

**COMUNE DI LONATO DEL GARDA  
PROVINCIA DI BRESCIA**

**PIANO ATTUATIVO in VARIANTE "FERALPI 1"**

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ DELLE NUOVE OPERE  
CON IL VINCOLO DI PERICOLOSITÀ  
LEGATO AL RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA (RSP)  
(ALLEGATO A PUNTO 3.3.3 TERZO CAPOVERSO D.G.R. 19.06.2017 N. X/6738)**



## **Relazione idrologica**

**Committente:**



**Dott. Ing. Giuseppe Negrinelli**

(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Brescia n.1564)

**Dott. Ing. Antonio Di Pasquale**

(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Brescia n.3362)

**Gennaio 2020**

## I N D I C E

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO AFFERENTE ALLA SEZIONE DI INTERESSE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO E FINALITÀ DELLO STUDIO .....</b>	<b>8</b>
<b>4. DESCRIZIONE GENERALE DEL CODICE UTILIZZATO E DEL MODELLO DI CALCOLO PREDISPOSTO .....</b>	<b>9</b>
<b>5. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO.....</b>	<b>11</b>
5.1 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMETRICI E MORFOLOGICI – SCELTA DEL METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI .....	11
5.1.1 MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI URBANI: METODO DI CORRIVAZIONE CON CURVA AREA – TEMPI LINEARE .....	12
5.1.2 MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI DI PIANURA: METODO DELL'INVASO.....	13
5.2 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI INFILTRAZIONE .....	14
5.3 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDROLOGICI DEI BACINI DI INTERESSE.....	19
5.3.1 BACINO URBANO "B_FOGNA_VIAMOLINI".....	19
5.3.2 BACINO URBANO "B_FOGNA_VIAPASINI".....	20
5.3.3 BACINO URBANO "B_FOGNA_VIAMORO".....	21
5.3.4 BACINO DI PIANURA "B_SCAR_1COMIZIO_MONTE".....	22
5.3.5 BACINO DI PIANURA "B_SCAR_1COMIZIO_VALLE".....	23
5.3.6 BACINO DI PIANURA "B_VIVAIO".....	24
<b>6. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO .....</b>	<b>24</b>
6.1 SCELTA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DEL MODELLO .....	25
6.2 MODELLAZIONE DELLE SEZIONI DI CONTROLLO PRESENTI LUNGO LA RETE DI CANALIZZAZIONI – NODI TIPO "DIVERSION" E NODI TIPO "BASIN" .....	25
6.2.1 RETE FOGNARIA DI VIA MOLINI (NODO FOGNA_VIAMOLINI): NODO TIPO DIVERSION....	26
6.2.2 NODO DI CONFLUENZA TRA LA RETE FOGNARIA DI VIA MOLINI E IL 3° E 4° COMIZIO (NODO N02_3-4COMIZIO): NODO TIPO DIVERSION .....	27
6.2.3 MANUFATTO SCARICATORE DEL 3° E 4° COMIZIO (NODO N03_3-4COMIZIO): NODO TIPO DIVERSION.....	28
6.2.4 MANUFATTO DI ATTRAVERSAMENTO DELLO SCARICATORE DEL 1° COMIZIO DELLA ROGGIA LONATA (NODO N01_2COMIZIO): NODO TIPO DIVERSION .....	28
6.2.5 SOTTOPASSO DI VIA PASINI (NODO SP_VIAPASINI02): NODO TIPO BASIN.....	29
6.2.6 MODELLAZIONE DEL SOTTOPASSO FERROVIARIO DEL 2° COMIZIO E DELLA TUBAZIONE ENTRANTE NELLO STABILIMENTO "FERALPI" NODO N02_2COMIZIO. ....	29
6.3 MODELLAZIONE DEGLI APPORTI IRRIGUI (NODI SOURCES) .....	31
6.4 MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA.....	32
<b>7. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO METEOROLOGICO .....</b>	<b>33</b>
<b>8. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE.....</b>	<b>35</b>
8.1 EVENTO DECENNALE.....	36
8.1.1 INGRESSO DAL 2° COMIZIO.....	36
8.1.2 INGRESSO DAL 3 E 4° COMIZIO .....	37

8.2	EVENTO VENTENNALE.....	38
8.2.1	INGRESSO DAL 2° COMIZIO.....	38
8.2.2	INGRESSO DAL 3 E 4° COMIZIO.....	39
8.3	EVENTO CINQUANTENNALE.....	40
8.3.1	INGRESSO DAL 2° COMIZIO.....	40
8.3.2	INGRESSO DAL 3 E 4° COMIZIO.....	41
8.4	EVENTO CENTENNALE.....	42
8.4.1	INGRESSO DAL 2° COMIZIO.....	42
8.4.2	INGRESSO DAL 3 E 4° COMIZIO.....	43

## 1. PREMESSA

La presente Relazione Idrologica viene redatta in riferimento alla normativa tecnica contenuta nell'Allegato 4 alla D.G.R. 30.11.2011 n. IX/2616 "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374".

L'oggetto specifico della presente Relazione Idrologica è la definizione degli idrogrammi di piena del 2° Comizio della Roggia Lonata all'interno dell'area di interesse ai fini del presente Studio, ovvero il percorso attraverso il perimetro del Piano Attuativo in Variante "Feralpi 1".

In ottemperanza col disposto della citata Direttiva, gli eventi di riferimento considerati ai fini del calcolo idrologico sono quelli centennali, nell'ambito dell'analisi idrologica si farà in ogni caso riferimento anche ad eventi con tempo di ritorno ventennale e cinquantennale.

La presente relazione idrologica non contiene solo i risultati finali dell'analisi svolta bensì tutti gli elementi atti alla piena comprensione delle elaborazioni svolte, il calcolo esplicito dei parametri assunti nonché tutti gli elementi atti alla possibilità di ripetizione da parte di chi legge dei calcoli svolti, per i quali, peraltro, si è fatto uso di software open source.

La presente Relazione è suddivisa in capitoli.

Il Capitolo 2 contiene la descrizione generale del bacino idrografico afferente alla sezione di interesse.

Il Capitolo 3 individua, tra le aste idriche interferenti con lo stabilimento, quelle di specifico interesse ai fini della valutazione della compatibilità del Piano Attuativo.

Nel Capitolo 4 viene descritto per sommi capi il metodo seguito per lo Studio, essenzialmente la definizione di un modello matematico sviluppato con un software open source in grado di simulare la complessa idrologia del sistema dei vasi afferenti alla sistema di chiusura di interesse.

Il software utilizzato per l'analisi idrologica (il codice HEC HMS 4.3, sviluppato dall'Hydraulic Engineering Center del Corpo del Genio dell'Esercito statunitense) si compone di tre moduli:

- il modello idrologico dei bacini: esso comprende la definizione delle caratteristiche idrologiche e geometriche dei sottobacini inseriti nella modellazione;
- il modello idraulico del sistema (in realtà gestito all'interno del software come parte del modello idrologico): esso consente la combinazione degli idrogrammi generati per ciascun sottobacino modellato attraverso la modellazione dei fenomeni di traslazione e smorzamento lungo la rete, nonché la modellazione di singolarità geometriche quali manufatti di partizione o di sfioro;
- il modello meteorologico del sistema: esso comprende la modellazione degli afflussi meteorici, secondo ietogrammi sintetici o definiti dall'utente.

Nel Capitolo 5 vengono descritti nel dettaglio i parametri del modello idrologico nel modello matematico nonché i criteri di calcolo seguiti, ovvero le modalità di perimetrazione dei bacini, la determinazione del metodo di trasformazione afflussi – deflussi utilizzato (non il medesimo per tutti i bacini), la definizione dei principali parametri idrologici dei bacini a partire dalle loro caratteristiche geometriche e morfologiche, le modalità di simulazione dei fenomeni di infiltrazione e di determinazione dei relativi parametri.

Nel Capitolo 6 vengono descritti nel dettaglio i parametri del modello idraulico, ovvero quelli relativi alla modalità di simulazione della traslazione delle onde di piena generate dai diversi bacini nonché la modalità di modellazione dei principali nodi idraulici (derivazioni, partizioni, sezioni di controllo) della rete.

Nel Capitolo 7 vengono descritte le modalità di definizione del modello meteorologico del sistema, ovvero i criteri seguiti e i parametri assunti per la definizione degli idrogrammi di progetto.

Nel Capitolo 8 sono riassunti i principali risultati dell'analisi idrologica, con particolare riferimento agli idrogrammi riscontrati alle sezioni di chiusura di interesse per il presente Studio.

## 2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO AFFERENTE ALLA SEZIONE DI INTERESSE

Il territorio ove si trova l'insediamento "Feralpi" è caratterizzato dalla rilevante presenza della rete irrigua derivata dalla Roggia Lonata, costituita da una serie di aste, denominate "Comizi" e nominate con un numero d'ordine da 1° a 9°, che si derivano in sponda destra e innervano il territorio con direzione principale di scorrimento da Nord verso Sud.

La presenza della Roggia Lonata riveste interesse ai fini della descrizione del territorio non solo come Roggia madre da cui si derivano le aste idriche di specifico riguardo per il presente Studio ma anche come elemento morfologico rilevante al fine delle caratteristiche di drenaggio del territorio: essa corre infatti in rilevato e pertanto costituisce un naturale spartiacque; il deflusso attraverso la Roggia può avvenire solo in un numero di posizioni, ove sono presenti manufatti che la sottopassano.

I Comizi derivati dalla Roggia Lonata non svolgono esclusiva funzione irrigua, ma svolgono anche una rilevante funzione di bonifica del territorio non solo in quanto esse sono le aste principali che lo innervano, ma anche in quanto recapito di colatori trasversali (con direzione prevalente Est - Ovest) che drenano le falde del colle di Lonato e di alcuni scarichi fognari.

Ai fini del presente Studio rivestono interesse tre derivazioni della Roggia Lonata, il 2° Comizio e il percorso comune che convoglia le acque del 3° e 4° Comizio al manufatto partitore posto all'interno dell'insediamento "Feralpi".

Le due aste (che diventano 3 al partitore) hanno un'interferenza diretta con l'insediamento "Feralpi" in quanto attraversano secondo diverse modalità lo stabilimento.

Il 2° Comizio risulta in realtà costituito da due aste idriche principali diverse con andamento parallelo e che poi confluiscono nello stesso canale immediatamente a monte dell'attraversamento dell'Autostrada Milano - Venezia presso la cascina "Faccendina".

Di tali due aste idriche riveste interesse per il presente Studio quella più orientale, che lambisce lungo il lato occidentale l'area artigianale posta tra la ex S.S. 11 e la Ferrovia Milano - Venezia.

Essa lungo il proprio tracciato a Nord della Ferrovia riceve alcuni apporti esterni di rilevante importanza:

- uno scaricatore, con direzione prevalente Est-Ovest che raccoglie le aree del bacino pedecollinare non edificato posto a Nord del centro abitato di Lonato: tale scaricatore si immette nella rete del 2° Comizio dopo aver attraversato la Roggia Lonata con un sottopasso in cls DN 1'000 mm;
- le acque meteoriche drenate dalla parte occidentale della zona artigianale, raccolte da una tubazione di fognatura bianca DN 1'000 mm che si immette nel 2° Comizio immediatamente a monte dell'attraversamento ferroviario.

Il 2° Comizio attraversa la ferrovia con un manufatto intubato DN 800 mm e si porta nell'area dello stabilimento: la roggia corre prima in direzione Est - Ovest in sezione canalizzata 800x700 mm (in sezione incassata rispetto al piano campagna in sponda sinistra e al piede del rilevato ferroviario in sponda destra) e poi piega in direzione Sud nuovamente in sezione intubata DN 800 mm portandosi all'interno del perimetro dell'insediamento Feralpi.

La presenza di tali sezioni canalizzate, unitamente allo spartiacque morfologico costituito dal rilevato ferroviario, costituiscono un significativo vincolo, che si analizzerà nel seguito nel dettaglio, alle portate che effettivamente possono transitare a valle della ferrovia rispetto ai valori teorici di tipo idrologico.

All'interno dello stabilimento "Feralpi" il 2° Comizio corre in sezione parte naturale e parte canalizzata all'interno di un'area a verde pertinenziale all'insediamento e adibita a pioppeto.

Tale area è ribassata rispetto al piano di calpestio dello stabilimento di circa 2-3 m (il piano di calpestio si colloca a circa 142.50 m s.l.m., l'area a verde tra circa 140.80 e 138.50 m s.l.m.) e per larga parte del proprio sviluppo all'interno dell'area "Feralpi" il 2° Comizio corre esattamente al piede del rilevato.

Lungo il tracciato all'interno del pioppeto sono presenti 3 derivazioni trasversali dal 2° Comizio, dotate ciascuna di un proprio manufatto: esse hanno la funzione di irrigare il terreno posto a Ovest dello stabilimento, attraverso aste idriche trasversali al 2° Comizio che sottopassano la recinzione dell'insediamento e la strada perimetrale e sbucano nel terreno limitrofo.

Con la sola eccezione della prima di bocca (che appare in buone condizioni manutentive e che viene saltuariamente utilizzata per l'irrigazione anche del pioppeto) le altre derivazioni versano in condizioni di totale abbandono.

Il 2° Comizio nel suo tracciato in direzione Nord – Sud entro il pioppeto attraversa il rilevato di accesso all'insediamento in corrispondenza dell'accesso carraio Ovest: l'accesso carraio si colloca alla quota dell'insediamento (142.50 m s.l.m.) e l'attraversamento del 2° Comizio avviene con un manufatto in cls DN 1'200 mm.

In prossimità del depuratore dello stabilimento, il 2° Comizio piega in direzione Ovest e si intuba con una sezione in cls DN 800 mm, portandosi al di fuori dell'insediamento.

Il 3° e 4° Comizio rivestono in realtà un interesse indiretto ai fini del presente Studio.

Essi si derivano con un canale unico dalla roggia madre in Via Mulini all'interno del centro abitato di Lonato e corrono in direzione Sud – Ovest lungo il lato Sud della strada, prima in sezione intubata con uno scatolare 800x1200 mm e poi con una canaletta prefabbricata 110x150 cm.

In tale tratto il condotto comune del 3° e 4° Comizio riceve la rilevante immissione di uno scaricatore di piena della rete fognaria di Lonato; tale scaricatore raccoglie le acque praticamente dell'intera area abitata a monte della ex S.S. 11: esso sottopassa la Roggia Lonata (entro cui gli risulta fisicamente impossibile lo scarico, in quanto quest'ultima corre come si è detto in rilevato) e scarica nell'unica asta che, a livello altimetrico, è in grado di raccogliergli gli apporti, ovvero il 3° e 4° Comizio.

La criticità di tale immissione è tuttavia nota, in quanto sono segnalati rilevanti fenomeni alluvionali su Via Mulini legati alla fuoriuscita delle acque dal 3° e 4° Comizio.

Il 3° e 4° Comizio piega poi decisamente in direzione Sud fino alla ferrovia Milano – Venezia, che attraversa con manufatto sifonato portandosi all'interno dell'insediamento "Feralpi".

Immediatamente oltre l'attraversamento è presente un manufatto partitore che divide le acque del 3° da quelle del 4° Comizio: le due aste derivate risultano costituite da tubazioni in PEAD corrugato DN-DE 1'000 mm che lambiscono sul lato orientale l'insediamento (il 3° Comizio lo attraversa in parte, nella zona Sud Est) per poi portarsi verso l'Autostrada Milano – Venezia.

Ai fini del presente Studio non rivestono particolare interesse i due canali principali del 3° e del 4° Comizio, sia in quanto tendono ad allontanarsi dalle aree del Piano Attuativo sia, soprattutto, in quanto sono aste idriche regolate da monte e su cui pertanto sono limitate le portate convogliate.

L'interesse specifico del presente Studio concerne invece gli apporti meteorici eccedenti la capacità di convogliamento del 3° e 4° Comizio.

Come si è detto una parte degli apporti meteorici immessi fuoriescono lungo Via Mulino per l'insufficienza della sezione d'alveo ad accogliere gli scarichi della rete fognaria; oltre a questo si segnala la presenza, a monte dell'attraversamento ferroviario, di un manufatto scaricatore dedicato, che limita le portate transitanti verso valle.

Il recapito di tale manufatto scaricatore risulta costituito da un canale che corre lungo il lato Nord della Ferrovia (e che raccoglie anche gli apporti meteorici che drenano le aree di un vivaio, che vi si immettono

sottopassando il 3° e 4° Comizio) e che poi piega in direzione Sud attraversando la ferrovia e portandosi entro lo stabilimento in sezione tubata.

Tale percorso risulta oggi pressoché completamente occluso e, probabilmente, demolito all'interno delle aree dello stabilimento.

Ne consegue che tanto gli apporti provenienti da Via Mulino, quanto quelli eventualmente scaricati attraverso il manufatto sopra citato (unitamente a quelli del vivaio), non hanno oggi un percorso diretto di drenaggio e pertanto si distribuiscono secondo gli spartiacque morfologici: la presenza del rilevato ferroviario fa sì che le acque ruscellino lungo la sede stradale (circostanza che è confermata dalle informazioni reperite in situ in merito a rilevanti e frequenti fenomeni alluvionali) fino al punto geodeticamente più ribassato, ovvero il sottopasso "vecchio" di Via Pasini (per distinguerlo da quello "nuovo" posto circa 150 metri più a Ovest) ove si accumulano e defluiscono attraverso il drenaggio urbano ivi presente.

Sul sottopasso è infatti presente una griglia di raccolta di dimensioni notevoli (circa 1.50 x 9.00 m) che convoglia le acque raccolte in una tubazione in cls DN 400 mm che poi si immette in una canaletta posta sul lato Sud della Ferrovia.

Tale canaletta prosegue in direzione Est-Ovest per circa 70 m e poi si intuba nuovamente; attraverso un percorso all'interno dello stabilimento la tubazione si immette infine nel citato canale del 2° Comizio all'interno del pioppeto.

Sostanzialmente, pertanto, il sistema di drenaggio delle acque eccedenti la capacità di convogliamento del 3° e 4° Comizio risulta oggi compromesso per cui tali acque vengono captate dalla rete fognaria comunale posta in corrispondenza del sottopasso di Via Pasini e, secondo quantitativi definiti in funzione della geometria delle tubazioni presenti, scaricate nel 2° Comizio.

Oltre agli apporti urbani di Lonato e a quelli del vivaio probabilmente, per eventi meteorici con rilevanza statistica ai fini del presente Studio (> 50 anni, nello specifico 100 anni) al sottopasso di Via Pasini confluiscono probabilmente anche gli apporti della parte orientale dell'area artigianale (quella che non drena direttamente sul 2° Comizio) probabilmente servita da una rete bianca che va a dispersione.

Sostanzialmente, pertanto, ai fini della valutazione delle portate convogliate dal 2° Comizio non è sufficiente determinare gli apporti propri diretti su di esso, ma è necessario quantificare anche gli apporti provenienti dal 3° e 4° Comizio in quanto eccedenti la capacità di convogliamento di quest'ultimo e indirettamente immessi nel 2° Comizio medesimo.

### **3. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO E FINALITÀ DELLO STUDIO**

Il presente Studio di Compatibilità ha per oggetto le opere del Piano Attuativo in Variante "Feralpi 1": tali opere sono localizzate all'interno della parte occidentale dell'insediamento (si veda ad esempio Tavola 1): il pioppeto citato nell'ambito del precedente §2 risulta interamente ricompreso all'interno del perimetro del Piano Attuativo e, conseguentemente, l'asta idrica di principale e specifico riferimento ai sensi dell'analisi di compatibilità è il 2° Comizio della Roggia Lonata che attraversa il detto pioppeto.

In realtà la totalità delle opere del Piano Attuativo (consistenti in nuovi comparti funzionali dell'insediamento) sono realizzate alla quota del piano di calpestio dello stabilimento ovvero, come si è detto, circa 2-3 metri al di sopra del piano del pioppeto e, pertanto, del 2° Comizio.

Tra tali opere l'unica che ha un'interferenza diretta col percorso del 2° Comizio è l'allargamento dell'accesso carraio Ovest, che impone un prolungamento del tratto intubato DN 1'200 mm esistente; le altre opere sono realizzate al di fuori del pioppeto o su aree comunque geodeticamente rialzate rispetto a questo.

Con specifico riferimento al 2° Comizio, la finalità del presente Studio Idrologico è quella di determinare le portate di piena che esso convoglia per eventi meteorici statisticamente significativi (in questo caso come si vedrà, l'evento centennale) non solo in relazione agli apporti propri ma anche a quelli indirettamente immissivi attraverso il sistema di convogliamento delle acque fuoriuscite dal 3° e 4° Comizio.

#### **4. DESCRIZIONE GENERALE DEL CODICE UTILIZZATO E DEL MODELLO DI CALCOLO PREDISPOSTO**

Per la definizione del modello idrologico dei deflussi dei corsi d'acqua di interesse ai fini della verifica di compatibilità delle nuove opere (ovvero il solo scarico del 2° Comizio della Roggia Lonata, in base a quanto detto al precedente §2) si è fatto uso del software Hydrologic Modeling System (HMS) release 4.3, sviluppato dall'Hydraulic Engineering Center (HEC) del Corpo del Genio dell'Esercito statunitense ([www.hec-usace.army.mil](http://www.hec-usace.army.mil)).

Il software HEC-HMS è predisposto per la simulazione dei processi di trasformazione afflussi – deflussi per bacini extraurbani ed urbani; esso è progettato per essere applicabile per l'analisi di un ampio spettro di problematiche, dalle problematiche di disponibilità idrica, a quelle di drenaggio urbano, alla previsione delle piene, all'impatto degli interventi di urbanizzazione.

In ingresso, il software richiede essenzialmente dati geometrici, morfologici e idrologici dei bacini e delle reti di drenaggio, oltre che dati meteorologici, in uscita esso produce essenzialmente idrogrammi.

Il modello HEC-HMS è composto essenzialmente da tre moduli:

- il modello idrologico dei bacini: esso comprende la definizione delle caratteristiche idrologiche e geometriche dei sottobacini inseriti nella modellazione;
- il modello idraulico del sistema (in realtà gestito all'interno del software come parte del modello idrologico): esso consente la combinazione degli idrogrammi generati per ciascun sottobacino modellato attraverso la modellazione dei fenomeni di traslazione e smorzamento lungo la rete, nonché la modellazione di singolarità geometriche quali manufatti di partizione o di sfioro;
- il modello meteorologico del sistema: esso comprende la modellazione degli afflussi meteorici, secondo ietogrammi sintetici o definiti dall'utente.

Attraverso la procedura di calcolo il software procede alla determinazione degli idrogrammi di piena per ciascun sottobacino sotto le condizioni date dal modello idrologico; tali idrogrammi vengono poi combinati nel modello idraulico a formare gli idrogrammi risultanti complessi nelle sezioni di chiusura di interesse.

In base alle caratteristiche del sistema idrografico oggetto di studio, si è proceduto alla definizione del modello idrologico e di quello idraulico: esso comprende i tracciati delle differenti aste idriche individuate in sede di sopralluogo.

Il modello idrologico si compone pertanto di 6 sottobacini, a rappresentare altrettanti apporti meteorici, vale a dire:

- 3 bacini naturali di pianura, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi dell'invaso;
- 3 bacini di tipo urbano, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi della corrivazione con area tempi lineare.

Il modello idraulico si compone di:

- 3 tratti delle aste idriche principali, rappresentanti sostanzialmente traslazioni temporali degli idrogrammi di piena lungo il percorso dei canali;
- 9 nodi della rete, a rappresentare:
  - 2 punti di immissione di bacini o ancora recapito di manufatti di partizione;
  - 2 nodi di accumulo, ovvero aree poste a monte di sezioni di controllo presenti sulla rete che comportano l'accumulo delle portate eccedenti la capacità di convogliamento della sezione di controllo

stesso;

- 2 nodi di diversione, che rappresentano sezioni di limitazioni delle portate immesse in rete, con fuoriuscita dell'acqua e impossibilità della stessa di rientrare nel sistema;
- 2 nodi di immissione di apporti costanti, a rappresentare gli apporti irrigui immessi nel sistema dalle diverse derivazioni della roggia Lonata;
- 1 punto di uscita dal sistema, rappresentante la sezione di chiusura di interesse.

Il modello meteorologico si compone di una serie di ietogrammi triangolari, di differenti caratteristiche (in funzione del corso d'acqua preso in esame) e durate comprese tra 30' e 240', facenti riferimento a eventi con tempi di ritorno di 10, 20, 50 e 100 anni; gli ietogrammi sono applicati uniformemente su tutti i sottobacini componenti il modello idrologico.

Nei paragrafi che seguono si prenderanno in esame gli elementi che compongono ciascuno dei due modelli, esplicitando i criteri di calcolo seguiti ed esplicitando i parametri utilizzati per la modellazione.

All'interno del Capitolo 8 vengono invece riportati i risultati salienti delle modellazioni svolte.

## 5. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO

### 5.1 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMETRICI E MORFOLOGICI – SCELTA DEL METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI

Per la determinazione delle caratteristiche idrologiche dei bacini inseriti all'interno del modello matematico interpretativo del comportamento del bacino complessivo dei corsi d'acqua interessanti l'area oggetto di Studio si è proceduto al calcolo ed alla definizione delle onde di piena mediante un modello matematico afflussi-deflussi, sulla base dei dati pluviometrici pubblicati dall'ARPA Lombardia e resi disponibili on-line sul sito [www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it).

Lo scopo di un tale modello è, essenzialmente, quello di consentire il calcolo delle caratteristiche più importanti delle onde di piena a partire da precipitazioni estreme statisticamente significative.

L'idrogramma di piena al variare del tempo  $t$  dell'evento meteorico considerato viene calcolato, per ciascun bacino, integrando l'idrogramma unitario istantaneo o IUH, che rappresenta la risposta del bacino ad una pioggia unitaria, con lo ietogramma relativo alla pioggia considerata, secondo la classica relazione dell'integrale di convoluzione:

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

ove:

- $q$  è la portata di deflusso;
- $i(t)$  è la intensità di pioggia netta;
- $u(t)$  è l'idrogramma unitario istantaneo.

L'idrogramma unitario istantaneo è una funzione particolare che assume espressioni diverse a seconda del metodo di trasformazione adottato.

Nel caso del sistema afferente all'area di interesse, al cui interno rientrano i sistemi idrografici di interesse ai fini del presente Studio, si riscontra come alla formazione dei deflussi di piena concorrano due diverse tipologie di bacini, con modalità di comportamento decisamente diverse le une dalle altre:

- i bacini prevalentemente naturali di pianura, ove le acque corrono all'interno di un sistema regimentato di aste irrigue, e possono essere considerati prevalenti i fenomeni di invaso in rete rispetto a quelli di traslazione.
- i bacini di tipo urbano, ove ai fini della formazione degli idrogrammi di piena sono prevalenti i fenomeni di traslazione rispetto a quelli di invaso, ma tali fenomeni non sono più legati alla morfologia naturale ma alle caratteristiche delle reti fognarie che innervano il bacino stesso.

Per la determinazione dell'idrogramma unitario istantaneo delle due tipologie di bacino sopra citato, si utilizzano metodi di calcolo differenti, descritti per sommi capi nel seguito.

### **5.1.1 Modalità di descrizione dei bacini urbani: metodo di corrivazione con curva area – tempi lineare**

Per quanto concerne i bacini urbani, si è fatto riferimento al *metodo cinematico della corrivazione con curva area tempi lineare*.

Il metodo di corrivazione schematizza il bacino come un insieme di canali lineari per i quali valgono le seguenti ipotesi:

- la formazione della piena è dovuta esclusivamente ad un fenomeno di trasferimento della massa liquida;
- il percorso di ogni singola goccia d'acqua, dal punto in cui essa cade alla sezione di chiusura, rimane immutato nel corso dell'evento;
- il movimento di ogni singola goccia non è influenzato dalla presenza delle altre gocce;
- la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle varie aree del bacino, che si presentano allo stesso istante alla sezione di chiusura.

Con tali ipotesi, l'idrogramma unitario istantaneo assume la seguente forma:

$$u(t) = \frac{1}{A} \cdot \frac{dA(t)}{dt} \quad \text{per } t \leq T_c$$

ove  $A$  è l'area del bacino e  $T_c$  è il tempo di corrivazione del bacino, definito come il tempo necessario ad una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino lungo il percorso idraulicamente più lungo. In base alle ipotesi sopra definite, si ammette che tale tempo sia una costante caratteristica del bacino sotteso alla sezione considerata, indipendente dall'evento meteorico e dalle diverse condizioni stagionali della superficie del bacino stesso.

Per l'applicazione del metodo di corrivazione occorre individuare preliminarmente la cosiddetta curva "aree-tempi"  $A(t)$  del bacino: essa rappresenta le aree  $A$  del bacino comprese tra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al generico tempo  $t$  di corrivazione, vale a dire la linea che unisce i punti del bacino che si trovano distanti temporalmente dalla sezione di chiusura di un medesimo valore  $t$  del tempo di corrivazione.

Nel caso dei bacini urbani la curva area – tempi non è più funzione della morfologia del terreno (come nel caso di un bacino extraurbano montano ove, con qualche approssimazione, la curva delle isocorrive può essere rapportata alla curva ipsografica) bensì del tracciato e delle caratteristiche intrinseche della rete fognaria (diametri, pendenze, materiali etc.). Stante la finalità e la portata dello Studio, per i bacini urbani, si è ritenuta un'approssimazione accettabile quella di considerare una curva area – tempi di tipo lineare, che porta a stimare un IUH di tipo costante.

Con tale approssimazione, il problema della descrizione idrologica dei bacini urbani si riconduce pertanto alla sola determinazione del tempo di corrivazione; poiché per i bacini urbani inseriti all'interno del modello è stato possibile determinare con ragionevole precisione il percorso della rete fognaria afferente a ciascun punto di chiusura individuato, è stato possibile determinare altresì il percorso lungo la rete di massimo sviluppo.

Il tempo di corrivazione dei bacini è stato determinato in base alla seguente relazione:

$$T_c = T_i + T_p$$

Ove

- $T_i$  è il tempo di ingresso in rete, ovvero il tempo massimo richiesto alla singola goccia d'acqua affluente per giungere fino ad un organo di intercettazione (gronda, caditoia, griglia) che la convogli in rete: tale tempo, nel nostro caso si ha una conoscenza di massima solo dei principali percorsi della rete, per cui si è assunto un tempo di ingresso in rete (intesa come "rete nota") nell'ordine di 10 o 20 minuti in funzione dell'estensione del bacino;
- $T_p$  è il tempo di percorrenza della rete, ovvero il tempo massimo richiesto all'acqua per giungere lungo la rete fino alla sezione di chiusura individuata. Esso viene determinato in via indicativa stabilendo una velocità di percorrenza lungo le tubazioni nell'ordine di 0.80 – 1.00 m/s.

### 5.1.2 Modalità di descrizione dei bacini di pianura: metodo dell'invaso

Per quanto concerne i bacini di pianura, si è utilizzata l'espressione dell'IUH dall'applicazione del *metodo dell'invaso*.

Tale metodo si basa sull'ipotesi che la formazione della piena del bacino avvenga per fenomeni di invaso simili a quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo ed a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della sua bocca di uscita.

Con tale ipotesi il fenomeno viene simulato dall'equazione di continuità:

$$p(t) - q(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

ove  $p(t)$  è la portata di precipitazione netta,  $q(t)$  è la portata nella sezione di chiusura del bacino e  $W(t)$  è il volume idrico invasato nel bacino.

Ammettendo che fra  $W(t)$  e  $q(t)$  esista un legame univoco e che tale legame sia di tipo lineare, ovvero esprimibile con una relazione del tipo:

$$W = k \cdot q$$

L'equazione di continuità assume la seguente espressione:

$$p(t) - q(t) = k \cdot \frac{dq(t)}{dt}$$

ove  $k$  è la costante di invaso del bacino.

In tale caso, l'espressione dell'IUH assume la seguente forma:

$$u(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-t/k}$$

Nel caso specifico, per la determinazione della costante di invaso si è partiti dalla stima di un ipotetico tempo di corrivazione del bacino, ottenuto come:

$$T_c = T_i + T_p$$

ove i parametri hanno la stessa definizione già vista nel §5.1.1, ma assumono valori differenti

- $T_i$  è il tempo di ingresso in rete, ovvero il tempo massimo richiesto alla singola goccia d'acqua affluente per giungere fino all'asta idrica principale che innerva il bacino: per tale termine si è imposto un valore pari a circa 10 minuti;
- $T_p$  è il tempo di percorrenza della rete, ovvero il tempo massimo richiesto all'acqua per giungere lungo la rete idrografica fino alla sezione di chiusura individuata. Esso viene determinato in via indicativa stabilendo una velocità di percorrenza nell'ordine di 0.50 m/s.

Sulla base della stima del tempo di corrivazione sopra citato, si è provveduto alla stima della costante di invaso attraverso la formula:

$$k = \left( \frac{1.12}{0.65} \right)^{\frac{1}{(n-1)}} \cdot T_c$$

Essendo  $n$  il parametro della C.P.C.

In base alla formula sopra citata, la costante di invaso assume un valore variabile in funzione del tempo di ritorno dell'evento considerato. La variabilità del coefficiente moltiplicativo di  $T_c$  è però molto limitata anche nell'ipotesi di C.P.C. a due parametri ambedue variabili, nel caso specifico, in cui si sono utilizzate le curve dell'ARPA in cui al variare del tempo di ritorno il coefficiente  $n$  resta costante, essa assume un valore pari a 0.476 per tutti gli eventi considerati.

Incidentalmente si pone in evidenza come la formula sopra citata porti a stimare costanti di invaso fortemente inferiori a quelle stimate in base alla formula classica che vuole che la costante di invaso sia pari al 70% del tempo di corrivazione.

## **5.2 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI INFILTRAZIONE**

Le perdite idrologiche per effetto dei fenomeni di infiltrazione sono state modellate attraverso l'utilizzo del metodo "Curve Number" del Soil Conservation Service (il Servizio Geologico) del governo degli Stati Uniti d'America.

Il metodo si basa sull'utilizzo della seguente equazione:

$$Q(t) = \frac{[P(t) - I_a]^2}{P(t) - I_a + S}$$

in cui:

- $Q(t)$  [mm] è l'altezza di deflusso all'istante  $t$ ;
- $P(t)$  [mm] è l'altezza di pioggia precipitata fino al medesimo istante;
- $I_a$  [mm] è definito Initial Abstraction o depurazione iniziale e rappresenta la parte della precipitazione che va ad invasarsi nelle depressioni superficiali o si infila senza dare origine al deflusso;
- $S$  [mm] è l'altezza d'acqua immagazzinabile nel terreno a saturazione.
- La determinazione di  $S$  viene effettuata sulla base della seguente relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

che riconduce la sua determinazione a quella del parametro CN (Curve Number), compreso tra 0 (massima infiltrazione, nessun deflusso) e 100 (terreno impermeabile, nessuna infiltrazione).

In sintesi il Metodo Curve Number modella il fenomeno di infiltrazione come un progressivo imbibimento del terreno: all'inizio dell'evento meteorico il terreno ha maggiore capacità di infiltrazione; man mano che aumenta la quantità di acqua infiltrata nel terreno, le capacità di assorbimento di questo diminuiscono fino a tendere ad un valore limite.

Il coefficiente CN è funzione della tipologia del terreno, dell'uso del suolo e delle condizioni di umidità del terreno agli inizi del terreno (o AMC, Antecedent Moisture Condition)

Nella Tabella 5.1 sono riportate le classi del terreno individuate dal Soil Conservation Service per la definizione dei coefficienti CN.

Nella Tabella 5.2 vengono riportati i valori del coefficiente CN, in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo, e facenti riferimento ad una condizione standard di AMC di tipo II. Per condizioni precedenti l'evento molto asciutte (tipo I) o molto umide (tipo III), l'SCS propone la tabella di conversione riportata in Tabella 5.3.

Group	Meaning
A	Soils having high infiltration rates even when thoroughly wetted and consisting chiefly deep to deep, well to excessively drained sands or gravels.
B	Soils having moderate infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of moderately deep to deep, moderately well to well-drained soils with moderately fine to moderately coarse textures. E.g. shallow loess, sandy loam
C	Soils having slow infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of soils with a layer that impedes downward movement of water, or soils with moderately fine to fine textures. E.g. clay loams, shallow sandy loam.
D	High runoff potential. Soils having very slow infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of clay soils with a high swelling potential, soils with a permanent high water table, soils with a clay-pan or clay layer at or near the surface, and shallow soils over nearly impervious material.

**Tabella 5.1: NRCS Hydrologic Soil Group Definitions riportate dal Manuale d'Uso del codice SWMM 5.0 (EPA, Novembre 2004).**

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land				
Without conservation treatment	72	81	88	91
With conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or rangeland				
Poor condition	68	79	86	89
Good condition	39	61	74	80
Meadow				
Good condition	30	58	71	78
Wood or forest land				
Thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
Good cover <sup>1</sup>	25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf, courses, cemeteries, etc.				
Good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
Fair condition: grass cover on 50-75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential <sup>2</sup>				
Average lot size (% Impervious <sup>3</sup> )				
1/8 ac or less (65)	77	85	90	92
1/4 ac (38)	61	75	83	87
1/3 ac (30)	57	72	81	86
1/2 ac (25)	54	70	80	85
1 ac (20)	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. <sup>4</sup>	98	98	98	98
Streets and roads				
Paved with curbs and storm sewers <sup>4</sup>	98	98	98	98
Gravel	76	85	89	91
Dirt	72	82	87	89

1. Good cover is protected from grazing and litter and brush cover soil.  
 2. Curve numbers are computed assuming that the runoff from the house and driveway is directed toward the street with a minimum of roof water directed to lawns where additional infiltration could occur.  
 3. The remaining pervious areas (lawn) are considered to be in good pasture condition for these curve numbers.  
 4. In some warmer climates of the country a curve number of 95 may be used.

**Tabella 5.2: SCS Curve Numbers riportati dal Manuale d'Uso del codice SWMM 5.0 (EPA, Novembre 2004), ripresi da: SCS Urban Hydrology for Small Watersheds, 2<sup>nd</sup> Ed., (TR-SS), June 1986 e riferiti ad una Antecedent Moisture Condition II.**

<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
22	40	60
15	30	50
9	20	37
4	10	22
0	0	0

**Tabella 5.3: Conversione dei coefficienti CN dalle condizioni di AMC standard (tipo II) alle condizioni di tipo I o di tipo III (riportata da: CSIU e altri, Manuale d'Uso del codice URBIS 2003, Milano 2003).**

Nel caso in esame, per la determinazione dei gruppi idrologici per i bacini di interesse, si è fatto riferimento al contenuto della Carta Idrogeologica della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio di Lonato, che individua terreni riconducibili a suoli dei tipi A, B e D descritti in Tabella 5.2.

Per quanto concerne l'attribuzione dell'uso dei suoli presente sul territorio preso in esame si è fatto riferimento a quanto contenuto all'interno delle carte del Progetto DUSAF, elaborato dalla Regione Lombardia e dall'ERSAF, edizione.

Si è fatto riferimento a tali elaborati (di pubblico dominio) sia in riferimento alla serietà degli Enti che li hanno redatti, sia al loro aggiornamento, sia alla scala cui sono redatti 1:10'000, del tutto sovrapponibile al grado di dettaglio e di approfondimento del presente Studio.

Ai fini del presente Studio le molteplici tipologie di uso dei suoli presenti nella banca dati del Progetto DUSAF sono state normalizzate e ricondotte ad alcune tipologie principali.

Per l'individuazione delle tipologia normalizzate e per la definizione preliminare dei valori dei coefficienti CN da attribuire a ciascuna tipologia e a ciascun gruppo idrologico, si è fatto riferimento a quanto contenuto all'interno dello *Studio di Sistemazione Idraulica dei Bacini Idrografici Afferenti al Territorio del Comune di Brescia* – redatto dal Prof. Ing. Baldassarre Bacchi ed altri, per conto della Regione Lombardia - Direzione Generale OO.PP. e Protezione Civile - Servizio Difesa del suolo nell'anno 2000.

Ancorché tale Studio concerna un territorio diverso da quello del presente Studio, nondimeno la metodologia di normalizzazione degli usi dei suoli (e quindi la razionalizzazione dei molteplici usi riportati dalla base dati DUSAF in un numero limitato di tipologie omogenee) appare sovrapponibile agli scopi del presente Studio.

Nell'ambito dello Studio del Prof. Ing. Bacchi i molteplici usi dei suoli presenti all'interno del bacino di interesse vennero ricondotti a 8 (AFFIORAMENTI LITOIDI, ARBUSTETI, BOSCHI, CAVE, PRATI, SEMINATIVI, URBANIZZAZIONE e VIGNETI), ciascuno (tranne gli affioramenti litoidi e le aree urbanizzate) caratterizzati da uno specifico valore del coefficiente CN relativo ad ogni gruppo idrologico.

All'interno del presente Studio è stato aggiunto un ulteriore uso, relativo agli specchi d'acqua (ACQUA), e l'uso del suolo URBANIZZAZIONE è stato diviso in tre usi diversi cui corrispondono tre gradi di impermeabilizzazione crescenti (URBANIZZAZIONE RADA, URBANIZZAZIONE MEDIA e URBANIZZAZIONE ALTA).

La perimetrazione delle aree caratterizzate dall'appartenenza a differenti gruppi idrologici (A, B, C, D) è riportata all'interno della Tavola 04, ove essa è sovrapposta all'uso dei suoli.

I valori dei coefficienti CN relativi ad ogni tipologia di uso del suolo riportati all'interno dello Studio del Prof. Ing. Bacchi sono stati desunti da quanto ivi proposto (per alcuni usi del suolo caratterizzati da caratteristiche particolari, quali gli affioramenti litoidi) e da quanto proposto dal SCS e riportato all'interno della precedente Tabella 5.2.

Nella Tabella 5.4 sono riportati i coefficienti CN relativi a ciascun tipo di uso del suolo e a ciascun gruppo idrologico.

Tipologia di Uso del suolo riportato all'interno dello Studio Regionale	Gruppo idrologico			
	A	B	C	D
ACQUA	0	0	0	0
AFFIORAMENTI LITOIDI	70	70	70	70
ARBUSTETI	45	66	77	83
BOSCHI	45	66	77	83
CAVE	75	75	75	75
PRATI	39	61	74	80
SEMINATIVI	62	71	78	81
STRADE	98	98	98	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	54	70	80	85
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	57	72	81	86
URBANIZZAZIONE RADA 25%	77	85	90	92
VIGNETI	70	79	84	88

**Tabella 5.4** **Attribuzione dei coefficienti CN a ciascun tipo di uso dei suoli riportato all'interno del presente Studio e del gruppo idrologico del suolo in base ai contenuti dello Studio Regione Lombardia – Direzione Generale OO.PP.-Protezione Civile (1999)**

La Tabella 5.5 rappresenta la tabella di conversione tra gli usi del suolo riportati in Tabella 5.4 e quelli riportati all'interno del Progetto DUSAF.

Per ciascun bacino il coefficiente CN risultante viene determinato come media ponderale sulle aree di quello attribuito alle aree elementari che lo compongono.

A livello grafico, tale operazione è riportata all'interno della Tavola 04; il calcolo di dettaglio bacino per bacino è riportato all'interno del §5.3.

<b>Tipologie di uso del suolo come riportate all'interno del Progetto "DUSAF" (ERSAF – Regione Lombardia)</b>	<b>Tipologie di uso del suolo come riportate all'interno dello Studio Regionale</b>
Aree degradate non utilizzate e non vegetate	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Aree verdi incolte	PRATI
Boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	BOSCHI
Cantieri	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Cascine	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Cespuglieti in aree di agricole abbandonate	ARBUSTETI
Colture floro-vivaistiche a pieno campo	VIGNETI
Impianti di servizi pubblici e privati	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Impianti sportivi	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Insedimenti industriali, artigianali, commerciali	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Insedimenti produttivi agricoli	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Oliveti	VIGNETI
Parchi e giardini	PRATI
Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	PRATI
Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	PRATI
Reti ferroviarie e spazi accessori	STRADE
Reti stradali e spazi accessori	STRADE
Seminativi semplici	SEMINATIVI
Tessuto residenziale continuo mediamente denso	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Tessuto residenziale denso	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Tessuto residenziale discontinuo	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Tessuto residenziale sparso	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Vigneti	VIGNETI

**Tabella 5.5 Tabella di conversione tra le tipologie di uso del suolo riportate all'interno del Progetto DUSAF e quelle riportate all'interno dello Studio del Prof. Ing. Bacchi utilizzata ai fini del presente Studio**

### **5.3 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDROLOGICI DEI BACINI DI INTERESSE**

All'interno dei paragrafi seguenti si riportano per sommi capi le elaborazioni svolte su ciascun bacino inserito all'interno del bacino idrologico con la finalità di definire i parametri descrittivi di ciascuno di essi richiesti dal codice di calcolo HEC-HMS.

#### **5.3.1 Bacino urbano "B\_FOGNA\_VIAMOLINI".**

Il bacino urbano B\_FOGNA\_VIAMOLINI comprende la pressoché totalità delle aree urbanizzate a Nord di Via Roma e a Est della Roggia Lonata.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini urbani, la stima del tempo di corrivazione nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	
Lunghezza asta principale	[km]	2.01903
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	20
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	1.00
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	33.65
<b>Tempo di corrivazione stimato</b>	<b>[minuti]</b>	<b>53.65</b>

**Tabella 5.6: determinazione dei parametri idrologici per il bacino "B\_FOGNA\_VIAMOLINI".**

<b>Tipo</b>	<b>Area [ha]</b>	<b>Gruppo idrologico</b>	<b>Coefficiente CN Attribuito</b>
ARBUSTETI	0.66	D	83
BOSCHI	0.08	D	83
PRATI	0.59	A	39
PRATI	2.84	B	61
PRATI	1.22	D	80
SEMINATIVI	5.97	A	62
SEMINATIVI	2.21	B	71
SEMINATIVI	9.77	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	2.42	B	85
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	2.13	D	92
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	5.04	A	57
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	36.63	B	72
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	17.85	D	86
URBANIZZAZIONE RADA 25%	1.97	A	54
URBANIZZAZIONE RADA 25%	3.48	B	70
URBANIZZAZIONE RADA 25%	4.01	D	85
VIGNETI	1.58	B	79
VIGNETI	9.95	D	88
<b>VALORE RISULTANTE</b>	<b>108.40</b>		<b>75.89</b>

**Tabella 5.7 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "B\_FOGNA\_VIAMOLINI".**

### 5.3.2 Bacino urbano "B\_FOGNA\_VIAPASINI".

Il bacino urbano B\_FOGNA\_VIAPASINI comprende le aree dell'area artigianale posta tra la ex S.S. 11 e la Ferrovia Milano – Venezia, che drenano su una rete bianca dedicata con recapito nel 2° Comizio della Roggia Lonata immediatamente a monte dell'attraversamento ferroviario.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini urbani, la stima del tempo di corrivazione nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	
Lunghezza asta principale	[km]	0.42752
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	10
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	1.00
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	7.13
<b>Tempo di corrivazione stimato</b>	<b>[minuti]</b>	<b>17.13</b>

**Tabella 5.8: determinazione dei parametri idrologici per il bacino "B\_FOGNA\_VIAPASINI".**

<b>Tipo</b>	<b>Area [ha]</b>	<b>Gruppo idrologico</b>	<b>Coefficiente CN Attribuito</b>
PRATI	0.28	A	39
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	10.49	A	77
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.00	A	57
<b>VALORE RISULTANTE</b>	<b>10.77</b>		<b>76.02</b>

**Tabella 5.9 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "B\_FOGNA\_VIAPASINI".**

### 5.3.3 Bacino urbano "B\_FOGNA\_VIAMORO".

Il bacino urbano B\_FOGNA\_VIAMORO comprende le aree dell'area artigianale posta tra la ex S.S. 11 e la Ferrovia Milano – Venezia, che non drenano sulla rete bianca dedicata con recapito nel 2° Comizio della Roggia Lonata immediatamente a monte dell'attraversamento ferroviario.

Non è chiaro dove drenino tali aree, in quanto le reti al loro servizio non sono ad oggi cartografate; tuttavia, in considerazione del fatto che non esistono attraversamenti ferroviari attivi e funzionanti tra quello del 3° e 4° Comizio e quello del 2° Comizio si ritiene che esse siano servite da un sistema di perdenti.

In ogni caso, quale che sia il loro sistema di drenaggio, per eventi con tempo di ritorno centennale con tutta probabilità la rete presenterà fenomeni importanti di insufficienza e, pertanto, l'area sarà sede di fenomeni di scorrimento superficiale verso le zone geodeticamente più ribassate, ovvero il sottopasso di Via Pasini: nel presente modello idrologico si è pertanto individuato tale nodo come sezione di chiusura del bacino.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini urbani, la stima del tempo di corrivazione nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	
Lunghezza asta principale	[km]	0.75623
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	10
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	1.00
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	12.60
<b>Tempo di corrivazione stimato</b>	<b>[minuti]</b>	<b>22.60</b>

**Tabella 5.10: determinazione dei parametri idrologici per il bacino "B\_FOGNA\_VIAMORO".**

<b>Tipo</b>	<b>Area [ha]</b>	<b>Gruppo idrologico</b>	<b>Coefficiente CN Attribuito</b>
PRATI	0.03	A	39
SEMINATIVI	0.02	A	62
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	10.51	A	77
URBANIZZAZIONE RADA 25%	3.85	A	54
<b>VALORE RISULTANTE</b>	<b>14.40</b>		<b>70.76</b>

**Tabella 5.11 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "B\_FOGNA\_VIAMORO".**

### 5.3.4 Bacino di pianura "B\_SCAR\_1COMIZIO\_MONTE"

Il bacino "B\_SCAR\_1COMIZIO\_MONTE" comprende le aree non urbanizzate che drenano sullo Scaricatore del 1° Comizio, a monte dell'attraversamento della Roggia Lonata; si tratta di un bacino con caratteristiche riconducibili principalmente a quelle di un bacino di pianura.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini di pianura, la stima del tempo di corrivazione e della costante di invaso nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	
Lunghezza asta principale	[km]	2.15882
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	10.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	0.50
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	71.96
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	81.96
<b>Costante di invaso</b>	<b>[minuti]</b>	<b>38.00</b>

**Tabella 5.12: determinazione della costante di invaso per il bacino "B\_SCAR\_1COMIZIO\_MONTE".**

<b>Tipo</b>	<b>Area [ha]</b>	<b>Gruppo idrologico</b>	<b>Coefficiente CN Attribuito</b>
ARBUSTETI	0.03	B	66
ARBUSTETI	0.40	D	83
BOSCHI	0.03	B	66
BOSCHI	1.44	D	83
PRATI	0.59	A	39
PRATI	1.47	B	61
SEMINATIVI	20.61	A	62
SEMINATIVI	22.67	B	71
SEMINATIVI	18.80	D	81
STRADE	0.00	B	98
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.22	A	57
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.15	B	72
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.97	D	86
URBANIZZAZIONE RADA 25%	2.38	A	54
URBANIZZAZIONE RADA 25%	2.60	B	70
URBANIZZAZIONE RADA 25%	4.69	D	85
VIGNETI	0.26	A	70
VIGNETI	6.18	B	79
VIGNETI	12.02	D	88
<b>VALORE RISULTANTE</b>	<b>95.52</b>		<b>73.91</b>

**Tabella 5.13** Determinazione del coefficiente CN per il bacino "B\_SCAR\_1COMIZIO\_MONTE".

### 5.3.5 Bacino di pianura "B\_SCAR\_1COMIZIO\_VALLE"

Il bacino "B\_SCAR\_1COMIZIO\_VALLE" comprende le aree non urbanizzate che drenano sullo Scaricatore del 1° Comizio / 2° Comizio, a valle dell'attraversamento della Roggia Lonata; si tratta di un bacino con caratteristiche riconducibili principalmente a quelle di un bacino di pianura.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini di pianura, la stima del tempo di corrivazione e della costante di invaso nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	
Lunghezza asta principale	[km]	1.70394
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	10.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	0.50
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	56.80
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	66.80
<b>Costante di invaso</b>	<b>[minuti]</b>	<b>31.00</b>

**Tabella 5.14:** determinazione della costante di invaso per il bacino "B\_SCAR\_1COMIZIO\_VALLE".

<b>Tipo</b>	<b>Area [ha]</b>	<b>Gruppo idrologico</b>	<b>Coefficiente CN Attribuito</b>
PRATI	4.18	A	39
SEMINATIVI	35.27	A	62
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	2.22	A	77
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.81	A	57
URBANIZZAZIONE RADA 25%	3.25	A	54
VIGNETI	1.48	A	70
<b>VALORE RISULTANTE</b>	<b>47.22</b>		<b>60.28</b>

**Tabella 5.15 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "B\_SCAR\_1COMIZIO\_VALLE".**

### 5.3.6 Bacino di pianura "B\_VIVAIO"

Il bacino "B\_VIVAIO" comprende le aree non urbanizzate che drenano sullo Scaricatore del 3° - 4° Comizio: poiché tale manufatto di fatto risulta chiuso, le acque drenate da questo bacino a fronte di eventi meteorici estremi ruscelleranno per scorrimento superficiale verso il punto geodeticamente più depresso, ovvero il sottopasso di Via Pasini.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini di pianura, la stima del tempo di corrivazione e della costante di invaso nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	
Lunghezza asta principale	[km]	0.71115
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	20.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	0.50
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	23.71
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	43.71
<b>Costante di invaso</b>	<b>[minuti]</b>	<b>20</b>

**Tabella 5.16: determinazione della costante di invaso per il bacino "B\_VIVAIO".**

<b>Tipo</b>	<b>Area [ha]</b>	<b>Gruppo idrologico</b>	<b>Coefficiente CN Attribuito</b>
PRATI	0.60	A	39
SEMINATIVI	5.12	A	62
STRADE	0.00	A	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	3.67	A	77
URBANIZZAZIONE RADA 25%	0.44	A	54
VIGNETI	3.22	A	70
<b>VALORE RISULTANTE</b>	<b>13.05</b>		<b>66.88</b>

**Tabella 5.17 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "B\_VIVAIO".**

## 6. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Definiti i sottobacini afferenti alla sezione di chiusura, il passo successivo è stato quello di definire il

modello idraulico del sistema, ovvero di definire il comportamento della rete di canali e manufatti che raccoglie e convoglia gli apporti dei singoli sottobacini fino alla rete di chiusura.

### **6.1 SCELTA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DEL MODELLO**

Come si è detto, ai fini della valutazione della compatibilità idraulica delle nuove opere col vincolo di dissesto esistente, il corso d'acqua da prendere in esame è il tratto del 2° Comizio della Roggia Lonata che attraversa in direzione Nord – Sud lo stabilimento nella sua parte occidentale

All'interno di tale corso d'acqua i punti di immissione degli apporti di diversa origine provenienti da monte sono 2:

- l'apporto diretto del 2° Comizio, proveniente dai bacini a monte della Ferrovia Milano – Venezia attraverso il sottopasso della stessa;
- l'apporto indiretto dei bacini gravanti sul 3° e 4° Comizio attraverso la rete del sottopasso di Via Pasini.

Tali apporti si immettono all'interno del tratto del 2° Comizio di interesse ai fini del presente Studio in due punti diversi:

- il primo in testa al tratto di interesse, allo sbocco del tratto intubato sottopassante il parcheggio esterno allo stabilimento;
- il secondo, drenato da una rete fognaria bianca comunale che attraversa l'insediamento senza raccogliere apporti da questo, che si immette nell'asta principale dopo circa 100 metri del suo sviluppo.

Poiché ai fini dell'analisi idraulica delle modalità di deflusso del 2° Comizio è necessario sviluppare l'analisi su tutto il tratto che si sviluppa all'interno dell'insediamento, si debbono quantificare ambedue questi apporti e, pertanto, le sezioni di chiusura da considerare sono 2:

- il punto di ingresso del 2° Comizio all'interno dell'insediamento (nodo N02\_2COMIZIO);
- il punto di immissione degli apporti urbani nel 2° Comizio (Nodo N03\_2COMIZIO).

Come si vedrà, i vincoli geometrici presenti lungo la rete fanno sì che, indipendentemente dagli apporti teorici provenienti dai bacini di monte, gli apporti effettivi immessi dai due punti sopra citati sono di fatto a tutti gli effetti costanti durante l'evento meteorico.

### **6.2 MODELLAZIONE DELLE SEZIONI DI CONTROLLO PRESENTI LUNGO LA RETE DI CANALIZZAZIONI – NODI TIPO "DIVERSION" E NODI TIPO "BASIN"**

La rete di drenaggio del sistema facente capo al 2° Comizio della Roggia Lonata è caratterizzata dalla presenza di una serie di manufatti e opere il cui effetto, voluto o imposto dalle condizioni geometriche, è quello di spostare una parte delle acque convogliate da un corso d'acqua ad una differente asta idrica o fuori dal sistema.

Tali vincoli alla portata convogliata verso valle, per la rete oggetto di Studio sono riconducibili a due modalità di funzionamento principali:

1. i manufatti scaricatori presenti lungo la rete naturale: sono caratterizzati dal fatto di *convogliare verso valle lungo l'asta una porzione definita delle portate provenienti da monte*, variabile in funzione di queste ultime entro un certo range ma non eccedenti un valore massimo fissato.

*Le portate deviate dal nodo non sono pertanto fissate, sono al più imposte dalle condizioni geometriche del condotto di deviazione;*

2. i manufatti e le opere che impongono restringimenti alla sezione d'alveo dell'asta idrica su cui si collocano, tipicamente tratti tombati di una certa estensione caratterizzati dall'aver a monte la possibilità fisica di allontanare fuori dalla sezione d'alveo le portate eccedenti la capacità del manufatto.

Tali manufatti pertanto consentono di convogliare verso valle lungo l'asta *una portata massima non eccedente* un valore massimo fissato dalla geometria del sistema.

La corretta rappresentazione e modellazione di tali tipologie di nodi di deviazione è essenziale ai fini della capacità del modello di riprodurre in maniera ragionevolmente accurata le reali modalità di funzionamento della rete: in assenza di tali elementi i risultati del modello idrologico sono potenzialmente erronei, in quanto portano a determinare alla sezione di chiusura i valori idrologici *teorici* del sistema, laddove gli idrogrammi fisicamente riscontrati sul territorio sono molto più limitati.

Ancorché tali nodi abbiano caratteristiche e funzioni diverse (i primi sono vincoli voluti e imposti dal Gestore, i secondi sono vincoli de facto presenti sulla rete) ai fini del presente Studio essi vengono trattati in maniera indistinta; la differenziazione che viene fatta su tali nodi è legata *al destino delle acque eccedenti la capacità di convogliamento del vincolo*. Si sono pertanto distinti:

- nodi in cui *le portate eccedenti il valore massimo sono considerate perse* dal sistema, in quanto fuoriescono a monte del manufatto, dando luogo a fenomeni alluvionali localizzati: tali vincoli sono stati modellati come nodi di tipo "DIVERSION";
- nodi in cui *le portate eccedenti il valore massimo rientrano nel sistema*, in quanto sussistono ulteriori vincoli di tipo geometrico che di fatto impongono alle acque fuoriuscite di transitare obbligatoriamente attraverso il vincolo: tali vincoli sostanzialmente sono riconducibili alle modalità di funzionamento di bacini di laminazione (seppur impropri, dato che la laminazione avviene in superficie, sulle strade e sulle aree libere) e sono stati modellati come nodi di tipo "BASIN".

Nei paragrafi che seguono si tratteranno singolarmente i manufatti di controllo presenti lungo la rete, descrivendo per ciascuno di essi le motivazioni e i calcoli che hanno portato a definire il valore di soglia inserito nel modello idrologico.

### **6.2.1 Rete fognaria di Via Molini (Nodo FOGNA\_VIAMOLINI): nodo tipo DIVERSION**

Il nodo FOGNA\_VIAMOLINI ha la funzione di modellare le modalità di deflusso degli apporti di tipo urbano drenati dalla rete fognaria che si immette poi nel 3° e 4° Comizio.

Il vincolo fisico alle portate immesse nel 3° e 4° Comizio è dato dalla geometria della tubazione (CLS DN 1000 mm) e con esso la portata massima convogliabile, ma la compiuta descrizione delle modalità di deflusso lungo la rete e l'effettiva quantificazione delle portate immesse in tale condotta richiederebbero una modellazione di dettaglio dell'intera rete fognaria: considerato che le reti fognarie sono, nella migliore delle ipotesi, progettate su eventi meteorici con tempo di ritorno decennale o ventennale e che l'evento di riferimento ai fini del presente Studio è quello centennale è estremamente probabile che, in realtà, per tale evento lungo la rete fognaria si abbiano diffusi ed estesi eventi alluvionali che potrebbero limitare ulteriormente le portate convogliate al recapito finale.

Lo studio di dettaglio delle modalità di risposta della rete fognaria ad eventi meteorici intensi caratterizzati da tempo di ritorno superiore a 10 – 20 anni con la finalità di evidenziare l'effettiva localizzazione dei fenomeni di insufficienza esula dalle finalità del presente Studio ed attiene piuttosto a quello dell'analisi di drenaggio urbano.

Ai fini del presente Studio si è invece considerato un approccio semplificato a favore di sicurezza: si è cioè preso in esame il condotto finale della rete e si è quantificata la portata transitabile al suo interno: sicuramente, indipendentemente dalle modalità di funzionamento della rete, la portata immessa nel 3° e 4° Comizio non può eccedere tale valore.

In ragione dell'estensione della rete e della morfologia collinare del territorio drenato si è ritenuto più corretto modellare tale vincolo con un nodo di tipo DIVERSION: le portate fuoriuscite dalla rete per un evento centennale tenderanno a defluire lungo le strade e non necessariamente nuovamente verso la tubazione principale.

Ai fini della quantificazione delle portate massime convogliabili nel collettore principale si sono considerati i seguenti dati geometrici:

- diametro condotto: DN 1000 mm;
- materiale condotto: calcestruzzo;
- scabrezza interna secondo Strickler  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- pendenza del condotto: 0.005 m/m;
- **portata massima convogliabile: 1'655 l/s (grado di riempimento pari al 92%).**

In merito alla pendenza del tubo si è ipotizzato un valore di 0.005 m/m, che è un valore congruo per una tubazione di drenaggio urbano; non si è ritenuto di approfondire ulteriormente le valutazioni su tale aspetto in quanto a valle del manufatto sono presenti ulteriori e più stringenti vincoli geometrici.

#### **6.2.2 Nodo di confluenza tra la rete fognaria di Via Molini e il 3° e 4° Comizio (Nodo N02\_3-4COMIZIO): nodo tipo DIVERSION**

Il nodo di confluenza tra la rete fognaria di Via Molini e il 3° e 4° Comizio ha la funzione di modellare il vincolo geometrico imposto dal condotto del 3° e 4° Comizio, costituito da uno scatolare 80x120 cm.

Tale vincolo viene modellato con un nodo tipo DIVERSION in ragione della morfologia del territorio: le acque fuoriuscite dal 3° e 4° Comizio tendono naturalmente a defluire lungo Via Molini fino al punto geodeticamente più basso, costituito dal sottopasso di Via Pasini.

Nel modello pertanto le acque deviate dal nodo N02\_3-4COMIZIO in realtà non vengono considerate perse per il sistema ma traslate rigidamente verso il nodo che modella il deflusso delle acque attraverso il sottopasso di Via Pasini (nodo SP\_VIAPASINI02).

Ai fini della quantificazione delle portate massime convogliabili nel manufatto del 3° e 4° Comizio si sono considerati i seguenti dati geometrici:

- altezza condotto: 1200 mm;
- larghezza condotto: 800 mm;
- materiale condotto: calcestruzzo;
- scabrezza interna secondo Strickler  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- pendenza del condotto: 0.005 m/m;
- **portata massima convogliabile: 2'187 l/s (grado di riempimento pari al 92%).**

In merito alla pendenza del tubo si è ipotizzato anche in questo caso un valore di 0.005 m/m; non si è ritenuto di approfondire ulteriormente le valutazioni su tale aspetto in quanto a valle del manufatto sono presenti ulteriori e più stringenti vincoli geometrici.

### **6.2.3 Manufatto scaricatore del 3° e 4° Comizio (Nodo N03\_3-4COMIZIO): nodo tipo DIVERSION**

Il manufatto scaricatore del 3° e 4° Comizio ha la funzione di limitare le portate transitanti lungo l'attraversamento ferroviario, sifonato, da parte delle acque irrigue e poi attraverso i condotti di valle del 3° e del 4° Comizio, costituiti ciascuno da collettori incubati in PEAD DE-OD 1000 mm con pendenza pari a 0.195%.

Ai fini della portata convogliabile a valle si è pertanto fatto riferimento alle portate massime transitabili attraverso le tubazioni di valle, ciascuna delle quali è pertanto in grado di convogliare:

- diametro condotto: 853 mm;
- materiale condotto: PEAD;
- scabrezza interna secondo Strickler  $90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- pendenza del condotto: 0.0195 m/m;
- **portata massima convogliabile: 870 l/s (grado di riempimento pari al 92%).**

Ne consegue quindi che la portata transitabile attraverso il manufatto è pari a 1'740 l/s.

Anche questo nodo viene modellato come un nodo tipo DIVERSION: le portate fuoriuscite dal manufatto scaricatore tendono, per effetto della morfologia del territorio, a ruscellare lungo la sede stradale fino al punto geodeticamente più ribassato, costituito nuovamente dal sottopasso di Via Pasini.

Nel modello pertanto le acque deviate dal nodo N03\_3-4COMIZIO in realtà non vengono considerate perse per il sistema ma traslate rigidamente verso il nodo che modella il deflusso delle acque attraverso il sottopasso di Via Pasini (nodo SP\_VIAPASINI02).

### **6.2.4 Manufatto di attraversamento dello scaricatore del 1° Comizio della Roggia Lonata (Nodo N01\_2COMIZIO): nodo tipo DIVERSION**

Il vincolo alle portate transitabili attraverso tale manufatto è costituito dalla tubazione di attraversamento in sottopasso della Roggia principale, costituito da una tubazione in cls DN 1'000 mm:

- diametro condotto: DN 1000 mm;
- materiale condotto: calcestruzzo;
- scabrezza interna secondo Strickler  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- pendenza del condotto: 0.005 m/m;
- **portata massima convogliabile: 1'655 l/s (grado di riempimento pari al 92%).**

In merito alla pendenza del tubo si è ipotizzato un valore di 0.005 m/m; non si è ritenuto di approfondire ulteriormente le valutazioni su tale aspetto in quanto a valle del manufatto sono presenti ulteriori e più stringenti vincoli geometrici.

Il vincolo è stato modellato anche in questo caso come nodo DIVERSION in quanto non sono individuabili sul territorio caratteri morfologici che impediscano alle acque eccedenti la capacità di convogliamento del manufatto di spagliare sulle aree circostanti e, inoltre, è estremamente probabile che per eventi estremi quale quello considerato sia l'intera rete afferente al sottopasso a dar luogo a fenomeni alluvionali estesi e diffusi.

Nuovamente, per le finalità del presente Studio non si è ritenuto significativo fare un'analisi di dettaglio di tali fenomeni ma si è considerato a favore di sicurezza che, in ogni caso, la portata transitante attraverso il manufatto non può eccedere il valore sopra indicato.

### 6.2.5 Sottopasso di Via Pasini (Nodo SP\_VIAPASINI02): nodo tipo BASIN

Il sottopasso "vecchio" di Via Pasini è il punto geodeticamente più ribassato per tutte le aree che non drenano direttamente sul sottopasso del 2° Comizio ed è anche, in base ai sopralluoghi svolti, *l'unico punto rimasto di fuoriuscita di tali acque*, attraverso la tubazione che drena la griglia posta in fondo al sottopasso, costituita da una tubazione in cls DN 400 mm.

Su tale sottopasso come si è detto drenano le acque fuoriuscite dal 3° e 4° Comizio a seguito dell'immissione degli apporti fognari e per il manufatto scaricatore posto a monte dell'attraversamento ferroviario ma anche le acque dei bacini urbani e naturali propri.

Tale funzione idraulica del sottopasso di Via Pasini è confermata sia dalle caratteristiche geometriche rilevanti della griglia posta in corrispondenza di esso (dimensioni pari a circa 1.00 x 8.00 m), sia ai conclamati fenomeni alluvionali che interessano le strade a Nord del sottopasso e il sottopasso stesso.

Stante la morfologia del territorio, pertanto, il sottopasso di Via Pasini e le aree limitrofe ad esso svolgono la funzione impropria di laminare gli apporti meteorici provenienti da monte e, pertanto, vengono modellati con un nodo di tipo BASIN.

Ai fini della quantificazione della portata massima transitabile attraverso la condotta che drena la griglia si è considerato:

- diametro condotto: DN 400 mm;
- materiale condotto: calcestruzzo;
- scabrezza interna secondo Strickler  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- pendenza del condotto: 0.005 m/m;
- **portata massima convogliabile: 143 l/s (grado di riempimento pari al 92%).**

In merito alla pendenza del tubo si è ipotizzato anche in questo caso un valore di 0.005 m/m, valore congruo per una tubazione di drenaggio urbano: stante la sezione limitata del condotto la pendenza imposta per il tubo ha una rilevanza nel complesso limitata nella definizione delle portate convogliabili a valle (ipotizzando una pendenza pari a 1.0%, valore decisamente elevato, specie per un condotto che drena una superficie pianeggiante, la portata transitabile attraverso il manufatto diventa di 203 l/s).

### 6.2.6 Modellazione del sottopasso ferroviario del 2° Comizio e della tubazione entrante nello stabilimento "Feralpi" Nodo N02\_2COMIZIO.

La modellazione il più possibile precisa di tale nodo idraulico è un elemento di grande rilevanza ai fini del presente studio, per una serie di motivi:

- stante i vincoli presenti sulla parte orientale del territorio (il sottopasso di Via Pasini, vedasi §6.2.5), la maggior parte degli apporti meteorici in arrivo sull'asta idrica di interesse proviene dalla parte occidentale dello stesso e transita attraverso il sottopasso ferroviario;
- lungo il nodo idraulico sono presenti in successione rilevanti vincoli alle portate convogliabili: il sottopasso ferroviario in CLS DN 800 mm, la canaletta 800x700 mm, la tubazione CLS DN 800 mm che entra in stabilimento: non è a priori definibile quale di questi vincoli sia il più stringente o addirittura se

tali vincoli si influenzino mutuamente (ovvero che il rigurgito imposto dal vincolo di valle limiti le portate convogliabili in quello di monte);

- la morfologia del territorio impone inequivocabilmente che le portate entranti all'interno dell'area dello stabilimento siano tutte e sole quelle convogliabili attraverso il nodo idraulico: oltre al rilevante vincolo imposto dal rilevato ferroviario si deve segnalare anche quello imposto dalla recinzione cieca continua alta 2.00 m in cls dell'insediamento che impedisce l'ingresso in stabilimento di eventuali acque in superficie alle aree di parcheggio.

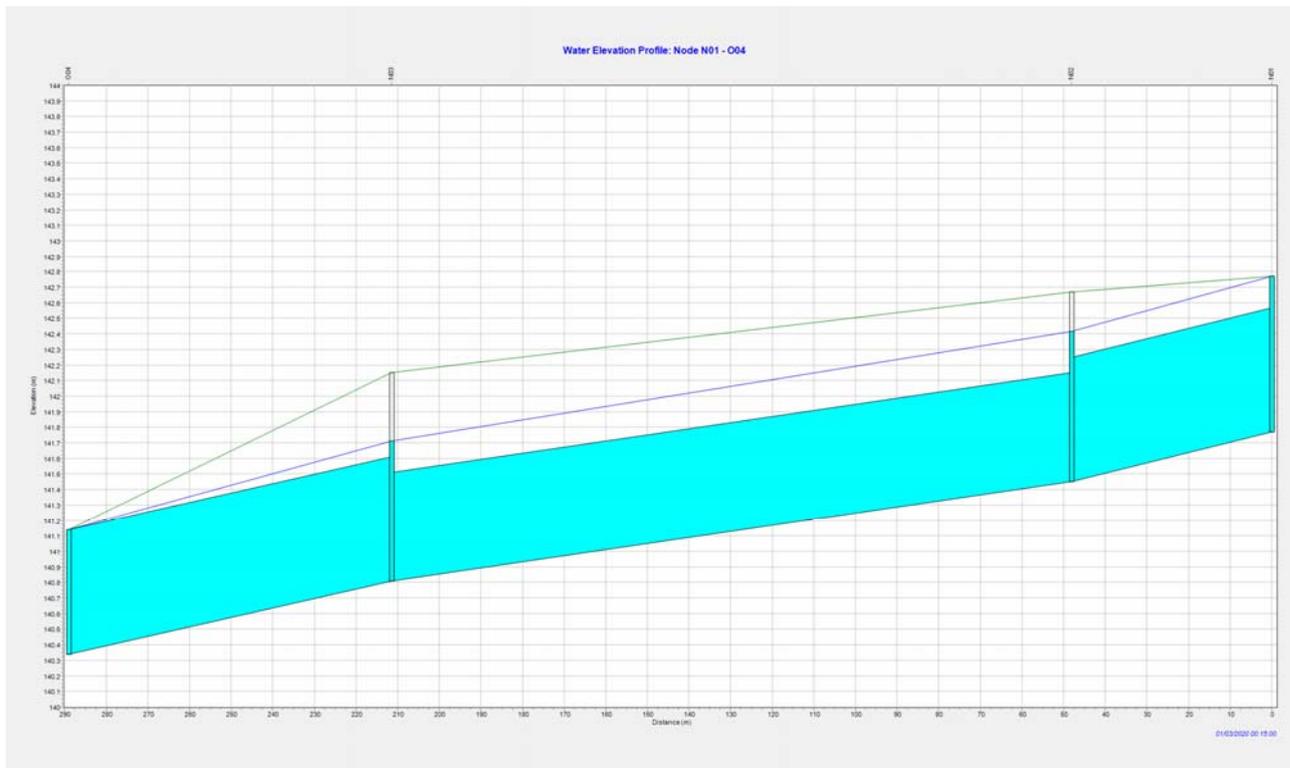
Ai fini della valutazione delle modalità di convogliamento attraverso il nodo idraulico si è pertanto redatto, sulla base di un rilievo celerimetrico delle caratteristiche degli elementi, un semplice modello matematico interpretativo delle modalità di funzionamento del nodo medesimo, con l'ausilio il codice SWMM 5.1, costituito da 3 nodi di linea, 3 condotti e 1 nodo di uscita, aventi le caratteristiche riportate in Tabella 6.1.

<b>Nodo</b>	<b>Tipo nodo</b>	<b>Condizione Di valle</b>	<b>Quota di fondo [m s.l.m]</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>X UTM [m]</b>	<b>Y UTM [m]</b>
N01	NODE	-	141.77	1.00	613945.290	5035511.350
N02	NODE	-	141.45	1.22	613928.468	5035466.312
N03	NODE	-	140.81	1.34	613775.594	5035523.754
O04	OUTFALL	NORMAL	140.34	-	613747.070	5035451.547
<b>Link</b>	<b>Tipo</b>	<b>Geometria [m]</b>	<b>Scabrezza (Manning)</b>	<b>Sviluppo [m]</b>	<b>Nodo di monte</b>	<b>Nodo di valle</b>
L01	Circolare	0.80	0.015	48.08	N01	N02
L02	Rett. Aperta	0.80x0.70	0.015	163.31	N02	N03
L03	Circolare	0.80	0.015	77.64	N03	O04

**Tabella 6.1 Parametri del modello SWMM interpretativo del nodo idraulico N02\_2COMIZIO**

**La portata massima convogliabile attraverso il nodo idraulico si ha quando l'acqua è alla quota del terreno nel nodo N01 (a monte dell'attraversamento ferroviario) (Figura 6.1) ed è pari a 984 l/s.**

Stanti le caratteristiche morfologiche del territorio, il nodo N02\_2COMIZIO è stato modellato come un nodo di tipo BASIN.



**Figura 6.1 Profilo longitudinale del modello interpretativo del nodo idraulico N02\_2COMIZIO al transito della portata massima**

### **6.3 MODELLAZIONE DEGLI APPORTI IRRIGUI (NODI SOURCES)**

Come si è detto, le aste idriche che direttamente o indirettamente drenano sull'area di interesse sono aste irrigue derivate dalla Roggia Lonata.

Nella definizione degli apporti drenati dal sistema, pertanto, si rende necessario quantificare non solo gli apporti meteorici ma anche gli apporti irrigui propri: essi, ad esempio, occupano una parte della capacità di convogliamento delle sezioni di controllo definite all'interno del precedente §6.2.

Nel caso specifico del presente Studio gli apporti irrigui non possono essere trascurati, in quanto sono del medesimo ordine di grandezza delle capacità di convogliamento del sistema (comprese in base a quanto visto in precedenza tra 140 e 2000 l/s circa).

Con specifico riferimento all'area di interesse gli apporti irrigui di interesse sono quelli:

- del 2° Comizio della Roggia Lonata, che drenano direttamente sulle aree del piano attuativo;
- del 3° e 4° Comizio della Roggia Lonata, in quanto limitano le capacità di convogliamento dell'asta idrica e pertanto aumentano la quota parte degli apporti meteorici convogliata verso il sottopasso di Via Pasini.

Tali apporti sono modellati nel codice HMS con nodi di tipo SOURCE (sorgente) e sono considerati come immissioni di portata costante nel sistema.

Per la quantificazione di tali portate si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall'Ente Gestore della Roggia Lonata e delle relative derivate, ovvero il Consorzio di Bonifica "Chiese".

Le portate irrigue massime convogliate nel sistema si hanno per dotazioni di 1.70 l/(s\*ha) e sono le seguenti:

- 2° Comizio: 273 l/s;
- 3° Comizio: 291 l/s;
- 4° Comizio: 297 l/s.

#### **6.4 MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA**

Le onde di piena convogliate da ciascun sottobacino o da ciascun nodo di raccolta o deviazione vengono raccolte dalla rete di canalizzazioni.

In generale nel moto lungo una rete si sommano due tipi di fenomeno: la traslazione temporale dei picchi di piena ed il loro smorzamento.

Le modalità di traslazione e smorzamento lungo la rete sono come ovvio funzione delle caratteristiche geometriche dei condotti di convogliamento (sezioni, materiali, pendenze).

La rete afferente alla sezione di chiusura considerata è caratterizzata da una significativa gamma di canalizzazioni aventi caratteristiche differenti, in termini di sezioni (in c.a. o in terra, a cielo aperto o tombati) e di pendenze.

Per le finalità del presente studio si è ritenuto opportuno introdurre delle ipotesi semplificative di prima approssimazione, ovvero:

- indipendentemente dalla sezione e dalla pendenza dei corsi d'acqua, si è imposto che la velocità di traslazione delle onde di piena lungo la rete di canalizzazioni sia nell'ordine di 1.00 m/s, in funzione dello sviluppo e delle caratteristiche ipotizzate per la rete di drenaggio;
- l'effetto di eventuali restringimenti di sezione a monte della sezione di chiusura non vengono considerati, a meno che tali restringimenti non avvengano in corrispondenza di manufatti che consentano l'effettiva fuoriuscita delle portate eccedenti la capacità idraulica del condotto di convogliamento.

A meno delle limitazioni indotte da tali manufatti, pertanto, le portate transitanti nella rete di canalizzazioni sono quelle teoriche derivanti dal calcolo idrologico;

- non viene considerato l'effetto di smorzamento dei picchi di piena lungo la rete di canalizzazioni: i picchi di piena vengono pertanto solo traslati lungo la rete.

All'interno del modello, pertanto, per ciascun ramo modellato, è stato impostato il tempo di traslazione che esso impone all'onda di piena proveniente da monte verso valle, funzione dello sviluppo longitudinale del tratto.

Nella tabella seguente sono pertanto riportate per esteso le caratteristiche dei tratti dei corsi d'acqua inseriti nel modello, l'asta idrica cui essi fanno riferimento, e i relativi tempi di traslazione (o lags) inseriti nel modello al fine di simulare l'effetto di tali tratti.

<b>Nome</b>	<b>Sviluppo [m]</b>	<b>Traslazione [minuti]</b>
LAG01_2COMIZIO	1'317.13	22
LAG01_3-4COMIZIO	421.84	7
LAG01_FOGNA	621.99	10

**Tabella 6.2: Caratteristiche della rete di drenaggio inserite nel modello HEC-HMS**

Il LAG01\_FOGNA descrive il percorso della rete fognaria che corre dal sottopasso di Via Pasini fino all'immissione all'interno del 2° Comizio all'interno dello stabilimento.

## 7. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO METEOROLOGICO

I parametri del modello meteorologico concernono la definizione degli eventi meteorici di riferimento ai fini della definizione degli idrogrammi di piena.

Ai fini del presente Studio si è fatto riferimento a ietogrammi di tipo "sintetico" costruiti dalla curva di possibilità pluviometrica corrispondente ad un dato tempo di ritorno T.

Per l'applicazione dei metodi afflussi – deflussi è necessario definire lo ietogramma lordo di progetto, necessario ai fini dell'integrazione dell'IUH.

Nel caso in esame il modello viene utilizzato introducendo in ingresso uno ietogramma di progetto "sintetico" costruito dalla curva di possibilità pluviometrica corrispondente ad un dato tempo di ritorno T.

Le curve di possibilità pluviometriche (CPC) vengono matematicamente rappresentate mediante funzioni esponenziali che assumono solitamente l'espressione:

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

dove h [mm] è l'altezza d'acqua corrispondente all'evento di durata t [ore], a [mm·h-n] ed n [-] sono due parametri dipendenti dalle caratteristiche meteoriche della zona e dal valore del tempo di ritorno T, che rappresenta il numero di anni in cui mediamente l'altezza h viene eguagliata o superata una sola volta.

Il valore dei parametri a ed n è in generale il risultato di elaborazioni statistiche effettuate a partire da registrazioni delle piogge disponibili presso le stazioni pluviometriche posizionate nel bacino di interesse o nelle sue immediate vicinanze.

I valori di a ed n ottenuti in corrispondenza di una stazione pluviometrica possono essere utilizzati direttamente solo nel caso il bacino di interesse abbia un'estensione limitata e sia circostante alla stazione. In tutti gli altri casi è necessario svolgere operazioni di ragguglio all'area sui valori puntuali ottenuti in corrispondenza delle stazioni pluviometriche, sia per tener conto del fatto che è improbabile che su un bacino di una certa estensione si abbia una precipitazione uniforme su tutta l'area, sia per ottenere, in base ai valori puntuali nelle stazioni per i parametri a ed n, i valori sui bacini posti tra due o più stazioni.

Nello specifico, ai fini della determinazione dei parametri della C.P.C. relativa al bacino di interesse, si è fatto riferimento ai risultati dell'operazione di ragguglio all'area recentemente eseguita da ARPA Lombardia, ove il territorio lombardo è stato suddiviso in celle quadrate di 1.5 km di lato, ciascuna caratterizzata da specifiche coppie di parametri (a, n) per ciascun tempo di ritorno considerato, in un range compreso fra 2 e 200 anni: la griglia di copertura del territorio (in formato ASCII) e i parametri assegnati a ciascuna cella sono liberamente disponibili sul sito di ARPA.

I parametri relativi al bacino afferente alla sezione di interesse sono stati ricavati mediante una pesatura sull'area del bacino dei parametri regionalizzati e interessanti il bacino in esame.

**Nel caso specifico, considerata la tipologia dell'analisi oggetto del presente Studio l'evento che è stato posto alla base della progettazione è quello centennale.**

Ai fini della completezza espositiva e della completa determinazione delle caratteristiche dei deflussi riguardanti l'area di interesse si è fatto riferimento anche ad eventi con tempo di ritorno di 10, 20 e 50 anni; le curve risultanti sono pertanto riportati nella Tabella 7.1.

Tempo di ritorno	Parametro n	Parametro a
2 anni	0.26788	25.40630
5 anni	0.26788	34.19104
10 anni	0.26788	40.22117
20 anni	0.26788	46.17097
50 anni	0.26788	54.12062
100 anni	0.26788	60.26697
200 anni	0.26788	66.55698

**Tabella 7.1 Parametri della Curva di Possibilità Climatica (C.P.C.) per il bacino di interesse in base alla regionalizzazione da parte di ARPA Lombardia.**

Ai fini del ragguaglio delle precipitazioni all'area del bacino, si è fatto riferimento alla formula di Moisello – Papiri:

$$R = 1 - \exp(-2.472 \cdot A^{-0.242} \cdot t^\beta) \text{ essendo } \beta = 0.6 - \exp(-0.643 \cdot A^{0.235})$$

Con:

- A= area del bacino in km<sup>2</sup>;
- t= durata di pioggia in ore.

Il coefficiente di ragguaglio dato dalla formula di Moisello – Papiri modifica la relazione della curva di possibilità climatica come segue:

$$h' = R \cdot a \cdot t^n$$

Essendo h l'altezza di pioggia ragguagliata.

La formula di Moisello – Papiri in base all'indicazione degli autori ha un campo di validità per bacini di dimensione compresa fra 5 e 800 km<sup>2</sup> e per piogge di durata compresa tra 15' e 12 ore.

Il significato della formula di ragguaglio all'area del bacino è quella di tenere conto del fatto che maggiormente un bacino è esteso, minore è la probabilità statistica che su tutto il bacino contemporaneamente si verifichi una pioggia di entità pari alla pioggia misurata nel punto centrale di scroscio: è verisimile pertanto che su bacini molto estesi gli eventi più critici tendano ad essere quelli più lunghi, singolarmente non critici per nessuno dei sottobacini drenati, ma che si combinano in modo da formare il massimo idrogramma.

La formula di Moisello – Papiri appare estremamente adatta allo scopo, in quanto non tiene conto solo dell'estensione del bacino (che porta a ridurre l'entità della pioggia massima), ma anche della durata della pioggia stessa, tendendo come si è detto ad 1 al crescere della durata di pioggia: tale risultato appare fisicamente logico: più una pioggia è di lunga durata più è probabile che venga ad interessare completamente il bacino.

Per l'individuazione della portata al colmo si sono utilizzati ietogrammi di tipo triangolari, con la posizione del picco di piena ad 1/3 della durata ed aventi durate differenti, così da individuare l'evento che comporti la massimizzazione dei volumi di piena da accumulare per un dato tempo di ritorno.

Le simulazioni svolte hanno preso in esame eventi di durata compresa fra 30 e 240 minuti;

## **8. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE**

All'interno del presente paragrafo sono riassunti i risultati principali delle modellazioni svolte sul modello idrologico, con particolare interesse sugli apporti che confluiscono sul ramo del 2° Comizio che attraversa lo stabilimento "Feralpi".

Il modello è ovviamente in grado di restituire, per ciascun evento considerato, gli idrogrammi di piena in ciascuna sezione (bacini, nodi e collegamenti); ai fini della trattazione riportata all'interno dei paragrafi che seguono saranno riportati solo i risultati di interesse, fermo restando la possibilità, per chi legge la presente relazione, di ricostruire in toto il modello predisposto in base alle informazioni contenute all'interno dei paragrafi 5, 6 e 7 e di ricavare pertanto ulteriori informazioni.

Sostanzialmente a causa dei vincoli geometrici presenti, le portate al colmo convogliate dai due apporti che confluiscono nel 2° Comizio sono le medesime per tutti gli eventi e per tutti i tempi considerati: a variare è la durata con cui queste portate si presentano.

Questo risultato era ampiamente atteso, in relazione ai vincoli geometrici presenti e alle approssimazioni modellistiche adottate (si è ad esempio trascurato, nei due nodi di attraversamento della ferrovia, qualsiasi effetto di dispersione dei volumi meteorici in ingresso: tutto quanto proviene da monte transita attraverso la sezione di controllo con le portate che essa consente).

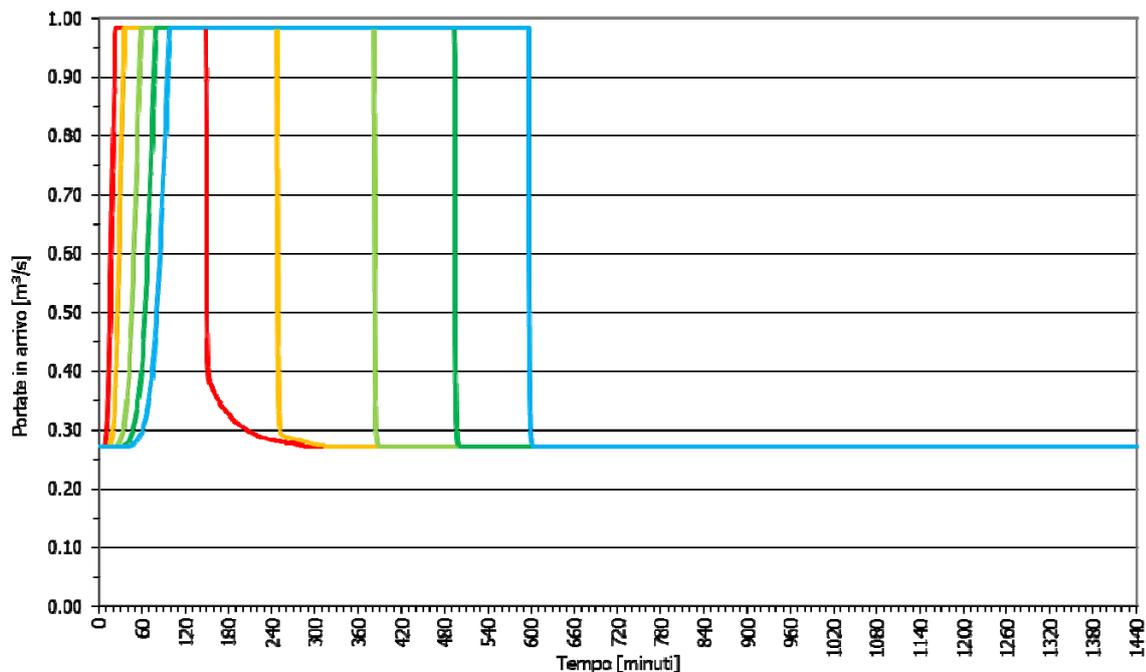
All'interno delle tabelle e dei grafici seguenti sono pertanto riassunti i risultati relativi alle sezioni di interesse per eventi di 10, 20, 50 e 100 anni di tempo di ritorno.

## 8.1 EVENTO DECENNALE

### 8.1.1 Ingresso dal 2° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	29'526	33'034	37'871	41'880	45'526
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984

**Tabella 8.1** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno decennale

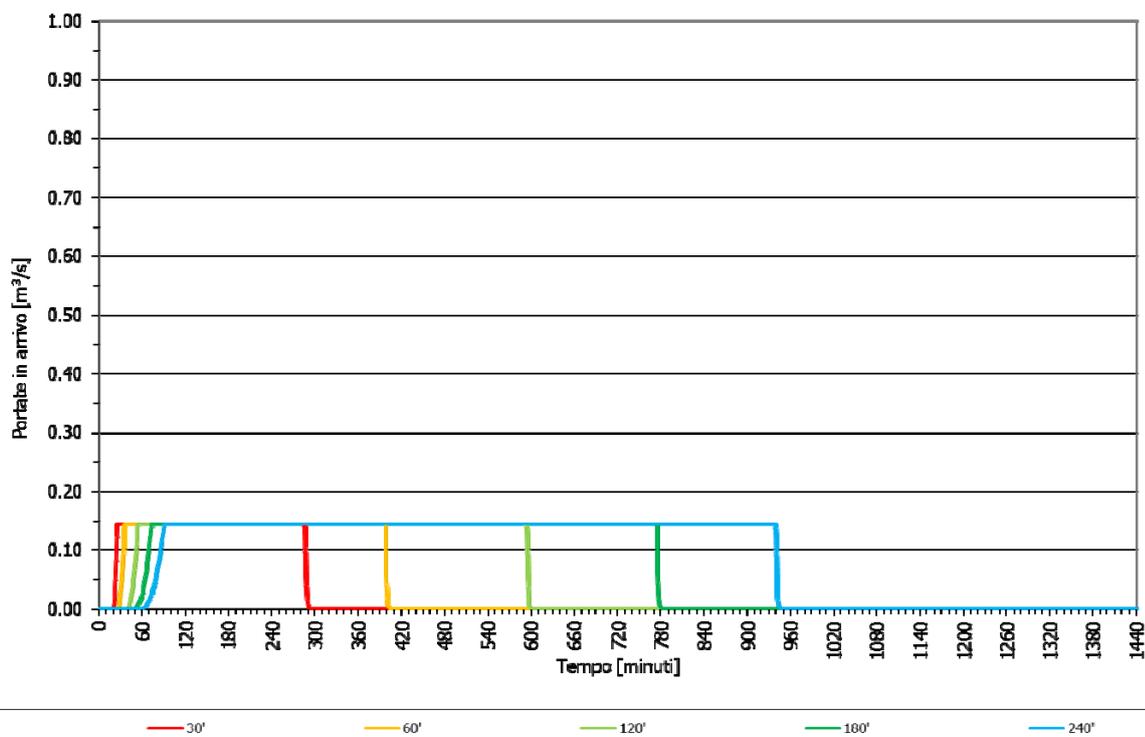


**Grafico 8.1** Andamento degli idrogrammi di piena , sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno decennale

### 8.1.2 Ingresso dal 3 e 4° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	2'283	3'170	4'716	6'143	7'435
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144

**Tabella 8.2** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno decennale



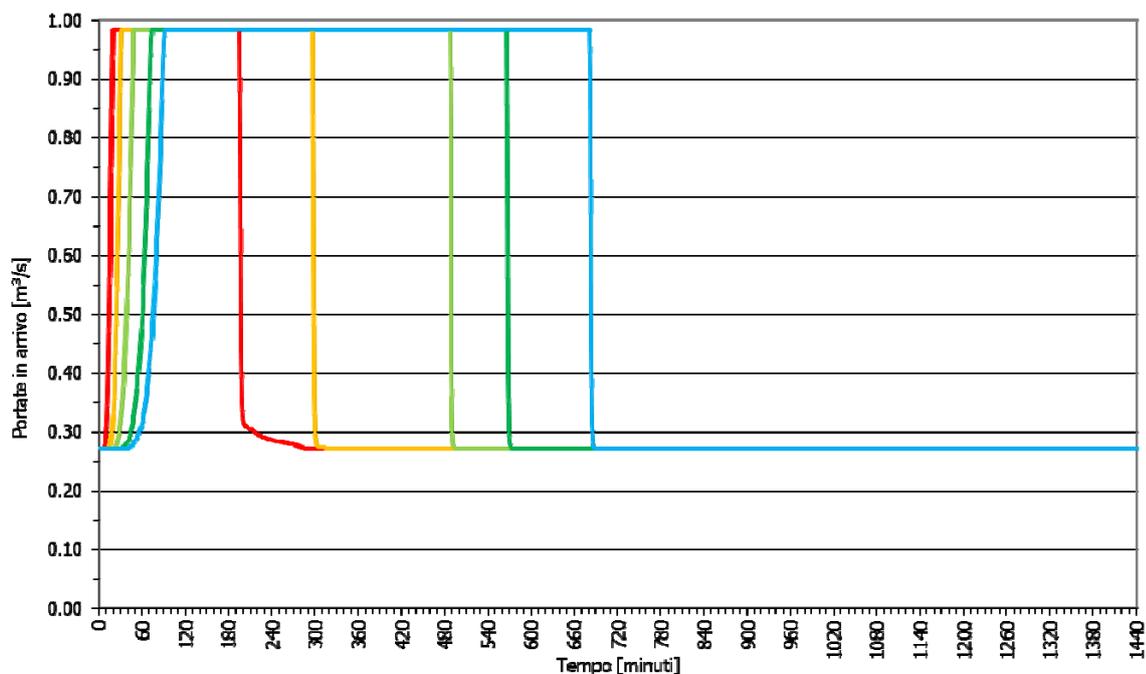
**Grafico 8.2** Andamento degli idrogrammi di piena, sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno decennale

## 8.2 EVENTO VENTENNALE

### 8.2.1 Ingresso dal 2° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	31'434	35'244	42'742	45'165	49'405
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984

**Tabella 8.3** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno ventennale

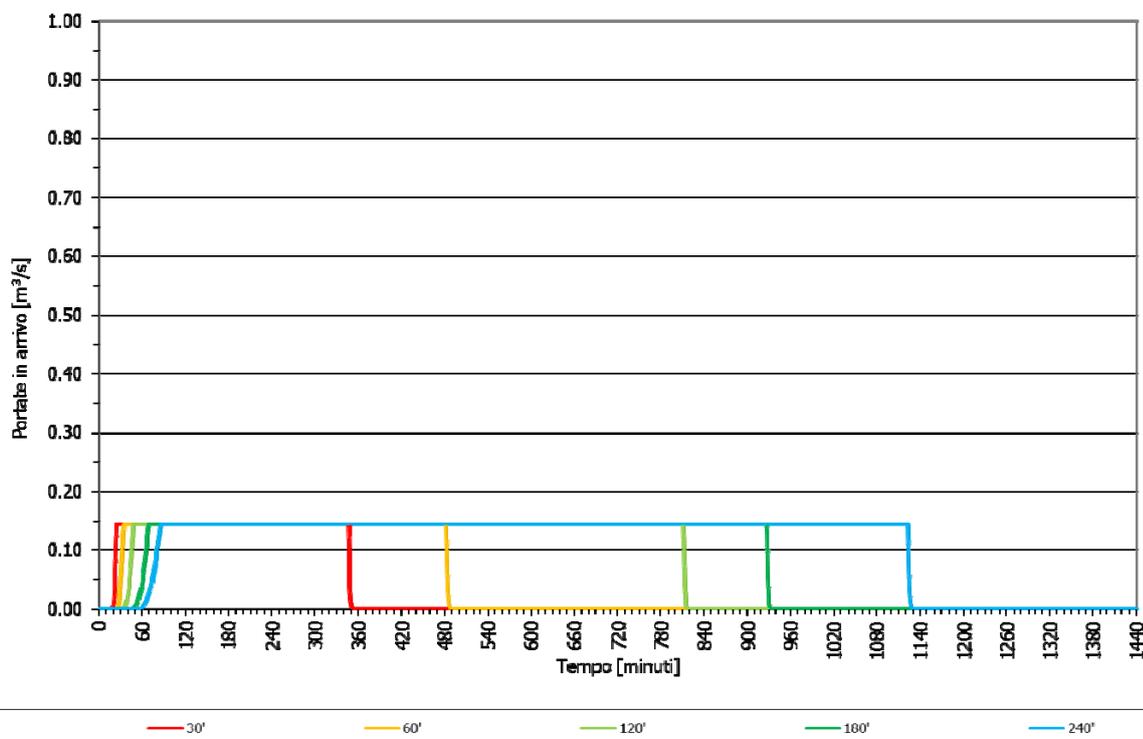


**Grafico 8.3** Andamento degli idrogrammi di piena, sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno ventennale

### 8.2.2 Ingresso dal 3 e 4° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	2'813	3'911	6'651	7'487	9'061
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144

**Tabella 8.4** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno ventennale



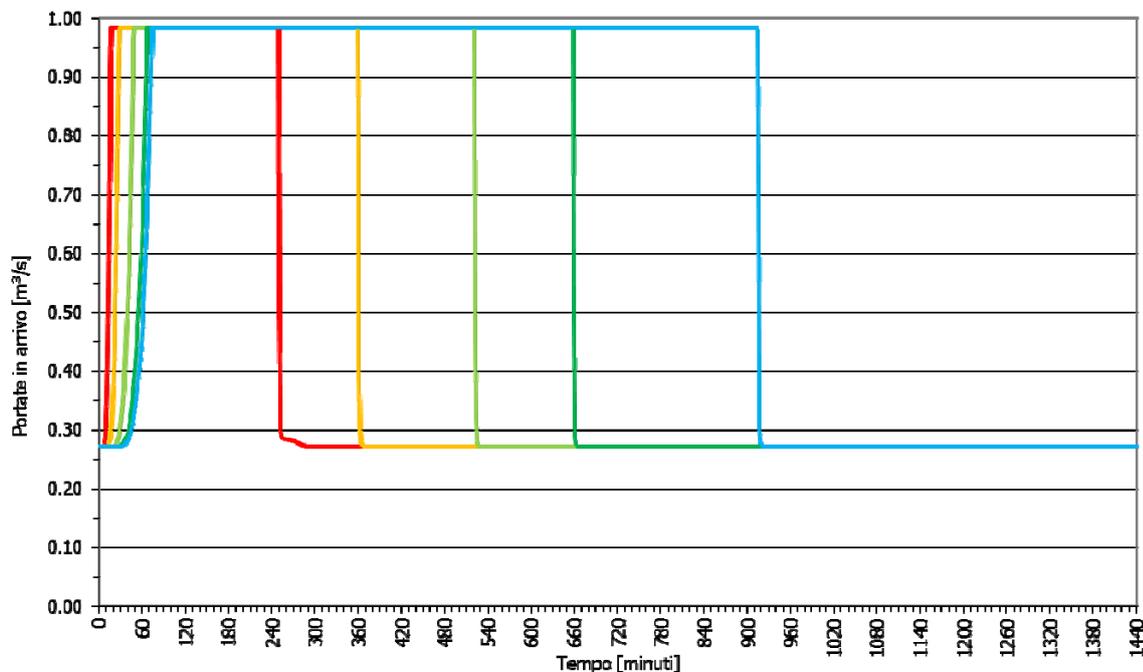
**Grafico 8.4** Andamento degli idrogrammi di piena , sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno ventennale

### 8.3 EVENTO CINQUANTENNALE

#### 8.3.1 Ingresso dal 2° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	33'707	37'993	44'122	49'265	59'964
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984

**Tabella 8.5** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno cinquantennale

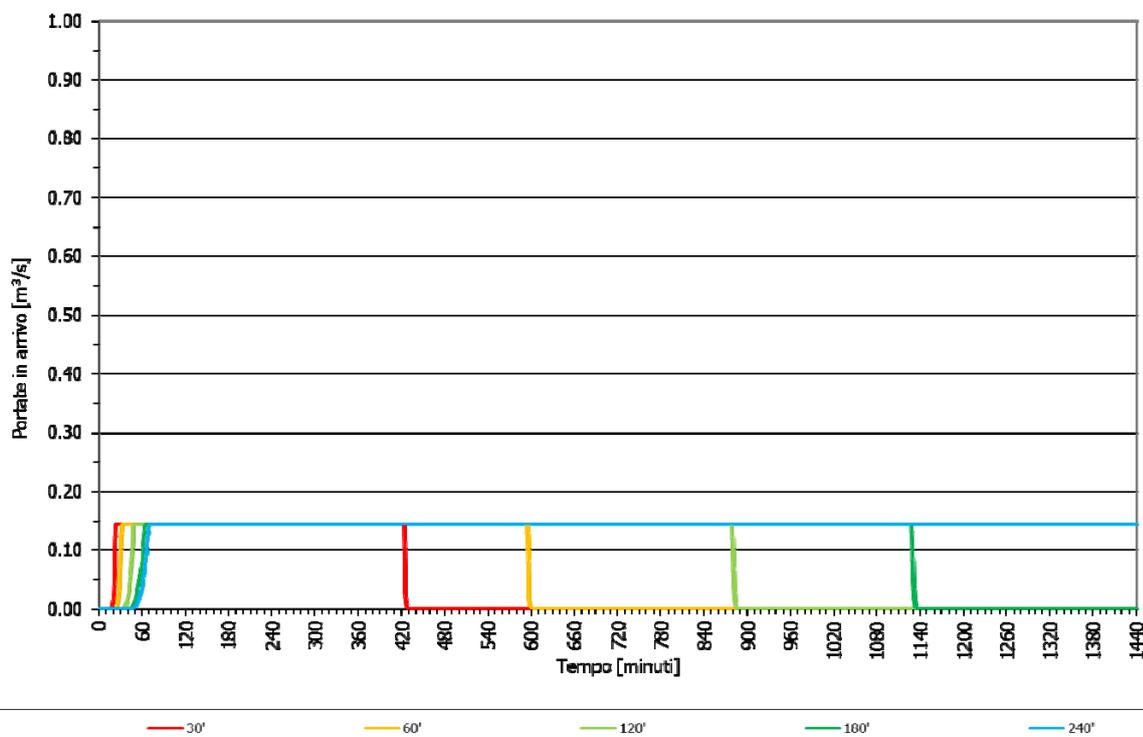


**Grafico 8.5** Andamento degli idrogrammi di piena , sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno cinquantennale

### 8.3.2 Ingresso dal 3 e 4° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	3'484	4'896	7'230	9'264	11'906 (parziale)
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144

**Tabella 8.6** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno cinquantennale



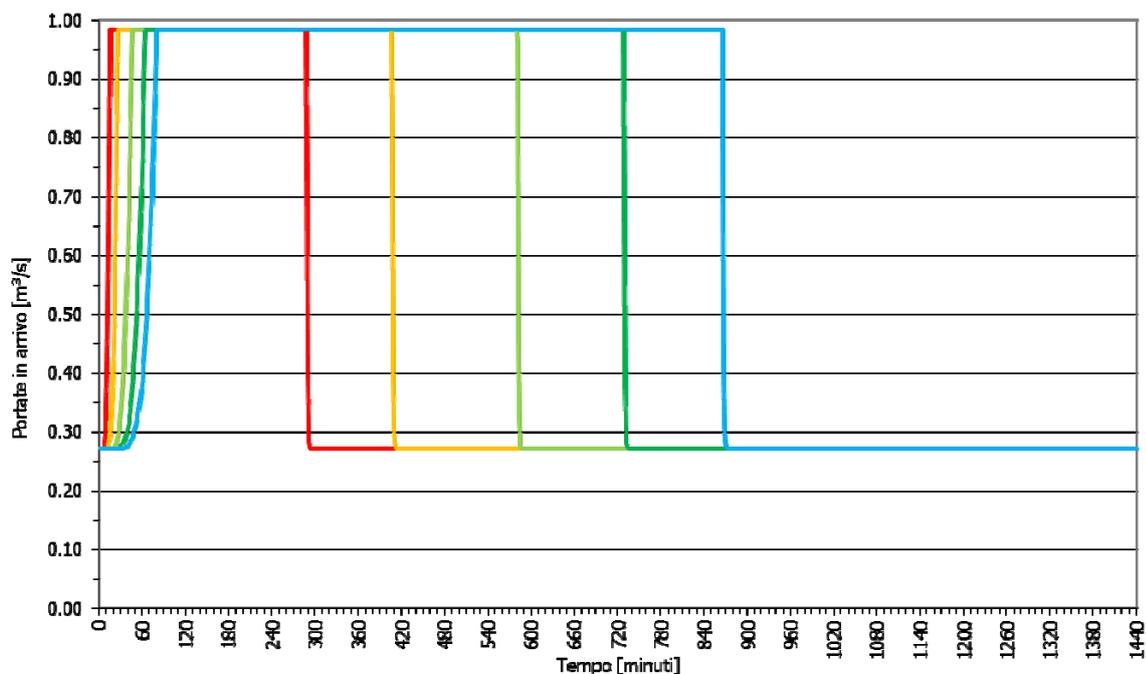
**Grafico 8.6** Andamento degli idrogrammi di piena , sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno cinquantennale

## 8.4 EVENTO CENTENNALE

### 8.4.1 Ingresso dal 2° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	35'366	40'054	46'776	52'390	57'641
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984

**Tabella 8.7** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno centennale

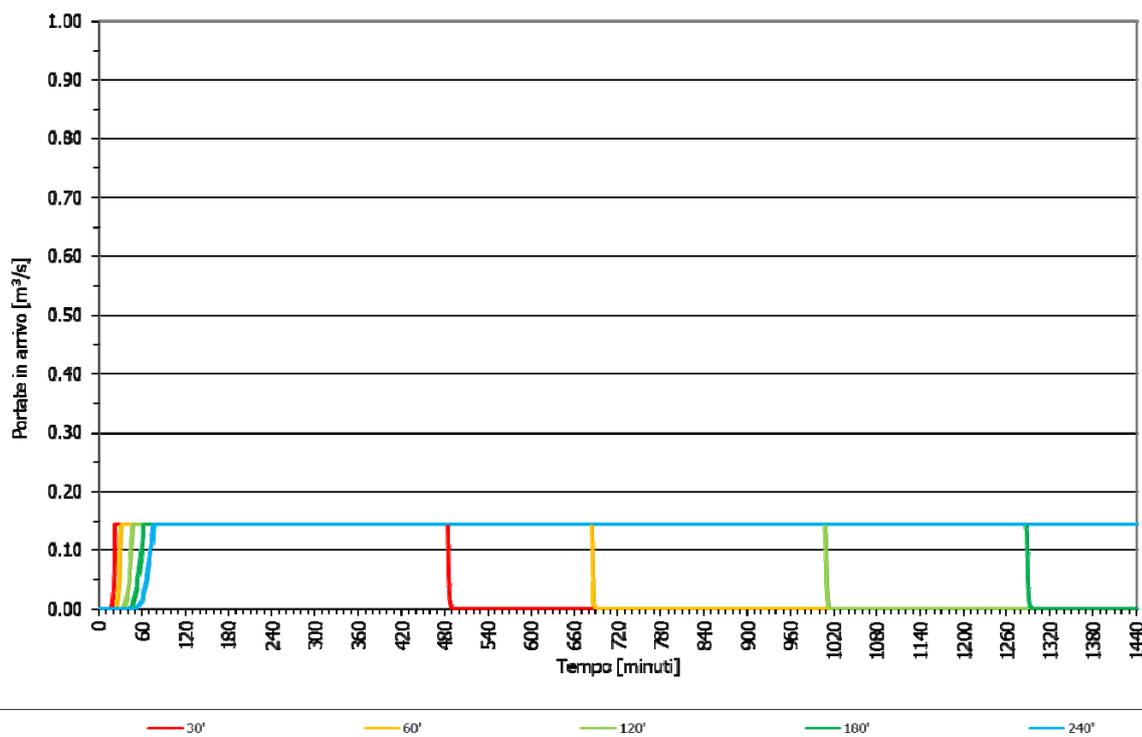


**Grafico 8.7** Andamento degli idrogrammi di piena, sezione N03\_2COMIZIO, lato ferrovia, tempo di ritorno centennale

### 8.4.2 Ingresso dal 3 e 4° Comizio

Durata [minuti]	30'	60'	120'	180'	240'
Volume complessivo [m <sup>3</sup> ]	4'015	5'677	8'362	10'660	11'864 (parziale)
Portata massima [m <sup>3</sup> /s]	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144

**Tabella 8.8** Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni, sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno centennale



**Grafico 8.8** Andamento degli idrogrammi di piena, sezione N03\_2COMIZIO, lato fognatura, tempo di ritorno centennale

Gennaio 2020

Ing. Giuseppe Negrinelli

Ing. Antonio Di Pasquale