermeabili ai fini delle valutazioni.



*Figura 1: Stralcio del masterplan con la rappresentazione delle aree permeabili e impermeabili dell'area di nuova urbanizzazione*

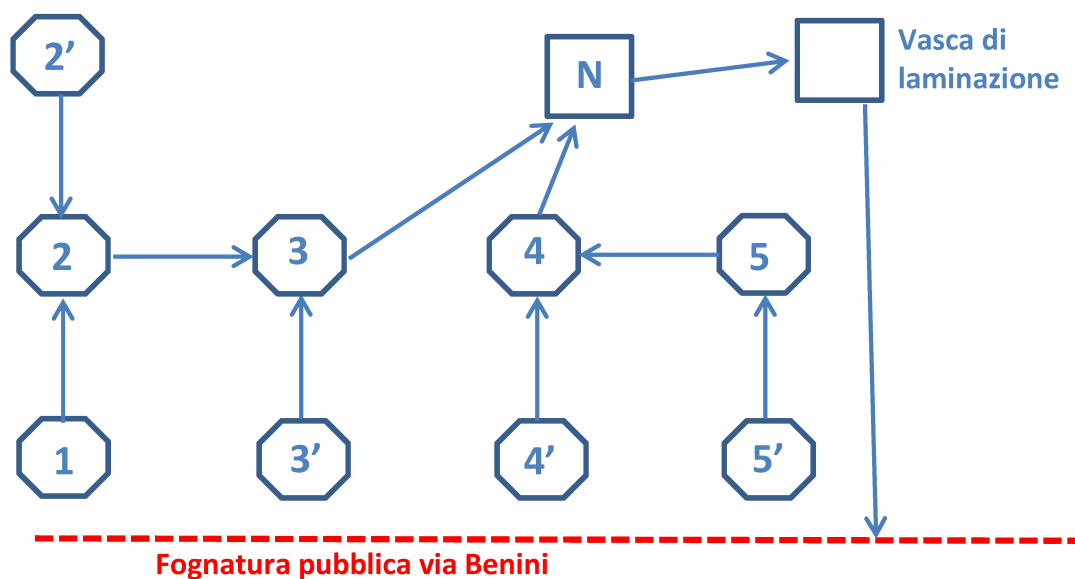
Il sistema di raccolta, laminazione e smaltimento delle acque piovane è ipotizzato a livello preliminare come da illustrazione seguente: si prevede di convogliare, su tre assi principali in direzione nord-sud, le acque meteoriche, sfruttando il naturale acclivio del terreno verso nord, concentrandole nella vasca di laminazione prevista nell'angolo a nord-est del lotto. Da questa, per gravità qualora le quote reciproche lo permettano, o in alternativa con un modesto sollevamento, le



acque piovane laminate secondo i limiti prescritti dai documenti normativi incidenti, verranno scaricate nella fognatura pubblica bianca, che percorre la via Benini a sud dell'area, con una significativa profondità – da verificare per la redazione del progetto esecutivo – rispetto al piano stradale, stimabile in circa 2 m.

Schematicamente, il funzionamento idraulico del sistema di raccolta delle acque bianche è sintetizzato nella successiva figura, si nota la confluenza successiva dei quattro tronchi (due per ogni lotto) che seguono la direzione nord-sud verso un unico tratto di sbocco (N-V), previa disoleatura e passaggio attraverso le vasche di prima pioggia, che convoglia le acque alla vasca di laminazione, dove è prevista la costruzione di un pozzetto di controllo delle portate, dalla quale i deflussi laminati sono ulteriormente derivati verso l'immissione nella fognatura pubblica (via Benini). Il tronco immissario nella vasca N-V sarà realizzato con condotta unica, o con doppia canna nel caso in cui lo scavo risultante per la posa della condotta risulti incompatibile con le quote di progetto.

Le vasche di prima pioggia previste fra i due nodi 3 e 4 ed il nodo di confluenza N avranno capacità tale da ospitare i primi 5 mm di pioggia valutati sulle superfici impermeabili dei due lotti.



*Figura 2: Schema del sistema di raccolta delle acque bianche*

Il recapito finale al corpo ricettore avverrà per quanto possibile a gravità, essendo ipotizzata in questa fase preliminare la disponibilità di dislivelli tali – con un'accorta progettazione delle soglie sfioranti – da permettere il deflusso a gravità mediante una luce a battente; lo scarico di emergenza sarà costituito da un'ulteriore tratto di soglia sfiorante collegata direttamente alla vasca anziché al pozzetto di ingresso.

Le caratteristiche dimensionali del piccolo bacino urbano di nuova urbanizzazione sono riportate nelle tabelle che seguono. In questa fase si sono ipotizzate pendenze medie della rete di raccolta (eventuali tratti secondari che affluiscono ai tronchi principali su delineati, reti di pluviali etc.) pari

allo 0,35% e delle aree servite pari allo 0,50%. I rami principali della rete avranno invece una pendenza assunta in questa fase progettuale come costante e pari allo 0,30%, sufficiente a garantire un deflusso a gravità senza adottare sezioni idriche delle condotte di scarico eccessive, e comunque compatibile con la pendenza naturale dei terreni, che l'urbanizzazione dell'area inevitabilmente manterrà per quanto possibile.

Come previsto in via semplificata dalle Linee Guida citate in premessa, si farà riferimento alla sola superficie "nominalmente" impermeabile, assumendo un coefficiente di deflusso unitario. Ciò equivale a particolarizzare la formula, elaborata dal Centro Studi Deflussi Urbani per bacini con  $I_m > 0,3$  (frazione impermeabilizzata):

$$\varphi = \varphi_{perm}(1 - I_m) + \varphi_{imp}I_m$$

assumendo un coefficiente di deflusso unitario per aree impermeabili e nullo per le permeabili. Si evita così il ricorso alla modellazione delle perdite ideologiche tramite complicati schemi di tipo hortoniano, e la necessità di considerare la variabilità degli eventi di precipitazione, che in genere danno luogo a oscillazione della frazione di pioggia che si trasforma in deflusso.

La superficie totale del lotto risulta minore della complessiva superficie territoriale (valutata in 27.025 mq) in quanto l'area di antica edificazione a nord viene esclusa dalle considerazioni sulla determinazione delle portate di piena e sulle esigenze di laminazione.

*Tabella 1: Superfici totali permeabili e impermeabili del comparto*

|                                  |        |    |
|----------------------------------|--------|----|
| superficie totale                | 27.025 | mq |
| superficie del lotto urbanizzato | 23.830 | mq |
| sedimi edifici                   | 5.997  | mq |
| strade, piazzali e parcheggi     | 12.017 | mq |
| vasca di laminazione             | 1.006  | mq |
| verde non compatto               | 403    | mq |
| verde compatto                   | 4.408  | mq |

Poiché sono presenti 2 nuove unità produttive, in pendenza di una più accurata progettazione, rinviata alla fase esecutiva, si ipotizza che il relativo sistema di smaltimento delle acque meteoriche scaricherà attraverso un sistema di pluviali sull'intero perimetro degli stessi, assumendo una distribuzione per aree di influenza sull'intero perimetro, verso i tratti di rispettiva competenza della rete fognaria in progetto.

La superficie impermeabile totale, rispetto alla quale si procederà alle valutazioni quantitative, è pari a 18.416 mq.

Con riferimento allo schema di *Figura 2*, si valuta quanto segue:

- i nodi 1, 3', 4 e 5 raccolgono le acque meteoriche scolanti sulla porzione di piazzale e sui parcheggi dal lato di via Benini;

- al nodo 2 vengono convogliate le portate provenienti dal nodo 1, quelle scolanti sulla porzione di piazzale a ovest e quelle provenienti dal nodo 2' dallo spiazzo, da realizzare con opportuna contropendenza rispetto al declivio naturale del terreno, posto a nord-ovest del lotto;
- il nodo 3 riceve le acque dai nodi 2 e 3', ricevendo gli scoli della porzione afferente il lotto 1 del corsello centrale dell'area, e del tratto di retro del capannone ovest;
- il nodo 5 costituisce lo sbocco del tratto che parte dal nodo 5' di rete scolante che serve la parte orientale del piazzale ed una porzione del fronte su via Benini prospiciente il capannone est;
- al nodo 4 vengono convogliate le portate provenienti dal nodo 5, quelle scolanti della porzione afferente il lotto 2 del corsello centrale dell'area a partire dal nodo 4', e quelle del tratto di retro del capannone est;
- a valle dei nodi 3 e 4 si prevede l'installazione di un sistema di trattamento delle acque di prima pioggia, con due vasche separate di accumulo e due disoleatori, dai quali le portate vengono concentrate nel nodo N di confluenza;
- dal nodo N si diparte il canale immissario verso la vasca di laminazione (nodo V), da cui si ha poi il tratto conclusivo costituito dal canale emissario che scarica nella fognatura pubblica.

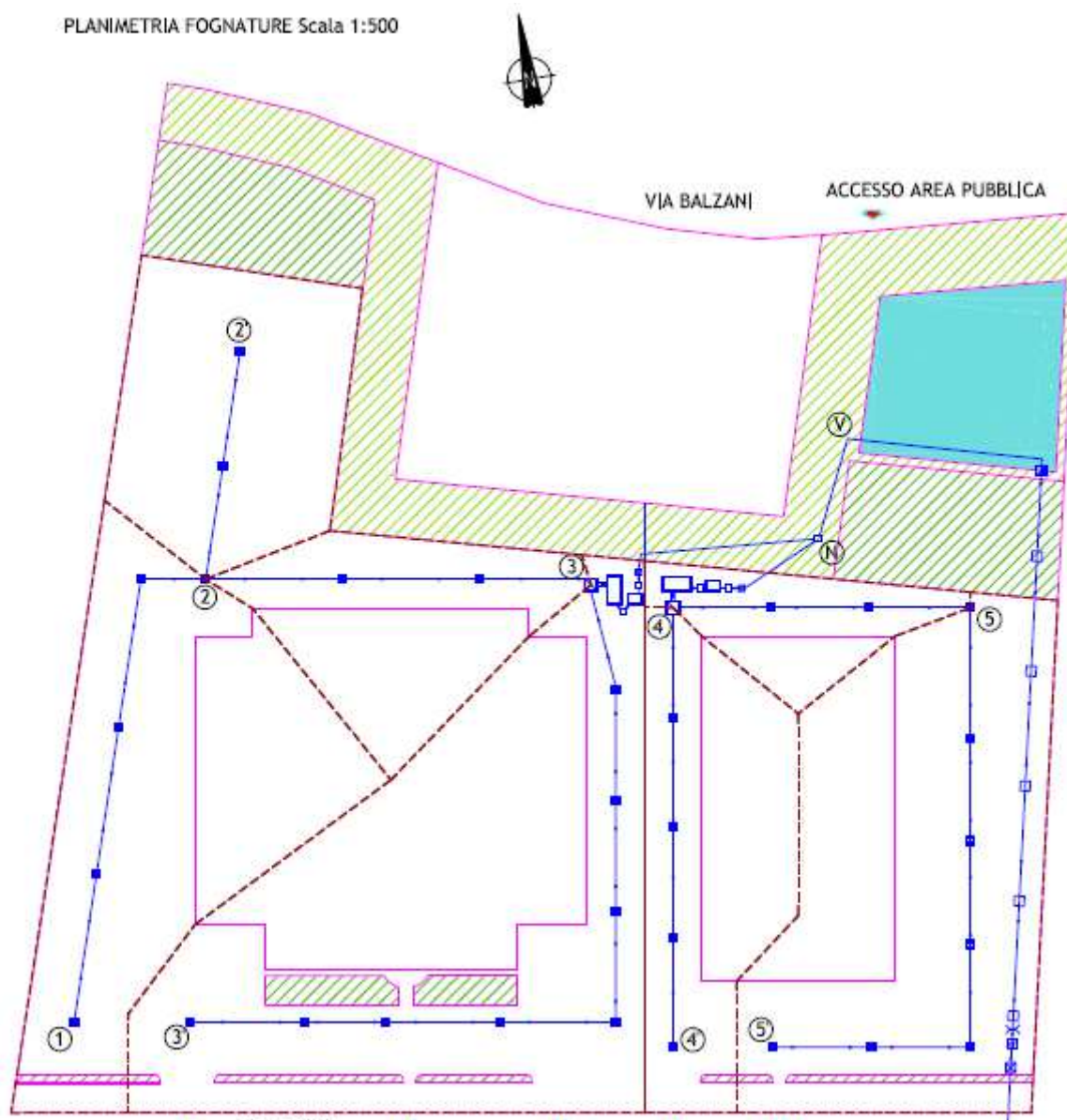
Si valuterà in progetto esecutivo l'eventuale fattibilità di uno scarico diretto dai parcheggi su via Benini direttamente verso la fognatura pubblica.

La tabella che segue riporta le caratteristiche di ogni tratto della rete in progetto. La pendenza ipotizzata è dello 0,3 % costante lungo tutta la rete.

Le caratteristiche della rete (bacini scolanti, caratteristiche dei tratti di canaline) sono desunte dalle due illustrazioni che seguono, che rappresentano una definizione preliminare dello schema della rete scolante.

*Tabella 2: Topologia della rete di raccolta delle acque bianche e dei sottobacini serviti*

| <b>Nodo</b> | <b>Tratto</b> | <b>Superficie tributaria (mq)</b> | <b>Lunghezza del tratto (m)</b> | <b>Diametro interno condotto (m)</b> | <b>Diametro commerciale (mm)</b> |
|-------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 2           | 1-2           | 3266,99                           | 89,11                           | 0,375                                | 400                              |
| 2           | 2'-2          | 1898,48                           | 40,69                           | 0,333                                | 355                              |
| 3           | 3'-3          | 5360,9                            | 150,11                          | 0,469                                | 500                              |
| 3           | 2-3           | 1468,15                           | 65,76                           | 0,469                                | 500                              |
| N           | 3-N           |                                   | 50                              | 0,591                                | 630                              |
| 4           | 4'-4          | 1833,26                           | 75,21                           | 0,296                                | 315                              |
| 5           | 5'-5          | 3863,56                           | 111,52                          | 0,422                                | 450                              |
| 4           | 5-4           | 744,81                            | 50,47                           | 0,422                                | 450                              |
| N           | 4-N           |                                   | 30                              | 0,469                                | 500                              |
| V           | N-V           |                                   | 20                              | 0,751                                | 800                              |



*Figura 3: Suddivisione dell'area in sottobacini tributari dei diversi tratti della rete di collettamento delle acque meteoriche*

Ai fini della laminazione, in questa fase si trascura il contributo rappresentato dai volumi invasati in rete, che sarà comunque valutato in condizioni di piena ai fini di offrire un termine relativo di paragone rispetto al volume di laminazione rappresentato dalla vasca di recapito.

Per quanto riguarda la vasca stessa, sarà progettato un sistema di riempimento e svuotamento tendente a garantire la disponibilità dell'intero volume di laminazione necessario all'inizio dell'evento meteorico, con un tempo di svuotamento compatibile.

### 3. Eventi meteorici di progetto

Le Linee Guida citate in premessa riportano già i due parametri per ricavare le curve di probabilità pluviometrica (espresse nella forma  $h(t) = a t^n$ ) relativamente ai tempi di ritorno di 2, 30, 50, 100, 200 anni; in questa fase, si assumeranno quindi direttamente i valori ivi indicati per il Comune di Zola Predosa, che potranno eventualmente essere oggetto di successive revisioni a seguito di futuri aggiornamenti da parte dell'Autorità di Bacino, oppure di analisi condotte in proprio reperendo i dati delle stazioni pluviometriche.

Per i tempi di ritorno di riferimento, per le opere in progetto si può considerare un rischio non eccessivo in termini di potenziale danno a vite umane, strutture e infrastrutture, e quindi considerare solo i tempi di ritorno di 2, 30 e 50 anni, usuali nella progettazione di piccole reti di fognatura bianca. Le espressioni relative, in mm/h, sono le seguenti:

- a)  $Tr = 2$  anni:  $h = 21,0 t^{0,3497}$
- b)  $Tr = 30$  anni:  $h = 42,6 t^{0,3069}$
- c)  $Tr = 50$  anni:  $h = 46,8 t^{0,3008}$

Per bacini di dimensioni molto piccole, quale quello in oggetto, caratterizzati senza dubbio da tempi di concentrazione minimi (si vedranno essere dell'ordine dei pochi minuti), la letteratura specialistica in materia suggerisce di assumere, per durate di pioggia inferiori all'ora, valori dell'esponente maggiorati in fase di determinazione delle portate di picco, nel caso in questione si è considerato il valore di  $n = 0,50$  a prescindere dal tempo di ritorno; ciò al fine di non incorrere in valori dell'intensità media di pioggia (determinabile da  $i(t) = a t^{n-1}$ ) fisicamente inverosimili. Si consideri, comunque, che le durate critiche ai fini della laminazione risultano in tutti i casi sempre superiori all'ora, pertanto tale ipotesi ai fini progettuali influirebbe soltanto sulla valutazione delle portate di massima piena.

Le figure seguenti riportano le curve di probabilità pluviometrica in termini di altezze di precipitazione e intensità medie di pioggia per i 3 tempi di ritorno su specificati.

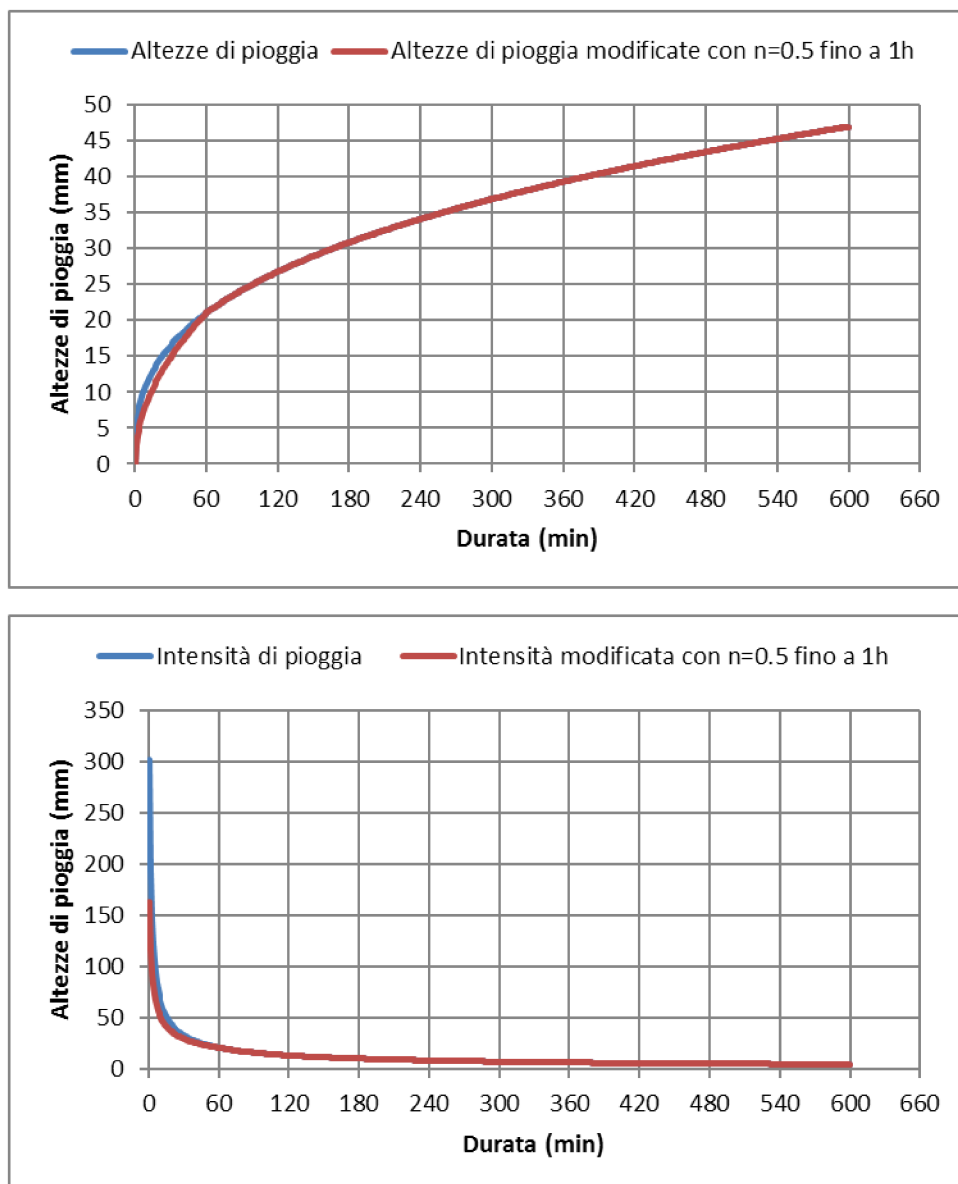


Figura 4: Altezze e intensità medie di precipitazione per  $Tr = 2$  anni

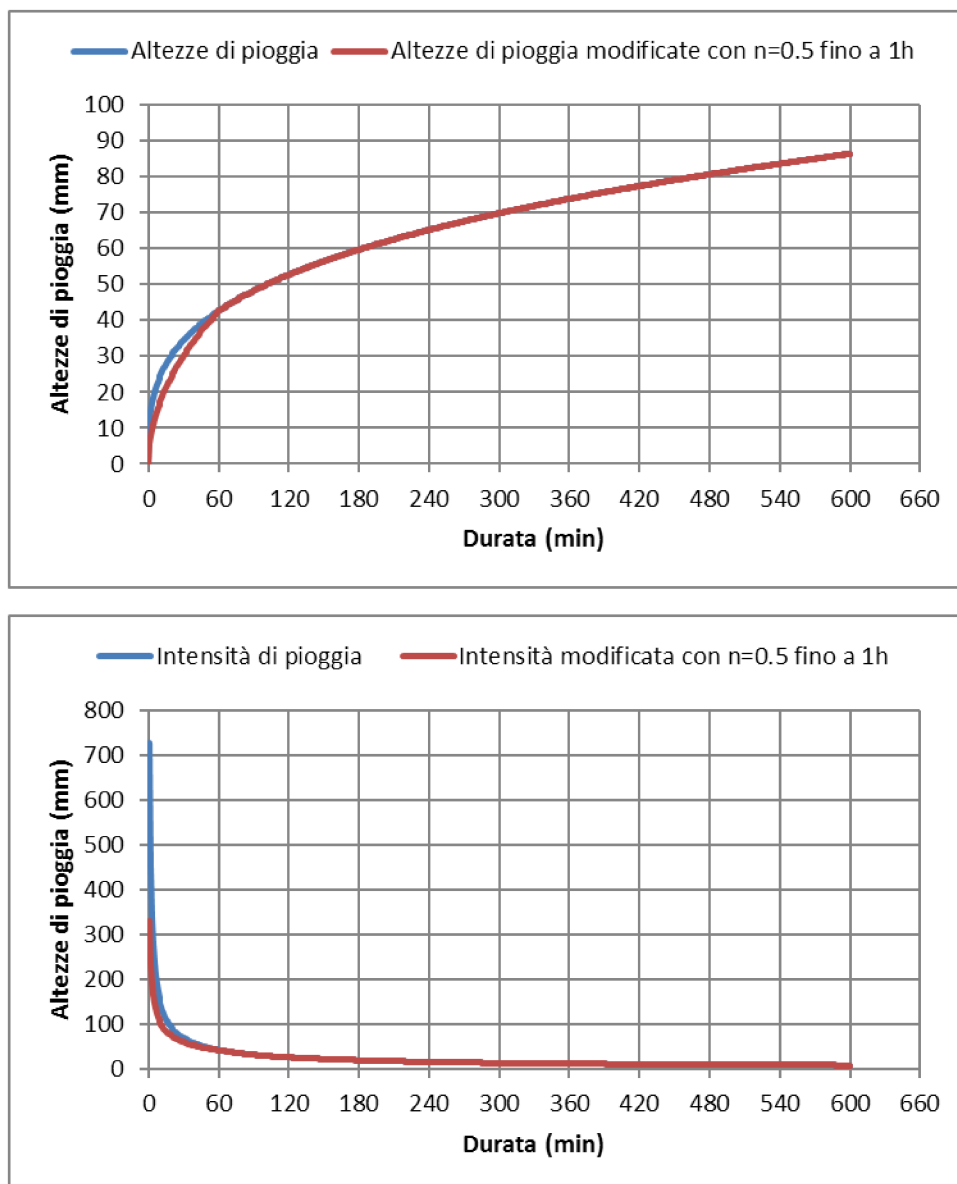


Figura 5: Altezze e intensità medie di precipitazione per  $Tr = 30$  anni



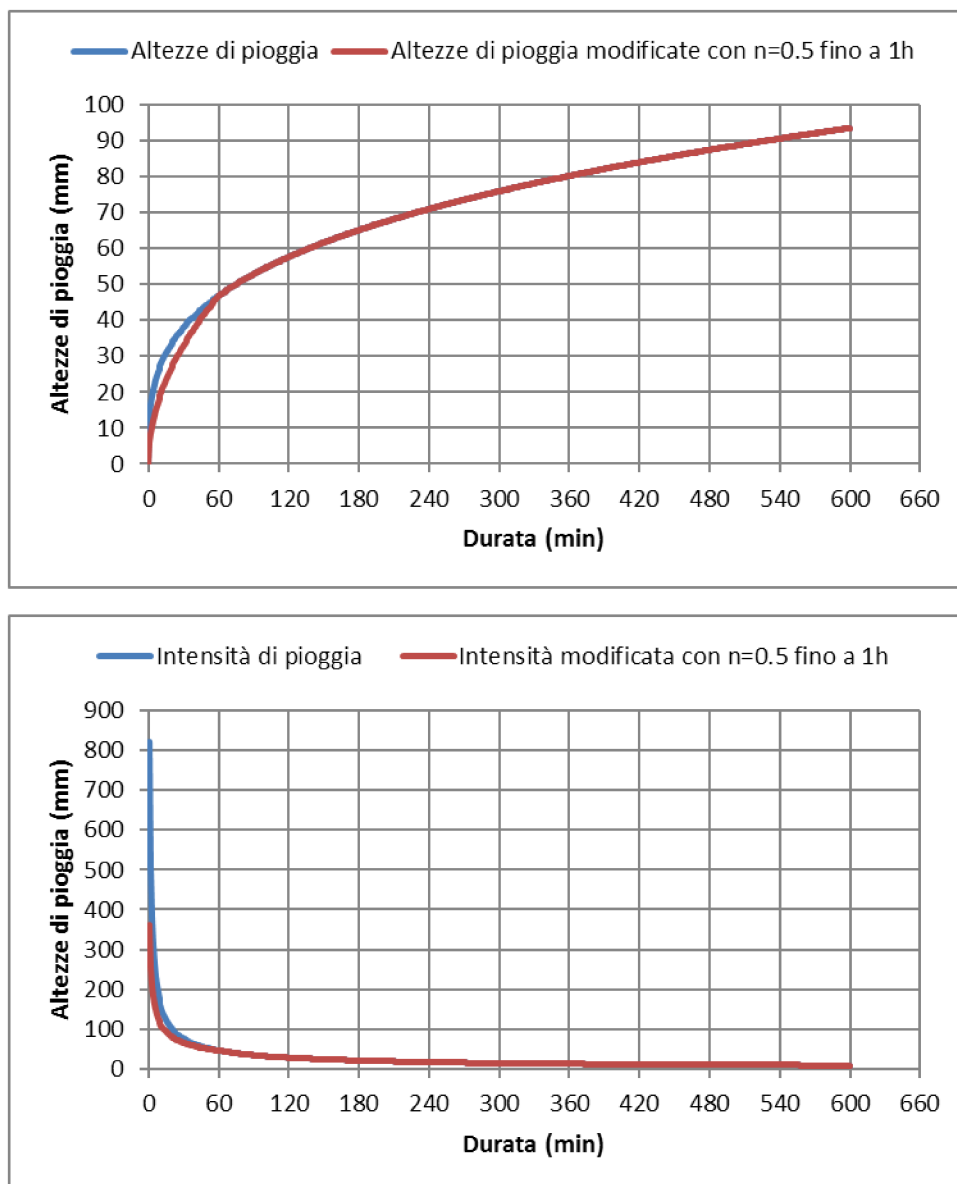


Figura 6: Altezze e intensità medie di precipitazione per  $Tr = 50$  anni

Ai fini del dimensionamento della rete scolante, vista la configurazione della stessa con la realizzazione di una vasca di recapito finale, la modestissima superficie asservita, e la lunghezza del tutto paragonabile dei diversi tratti della rete, si verifica che l'ipotesi di "sincronismo" fra i vari tratti di rete risulta più che accettabile, pertanto si considera, in questa fase, l'intero bacino come "concentrato", con parametri caratteristici unici e omogenei, e si procede poi separatamente (per il momento, stante la soluzione proposta) a dimensionare la rete per singoli tratti.

#### 4. Metodi per la determinazione delle massime portate di piena

Il dimensionamento dei canali fognari che convogliano i deflussi del bacino viene eseguito considerando, nella sezione di sbocco, i valori di massimi di portata al colmo o critica riferiti a un preciso tempo di ritorno, determinati con un metodo fra quelli tradizionalmente più usati:

- metodo della corrivazione;
- metodo dell'invaso lineare.

Si tratta di semplici modelli concettuali basati su ipotesi semplificative del fenomeno di formazione delle piene, che riportano il problema ad un'analisi lineare con parametri concentrati: a fondamento di tutti i modelli sta l'ipotesi che il sistema ideologico sia lineare e invariante nel tempo, quindi con risposta dipendente soltanto dalla sollecitazione, senza l'influenza della storia precedente del bacino e della rete, quindi con possibilità di sovrapporre gli effetti.

In tutti i casi il deflusso totale sarà dato dal prodotto della superficie di bacino per l'altezza netta di precipitazione, secondo la formula:

$$V = \varphi h(t_p) S$$

in cui  $h$  è l'altezza della precipitazione di durata critica  $t_p$  per il bacino, risultante dalla curva di probabilità pluviometrica. Da ciò si trova il valore della portata considerando non l'altezza ma l'intensità di pioggia, e introducendo un parametro dimensionale caratteristico del modello di trasformazione afflussi-deflussi:

$$Q_c = \varphi I(t_p) S \lambda$$

##### 4.1 Metodo della corrivazione

Il metodo della corrivazione fonda la stima delle portate al colmo sui tempi di corrivazione dei diversi sottobacini della rete, cioè dei tempi massimi necessari affinché una goccia d'acqua caduta sul bacino giunga alla sezione di chiusura.

Alla base del metodo stanno alcune osservazioni:

- gocce di pioggia cadute contemporaneamente in punti diversi del bacino impiegano tempi diversi per arrivare alla sezione di chiusura;
- il contributo di ogni singolo punto del bacino alla portata nella sezione di chiusura è proporzionale all'intensità di pioggia nel punto in un istante che precede quello di riferimento per la portata del tempo necessario affinché la goccia raggiunga la sezione di chiusura;
- questo tempo è caratteristico di ogni singolo punto del bacino e si considera invariante nel tempo.

A tali considerazioni vanno aggiunte alcune ipotesi schematiche:

- pioggia uniforme nello spazio e nel tempo (pluviogramma rettangolare);
- coefficiente di deflusso costante;

- portata iniziale nulla;
- andamento lineare delle portate nel tempo (idrogramma triangolare);
- durata della pioggia, che determina la massima portata al colmo, pari al tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione  $t_c$  caratteristico del bacino è appunto il massimo di tali tempi, assimilabile al punto idraulicamente più lontano.

Il valore di portata massima al colmo si verifica in corrispondenza di piogge di durata pari al tempo di corrivazione di tempo di ritorno assegnato, a meno di bacini di forma particolare. La portata critica corrispondente è fornita dall'espressione:

$$Q_M = \frac{\varphi \cdot i \cdot S}{360}$$

in cui l'intensità di pioggia  $i$  è riferita al tempo di corrivazione.

Il problema per il dimensionamento di una rete fognaria, consiste quindi in primo luogo nella determinazione dei tempi di corrivazione relativi alle sezioni di chiusura dei diversi sottobacini.

Per ognuno di essi, si dovranno sommare due contributi, rispettivamente il tempo di accesso alla rete e il tempo di percorrenza del tratto di canale fino alla sezione di chiusura:

$$t_c = t_a + t_r$$

Il primo rappresenta il tempo necessario affinché le acque meteoriche scorrano a cielo aperto sulla superficie del sottobacino, eventualmente incanalate, prima dell'ingresso nelle condotte fognarie; varia con la pendenza dei suoli, la loro natura, la capillarità della rete di drenaggio, le condizioni di umidità precedenti l'evento; oscilla in un range di 5-15 minuti, con forte legame soprattutto con la superficie servita dal canale.

La formula utilizzata per la sua valutazione è tratta dal metodo della condotta equivalente di Mambretti e Paoletti, che si applica per sottobacini con superficie fino a 10 ha:

$$t_{ai} = \frac{0.5L}{s^{0.375} (S\varphi I)^{0.25}}$$

in cui le grandezze riferite all'i-esimo sottobacino indicano:

- $t_{ai}$ : tempo di accesso [s];
- $L$ : massima lunghezza del deflusso superficiale [m];
- $s$ : pendenza media [m/m];
- $S$ : superficie [ha];
- $\varphi$ : coefficiente d'afflusso;
- $I$ : intensità della precipitazione in [mm/h].

Per l'applicazione pratica bisogna quindi determinare i parametri  $s$  e  $L$  in relazione alle caratteristiche del bacino. La pendenza  $s$  è riferita ai suoli, ed eventualmente si può assimilare a

quella del tronco di canale ivi presente, senza mai scendere sotto il valore 0,003; la lunghezza del percorso L si può stimare dalla planimetria del bacino o dalla relazione empirica:

$$L = 190 S^{0.54}$$

con superficie del sottobacino S è in ettari e lunghezza L in metri. Nel caso in questione si considera L = 30 m.

Il valore in questione viene poi confrontato con un valore di tempo di accesso stimato in modo ancor più semplificato con riferimento alla stessa lunghezza e ad una velocità fittizia valutabile in 15 cm/s. In ogni caso, viene assunto un tempo di accesso alla rete non inferiore ai 5 minuti.

Il tempo di rete rappresenta invece il tempo necessario affinché una goccia d'acqua attraversi il tratto di rete fino alla sezione di chiusura; si ottiene dalla somma dei tempi di percorrenza dei sotto-tratti del percorso più lungo della rete a monte della sezione:

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{V_i}$$

in cui per il calcolo delle velocità si fa riferimento alla condizione di moto uniforme.

Per la risoluzione bisogna fare una serie di iterazioni in quanto nella formula per il calcolo del tempo di accesso compare l'intensità di pioggia (anche se, come si vedrà, viene assunto sempre il minimo di 5 min), quindi di fatto il tempo di corrivazione non è teoricamente costante; bisogna allora imporre un'intensità di primo tentativo e andare a reiterare finché questa non coincide con quella scaturita dalla curva di probabilità pluviometrica per il tempo di corrivazione risultante.

#### 4.2 Metodo dell'invaso

Il metodo dell'invaso usato internazionalmente si basa sull'ipotesi di comportamento del sistema rete-bacino come serbatoio lineare, con portata proporzionale al volume invasato.

In questo caso, considerando uno ietogramma netto rettangolare, l'idrogramma di piena ha un andamento tipico per il quale non è possibile stabilire a priori quale sia la durata di pioggia critica, che va determinata per via analitica.

Nel calcolo della portata critica interviene un coefficiente r determinato tramite la seguente equazione in funzione dell'esponente n della curva di probabilità pluviometrica:

$$n = 1 - \frac{r e^r}{1 - e^{-r}}$$

Noto tale valore, la portata si può calcolare come:

$$Q = \frac{a(\Sigma \phi)(k/60)^{n-1} r^{n-1} (1 - e^{-r})}{360}$$

in cui compaiono il coefficiente moltiplicativo  $a$  della curva di probabilità pluviometrica [mm/h] e la costante di invaso  $k$  [min].

Questa è a sua volta determinata, per ogni sezione di riferimento della rete, in funzione delle caratteristiche del bacino e della rete a monte (formula di Ciaponi e Papiri):

$$k = \frac{0.5 S^{0.351} a^{0.358}}{\phi^{0.167} (1.09)^{0.29}}$$

dove  $d$  è la densità di drenaggio, espressa in metri di canale fognario per ettaro di superficie servita.

Per i tratti di canale con subaffluenti la densità di drenaggio va valutata sull'intero sistema di monte, come anche la superficie servita, senza necessità di iterazioni su tali grandezze.

Di tratto in tratto, procedendo da monte verso valle, è possibile effettuare il dimensionamento della sezione per tentativi.

#### 4.3 Metodo dell'invaso "italiano"

Ci si basa con tale metodo sulla ricerca, tramite una relazione empirica proposta da Puppini, del coefficiente udometrico  $u$ , che rappresenta il rapporto fra la portata critica conseguente al prestabilito evento di precipitazione, e la superficie del bacino tributario. Per la relativa stima si fa ricorso alla relazione:

$$u = \frac{2168 \cdot (a \cdot \phi)^{\frac{1}{n}}}{w^n}$$

che fornisce il valore del coefficiente udometrico espresso in [l/s/ha] e in cui il coefficiente  $a$  è espresso in [mm/h], mentre  $w$ , in [mc/mq], rappresenta il volume totale invasato nel sistema rete-bacino ed è dato dalla somma di tre contributi:

$$w = \frac{W_{pi} + W_{rm} + W_t}{1000}$$

I tre addendi rappresentano rispettivamente:

- $W_{pi} = w_{pi} S$  in cui  $w_{pi}$  si assume convenzionalmente pari a 30 mc/ha, è il volume dei piccoli invasi nel bacino di monte;
- $W_t = A L$  indica il volume d'acqua nel tratto di canale di riferimento, dato dal prodotto fra la sezione idrica e la lunghezza del canale;
- $W_{rm} = \sum A_i L_i$  individua il volume d'acqua invasato nella rete a monte.

Noto il coefficiente udometrico relativo alle varie sezioni, si può facilmente ricavare la portata al colmo dall'espressione:

$$Q = \frac{v \Sigma S}{100} \quad [\text{mc/s}]$$

L'applicazione del metodo non richiede iterazioni se non per la valutazione delle condizioni di moto uniforme nei successivi tratti.

Partendo da monte, è sufficiente di volta in volta valutare i tre termini del volume invasato, calcolando quello relativo alla rete a monte dalla somma estesa a canali per i quali il calcolo è già stato effettuato.

Per il bacino in questione, che viene considerato in questa fase concentrato su un unico nodo, il volume della rete a monte è da assumersi nullo.

## 5. Metodi per la determinazione dei volumi necessari alla laminazione

Le tipologie di vasche volano sono fondamentalmente di due tipi:

- Invasi in linea;
- Invasi fuori linea.

I primi sono costituiti da opere di invaso realizzate lungo la rete mentre i secondi sono costituiti da invasi realizzati fuori dalla rete e collegati alla stessa tramite una diramazione.

Una variante delle vasche volano che oggi si utilizza sempre con maggior frequenza, anche a causa dell'introduzione nell'ordinamento di una legislazione vincolante (Legge n.152/2006) che obbliga il progettista a predisporre la loro costruzione, è rappresentata dalle vasche di prima pioggia che accolgono gli afflussi meteorici recapitati dai suoli e ne realizzano un primo trattamento contro l'inquinamento, prima di convogliare le stesse in fognatura.

L'introduzione di vasche volano all'interno di una rete fognaria è necessaria allorquando la portata di piena raccolta dai collettori a monte risulta maggiore di quella smaltibile dalla rete a valle o dal recapito finale.

In questi casi la vasca serve ad invasare una parte dei volumi di piena provocando un effetto di laminazione.

Per la predisposizione dell'effetto di laminazione, le vasche volano devono essere dimensionate tenendo in considerazione alcuni fattori, fra cui.

- geometria della vasca;
- dispositivo di scarico (cioè la legge  $Q_u(h)$  che mette in relazione la portata in uscita con il tirante presente nella vasca);
- volume  $W_{\max}$  massimo invasabile dalla vasca;
- onda di piena entrante  $Q_e(t)$  critica;
- portata  $Q_t$  massima ammissibile a valle della vasca (portata di taglio).

Nel caso in esame, è fissata la portata massima scaricabile nel corpo idrico recettore (fognatura pubblica), da assumersi pari a 18,42 l/s sulla base delle indicazioni della pianificazione (massimo 10

l/s per ettaro impermeabilizzato laminato). La pianificazione di Bacino impone inoltre un volume totale di laminazione (costituito da più fattori, fra i quali entra anche il volume “diffuso” che può essere destinato all’accumulo per il riuso) almeno pari a 500 mc per ettaro impermeabilizzato, per cui nel caso in questione pari ad un minimo di 921 mc circa.

Si vedrà che il rapporto di laminazione (ovvero fra la portata “di taglio” e quella al colmo) risulta molto basso.

Si è fatta inoltre l’ipotesi di vasca in linea (trattandosi di una laminazione non da diramazione ma nella vasca che raccoglie l’intera portata affluente) e di efflusso costante, in quanto regolato da un sistema di soglie sfioranti, da studiare in fase esecutiva al fine di garantire per lo scarico in fognatura un efflusso pressochè costante e pari al massimo consentito.

L’effetto di laminazione all’interno di una vasca volano si può descrivere tramite tre equazioni fondamentali:

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

in cui:

- $Q_e(t)$ : è la portata in ingresso alla vasca all’istante generico;
- $Q_u(t)$ : è la portata in uscita dalla vasca;
- $W(t)$ : è il volume invasato nella vasca all’istante t.

La seconda equazione rappresenta la relazione funzionale tra il volume invasato e il livello idrico h dell’invaso, funzione esclusiva della geometria della vasca:

$$W(t) = W(h(t))$$

La terza equazione rappresenta la legge d’efflusso che governa l’uscita dalla vasca, dipendente dal dispositivo di regolazione posto all’uscita della stessa in quanto se il tipo di manufatto è fisso, la portata dipende dal tempo tramite il livello idrico h mentre, se il dispositivo idraulico è regolabile, la portata è variabile nel tempo in dipendenza dalla manovra di regolazione; l’equazione in questione è la seguente:

$$Q_u(t) = Q_u(t, h(t))$$

Per arrivare ad un’unica espressione che lega il volume invasato con la portata uscente si possono combinare le precedenti due espressioni, inserendole nella prima ed arrivando ad un’unica equazione che ha per incognita solo il livello idrico nella vasca h.

Per il dimensionamento delle vasche volano si esistono diverse metodologie, le più comuni si basano:

- a. Sulle sole piogge
- b. Sull’integrazione dell’equazione dei serbatoi
- c. Sulle piogge e sulla trasformazione afflussi- deflussi



### 5.1 Metodo di dimensionamento sulla base delle sole piogge

Il metodo di dimensionamento sulla base delle piogge restituisce il volume invasato, sulla base delle previsioni fornite dalla curva di probabilità pluviometrica trascurando la trasformazione degli afflussi in deflussi, considerando l'idrogramma coincidente con lo ietogramma, a meno delle perdite. Tale metodo è espressamente riportato nelle Linee Guida, sebbene con riferimento ad un tempo convenzionale di 72 h che non ha significato fisico nel caso in questione.

Il volume entrante viene restituito tramite la seguente formula:

$$W_e = 10a \cdot A \cdot \varphi t^n$$

in cui:

- $W_e$ : volume entrante nella vasca volano [mc];
- $A$ : superficie del bacino [ha];
- $\varphi$ : coefficiente d'afflusso;
- $a$ : parametro della curva di probabilità pluviometrica [mm/h<sup>n</sup>];
- $n$ : esponente della curva di probabilità pluviometrica;
- $t$ : durata della pioggia considerata [h].

La portata in uscita dalla vasca si considera costante, quindi il volume rilasciato si può assumere lineare nel tempo e viene fornito dalla relazione:

$$W_u = 360Q_T \cdot t$$

In cui:

- $W_u$ : volume uscente dalla vasca volano [mc];
- $Q_T$ : portata di taglio costante uscente dalla vasca [mc/s];
- $t$ : durata della pioggia considerata [h].

Per ottenere la condizione di massimo si deve effettuare la derivata, rispetto alla durata  $t$  della pioggia, della differenza  $W(t) = W_e(t) - W_u(t)$ , ottenendo:

$$t_{critico} = \left( \frac{360Q_T}{10A \cdot \varphi a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_{max} = 360Q_T \cdot t_{critico} \cdot \left( \frac{1}{n} - 1 \right)$$

in cui:

- $t_{critico}$ : tempo di pioggia per cui si ottiene il massimo volume della vasca [h];
- $V_{max}$ : volume della vasca necessario ad accogliere la pioggia di durata  $t_{critico}$  [mc].

Questo metodo ha in sé una notevole pecca consistente nella mancata valutazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi, nel bacino di progetto, che ha l'effetto – almeno per bacini più consistenti – di sopravvalutare le portate di piena e conseguentemente i volumi di laminazione.

### *5.2 Metodo di dimensionamento tramite l'integrazione dell'equazione del serbatoio*

Un ulteriore metodo per la progettazione delle vasche volano, consiste nell'integrazione dell'equazione del serbatoio tramite l'utilizzo della formula di Marone.

Per l'applicazione di quest'ultima si ipotizza un'equazione dello scarico di tipo a stramazzo e un'onda entrante con equazione del tipo:

$$Q(t) = Q_c \cdot \left( \frac{t}{t_c} \right) \cdot e^{\frac{1-t}{t_c}}$$

in cui  $t_c$  è il tempo in cui si verifica la massima portata  $Q_c$ .

Da questa si perviene alle seguenti relazioni:

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_c} = 1 - \frac{W_m}{W_c}$$

$$W_m = W_c(1 - \eta)$$

in cui:

- $W_c$ : volume dell'onda di piena entrante [mc];
- $W_m$ : volume massimo della vasca [mc].

Il metodo presenta il notevole limite costituito dal fatto che richiederebbe comunque una massimizzazione in funzione delle durate di pioggia, non studiata analiticamente.

### *5.3 Metodi di dimensionamento basati sulla trasformazione afflussi-deflussi*

Ulteriori metodi di dimensionamento delle vasche volano si basano sulla trasformazione afflussi-deflussi.

Il metodo cinematico deriva dal metodo della corrivazione già utilizzato per la valutazione delle portate al colmo, è stato sperimentato da Alfonsi – Orsi e si basa sull'ipotesi che il bacino di progetto si comporti come un insieme di canali lineari in parallelo.

Per la valutazione si considerano quindi:

- ietogrammi netti di pioggia ad intensità costante;
- curva aree tempi lineare;
- scarico della vasca a portata costante pari a  $Q_T$ ;

la relazione per determinare il volume della vasca è la seguente:

$$W = \frac{\phi \cdot a \cdot A}{3600} \cdot t_p^n - Q_r \cdot t_p - Q_c \cdot t_c + \frac{Q_r}{\phi \cdot (t_p/3600)^\theta} \cdot t_c$$

in cui:

- $\phi = \frac{Q_r \cdot a \cdot A}{3600}$  ;
- $t_c$ : tempo di corrivazione del bacino [s];
- $t_p$ : durata della pioggia critica per la vasca [s], ottenuta per tentativi, dalla seguente formula:

$$\frac{n \cdot \phi \cdot t_p^{n-1}}{3600^\theta} + \left[ (1-n) \cdot (3600) \cdot \frac{Q_r}{\phi} \cdot \frac{t_c}{t_p^n} \right] - Q_r = 0$$

Un ulteriore metodo, basato sulla trasformazione afflussi-deflussi, è quello dell'invaso lineare introdotto da Paoletti, che ipotizza il funzionamento del bacino di progetto come un serbatoio lineare di costante di invaso K, sottoposto ad una precipitazione costante di durata  $\theta$  e con coefficiente d'afflusso  $\phi$  costante durante l'evento.

Per la valutazione si considerano:

- ietogrammi netti di pioggia con intensità costante;
- metodo dell'invaso per la determinazione dell'onda di piena nel collettore in arrivo;
- scarico della vasca a portata costante pari a  $Q_T$ .

Il volume massimo della vasca  $W_m$  e la durata critica  $\theta_w$  sono espressi dalle equazioni:

$$F(n,m) = \frac{\theta_w}{K}$$

$$G(n,m) = \frac{W_m}{K \cdot Q_c}$$

in cui:

- K: costante di invaso del bacino;
- n: esponente della curva di probabilità pluviometrica;
- $m = Q_c / Q_r$ : rapporto tra la massima portata entrante e la massima portata uscente;
- $G(n,m)$ ,  $F(n,m)$ : funzioni graficate in letteratura.

Tramite i grafici riportati in Figura 7 si calcolano facilmente i valori di:

$$\theta_w = K \cdot F(n,m)$$

$$W_m = K \cdot Q_c \cdot G(n,m)$$

noti n, m, K e  $Q_c$ .

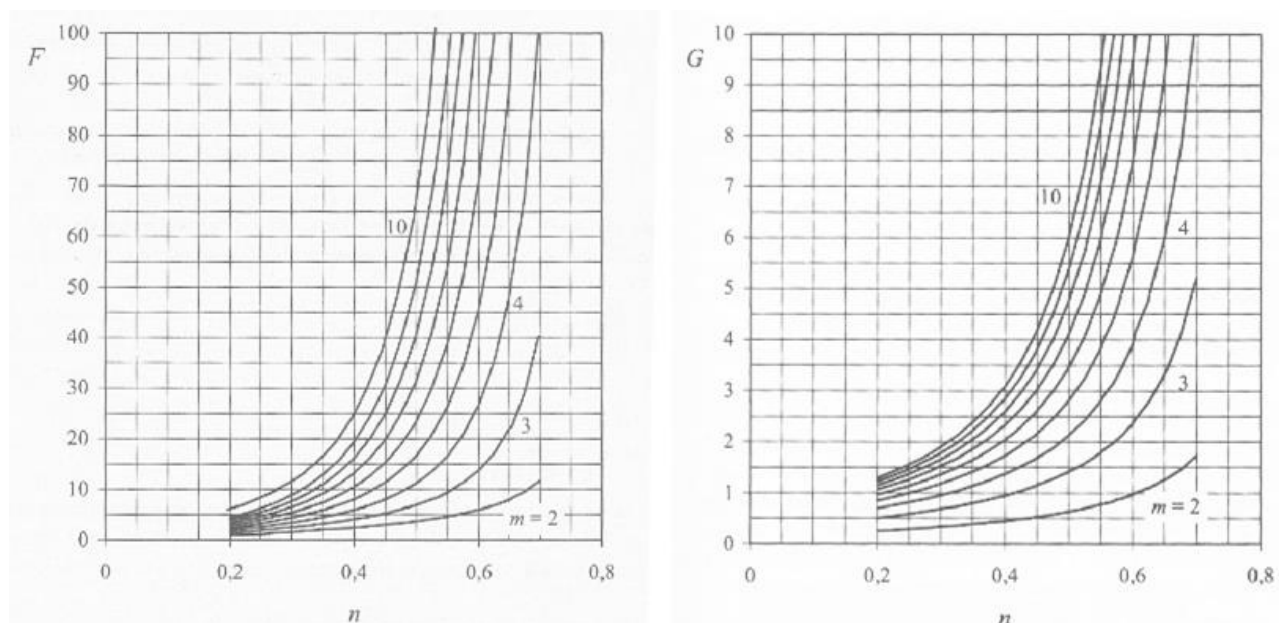


Figura 7: Grafici per la determinazione della durata critica con il metodo dell'invaso

Si nota che i grafici di cui sopra riportano curve interpolari fino ad un valore massimo di  $m = 10$ , valore che si vedrà notevolmente superato per il progetto di rete in questione; la durata critica per la massimizzazione del volume di invaso è stata quindi determinata con metodi numerici a partire dall'integrazione delle portate entranti e uscenti dal serbatoio.

Vista la modestia del bacino, inoltre, non vengono presi in considerazione in questa fase metodi più affinati, che introducano complicazioni nello ietogramma di progetto (utilizzando, ad esempio, il modello "Chicago") oppure sulle leggi di efflusso.

## 6. Determinazione delle portate massime

Si riportano in questo paragrafo le portate al colmo determinate con i metodi esposti nel §4, ricordando l'assunzione fatta per l'esponente  $n$  delle curve di probabilità pluviometrica nel caso di durate inferiori all'ora.

### 6.1 Metodo della corrivazione

Per i diversi tempi di ritorno presi in considerazione, dal procedimento iterativo esposto in precedenza sono stati ottenuti i seguenti valori caratteristici; si ricorda che per il tempo di accesso alla rete è stato imposto un valore minimo di 5 minuti, svincolando così in pratica almeno il tempo di accesso dall'intensità di pioggia.

La lunghezza massima del percorso in rete si ha lungo il percorso fra i nodi 1 e V, si può considerare pari a 224,87 m. Per le tubazioni ipotizzate per la rete scolante, costituite da condotte

circolari in PEAD di diametri variabili da DN315 a DN800, si assume la scabrezza secondo Strickler pari a  $110 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Tr = 2 anni

- Tempo di accesso secondo il criterio del condotto equivalente: 0,57 min
- Tempo di accesso secondo il metodo della velocità fittizia: 3,33 min
- Tempo di accesso alla rete considerato: 5 min
- Velocità idrica di moto uniforme in condotta: 1,38 m/s (valutata come il 75% del tratto di sbocco N-V, che presenta la portata massima in tutta la rete)
- Tempo in rete: 2,72 min
- Tempo di corrivazione: 7,72 min
- Intensità per la pioggia di durata pari a  $t_c$ : 58,6 mm/h
- **Portata massima al colmo: 299,6 l/s**

Tr = 30 anni

- Tempo di accesso secondo il criterio del condotto equivalente: 0,47 min
- Tempo di accesso secondo il metodo della velocità fittizia: 3,33 min
- Tempo di accesso alla rete considerato: 5 min
- Velocità idrica di moto uniforme in condotta: 1,56 m/s (valutata come il 75% del tratto di sbocco N-V, che presenta la portata massima in tutta la rete)
- Tempo in rete: 2,40 min
- Tempo di corrivazione: 7,40 min
- Intensità per la pioggia di durata pari a  $t_c$ : 121,3 mm/h
- **Portata massima al colmo: 620,4 l/s**

Tr = 50 anni

- Tempo di accesso secondo il criterio del condotto equivalente: 0,46 min
- Tempo di accesso secondo il metodo della velocità fittizia: 3,33 min
- Tempo di accesso alla rete considerato: 5 min
- Velocità idrica di moto uniforme in condotta: 1,58 m/s (valutata come il 75% del tratto di sbocco N-V, che presenta la portata massima in tutta la rete)
- Tempo in rete: 2,37 min
- Tempo di corrivazione: 7,37 min
- Intensità per la pioggia di durata pari a  $t_c$ : 133,5 mm/h
- **Portata massima al colmo: 683,2 l/s**

Gli idrogrammi di piena corrispondenti sono osservabili nelle illustrazioni che seguono; per completezza, visti gli scopi della presente relazione, si riportano anche gli andamenti dei volumi invasati nell'ipotizzato sistema di laminazione (affidato in questa fase esclusivamente alla vasca) in corrispondenza di tali idrogrammi. Si vedrà che, come prevedibile, tali idrogrammi, caratterizzati da picchi intensi ma piuttosto rapidi, risultano tutt'altro che gravosi rispetto a quelli corrispondenti a piogge meno intense ma più lunghe.

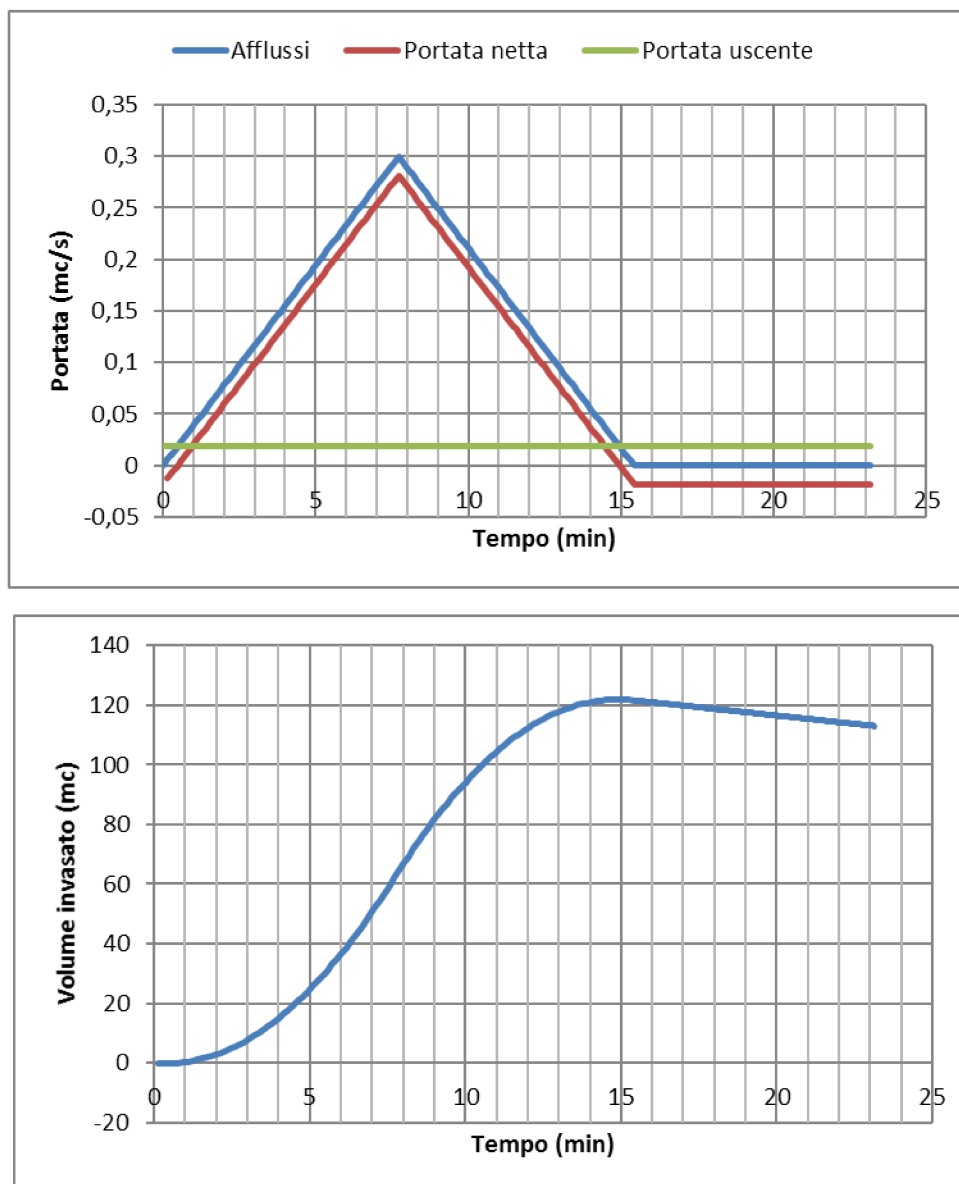


Figura 8: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo della corrivazione per  $Tr = 2$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

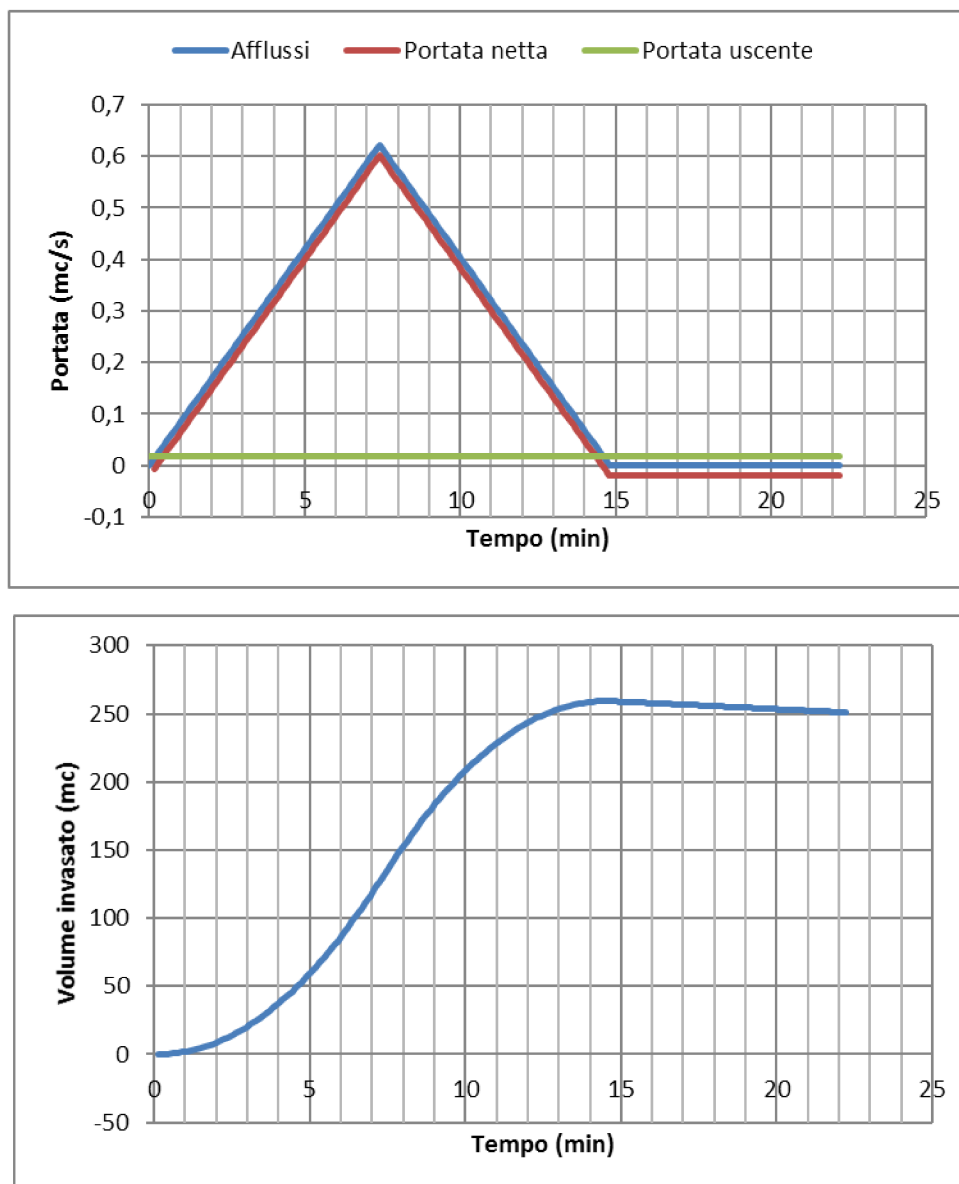


Figura 9: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo della corrivazione per  $Tr = 30$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione



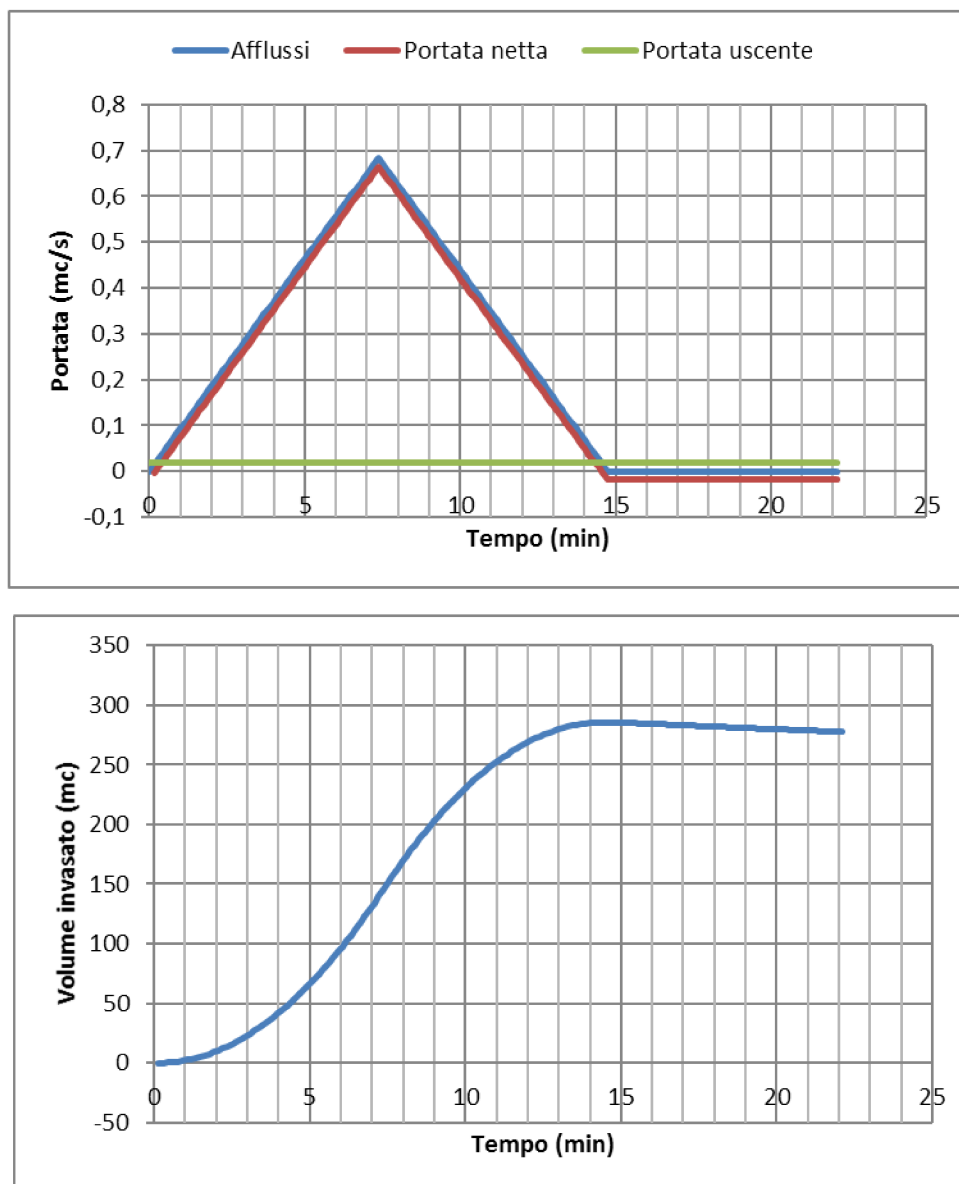


Figura 10: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo della corrivazione per  $Tr = 50$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

I volumi massimi invasati nel sistema, considerando la portata di taglio pari a 18,42 l/s, risultano rispettivamente pari a 121,9 mc per  $Tr = 2$  anni, 259,3 mc per  $Tr = 30$  anni e 285,8 mc per  $Tr = 50$  anni; questo significa che per eventi meteorici molto intensi ma di breve durata il sistema smaltisce senza particolari sofferenze nella vasca i picchi di portata, considerando anche che in tal caso il volume invasato in rete risulterà sufficientemente significativo, in termini relativi, da fornire un ulteriore sensibile contributo, senza comunque che si verifichi un significativo rigurgito della corrente nelle condotte scolanti con conseguente rischio di esondazione, visto il livello prevedibilmente raggiunto nella vasca.

La velocità di moto uniforme per la portata di piena stimata con  $Tr = 2$  anni, pari a circa 1,84 m/s (tratto finale con portate massime, stimabile in una quota pari al 65-85% nei tratti a monte), assicura inoltre un minimo di capacità auto-pulente della condotta.

## 6.2 Metodo dell'invaso

Per l'applicazione del metodo dell'invaso le formule utilizzate per la valutazione della costante di invaso (che ha le dimensioni di un tempo, e generalmente risulta dello stesso ordine di grandezza del tempo di corrivazione) sono slegate dall'intensità di pioggia, pertanto tale parametro viene valutato una volta sola, risultando (con le stesse ipotesi fatte in precedenza sulla pendenza dei collettori allo 0,2%):

- densità di drenaggio della rete:  $d = 162,9 \text{ m/ha}$
- costante di invaso (Ciaponi e Papiri):  $5,20 \text{ min}$
- costante di invaso per confronto (formula Michel Desbord):  $7,29 \text{ min}$
- parametro  $r = 1,257$

Di conseguenza, con riferimento alla costante di invaso determinata con la formula di Ciaponi e Papiri, si ottengono le seguenti portate massime:

- **Tr = 2 anni:  $Q_c = 232,8 \text{ l/s}$**
- **Tr = 30 anni:  $Q_c = 472,3 \text{ l/s}$**
- **Tr = 50 anni:  $Q_c = 518,9 \text{ l/s}$**

Si riscontrano, quindi, portate inferiori rispetto al metodo della corrivazione; si tenga presente che la durata di pioggia critica è pari al prodotto  $r \cdot k = 6,54 \text{ min}$ , di poco inferiore al tempo di corrivazione adottato in precedenza per i tempi di ritorno maggiori.

I valori ottenuti dunque non risultano significativi rispetto alle verifiche di capacità del condotto già eseguite.

Gli idrogrammi di piena corrispondenti sono osservabili nelle illustrazioni che seguono; per completezza, visti gli scopi della presente relazione, si riportano anche gli andamenti dei volumi invasati nell'ipotizzato sistema di laminazione (composto da condotto, pozzetto di recapito e volumi di accumulo distribuiti) in corrispondenza di tali idrogrammi. Si vedrà che, come già nel paragrafo precedente per il metodo della corrivazione, tali idrogrammi, caratterizzati da picchi intensi ma piuttosto rapidi, risultano tutt'altro che gravosi rispetto a quelli corrispondenti a piogge meno intense ma più lunghe.

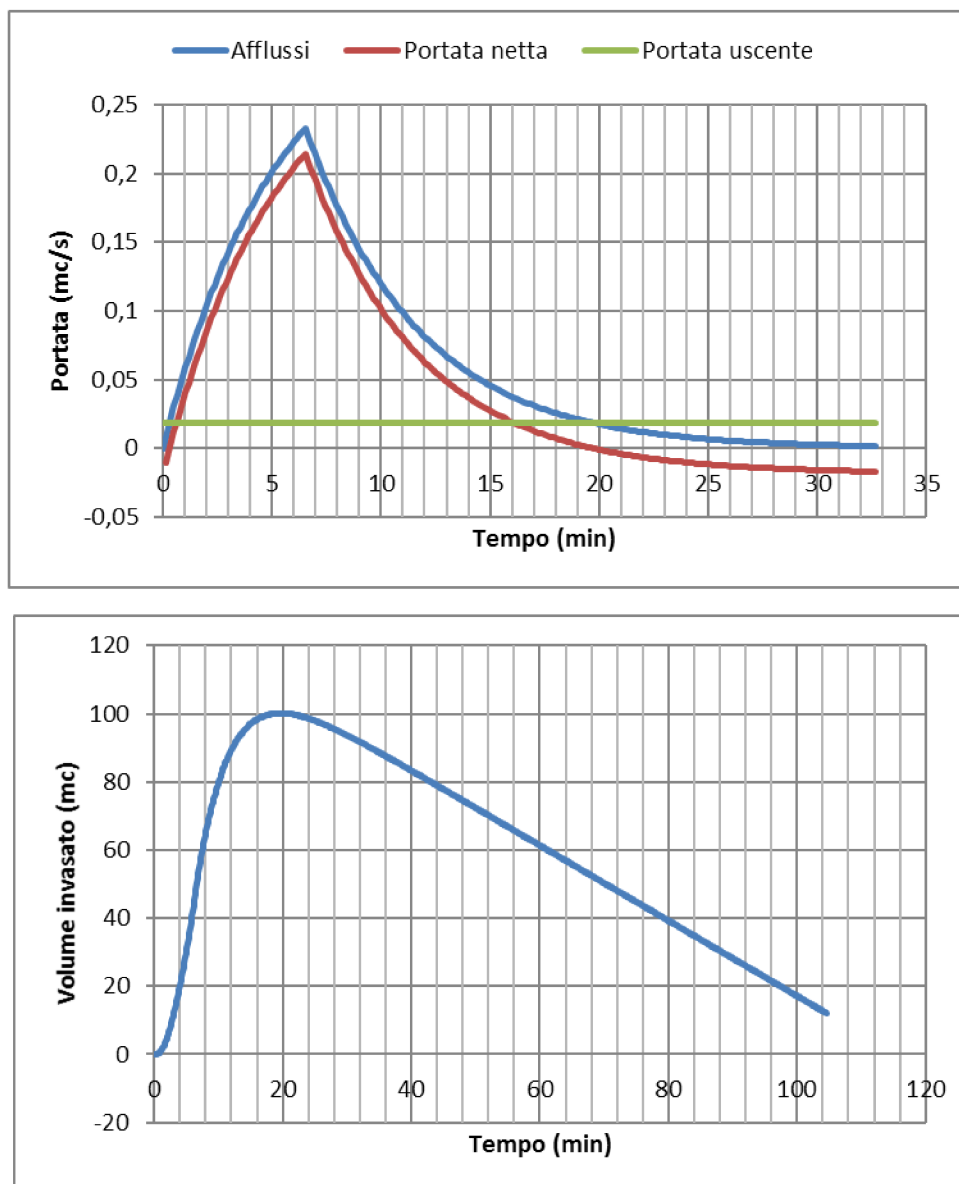


Figura 11: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo dell'invaso per  $Tr = 2$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

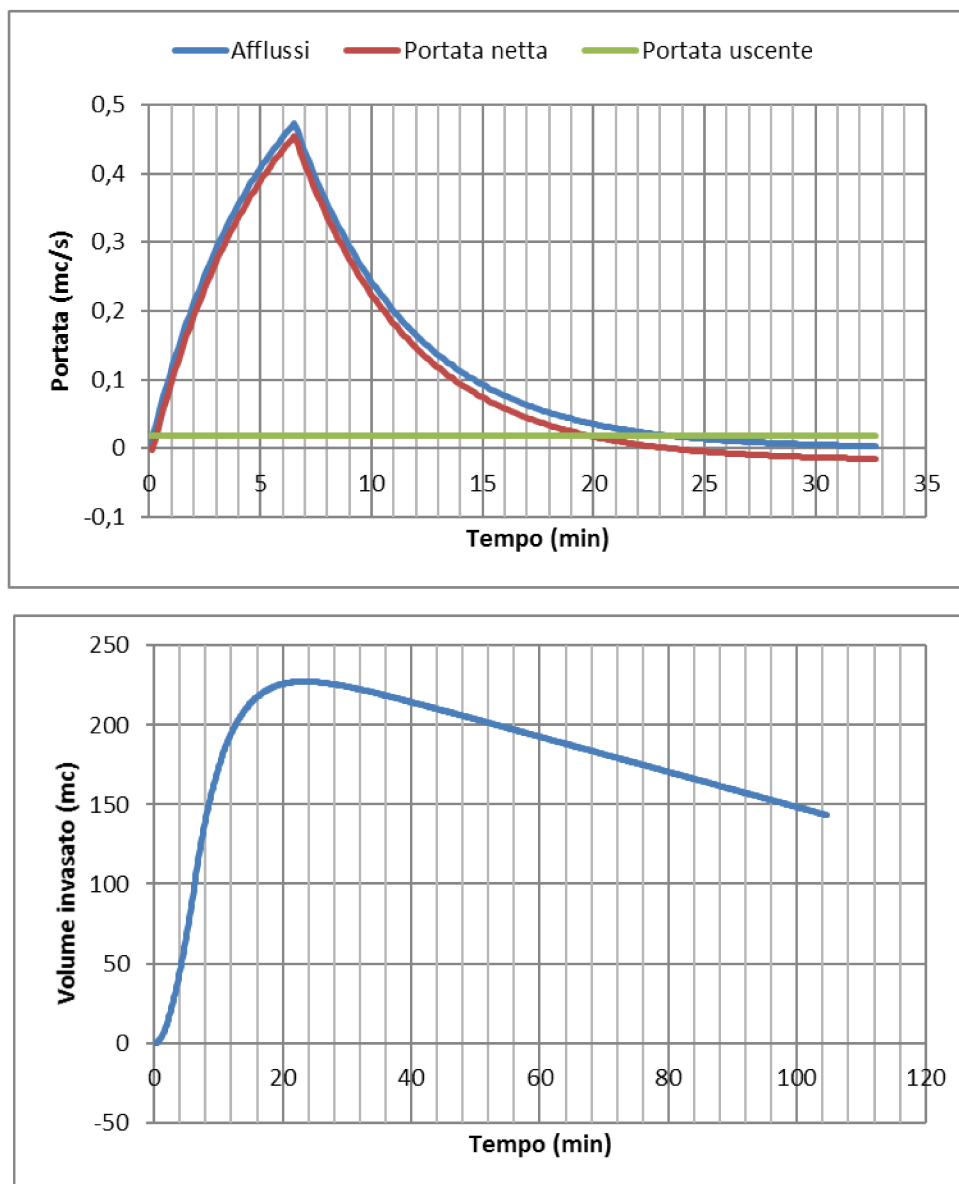


Figura 12: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo dell'invaso per  $Tr = 30$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

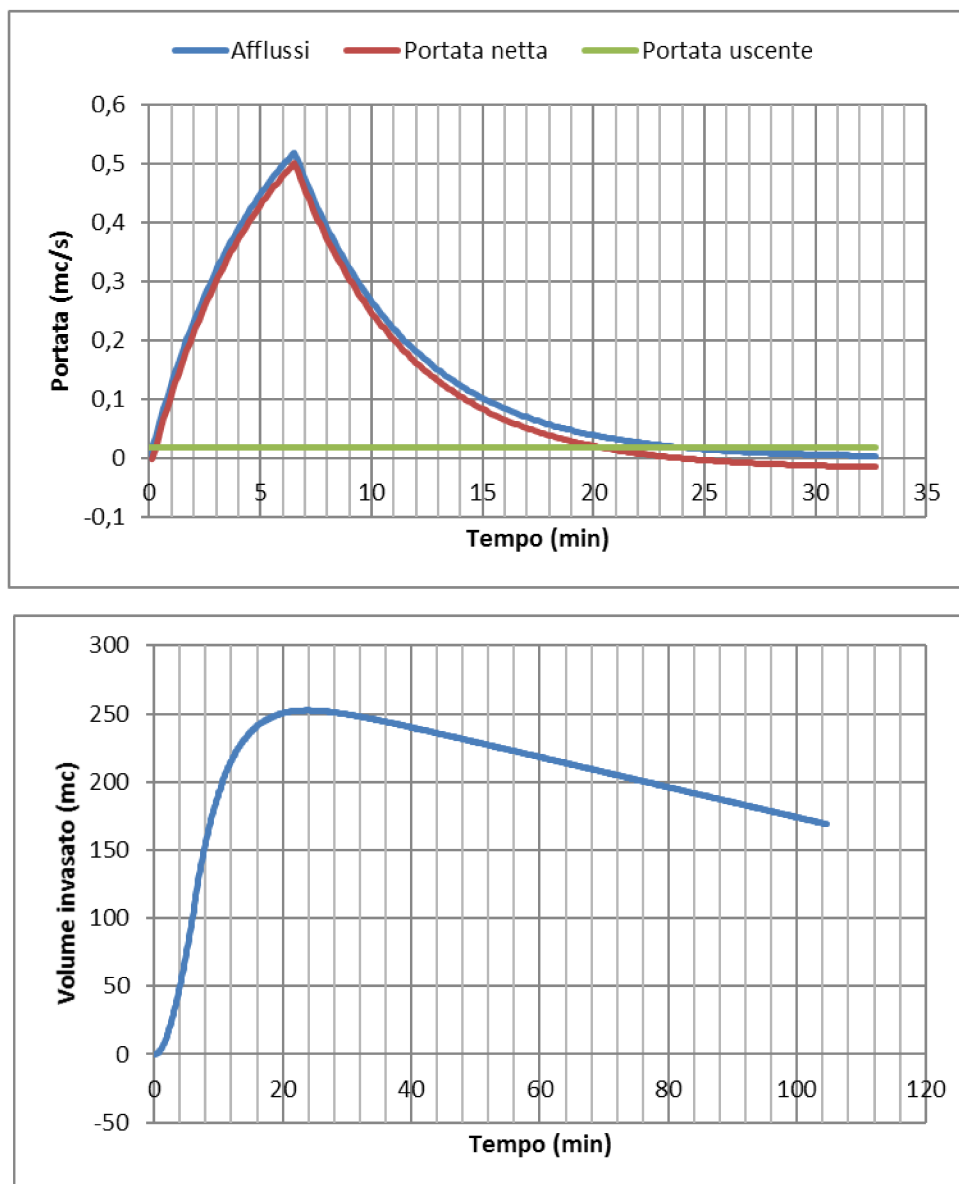


Figura 13: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo dell'invaso per  $Tr = 50$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

I volumi massimi invasati nel sistema, considerando la portata di taglio pari a 18,42 l/s, risultano con questo metodo rispettivamente pari a 100,2 mc per  $Tr = 2$  anni, 227,4 mc per  $Tr = 30$  anni e 252,4 mc per  $Tr = 50$  anni; tali valori sono leggermente inferiori rispetto a quelli stimati al paragrafo precedente.

### 6.3 Metodo dell'invaso "italiano"

Sebbene non sia stato mai oggetto di un'adeguata taratura, il metodo italiano dell'invaso può essere visto come un termine di confronto dei risultati ottenuti con i metodi precedenti.

Brevemente, di seguito si riportano i risultati ottenuti con i tre tempi di ritorno di interesse, considerando in ogni caso  $w_{pi} = 30 \text{ mc/ha}$ .

- **Tr = 2 anni:  $Q_c = 197,2 \text{ l/s}$**
- **Tr = 30 anni:  $Q_c = 485,8 \text{ l/s}$**
- **Tr = 50 anni:  $Q_c = 572,3 \text{ l/s}$**

Si nota che per i tempi di ritorno maggiori tale metodo fornisce portate superiori al metodo dell'invaso internazionale, segno del fatto che il volume effettivamente invasabile (o l'ipotesi sui piccoli invasi del bacino) risultano più gravosi rispetto alle ipotesi alla base di tale metodo; in ogni caso, si rimane su valori inferiori rispetto al metodo della corrivazione.

## **7. Determinazione dei massimi volumi da invasare nel sistema di laminazione**

Si riportano in questo paragrafo i volumi teoricamente necessari alla laminazione, valutati con i metodi esposti nel §5, ricordando che in questo caso l'esponente  $n$  delle curve di probabilità pluviometrica è quello fornito dalle Linee Guida, trattandosi in tutti i casi di piogge critiche di durata superiore all'ora.

### *7.1 Metodo basato sulle sole piogge*

Si trova innanzitutto che il riferimento delle Linee Guida ad una durata convenzionale di 72 h è privo di utilità nel caso in questione, dal momento che, anche per il tempo di ritorno massimo fra quelli considerati, si troverebbe un volume totale di afflusso pari a 3119,8 mc a fronte di un deflusso a portata costante (e pari alla portata di taglio) di 4773,5 mc, di gran lunga superiore.

Il metodo più rigoroso basato sulle sole piogge conduce invece ai seguenti volumi massimi necessari per la laminazione:

- **Tr = 2 anni:  $V_{lam} = 369,0 \text{ mc}$**  (in corrispondenza di  $t_p = 2,99 \text{ h}$ )
- **Tr = 30 anni:  $V_{lam} = 962,5 \text{ mc}$**  (in corrispondenza di  $t_p = 6,43 \text{ h}$ )
- **Tr = 50 anni:  $V_{lam} = 1083,5 \text{ mc}$**  (in corrispondenza di  $t_p = 7,03 \text{ h}$ )

Tali valori risultano notevolmente maggiori di quelli stimati per gli idrogrammi che generano le massime portate di piena; poiché il metodo trascura sia gli effetti di ritardo che di invaso del bacino e della rete, i valori su determinati sono da ritenersi dei termini massimi di riferimento. Si nota che il volume imposto dalla pianificazione di bacino si collocherebbe su tempi di ritorno di poco inferiori ai 30 anni.

### 7.2 Formula di Marone

Tale metodo, che presenta notevoli limiti legati alla scelta dell'idrogramma di riferimento, viene applicato solo per un maggiore confronto dei risultati ottenuti altrimenti.

Viene fatto riferimento alla portata massima di colmo determinata con il metodo della corrivazione, ed al volume dell'idrogramma triangolare corrispondente, trovando:

Tr = 2 anni

- Portata massima al colmo: 299,6 l/s
- Rapporto di laminazione:  $\eta = 0,061$
- Volume dell'idrogramma di piena: 138,7 mc
- **Volume minimo di laminazione: 130,2 mc**

Tr = 30 anni

- Portata massima al colmo: 620,4 l/s
- Rapporto di laminazione:  $\eta = 0,030$
- Volume dell'idrogramma di piena: 275,6 mc
- **Volume minimo di laminazione: 267,4 mc**

Tr = 50 anni

- Portata massima al colmo: 683,2 l/s
- Rapporto di laminazione:  $\eta = 0,027$
- Volume dell'idrogramma di piena: 302,0 mc
- **Volume minimo di laminazione: 293,9 mc**

Si nota che tali valori risultano quasi coincidenti con quelli determinati valutando l'andamento nel tempo dei volumi invasati con riferimento agli idrogrammi di piena scaturiti con il metodo della corrivazione. In ogni caso, possono essere assunti come termini minimi di riferimento.

### 7.3 Metodo cinematico

Con questo metodo, è possibile ricavare i parametri critici ai fini della determinazione del massimo volume necessario alla laminazione già per via analitica. I tempi di corrivazione assunti sono gli stessi ritrovati in precedenza per i tre tempi di ritorno di interesse.

Si ottengono i valori riportati di seguito.

Tr = 2 anni

- Costante  $k = 0,107$
- Tempo di corrivazione  $t_c = 7,72$  min
- Durata critica di pioggia  $t_p = 190,78$  min
- **Volume minimo di laminazione: 363,2 mc**



#### Tr = 30 anni

- Costante  $k = 0,218$
- Tempo di corrivazione  $t_c = 7,40$  min
- Durata critica di pioggia  $t_p = 417,54$  min
- **Volume minimo di laminazione: 956,0 mc**

#### Tr = 50 anni

- Costante  $k = 0,239$
- Tempo di corrivazione  $t_c = 7,37$  min
- Durata critica di pioggia  $t_p = 421,75$  min
- **Volume minimo di laminazione: 1077,8 mc**

Si evidenzia che la durata di pioggia critica è di gran lunga superiore rispetto al tempo di corrivazione, che coincide invece con la durata critica per avere il picco di piena.

Si nota invece che i valori ottenuti sono solo leggermente inferiori rispetto ai termini massimi di paragone valutati nel §7.1, a testimonianza del carattere estremamente impulsivo del bacino; si conferma, dunque, che il volume convenzionale imposto dalla pianificazione corrisponde a un tempo di ritorno di poco inferiore ai 30 anni, per il bacino in studio.

Gli idrogrammi di piena corrispondenti sono osservabili nelle illustrazioni che seguono, dove si riportano anche gli andamenti dei volumi invasati nell'ipotizzato sistema di laminazione (composto per le valutazioni dalla sola vasca di laminazione) in corrispondenza di tali idrogrammi. Si notino i picchi molto più blandi delle portate, infatti a partire dal tempo di corrivazione fino al tempo corrispondente alla durata della precipitazione l'idrogramma si mantiene costante e pari al massimo.

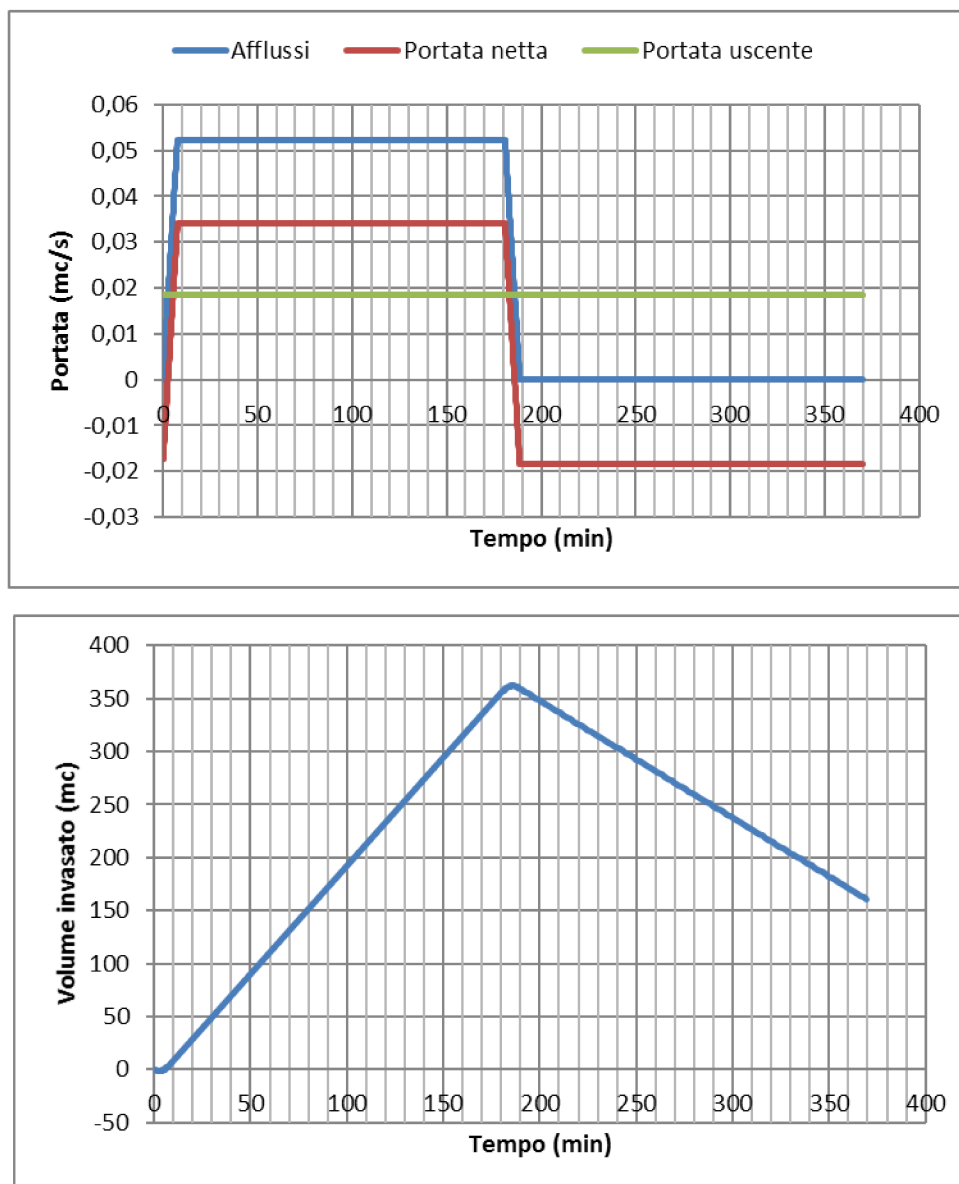


Figura 14: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo cinematico per  $Tr = 2$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

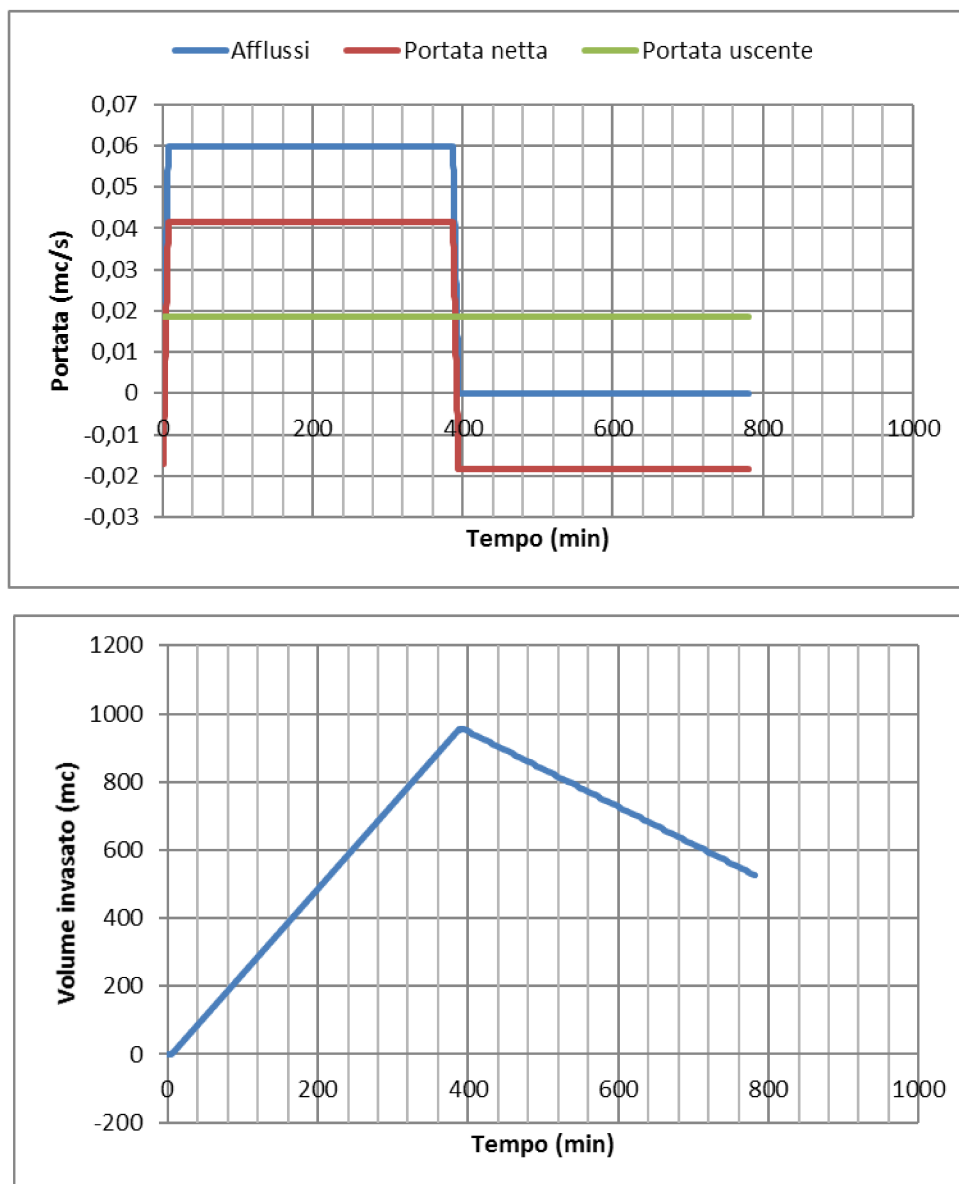


Figura 15: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo cinematico per  $Tr = 30$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

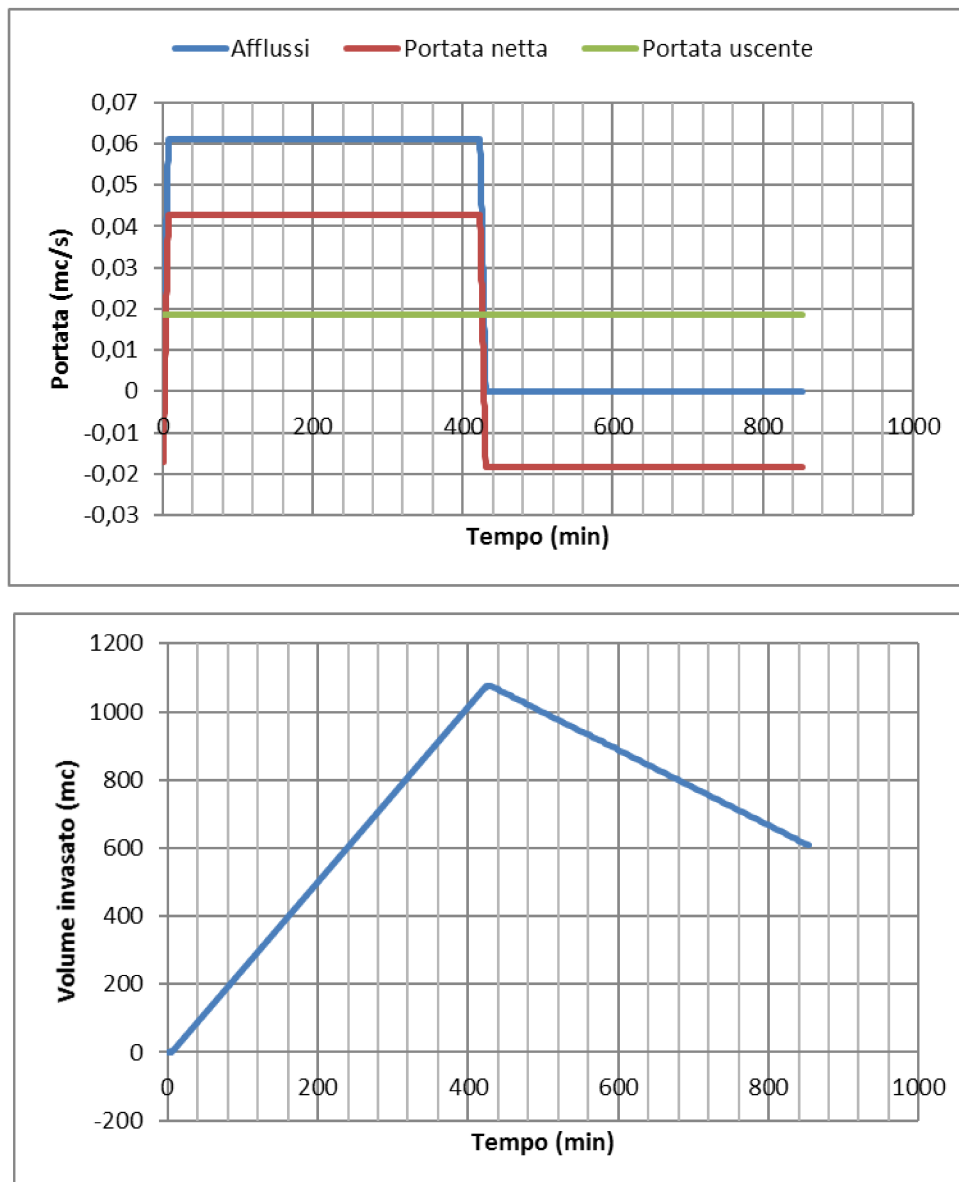


Figura 16: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo cinematico per  $Tr = 50$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

Le massime portate che si verificano per le durate critiche di pioggia su stimate, risultano rispettivamente pari a 52,4 l/s per  $Tr = 2$  anni, 59,9 l/s per  $Tr = 30$  anni, 61,1 l/s per  $Tr = 50$  anni, valori assolutamente compatibili con l'esigenza, in questo caso, di riempire quanto più possibile la vasca, e di conseguenza rigurgitare leggermente i tratti di valle della rete, al fine di garantire il volume di invaso necessario.

#### 7.4 Metodo dell'invaso

Con questo metodo, sarebbe possibile ricavare per via grafica i valori della durata critica di pioggia e del volume minimo necessario per la laminazione dalla Figura 7, a partire dai valori di  $n$  (esponente delle curve di probabilità pluviometrica) e  $m$  (inverso del rapporto di laminazione  $\eta$

calcolato in precedenza). Si riscontra, però, che per il minimo valore della portata di taglio individuato, il fattore  $m$  risulta sempre ben al di sopra del limite di 10 (16,3 per  $Tr = 2$  anni) per il quale sono graficate le curve in letteratura.

Si è proceduto pertanto ad un calcolo per via numerica dei parametri critici, ottenendo quanto segue.

#### $Tr = 2$ anni

- Durata critica di pioggia  $t_p = 186,9$  min
- Intensità media di pioggia corrispondente  $i = 10,03$  mm/h
- Portata massima dell'idrogramma di piena  $Q_{max} = 51,3$  l/s
- **Volume minimo di laminazione: 359,4 mc**

#### $Tr = 30$ anni

- Durata critica di pioggia  $t_p = 402,1$  min
- Intensità media di pioggia corrispondente  $i = 11,40$  mm/h
- Portata massima dell'idrogramma di piena  $Q_{max} = 58,3$  l/s
- **Volume minimo di laminazione: 954,7 mc**

#### $Tr = 50$ anni

- Durata critica di pioggia  $t_p = 438,1$  min
- Intensità media di pioggia corrispondente  $i = 11,65$  mm/h
- Portata massima dell'idrogramma di piena  $Q_{max} = 59,6$  l/s
- **Volume minimo di laminazione: 1076,1 mc**

Analogamente al metodo cinematico, anche in questo caso la durata di pioggia critica è di gran lunga superiore rispetto al prodotto  $r \cdot k$ , che rappresenta la durata critica per avere il picco di piena.

I valori di volume ottenuti sono molto simili a quelli risultanti dal metodo della corrivazione, a conferma che per un bacino caratterizzato da tempi di concentrazione così modesti il metodo di calcolo risulta poco influente.

Gli idrogrammi di piena corrispondenti sono osservabili nelle illustrazioni che seguono, dove si riportano anche gli andamenti dei volumi invasati nell'ipotizzato sistema di laminazione (composto per le valutazioni dalla sola vasca di recapito) in corrispondenza di tali idrogrammi. Si notino i picchi molto più blandi delle portate, infatti a partire dal tempo di corrivazione fino al tempo corrispondente alla durata della precipitazione l'idrogramma si mantiene costante e pari al massimo.

Le massime portate su stimate infatti risultano nuovamente di un ordine di grandezza inferiori rispetto ai picchi massimi attesi.

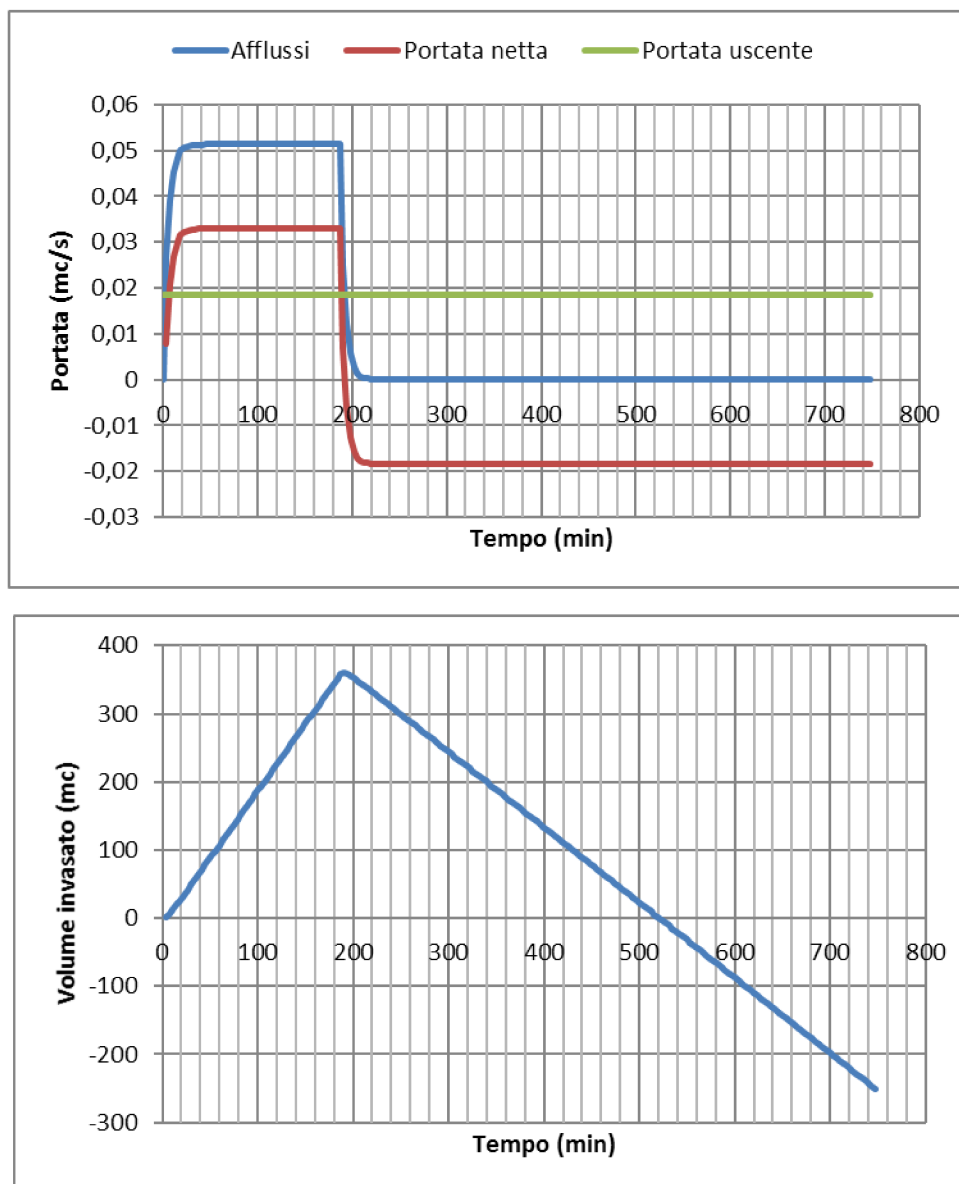


Figura 17: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo dell'invaso per  $Tr = 2$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

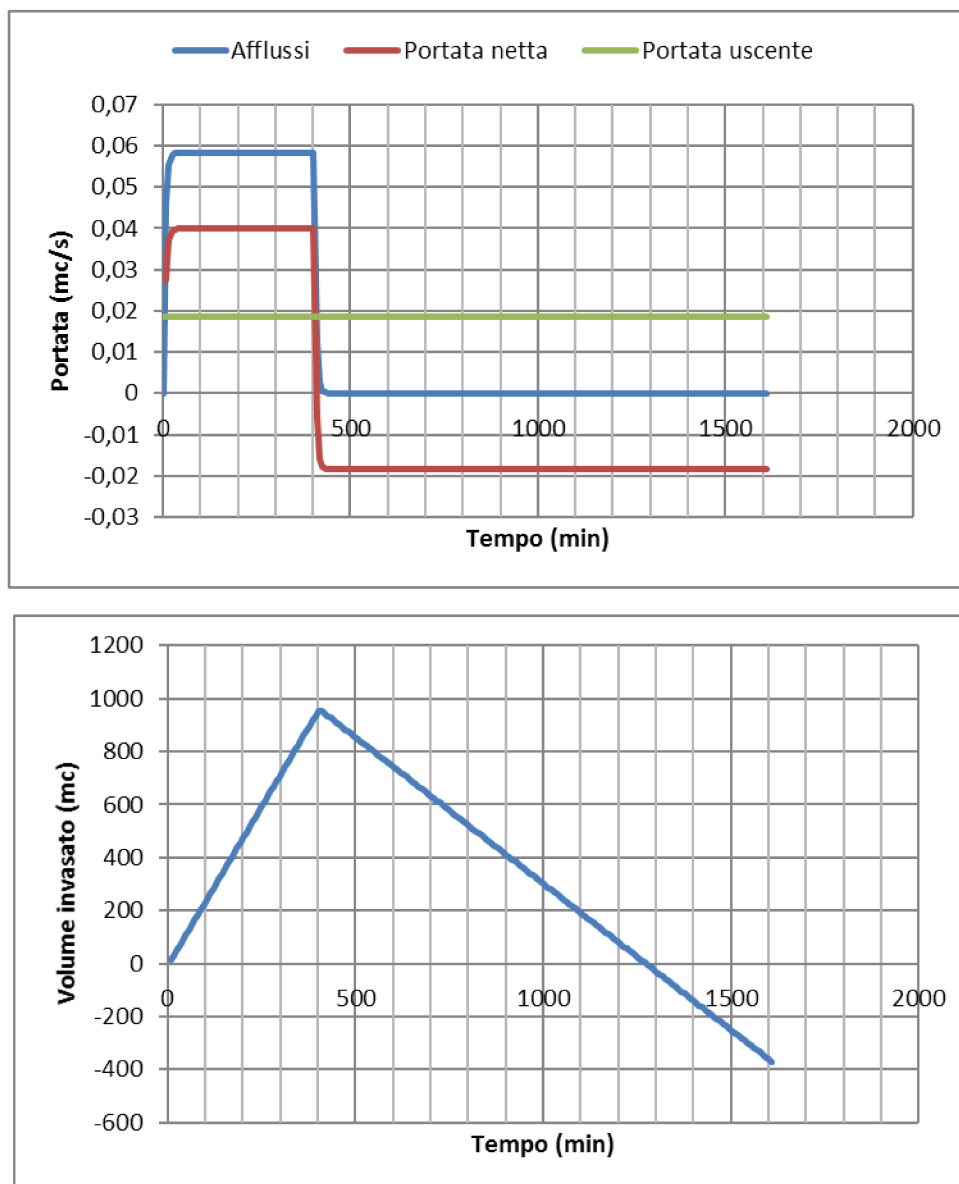


Figura 18: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo dell'invaso per  $Tr = 30$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

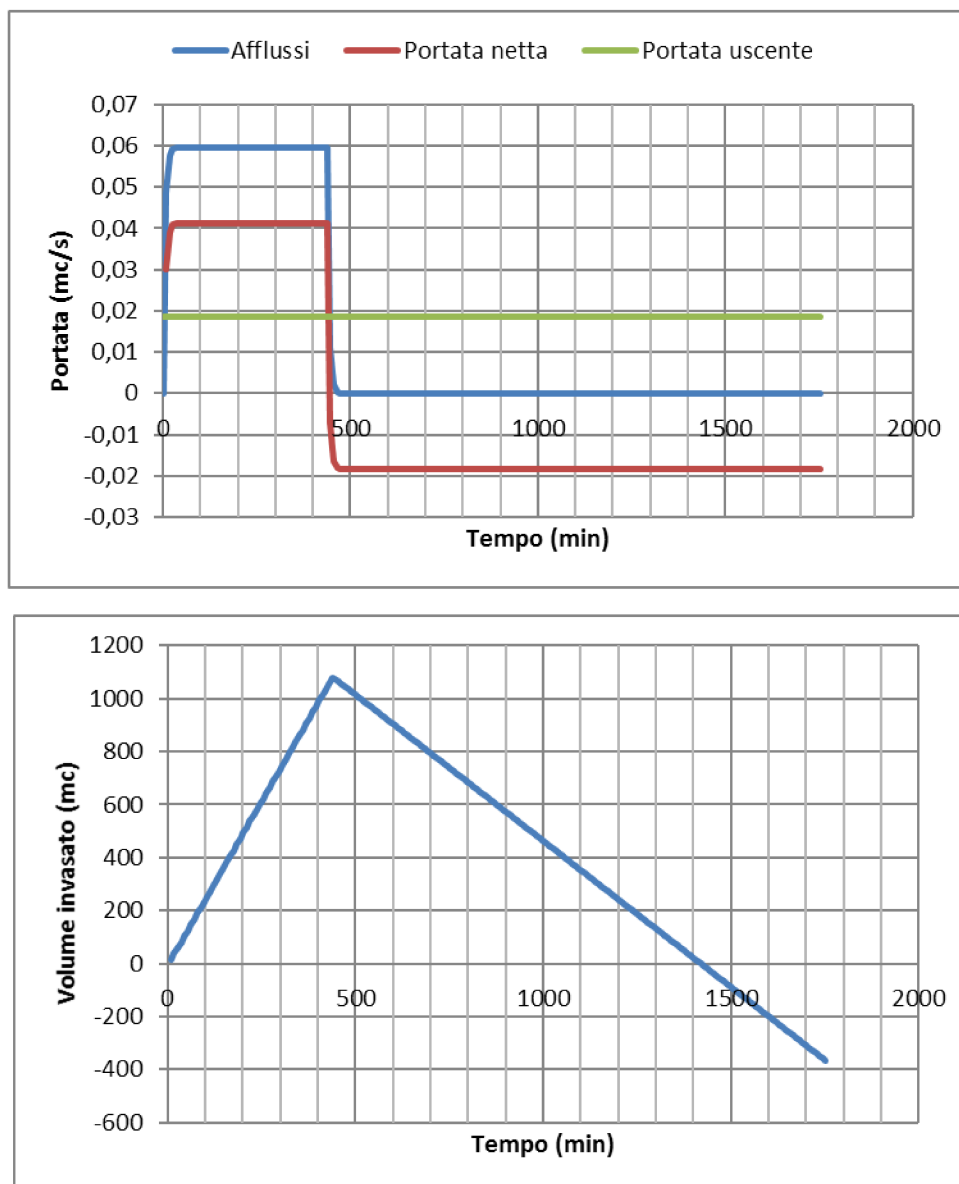


Figura 19: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo dell'invaso per  $Tr = 50$  anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione

## 8. Idoneità del sistema di laminazione e di smaltimento delle acque meteoriche

Il presente studio di compatibilità idraulica preliminare fa riferimento, come già anticipato, ad una soluzione tecnica che prevede la possibilità, per eventi precipitativi che combinano intensità non trascurabili a tempi di pioggia di diverse ore, di invasare in una vasca volano a valle dell'area, preliminarmente al recapito in fognatura pubblica, il volume necessario alla laminazione.

Si è verificato, con riferimento ai metodi di calcolo tradizionalmente utilizzati nella verifica di reti di collettamento di acque bianche a gravità, che il volume minimo convenzionale imposto dalla pianificazione di bacino corrisponde a tempi di ritorno ipotizzabili di poco inferiori ai 30 anni.

Il sistema di laminazione potrà contare, al di là di quanto valutato analiticamente ed effettivamente computato ai fini del rispetto delle prescrizioni della pianificazione vigenti, su tre contributi:



- eventuali piccoli volumi di accumulo nell'area e in rete (pozzetti, verde non compatto, canalette secondarie etc.)
- volume concentrato nella vasca di accumulo da realizzare nella parte topograficamente più depressa dell'area, pari a poco meno di 1000 mc;
- volume invasato nelle condotte della rete principale di smaltimento, stimato, al massimo (portate di picco per  $Tr = 50$  anni, quindi situazione poco gravosa ai fini della laminazione), pari a circa 85 mc, del tutto secondario quindi rispetto al volume della vasca di laminazione.

In seguito alle valutazioni economiche, che risulteranno possibili solo a partire dalle prossime fasi della progettazione dell'urbanizzazione, saranno stabilite le modalità di funzionamento della vasca (posizionamento delle soglie di sfioro, degli scarichi di fondo e di superficie, eventuali sollevamenti ordinari o di emergenza etc.).

Con riferimento alla soluzione attualmente proposta e già parzialmente definita e dimensionata, si riporta infine di seguito un dettaglio delle portate di massima piena, calcolate per  $Tr = 30$  anni con il metodo della corrivazione, distinto per i singoli tratti della rete principale.

*Tabella 3: Caratteristiche del deflusso nei rami principali della rete per  $Tr = 30$  anni*

| Tratto | Lunghezza rete monte (m) | Superficie bacino monte (mq) | Diametro interno condotto (m) | Diametro commerciale condotto (mm) | Portata massima corrivazione (mc/s) | Altezza idraulica (m) | Franco residuo (m) | Sezione idraulica (mq) | Velocità media (m/s) |
|--------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| 1-2    | 89,11                    | 3266,99                      | 0,375                         | 400                                | 0,121                               | 0,318                 | 0,0574             | 0,091                  | 1,33                 |
| 2'-2   | 40,69                    | 1898,48                      | 0,333                         | 355                                | 0,074                               | 0,236                 | 0,097              | 0,061                  | 1,21                 |
| 3'-3   | 150,11                   | 5360,9                       | 0,469                         | 500                                | 0,19                                | 0,341                 | 0,128              | 0,124                  | 1,53                 |
| 2-3    | 154,87                   | 6633,62                      | 0,469                         | 500                                | 0,236                               | 0,434                 | 0,035              | 0,155                  | 1,52                 |
| 3-N    | 204,87                   | 11994,52                     | 0,591                         | 630                                | 0,42                                | 0,535                 | 0,056              | 0,24                   | 1,75                 |
| 4'-4   | 75,21                    | 1833,26                      | 0,296                         | 315                                | 0,062                               | 0,24                  | 0,056              | 0,055                  | 1,13                 |
| 5'-5   | 111,52                   | 3863,56                      | 0,422                         | 450                                | 0,141                               | 0,302                 | 0,12               | 0,099                  | 1,42                 |
| 5-4    | 161,99                   | 4608,37                      | 0,422                         | 450                                | 0,162                               | 0,348                 | 0,074              | 0,112                  | 1,45                 |
| 4-N    | 191,99                   | 6441,63                      | 0,469                         | 500                                | 0,223                               | 0,404                 | 0,065              | 0,145                  | 1,54                 |
| N-V    | 224,87                   | 18436,15                     | 0,751                         | 800                                | 0,62                                | 0,51                  | 0,241              | 0,297                  | 2,09                 |

Il franco minimo è pari almeno a 5-10 cm in tutti i casi, anche per un tempo di ritorno particolarmente gravoso per reti quale quella in progetto, pari a 30 anni, ed è essenzialmente finalizzato a consentire, in assenza di tracimazioni e di funzionamento in pressione, un rapido deflusso dalla rete secondaria (canaline, tombini e pluviali).

Nelle condizioni più sfavorevoli della massima piena ( $Tr = 50$  anni), assumendo un coefficiente di efflusso a stramazzo pari a 0,40, la portata massima di 683 l/s può essere smaltita, attraverso una

soglia sfiorante verso la vasca di laminazione di lunghezza pari a 2 m, con un tirante idrico di 0,33 m circa, compatibile con il franco residuo valutato in precedenza.

## **9. Verifica del collettore di scarico verso la rete comunale**

Il presente paragrafo è dedicato alla verifica di capacità idraulica del tratto emissario dalla vasca di laminazione fino al recapito finale in fognatura comunale, che dovrà seguire in contropendenza la porzione più orientale dell'area da urbanizzare, sfruttando la profondità del tratto ricettore di fognatura pubblica, ipotizzata a - 2 m da piano campagna (quindi a circa 61 m s.l.m.), con una pendenza minima dello 0,1 %, per cui la quota del fondo del canale emissario dovrà essere posta, se le quote di progetto lo consentiranno, a circa 61,12 m s.l.m. all'uscita dal pozzetto di servizio della vasca.

In via speditiva, si ritengono valide, e comunque cautelative, le seguenti ipotesi di progetto:

- quota di recapito minima al pozzetto di valle 61,0 m s.l.m.
- quota del fondo tubo nel punto più a monte della rete 61,12 m s.l.m. (con ricoprimento minimo 1,00 m sul cielo della tubazione)
- lunghezza del collettore 115 m
- pendenza media del collettore 0,1%

La portata assunta per il dimensionamento è pari alla massima consentita dagli strumenti di pianificazione, ovvero 18,42 l/s; per maggiore cautela, e per garantire rispetto alle possibili incertezze nel dimensionamento o a condizioni di emergenza, si valuta anche una condizione più gravosa, con portata di 30 l/s.

In tali condizioni, un condotto in PEAD di diametro DN315 sarebbe già più che sufficiente a garantire la capacità richiesta, la portata suddetta sarebbe infatti smaltita con un tirante di soli 0,13 m, cui corrisponderebbe una velocità (in condizioni di moto uniforme) di circa 0,60 m/s, sufficiente fra l'altro a garantire, almeno saltuariamente, la necessaria autopulizia del condotto contro il rischio di sedimentazione dei materiali organici e inorganici; la portata massima in condizioni "di emergenza" richiederebbe invece un tirante di 0,20 m circa, comunque compatibile con la sezione idraulica del condotto.

## **10. Conclusioni**

Con la presente relazione si è voluto fornire un supporto specialistico alla progettazione preliminare della nuova urbanizzazione presso il sito di Riale Galvano nord, in termini di valutazione della compatibilità idraulica degli interventi, e relative misure di mitigazione, con riguardo alle acque bianche.

Confrontando diversi metodi di calcolo di letteratura, sulla base dei dati pluviometrici riportati negli strumenti di pianificazione, si è provveduto a valutare le portate di picco per diversi tempi di ritorno, con un massimo di circa 683 l/s per il tempo di ritorno di 50 anni. Analogamente, si è valutato il possibile dimensionamento del sistema di laminazione, potendo affermare che il sistema

ipotizzato è idoneo a garantire il rispetto dei requisiti imposti dalla pianificazione di bacino, con alcuni accorgimenti già definiti in linea di massima; si è verificato che il volume minimo di laminazione di 921 mc corrisponderebbe a tempi di ritorno di poco inferiori ai 30 anni, in linea con quanto considerato per i diversi dimensionamenti eseguiti; la rete a monte è stata pertanto dimensionata con portate di picco corrispondenti allo stesso tempo di ritorno.

Sono state avanzate altresì alcune possibili ipotesi alternative per la configurazione del sistema di collettamento e smaltimento delle acque bianche, da approfondire dal punto di vista della convenienza economica – e degli impatti su altri aspetti – nelle successive fasi di progettazione ed esecuzione delle opere.

## INDICE DELLE FIGURE

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Figura 1: Stralcio del masterplan con la rappresentazione delle aree permeabili e impermeabili dell'area di nuova urbanizzazione .....</i>   | <i>3</i>  |
| <i>Figura 2: Schema del sistema di raccolta delle acque bianche.....</i>  | <i>4</i>  |
| <i>Figura 3: Suddivisione dell'area in sottobacini tributari dei diversi tratti della rete di collettamento delle acque meteoriche.....</i>   | <i>7</i>  |
| <i>Figura 3: Altezze e intensità medie di precipitazione per <math>Tr = 2</math> anni .....</i>   | <i>9</i>  |
| <i>Figura 4: Altezze e intensità medie di precipitazione per <math>Tr = 30</math> anni .....</i>  | <i>10</i> |
| <i>Figura 5: Altezze e intensità medie di precipitazione per <math>Tr = 50</math> anni .....</i>  | <i>11</i> |
| <i>Figura 6: Grafici per la determinazione della durata critica con il metodo dell'invaso .....</i>   | <i>21</i> |
| <i>Figura 7: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo della corrivazione per <math>Tr = 2</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>                     | <i>23</i> |
| <i>Figura 8: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo della corrivazione per <math>Tr = 30</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione .....</i>                   | <i>24</i> |
| <i>Figura 9: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo della corrivazione per <math>Tr = 50</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione .....</i>                   | <i>25</i> |
| <i>Figura 10: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo dell'invaso per <math>Tr = 2</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>                           | <i>27</i> |
| <i>Figura 11: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo dell'invaso per <math>Tr = 30</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>                          | <i>28</i> |
| <i>Figura 12: Idrogramma di massima piena determinato con il metodo dell'invaso per <math>Tr = 50</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>                          | <i>29</i> |
| <i>Figura 13: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo cinematico per <math>Tr = 2</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>   | <i>33</i> |
| <i>Figura 14: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo cinematico per <math>Tr = 30</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>  | <i>34</i> |
| <i>Figura 15: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo cinematico per <math>Tr = 50</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>  | <i>35</i> |
| <i>Figura 16: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo dell'invaso per <math>Tr = 2</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i>  | <i>37</i> |
| <i>Figura 17: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo dell'invaso per <math>Tr = 30</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 18: Idrogramma che determina il massimo volume invasato, determinato con il metodo dell'invaso per <math>Tr = 50</math> anni e corrispondenti volumi invasati nel sistema di laminazione.....</i> | <i>39</i> |

## INDICE DELLE TABELLE

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabella 1: Superfici totali permeabili e impermeabili del comparto .....</i>                                   | <i>5</i>  |
| <i>Tabella 3: Topologia della rete di raccolta delle acque bianche e dei sottobacini serviti .....</i>            | <i>6</i>  |
| <i>Tabella 4: Caratteristiche del deflusso nei rami principali della rete per <math>Tr = 30</math> anni .....</i> | <i>40</i> |