

**COMUNE DI PALAZZOLO SULL'OGLIO
REGIONE LOMBARDIA**

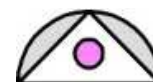
**DOCUMENTO SEMPLIFICATO DEL RISCHIO
IDRAULICO COMUNALE
(Art. 14 comma 8 R.R. 23.11.2017 n. 7 e s.m.i.)**

Progettista:

**Ing. Antonio Di Pasquale
Ord. Ingg. Brescia n. 3362**

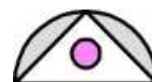


				4
				3
				2
				1
Redazione	Controllo	data	Revisione	n.
Studio Idrologico				B
Redazione	Controllo	data	File	
ADP	ADP	LUG. 21	20029_B_Studio_Idrologico.docx	

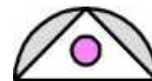


INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELLE FINALITÀ DELLO STUDIO	6
3	DESCRIZIONE GENERALE DEL CODICE UTILIZZATO E DEL MODELLO DI CALCOLO PREDISPOSTO	6
4	IPOTESI ASSUNTE ALLA BASE DELL'ANALISI IDROLOGICA.....	8
5	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO	9
5.1	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMETRICI E MORFOLOGICI – SCELTA DEL METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI.....	9
5.1.1	MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI MONTANI: METODO DI CORRIVAZIONE CON CURVA AREA – TEMPI NON LINEARE.....	10
5.1.2	MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI URBANI: METODO DI CORRIVAZIONE CON CURVA AREA – TEMPI LINEARE.....	12
5.1.3	MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI DI PIANURA: METODO DELL'INVASO	12
5.2	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI INFILTRAZIONE	14
5.3	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDROLOGICI DEI BACINI DI INTERESSE	20
5.3.1	BACINI URBANI	20
5.3.2	BACINI EXTRAURBANI MONTANI.....	21
5.3.3	BACINI EXTRAURBANI DI PIANURA	22
6	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO	25
6.1	SCELTA DELLE SEZIONI DI CHIUSURA DEL MODELLO.....	25
6.2	MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA.....	25
6.3	MODELLAZIONE DELLE SEZIONI DI CONTROLLO PRESENTI LUNGO LA RETE DI CANALIZZAZIONI – NODI TIPO "DIVERSION"	26
6.3.1	NODO DIVERSION MI01A: ATTRAVERSAMENTO DA PARTE DEL TORRENTE MIOLA DI VIA DEL POMO	27
6.3.2	NODO DIVERSION ML01: TRATTO INTUBATO TORRENTE MIOLETTA DI VIA LUCERNA..	28
6.3.3	NODO DIVERSION MI03: ATTRAVERSAMENTO DA PARTE DEL TORRENTE MIOLA DELL'AUTOSTRADA A4.....	29
6.3.4	NODO DIVERSION I_B_SANPANCRAZIO_U: IMMISSIONE DELLA RETE FOGNARIA DI SAN PANCRAZIO.....	30
7	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO METEOROLOGICO	31
8	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE.....	33
8.1	PORTATE DI PIENA ATTESE AL NODO MI03	34
8.1.1	EVENTO DECENNALE	34
8.1.2	EVENTO VENTENNALE	35
8.1.3	EVENTO CINQUANTENNALE	36
8.1.4	EVENTO CENTENNALE	37
8.2	PORTATE DI PIENA ATTESE AL NODO MI04	37
8.2.1	EVENTO DECENNALE	38
8.2.2	EVENTO VENTENNALE	39
8.2.3	EVENTO CINQUANTENNALE	40



8.2.4	<i>EVENTO CENTENNALE</i>	41
8.3	PORTATE DI PIENA ATTESE AL NODO MI05	41
8.3.1	<i>EVENTO DECENNALE</i>	42
8.3.2	<i>EVENTO VENTENNALE</i>	43
8.3.3	<i>EVENTO CINQUANTENNALE</i>	44
8.3.4	<i>EVENTO CENTENNALE</i>	45
8.4	CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE.....	46
9	ANALISI IDRAULICA SPEDITIVA DELLE CAPACITÀ DI CONVOGLIAMENTO DELLA RETE A FRONTE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA ATTESI.....	47
9.1	SEZIONE 01	47
9.2	SEZIONE 02	49
9.3	SEZIONE 03	50
9.4	SEZIONE 04	52
9.5	SEZIONE 05	53
9.6	SEZIONE 06	55
9.7	SEZIONE 07	56
9.8	SEZIONE 08	58
9.9	SEZIONE 09	59
9.10	SEZIONE 10	60
9.11	SEZIONE 11	62
9.12	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	63



1 PREMESSA

Il presente Studio Idrologico viene prodotto all'interno del Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale ex art. 14 comma 8 R.R. 23.11.2017 e s.m.i. con la finalità di descrivere compiutamente il dimensionamento illustrato all'interno della Relazione Generale per le opere strutturali proposte per mitigare le principali criticità idrauliche presenti sul territorio, come segnalate dall'Ufficio Tecnico Comunale.

La necessità di redigere uno Studio Idrologico a supporto del Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale è desumibile, fra le righe, da quanto riportato all'Art. 14 comma 8 lettera a) punto 2 del R.R. 07/2017 come modificato dal R.R. 08/2019, ove in particolare si recita:

a) *il documento semplificato [del rischio idraulico] contiene:*

[...]

2. *l'indicazione, comprensiva di definizione delle dimensioni di massima, delle misure strutturali di invarianza idraulica e idrologica, sia per la parte già urbanizzata del territorio che per gli ambiti di nuova trasformazione, e l'individuazione delle aree da riservare per le stesse;*

L'indicazione data dal legislatore in merito alla definizione delle misure strutturali non si presta ad interpretazioni: nel momento in cui il disposto di legge chiede non solo l'indicazione di *quali* siano le misure strutturali che si intendono applicare ma chiede *un dimensionamento di massima delle stesse* sostanzialmente richiede una definizione a livello idrologico e idraulico seppur semplificata (demandando la definizione di dettaglio al vero e proprio studio del rischio idraulico, nei casi in cui esso è previsto) dei fenomeni che ingenerano le criticità idrauliche di cui all'art. 14 comma 8 lettera a) punto 1 del R.R. 07/2017 come modificato dal R.R. 08/2019 (descritte, nel caso specifico del Comune di Palazzolo sull'Oglio, all'interno della Relazione Generale e nelle tavole grafiche 1 e 2) e degli interventi necessari per la loro mitigazione.

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 del lettore esperto dei calcoli svolti, per i quali, peraltro, si è fatto uso di software open source.

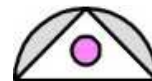
La presente Relazione è suddivisa in capitoli:

Nel Capitolo 2 viene descritta la finalità dello Studio e, in particolare, vengono enunciati i punti specifici su cui viene orientata l'analisi idrologica ai fini del dimensionamento delle opere strutturali.

Nel Capitolo 3 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 alle sezioni 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 4 vengono riassunte le ipotesi sulla cui base viene sviluppata l'analisi idrologica e vengono motivate le eventuali semplificazioni riportate nel calcolo.

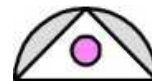
Nel Capitolo 5 vengono descritti nel dettaglio i parametri del modello idrologico nel modello matematico nonché i criteri di calcolo seguiti, ovvero le modalità di perimetrazione dei bacini, la determinazione del metodo di trasformazione afflussi – deflussi utilizzato (non il medesimo per tutti i bacini), 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 ietogrammi di progetto.

Nel Capitolo 8 sono riassunti i principali risultati dell'analisi idrologica, con particolare riferimento agli obiettivi illustrati al §2.

Nel Capitolo 9 viene infine condotta un'analisi idraulica speditiva delle modalità di deflusso del Torrente Miola in corrispondenza dell'abitato di San Pancrazio, finalizzata alla valutazione dell'adeguatezza o meno delle sezioni d'alveo e alla formulazione di proposte di mitigazione delle criticità presenti.



2 DESCRIZIONE DELLE FINALITÀ DELLO STUDIO

La necessità di redigere uno Studio Idrologico a supporto del Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale è desumibile, fra le righe, da quanto riportato all'Art. 14 comma 8 lettera a) punto 2 del R.R. 07/2017 come modificato dal R.R. 08/2019, ove in particolare si recita:

a) *il documento semplificato [del rischio idraulico] contiene:*

[...]

2. *l'indicazione, comprensiva di definizione delle dimensioni di massima, delle misure strutturali di invarianza idraulica e idrologica, sia per la parte già urbanizzata del territorio che per gli ambiti di nuova trasformazione, e l'individuazione delle aree da riservare per le stesse;*

L'indicazione data dal legislatore in merito alla definizione delle misure strutturali non si presta ad interpretazioni: nel momento in cui il disposto di legge chiede non solo l'indicazione di *quali* siano le misure strutturali che si intendono applicare ma chiede *un dimensionamento di massima delle stesse* sostanzialmente richiede una definizione a livello idrologico e idraulico, seppur semplificata (demandando la definizione di dettaglio al vero e proprio studio del rischio idraulico nei casi in cui ne è prevista la redazione) dei fenomeni che ingenerano le criticità idrauliche di cui all'art. 14 comma 8 lettera a) punto 1 del R.R. 07/2017 come modificato dal R.R. 08/2019 (descritte, nel caso specifico del Comune di Palazzolo sull'Oglio, all'interno della Relazione Generale e nelle tavole grafiche 1 e 2) e degli interventi necessari per la loro mitigazione.

Ai fini della definizione delle opere strutturali previste all'interno del presente Studio si rende pertanto necessaria un'analisi a livello idrologico e, in parte, idraulico, delle cause dei fenomeni di malfunzionamento riscontrati e degli effetti degli interventi di mitigazione previsti.

Con riferimento alle problematiche e agli interventi strutturali delineati all'interno della Relazione Generale, lo Studio Idrologico nello specifico inerisce ad una trattazione idrologica e, seppur in forma speditiva, idraulica, dei deflussi del Torrente Miola nel tratto che lambisce l'abitato di San Pancrazio.

Lo scopo dell'indagine idrologica è quello di definire il grado di sollecitazione delle sezioni presenti in relazione ad eventi con tempo di ritorno differenti così da comprendere le cause degli eventi alluvionali segnalati nel P.G.R.A. e dall'Ufficio Tecnico, che risultano diffusi lungo tutto il territorio compreso tra l'attraversamento dell'Autostrada A4 e la fine dell'abitato, e proporre gli eventuali interventi di mitigazione.

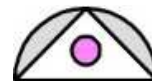
3 DESCRIZIONE GENERALE DEL CODICE UTILIZZATO E DEL MODELLO DI CALCOLO PREDISPOSTO

Per la definizione del modello idrologico dei deflussi del territorio di interesse 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).

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

STUDIO IDROLOGICO



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 del Torrente Miola nel tratto di interesse nonché del suo affluente principale, il Torrente Mioletta.

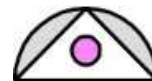
È stato sviluppato un modello che interpreta a livello idrologico il comportamento del Torrente Miola nel tratto compreso tra la SP XII (in Comune di Capriolo) ove cambiano le marcatamente le modalità del suo deflusso e il termine dell'abitato di San Pancrazio; il modello risulta composto da:

- 1 bacino di tipo montano, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi della corrivazione con area tempi non lineare
- 4 bacini di pianura, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi dell'invaso;
- 1 bacino di tipo urbano, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi della corrivazione con area tempi lineare;
- 5 tratti delle aste idriche principali, rappresentanti sostanzialmente traslazioni temporali degli idrogrammi di piena lungo il percorso dei canali;
- 8 nodi della rete, a rappresentare:
 - 4 nodi tipo JUNCTION a rappresentare punti di immissione di bacini;
 - 4 nodi di diversione, che rappresentano sezioni di limitazione delle portate con fuoriuscita di acqua

Il modello meteorologico si compone di una serie di ietogrammi triangolari, di differenti caratteristiche (in funzione del tratto della rete di interesse e della dimensione del bacino drenato) e durate comprese tra 30' e 1'440', 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.



4 IPOTESI ASSUNTE ALLA BASE DELL'ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica contenuta all'interno del presente Studio viene sviluppata sulla base di una serie di ipotesi semplificative, vale a dire:

1. vengono trascurati i fenomeni di laminazione delle onde di piena indotti dai fenomeni alluvionali verificatisi a monte delle sezioni di chiusura così come quelli indotti dalla traslazione degli idrogrammi lungo la rete stessa.

Gli idrogrammi di piena prodotti da ciascuno dei sottobacini contenuti all'interno del modello idrologico vengono pertanto fatti traslare rigidamente lungo la rete e così combinati fra loro, fatte salve le sottrazioni causate dalle sezioni di controllo note (ovvero le insufficienze della rete fognaria o della rete idrografica).

Per la definizione dei fenomeni di traslazione dell'onda, si è imposto che, indipendentemente dalla sezione e dalla pendenza dei corsi d'acqua, 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: tale valore è ragionevole in un ambito di pianura, con condotti di pendenze nell'ordine di 0.002-0.008 m/m.

2. gli unici contributi di sottrazione agli idrogrammi di piena sono dati da sezioni di controllo riconoscibili, ove cioè esiste un vincolo fisico che limiti le portate transitanti verso valle (tipicamente tratti di tubazioni) ed una possibilità di allontanamento delle portate eccedenti.

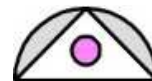
Gli idrogrammi provenienti da monte vengono tagliati al valore massimo transitabile attraverso la sezione di controllo e i contributi eccedenti il valore massimi vengono considerati persi per il modello.

Attraverso tale modalità vengono ad esempio modellati gli apporti delle reti fognarie: queste ultime sono usualmente dimensionate per eventi con tempo di ritorno decennale o ventennale; per eventi con tempi di ritorno superiore si prevede (in via semplificativa) che le portate eccedenti la capacità idraulica delle sezioni terminali dei collettori di scarico non transitino in rete ma diano luogo a fenomeni alluvionali a monte della sezione di immissione.

3. Nella modellazione dei manufatti scaricatori di piena della rete è introdotta l'ipotesi semplificativa che l'efficienza di ogni manufatto sia pari al 100%, ovvero che tutte le acque meteoriche drenate da una rete ed afferenti ad un manufatto si scarichino nella rete idrografica, senza che vi sia un contributo residuo all'interno della rete fognaria a valle del manufatto.

L'ipotesi assunta è ragionevole, considerato che tutti i manufatti presenti sulla rete sono dotati di organi di regolazione più o meno efficaci (da paratoie fisse, paratoie mobili, regolatori a galleggiante) in grado di garantire efficienze superiori al 90 – 95%.

Questa ipotesi dà ragione della perimetrazione del bacino urbano di San Pancrazio riportata nelle tavole, chiuso allo scaricatore di piena che recapita nel Torrente Miola a monte del ponte di Via G.B. Vezzoli.



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 recentemente pubblicati da ARPA Lombardia, nei quali 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.

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:

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

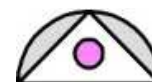
ove:

- 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 territorio di interesse, si riscontra come alla formazione dei deflussi di piena dell'asta idrica alla sezione di chiusura considerata concorrano tre diverse tipologie di bacini, con modalità di comportamento decisamente diverse le une dalle altre:

- i bacini prevalentemente naturali di tipo montano, ove possono essere ritenuti prevalenti, ai fini della formazione degli idrogrammi di piena, i fenomeni di traslazione rispetto a quelli di invaso e le modalità di formazione delle onde di piena sono strettamente correlate alla morfologia del territorio;
- 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.



- 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.

Per la determinazione dell'idrogramma unitario istantaneo delle tre 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 montani: metodo di corrivazione con curva area – tempi non lineare

Per quanto concerne i bacini naturali montani o pedemontani, si è fatto riferimento al *metodo cinematico della corrivazione con curva area tempi non 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.

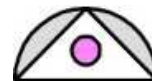
Per l'applicazione del metodo di corrivazione su bacini naturali occorre individuare preliminarmente la cosiddetta curva "aree-tempi" $A(t)$ del bacino: essa rappresenta le aree A del bacino comprese tra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al generico tempo t di corrivazione, vale a 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.

Va da sé che se la curva aree – tempi assume una forma semplice (ad esempio di tipo lineare), la forma stessa dell'IUH si semplifica.

Per i bacini naturali oggetto del presente Studio, si è proceduto al calcolo del tempo di corrivazione, della curva area – tempi e in conclusione dell'IUH direttamente dalla morfologia del bacino, in base alle informazioni cartografiche disponibili.

Per la costruzione della curva area – tempi si sono perimetrati i bacini imbriferi chiusi alle relative sezioni di interesse.

L'indicazione della sezione di chiusura considerata per ciascun bacino e delle motivazioni che hanno portato alla sua individuazione sono riportate in dettaglio nel successivo §5.3; dal punto di vista grafico



l'indicazione delle sezioni di chiusura è riportata all'interno delle Tavole 05, 06, 07 dello Studio.

La perimetrazione dei bacini e la determinazione dei relativi parametri morfologici è stata ricavata mediante un'analisi su un modello tridimensionale del terreno (DEM), ove il terreno è discretizzato in celle di una data dimensione e ad ogni cella è assegnata una quota altimetrica. Nello specifico si è utilizzato il DTM regionale reperibile sul geoportale, con risoluzione pari a 5 metri.

Per la perimetrazione del bacino scolante, su tale DEM è stata svolta un'analisi "di vicinato", o di "neighbours".

Partendo dalla griglia del DEM, è possibile definire una griglia della "direzione di scorrimento" (flow direction), ove ad ogni cella viene assegnato un valore numerico corrispondente alla cella tra le 8 che la circondano verso la quale vi è il massimo dislivello (se direzione più ripida è quella ad E, viene assegnato il numero 1, se è a SE il numero 2, a S il numero 4, e così via fino alla direzione NE, cui è assegnato il numero 128).

Dalla griglia della direzione di moto è possibile ottenere la griglia di accumulo (flow accumulation): in tale griglia ad ogni cella è assegnato come valore il numero di celle che sono collegate mediante il cammino di massima pendenza a tale cella.

La griglia di accumulo, pertanto, consente la perimetrazione del bacino scolante afferente ad una data sezione di chiusura; mediante un'ulteriore analisi della griglia del DEM e della griglia delle direzioni di scorrimento, si è in grado per tale bacino di definire i parametri salienti, quali l'altitudine minima, massima e media o la lunghezza del percorso più lungo.

In base ai parametri geometrici dei bacini, si è definito il suo tempo di corrivazione, mediante l'utilizzo della formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot H_m}$$

ove:

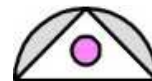
- T_c è il tempo di corrivazione in minuti;
- A è l'area del bacino in Km²;
- L è la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua in Km;
- H_m è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

Accanto alla stima del tempo di corrivazione come derivante dall'applicazione della formula di Giandotti nella sua rappresentazione classica, si è valutato anche la stima risultante in base all'applicazione di una formula modificata come proposta dai tecnici del Dipartimento di Ambiente e Territorio dell'Università di Brescia, ovvero, con le medesime notazioni sopra citate:

$$T_c = \frac{3.3 \cdot A^{0.5} + 3.2 \cdot L}{H_m}$$

Per la determinazione della curva area - tempi si è introdotta l'ipotesi semplificativa di una corrispondenza lineare tra curva ipsografica del bacino e curva area-tempo del bacino, vale a dire che, nelle diverse parti del bacino, cambi di altitudine uguali vengano percorsi in tempi uguali.

In base a tale ipotesi, pertanto si sono definite la curve ipsografiche del corso d'acqua, da cui si è determinata direttamente la relativa curva aree - tempi, suddividendo l'altitudine complessiva del bacino in intervalli: nello specifico si sono individuati intervalli di 20 m s.l.m.



All'interno del successivo §5.3, per ciascun di bacino di tipo naturale montano (nel caso specifico il solo bacino del Torrente Miola), sono riportate tabelle riassuntive riportanti i dati morfologici della curva ipsografica e quelli da questa derivati della curva area – tempi.

5.1.2 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*.

La modalità di modellazione è la medesima utilizzata nel caso dei bacini extraurbani di tipo montano, con la sola rilevante differenza che nel caso dei bacini urbani la curva area – tempi non è più funzione della morfologia del terreno 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 20 minuti;
- 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 1.00 – 2.00 m/s.

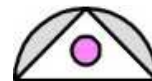
5.1.3 Modalità di descrizione dei bacini di pianura: metodo dell'invaso

Per quanto concerne i bacini urbanizzati 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 §5.1.2, ma assumono valori differenti

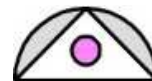
- T_i è il tempo di ingresso in rete, ovvero il tempo massimo richiesto alla singola goccia d'acqua affluente per giungere fino all'asta idrica principale che innerva il bacino: per tale termine si è imposto un valore pari a circa 20 minuti;
- T_p è il tempo di percorrenza della rete, ovvero il tempo 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 0.465 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.

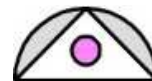
Il coefficiente CN è funzione della tipologia del terreno, dell'uso del suolo e delle condizioni di umidità del terreno agli inizi dell'evento meteorico (o AMC, Antecedent Moisture Condition).

Ai fini della definizione del coefficiente CN è pertanto necessario definire:

- la tipologia del terreno (con riferimento alle sue capacità di infiltrazione e ai gruppi idrologici definiti dalla metodologia individuata dal SCS);
- l'uso del suolo.

Dall'esecuzione di tale analisi ogni area del bacino imbrifero di interesse viene ad essere caratterizzata da due elementi, ovvero la tipologia del terreno e l'uso del suolo soprastante: in base a tale caratterizzazione e a dati tabulati si è in grado di definire, per ciascuna area, un coefficiente CN, in relazione alla specifica AMC.

Per quanto concerne il coefficiente I_a (Initial Abstraction, è la parte di pioggia che inizialmente si accumula nel terreno o viene assorbita prima di generare deflusso), il SCS propone di assumere in valore pari a $0.2 \cdot S$; la proposta del SCS di definizione del coefficiente I_a è stata, negli ultimi anni, sottoposta ad una revisione critica da parte della ricerca, che ha portato ad evidenziare, in base alle evidenze riscontrate sul



campo, che porta ad una sottostima degli idrogrammi di piena; all'interno del presente Studio si fa pertanto riferimento ad un valore più penalizzante, pari a:

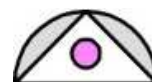
$$I_a = 0.05 \cdot S$$

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.

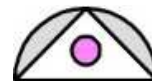
Group	Meaning
A	Soils having high infiltration rates even when thoroughly wetted and consisting chiefly deep to deep, well to excessively drained sands or gravels.
B	Soils having moderate infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of moderately deep to deep, moderately well to well-drained 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 ¹	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 ²				
Average lot size (% Impervious ³)				
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. ⁴	98	98	98	98
Streets and roads				
Paved with curbs and storm sewers ⁴	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*, 2nd Ed., (TR-SS), June 1986 e riferiti ad una Antecedent Moisture Condition II.



I	II	III
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, considerata l'importanza di una determinazione ragionevole dei gruppi idrologici ai fini della quantificazione dei deflussi di piena, si è condotta una specifica indagine, prevalentemente di tipo documentale, per definirne le caratteristiche.

Ovviamente una tale definizione presenta le incertezze legate a ogni stima su ampia scala, ma si possono evidenziare alcune caratteristiche generali:

- i terreni di fondovalle sono caratterizzata da un'elevata permeabilità (gruppo A o B), con caratteristiche che via via migliorano procedendo da monte verso valle: le aree di pianura poste a monte della S.P. XII presentano caratteristiche di tipo B, quelle a valle di questa presentano caratteristiche di tipo A;
- i terreni pedemontani sono caratterizzati da una permeabilità ridotta (gruppo C).

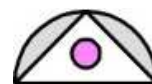
Per quanto concerne l'attribuzione dell'uso dei suoli presente sul territorio preso in esame si è fatto riferimento a quanto contenuto all'interno delle carte del Progetto DUSAF, elaborato dalla Regione Lombardia e dall'ERSAF, edizione 2018.

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 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 gradi di impermeabilizzazione crescenti (URBANIZZAZIONE RADA, URBANIZZAZIONE MEDIA e URBANIZZAZIONE ALTA).

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.

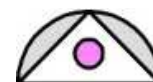
Tipologia di Uso del suolo riportato all'interno dello Studio Regionale	Gruppo idrologico			
	A	B	C	D
ACQUA	0	0	0	0
AFFIORAMENTI LITOIDI	70	70	70	70
ARBUSTETI	45	66	77	83
BOSCHI	25	55	70	77
CAVE	75	75	75	75
PRATI	39	61	74	80
SEMINATIVI	62	71	78	81
STRADE	98	98	98	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	54	70	80	85
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 alla metodologia di normalizzazione desunta dallo 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.

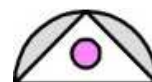
A livello grafico, tale operazione è riportata all'interno della Tavola 07; il calcolo di dettaglio bacino per STUDIO IDROLOGICO



bacino è riportato all'interno del §5.3.

Tipologie di uso del suolo come riportate all'interno del Progetto "DUSAF" (ERSAF – Regione Lombardia)	Tipologie di uso del suolo come riportate all'interno dello Studio Regionale
altre legnose agrarie	VIGNETI
Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali	ACQUA
aree degradate non utilizzate e non vegetate	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
aree militari obliterate	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Aree verdi incolte	PRATI
Bacini idrici artificiali	ACQUA
Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda	ACQUA
Boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	BOSCHI
Cantieri	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Cascine	URBANIZZAZIONE RADA 25%
castagneti da frutto	VIGNETI
cave	CAVE
Cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	ARBUSTETI
cespuglieti in aree di agricole abbandonate	ARBUSTETI
Cimiteri	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Colture floro-vivaistiche a pieno campo	VIGNETI
Colture floro-vivaistiche protette	VIGNETI
Colture orticole a pieno campo	VIGNETI
formazioni ripariali	ARBUSTETI
Frutteti e frutti minori	VIGNETI
Impianti di servizi pubblici e privati	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Impianti fotovoltaici a terra	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Impianti sportivi	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Impianti sportivi	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Impianti tecnologici	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Insedimenti industriali, artigianali, commerciali	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Insedimenti produttivi agricoli	URBANIZZAZIONE RADA 25%
oliveti	VIGNETI
Orti familiari	SEMINATIVI
Parchi e giardini	PRATI
Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	PRATI
Reti stradali e spazi accessori	STRADE
seminativi arborati	SEMINATIVI
seminativi semplici	SEMINATIVI
tessuto residenziale continuo mediamente denso	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Tessuto residenziale discontinuo	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Tessuto residenziale sparso	URBANIZZAZIONE RADA 25%
vegetazione rada	ARBUSTETI
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 Bacini urbani

La perimetrazione dei bacini urbani è stata effettuata sulla base dei percorsi delle reti fognarie bianca e mista come forniti dall'Ente Gestore del Servizio Idrico Integrato.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i dati idrologici dei bacini desunti in base all'analisi dei tracciati della rete.

Nella Tabella 5.6 sono riportate le estensioni dei bacini urbani considerati nel modello, gli sviluppi massimi della rete fognaria e la stima del tempo di corrivazione di ciascun bacino.

Ai fini di tale stima, si è considerato:

- il tempo di ingresso T_i in rete pari a 10 minuti in funzione dell'ampiezza del bacino e della ramificazione della rete;
- la velocità di percorrenza della rete fino alla sezione di chiusura V_p pari a 2.00 m/s.

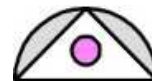
Bacino	Area [ha]	Lmax [km]	Ti [min]	Vp [m/s]	Tc [min]
B_SANPANCRAZIO_U	27.61	1.03	20.00	2.00	28.55

Tabella 5.6 Determinazione del tempo di corrivazione per i bacini urbani inclusi nel modello idrologico

Nella tabella successiva sono riassunti i risultati delle elaborazioni in merito al gruppo idrologico e all'uso dei suoli, in base alle quali si è stimato il coefficiente CN risultante.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
BOSCHI	0.21	A	25
PRATI	1.53	A	39
SEMINATIVI	2.38	A	62
STRADE	0.02	A	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	8.06	A	77
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	13.67	A	57
URBANIZZAZIONE RADA 25%	1.73	A	54
COMPLESSIVO	27.61		61.88

Tabella 5.7 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SANPANCRAZIO_U".



5.3.2 Bacini extraurbani montani

Il modello comprende un unico bacino di tipo montano, che però è anche quello di estensione più significativa, ovvero il bacino del Torrente Miola chiuso alla sezione dell'attraversamento della S.P. XII

La scelta di suddividere il bacino del Torrente Miola in due porzioni distinte, quella montana e quella di pianura è legata alle specificità morfologiche del Torrente, che drena un esteso bacino montano ma che a valle della S.P. XII raccoglie apporti di pianura molto più limitati (la pianura digrada prevalentemente verso il Fiume Oglio e direttamente verso Sud, parallelamente al corso del Torrente).

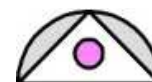
I dati morfologici e idrologici del bacino B_MIOLA_MONTANO sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	4.38372
Lunghezza asta	[km]	3.9638
Altitudine massima	[m s.l.m.]	653.33
Altitudine minima	[m s.l.m.]	217.86
Altitudine media	[m s.l.m.]	329.80
H media rispetto chiusura	[m]	111.94
Tc Giandotti	[minuti]	101.51
Tc Giandotti modificato	[minuti]	111.11
Tc imposto	[minuti]	103.50

Tabella 5.8: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino B_MIOLA_MONTANO, in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo	Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]	[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200-220	5.03	4.50	440-460	370.02	58.50
220-240	121.24	9.00	460-480	382.86	63.00
240-260	172.27	13.50	480-500	394.17	67.50
260-280	203.75	18.00	500-520	404.99	72.00
280-300	233.25	22.50	520-540	412.10	76.50
300-320	255.58	27.00	540-560	418.34	81.00
320-340	275.71	31.50	560-580	424.54	85.50
340-360	296.04	36.00	580-600	430.05	90.00
360-380	312.27	40.50	600-620	434.08	94.50
380-400	326.63	45.00	620-640	437.00	99.00
400-420	341.71	49.50	640-660	438.37	103.50
420-440	356.34	54.00			

Tabella 5.9 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino B_MIOLA_MONTANO.



Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ACQUA	0.37	B	0
AFFIORAMENTI LITOIDI	1.17	C	70
ARBUSTETI	1.39	B	66
ARBUSTETI	17.38	C	77
BOSCHI	8.81	B	55
BOSCHI	211.47	C	70
CAVE	6.49	C	75
PRATI	4.63	B	61
PRATI	6.73	C	74
SEMINATIVI	40.70	B	71
SEMINATIVI	12.34	C	78
STRADE	0.23	C	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	4.42	B	85
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.58	C	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	9.19	B	72
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	2.43	C	81
URBANIZZAZIONE RADA 25%	15.83	B	70
URBANIZZAZIONE RADA 25%	7.65	C	80
VIGNETI	65.55	B	79
VIGNETI	21.00	C	84
VALORE RISULTANTE	438.37		72.75

Tabella 5.10 Determinazione del coefficiente CN per il bacino B_MIOLA_MONTANO.

5.3.3 Bacini extraurbani di pianura

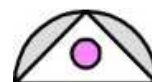
Nelle tabelle seguenti sono riassunti i dati idrologici dei bacini extraurbani di pianura, desunti in base alla morfologia del territorio ed individuati "per differenza" rispetto ai bacini urbani e ai bacini montani.

Nella Tabella 5.10 sono riportate le estensioni dei bacini urbani considerati nel modello, gli sviluppi massimi della rete irrigua e di bonifica che li innerva e la stima della costante di invaso in base ad un'ipotesi sul tempo di corrivazione di ciascun bacino.

Ai fini di tale stima, si è considerato:

- il tempo di ingresso T_i in rete pari a 20 minuti in funzione dell'ampiezza del bacino e dell'articolazione della rete di drenaggio, se individuabile;
- la velocità di percorrenza della rete V_p fino alla sezione di chiusura pari a 1.00 m/s.

La costante di invaso è stata poi determinata in base alla relazione riportata al §5.1.3 e valutata in $K=0.465 \times T_c$.



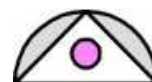
Bacino	Area [ha]	Lmax [km]	Ti [min]	vp [m/s]	Tc [min]	k [min]
B_MIOLETTA	98.539	2.33	20.00	1.00	20.00	27.000
B_MIOLA_PIANURA_01	35.620	2.48	20.00	1.00	20.00	28.000
B_MIOLA_PIANURA_03	24.305	0.84	20.00	1.00	20.00	15.000
B_MIOLA_PIANURA_04	25.362	0.97	20.00	1.00	20.00	16.000

Tabella 5.11 Determinazione della costante di invaso per i bacini extraurbani di pianura inclusi nel modello idrologico

Nelle tabelle successive sono riassunti i risultati delle elaborazioni in merito al gruppo idrologico e all'uso dei suoli per ciascun bacino, in base alle quali si è stimato il coefficiente CN risultante.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ARBUSTETI	0.47	B	66
ARBUSTETI	0.33	C	77
BOSCHI	0.39	B	55
BOSCHI	4.03	C	70
PRATI	3.07	A	39
PRATI	1.79	B	61
SEMINATIVI	41.91	A	62
SEMINATIVI	3.36	B	71
STRADE	0.32	B	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.46	A	77
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	1.95	B	85
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.99	C	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	3.75	B	72
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.61	C	81
URBANIZZAZIONE RADA 25%	6.68	A	54
URBANIZZAZIONE RADA 25%	2.54	B	70
URBANIZZAZIONE RADA 25%	0.73	C	80
VIGNETI	15.07	A	70
VIGNETI	5.78	B	79
VIGNETI	4.32	C	84
COMPLESSIVO	98.54		66.34

Tabella 5.12 Determinazione del coefficiente CN per il bacino di pianura "B_MIOLETTA".

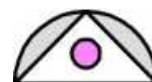


Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.74	A	0
ARBUSTETI	0.51	A	45
ARBUSTETI	0.01	B	66
CAVE	0.46	A	75
PRATI	1.52	A	39
SEMINATIVI	18.19	A	62
SEMINATIVI	0.21	B	71
STRADE	0.15	A	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	8.02	A	77
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.04	B	85
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.33	A	57
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.01	B	72
URBANIZZAZIONE RADA 25%	2.47	A	54
VIGNETI	2.96	A	70
VIGNETI	0.01	B	79
COMPLESSIVO	35.62		63.34

Tabella 5.13 Determinazione del coefficiente CN per il bacino di pianura "B_MIOLA_PIANURA_01".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
SEMINATIVI	18.92	A	62
STRADE	0.63	A	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.56	A	77
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.03	A	57
URBANIZZAZIONE RADA 25%	3.72	A	54
VIGNETI	0.45	A	70
COMPLESSIVO	24.30		62.20

Tabella 5.14 Determinazione del coefficiente CN per il bacino di pianura "B_MIOLA_PIANURA_03".



Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
PRATI	1.80	A	39
SEMINATIVI	17.87	A	62
STRADE	0.04	A	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.00	A	77
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	0.83	A	57
URBANIZZAZIONE RADA 25%	2.25	A	54
VIGNETI	2.56	A	70
COMPLESSIVO	25.36		60.35

Tabella 5.15 Determinazione del coefficiente CN per il bacino di pianura "B_MIOLA_PIANURA_04".

6 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Definiti i sottobacini afferenti al sistema costituito dalla rete fognaria e dalla rete idrografica che innervano bacino di interesse, 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 lungo il territorio.

6.1 SCELTA DELLE SEZIONI DI CHIUSURA DEL MODELLO

Il modello predisposto descrive come si è detto il tratto di Torrente Miola che corre affiancato all'abitato di San Pancrazio.

Lo scopo dell'indagine idrologica è quello di definire il grado di sollecitazione delle sezioni presenti in relazione ad eventi con tempo di ritorno differenti così da comprendere le cause degli eventi alluvionali segnalati nel P.G.R.A. e dall'Ufficio Tecnico e proporre gli eventuali interventi di mitigazione.

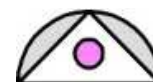
Con riferimento a tali finalità, pertanto, le sezioni di interesse risultano essere quelle limitrofe all'abitato di San Pancrazio, vale a dire:

- La sezione MI03, posta immediatamente a valle della sezione di controllo data dall'attraversamento dell'Autostrada A4;
- La sezione MI04, in corrispondenza dell'immissione dello scaricatore di piena della rete fognaria a monte del ponte di via G.B. Vezzoli;
- La sezione MI05, in corrispondenza del guado di attraversamento da parte di una strada vicinale (Via delle Ghilarde), sul margine Sud Est dell'abitato e al confine con il Comune di Erbusco.

6.2 MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA

Le onde di piena convogliate da ciascun sottobacino vengono raccolte dalla rete di canalizzazioni; la totalità dei rami di rete inseriti nel modello idrologico sono canali irrigui o di bonifica.

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 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 e delle reti fognarie, 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.

Nome	Sviluppo [m]	Traslazione [minuti]
LAG_MI01	2261.02	38
LAG_ML01	612.52	10
LAG_MI02	200.79	3
LAG_MI03	861.37	14
LAG_MI04	432.37	7

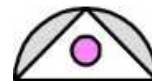
Tabella 6.1: Caratteristiche della rete di drenaggio inserite nel modello HEC-HMS

6.3 MODELLAZIONE DELLE SEZIONI DI CONTROLLO PRESENTI LUNGO LA RETE DI CANALIZZAZIONI – NODI TIPO "DIVERSION"

Nella rappresentazione della rete idrografica di interesse si è data una descrizione di alcune delle sezioni di controllo presenti, ovvero di quei manufatti che impongono ai deflussi idrologici provenienti da monte un taglio ai picchi di piena in arrivo per la presenza di un limite fisico (usualmente di tipo geometrico) non sormontabile che vincola le portate convogliabili verso valle.

Tale descrizione risulta strategica nel caso in esame, in quanto la presenza di tali sezioni di controllo, comporta, particolarmente nel caso del Torrente Miola, una significativa riduzione delle portate effettivamente convogliate dalla rete idrografica rispetto ai valori idrologici.

Nella rappresentazione delle singolarità presenti lungo la rete non si è data una descrizione di *tutte* quelle



presenti in quanto lo Studio condotto non ha come finalità la definizione di dettaglio delle aree esondabili dal Torrente Miola lungo il suo tracciato, ma solo la definizione delle portate in arrivo all'abitato di San Pancrazio: per tale finalità è sufficiente descrivere le ultime sezioni di controllo lungo l'asta idrica; se a monte sono presenti sezioni che danno luogo a maggiori restringimenti i risultati ottenuti saranno comunque a favore di sicurezza.

6.3.1 Nodo DIVERSION MI01A: attraversamento da parte del Torrente Miola di Via del Pomo

L'attraversamento del Torrente Miola da parte del Via del Pomo è costituito da una tubazione in CLS DN 1'400 mm direttamente sopra la quale è posata la soletta di sostegno del ponte.

L'eventuale fuoriuscita d'acqua a monte dell'attraversamento presenta una via di uscita preferenziale in sinistra, lungo Via del Pomo e nel terreno ribassato posto immediatamente a valle dell'attraversamento.



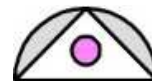
Figura 6.1 Attraversamento del Torrente Miola in Via del Pomo: tubazione in CLS DN 1'400 mm

Ai fini della definizione della portata massima convogliabile verso valle si è determinata la massima portata che è in grado di transitare attraverso il manufatto con i seguenti parametri di calcolo:

- Diametro interno: 1.40 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.57%

Ai fini della determinazione della pendenza si è fatto riferimento alla pendenza media del terreno come desumibile dal DTM regionale 5x5 m: lungo tutto il tracciato di interesse e fatti salvi i punti dove esso

STUDIO IDROLOGICO



incontra singolarità morfologiche (tipo strade in rilevato) il Torrente Miola corre inciso rispetto al p.c. per profondità di 1.00 – 1.20 m, per cui è ragionevole, in prima ipotesi, presumere che la sua pendenza media sia quella del terreno.

La capacità di convogliamento massima attraverso il manufatto viene pertanto quantificata in 4.337 m³/s.

Non sono state prese in esame ai fini della redazione del modello idrologico le sezioni di controllo poste lungo il Torrente Miola a monte delle confluenze con il Torrente Mioletta in quanto gli apporti aggiuntivi del bacino sono trascurabili e le sezioni sono meno penalizzanti di quella di Via del Pomo.

6.3.2 Nodo DIVERSION ML01: tratto intubato Torrente Mioletta di Via Lucerna

Il Torrente Mioletta presenta, in chiusura del bacino da esso drenato, un tratto intubato che si sviluppa lungo Via Lucerna e poi piega in direzione Sud Ovest verso il Torrente Miola.

Tale tratto presenta una sezione variabile: all'imbocco esso è costituito da uno scatolare in opera in cls 120x100 cm; in uscita è presente un manufatto in opera di dimensioni indicative 200x150 cm, probabilmente un ponte preesistente.

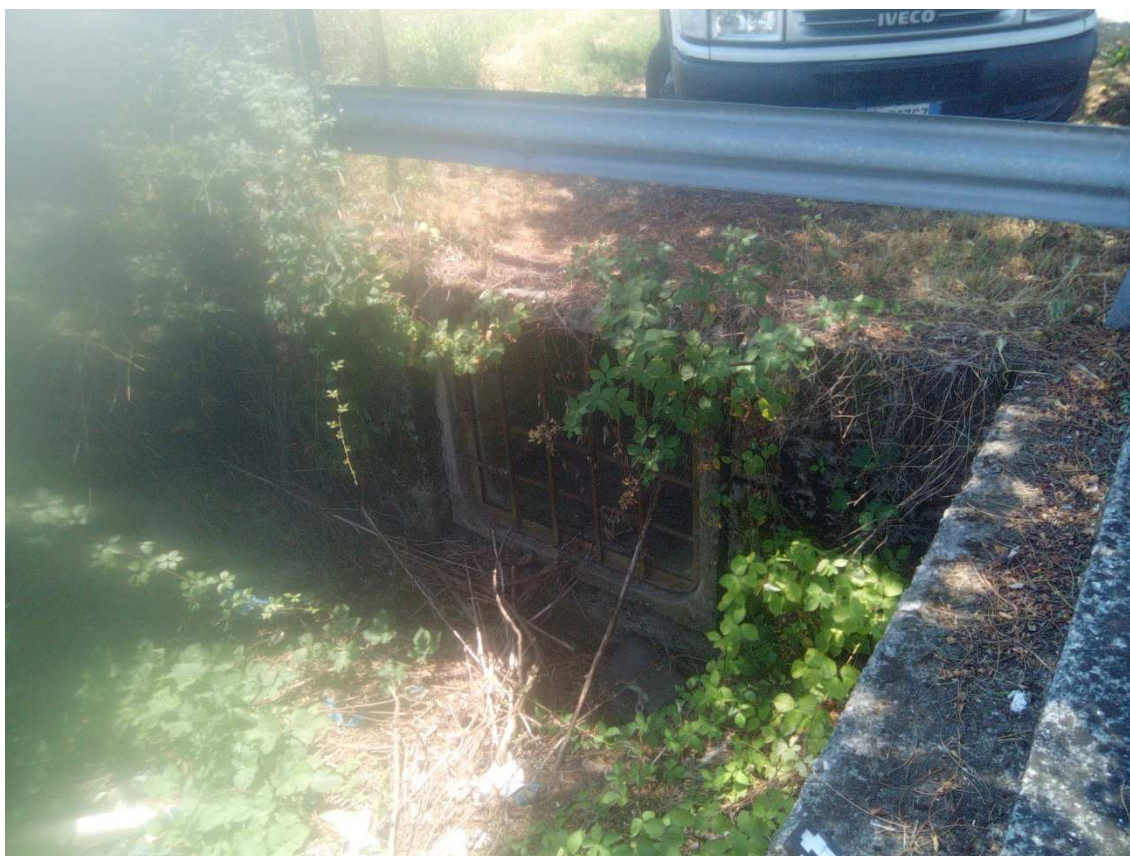
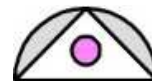


Figura 6.2 Imbocco del tratto intubato del Torrente Mioletta di Via Lucerna: scatolare in CLS 1'200 x1'000 mm

Ai fini della definizione della portata massima convogliabile verso valle si è determinata la massima portata che è in grado di transitare attraverso il manufatto con i seguenti parametri di calcolo:

- Larghezza manufatto: 1.20 m
- Altezza manufatto: 1.00 m



- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 1.37%

Ai fini della determinazione della pendenza si è fatto riferimento nuovamente alla pendenza media del terreno come desumibile dal DTM regionale 5x5 m.

La capacità di convogliamento massima attraverso il manufatto viene pertanto quantificata in 4.602 m³/s.

Non sono state prese in esame ai fini della redazione del modello idrologico le sezioni di controllo poste lungo il Torrente Mioletta a monte delle confluenze con il Torrente Miola (in particolare il tratto intubato di Via Genova) in quanto gli apporti aggiuntivi del bacino sono trascurabili e le sezioni sono meno penalizzanti di quella di Lucerna.

6.3.3 Nodo DIVERSION MI03: attraversamento da parte del Torrente Miola dell'Autostrada A4

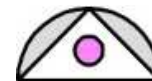
L'attraversamento del Torrente Miola dell'autostrada A4 è costituito da un manufatto scatolare 300x100 cm.



Figura 6.3 Attraversamento del Torrente Miola dell'autostrada A4: Scatolare 300x100 cm

Ai fini della definizione della portata massima convogliabile verso valle si è determinata la massima portata che è in grado di transitare attraverso il manufatto con i seguenti parametri di calcolo:

- Larghezza manufatto: 3.00 m
- Altezza manufatto: 1.00 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.66%



Ai fini della determinazione della pendenza si è fatto riferimento nuovamente alla pendenza media del terreno come desumibile dal DTM regionale 5x5 m.

La capacità di convogliamento massima attraverso il manufatto viene pertanto quantificata in 10.816 m³/s.

In realtà tuttavia, in base ai risultati sopra riportati, la sezione di controllo MI03 non risulta essere efficace, in quanto le limitazioni di portata causate dalle sezioni MI01A (sul Torrente Miola) e ML01 (sul Torrente Mioletta) vincolano le portate convogliabili a valori inferiori a 10.816 m³/s.

6.3.4 Nodo DIVERSION I_B_SANPANCRAZIO_U: immissione della rete fognaria di San Pancrazio

Il nodo I_B_SANPANCRAZIO_U rappresenta in forma speditiva il vincolo imposto alle portate convogliate nel Torrente Miola dalle limitazioni indotte dalla geometria delle sezioni delle rete fognaria (l'effetto dell'eventuale riduzione di efficienza dello scaricatore di piena per effetto delle sue caratteristiche costruttive come si è detto non viene preso in esame).

Tipicamente le reti fognarie venivano dimensionate per far fronte ad eventi con tempo di ritorno decennale o ventennale, per cui è lecito attendersi che per eventi con tempo di ritorno superiore esse diano luogo a fenomeni alluvionali diffusi e le portate effettivamente convogliate al recapito siano più ridotte.

Per dare una rappresentazione di tale fenomeno, all'interno del modello idrologico si è considerata la limitazione alle portate scaricabili causata dalla sezione del canale emissario del manufatto di sfioro, costituito da una tubazione in CLS DN 800 mm.

Per quanto concerne la pendenza di tale tubo le informazioni fornite dall'Ente Gestore non comprendono le quote di fondo dei tubi, per cui si sono definite delle ipotesi di funzionamento: diversamente dalle sezioni di controllo presenti sulla rete idrografica non si è fatto riferimento alla pendenza del terreno (le quote della rete fognaria essendo questa interrata prescindono entro certi limiti dalla morfologia del terreno, specie in un ambito di pianura), ma si è ipotizzata a favore di sicurezza una pendenza pari a 0.8%: si tratta di una pendenza piuttosto elevata per una rete di pianura.

Ai fini della definizione della portata massima convogliabile verso valle si è determinata la massima portata che è in grado di transitare attraverso il manufatto con i seguenti parametri di calcolo:

- Diametro manufatto: 0.80 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.80%

La capacità di convogliamento massima attraverso il manufatto viene pertanto quantificata in 1.155 m³/s.

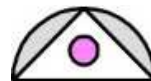


Figura 6.4 Sbocco del canale emissario dello scolmatore della rete fognaria di San Pancrazio nel Torrente Miola sul lato Nord di Via G.B. Vezzoli

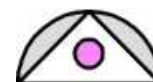
7 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO METEOROLOGICO

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 ragguaglio 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 ragguaglio 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.

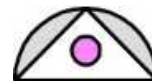
I parametri relativi al bacino di interesse sono stati ricavati mediante una pesatura sull'area del bacino dei parametri regionalizzati e interessanti il bacino in esame: le curve risultanti sono pertanto riportate nella Tabella 7.1.

Tempo di ritorno	Parametro n	Parametro a
2 anni	0.28977	27.01846
5 anni	0.28977	36.65077
10 anni	0.28977	43.08895
20 anni	0.28977	49.31052
50 anni	0.28977	57.43109
100 anni	0.28977	63.56658
200 anni	0.28977	69.72290

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.

Il Regolamento Regionale 7/2017 non definisce, nel caso dello Studio Semplificato, il tempo di ritorno che deve essere considerato nel dimensionamento degli interventi strutturali, diversamente da quanto richiesto per lo Studio completo, ove si menzionano tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni.

In assenza di riferimenti espliciti di norma, all'interno del presente Studio si sono presi in esame eventi di 10, 20, 50 e 100 anni di tempo di ritorno: l'evento decennale rappresenta eventi statistici ormai considerabili



“normali”, in quanto tendono a presentarsi ogni 5 – 7 anni; i tempi di ritorno ventennale e cinquantennale sono tipicamente utilizzati nel dimensionamento delle opere sulle reti fognarie, il tempo di ritorno centennale viene invece utilizzato per gli studi del rischio.

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 km²;
- 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 km² 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.

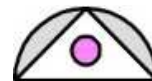
La formula di Moisello – Papiri appare estremamente adatta allo scopo, in quanto non tiene conto solo dell'estensione del bacino (che porta a ridurre l'entità della pioggia massima), ma anche della durata della pioggia stessa, tendendo come si è detto ad 1 al crescere della durata di pioggia: tale risultato 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 1'440 minuti.

8 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

All'interno del presente paragrafo sono riassunti i risultati principali delle modellazioni svolte sul modello idrologico, relativamente alle tematiche descritte all'interno del §2.



8.1 PORTATE DI PIENA ATTESE AL NODO MI03

Il bacino complessivo drenato alla sezione MI03 è costituito dai contributi del Torrente Miola e del Torrente Mioletta a Nord dell'autostrada A4, per complessivi 572.53 ha circa.

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati delle simulazioni svolte.

8.1.1 Evento decennale

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico apparente [l/(s*ha)]
30	17'559.46	4.58	8.00
60	28'183.73	4.96	8.67
120	41'340.56	6.09	10.64
180	52'478.98	6.22	10.86
240	63'771.60	6.16	10.75
300	75'041.74	6.08	10.62

Tabella 8.1 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento decennale

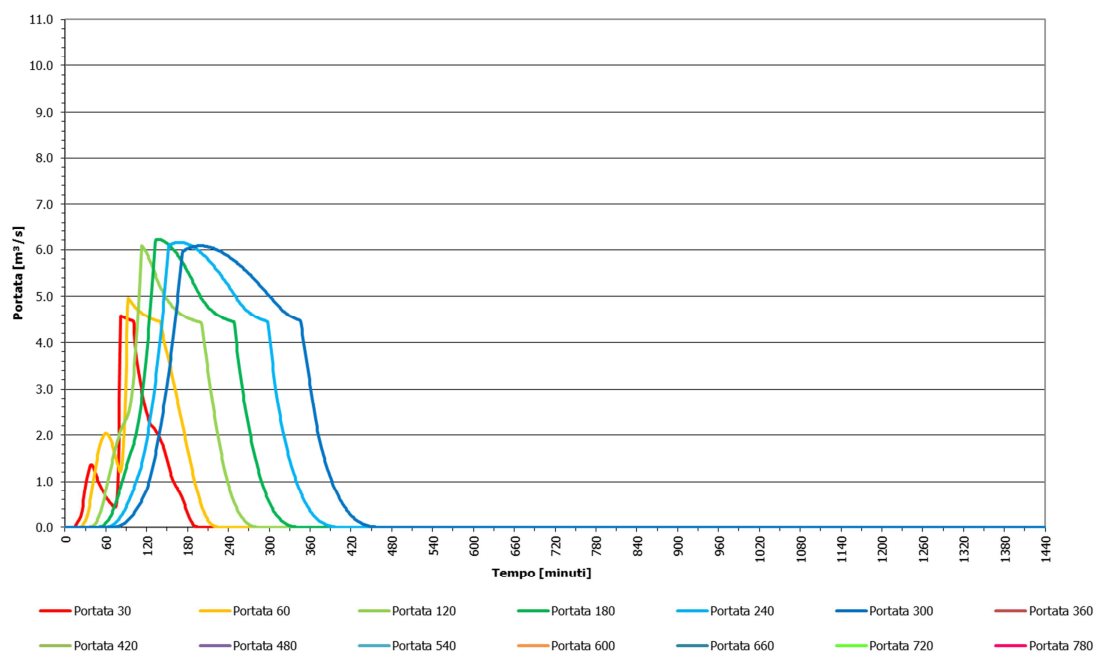
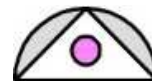


Figura 8.1 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento decennale



8.1.2 Evento ventennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	21'729.40	4.69	8.19
60	32'683.80	5.23	9.14
120	46'591.52	6.70	11.70
180	58'763.28	6.77	11.82
240	70'928.46	6.67	11.65
300	83'138.36	6.57	11.47

Tabella 8.2 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento ventennale

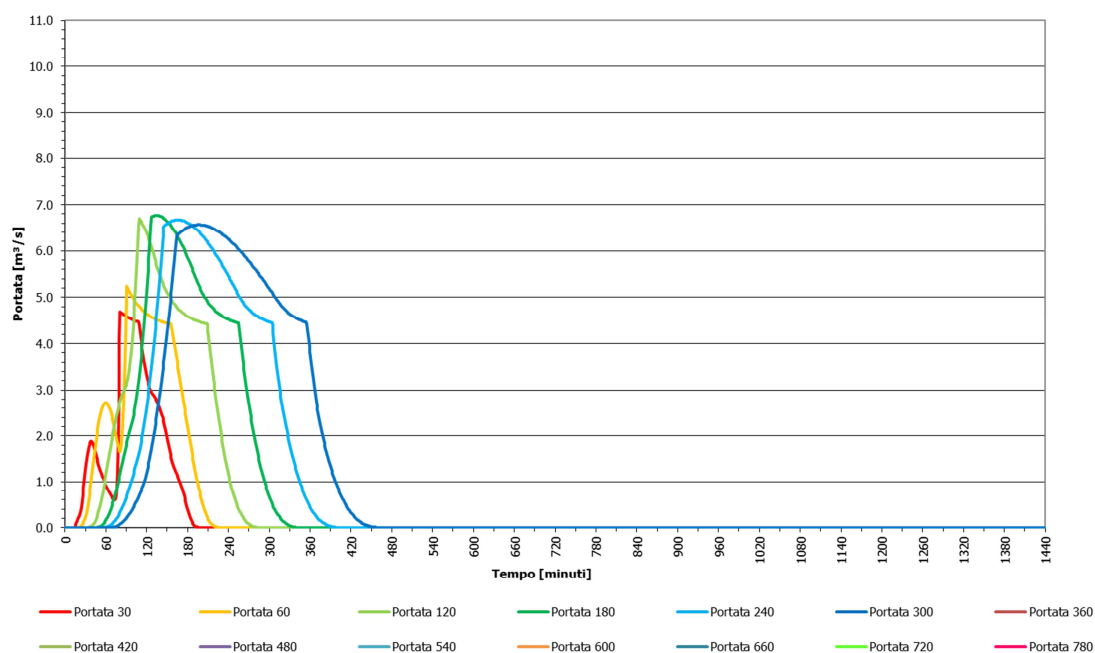
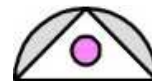


Figura 8.2 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento ventennale



8.1.3 Evento cinquantennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	26'812.42	4.85	8.47
60	37'797.28	5.65	9.87
120	53'192.67	7.56	13.20
180	66'733.69	7.55	13.19
240	80'046.07	7.40	12.93
300	93'305.43	7.25	12.67

Tabella 8.3 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento cinquantennale

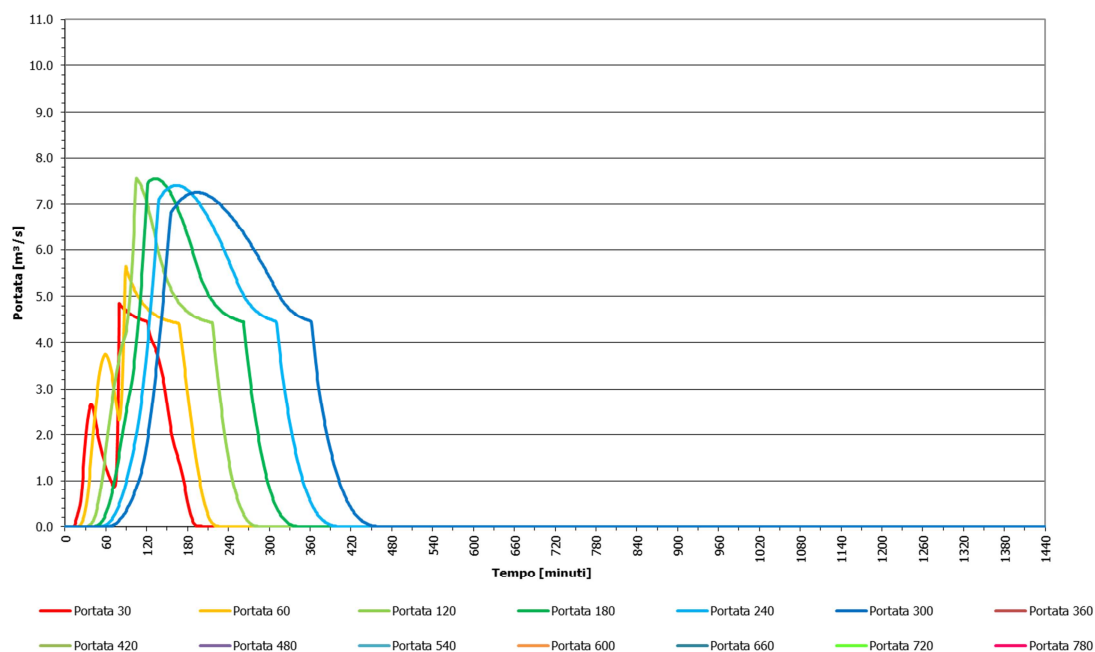
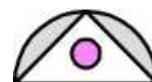


Figura 8.3 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento cinquantennale



8.1.4 Evento centennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	30'130.63	5.00	8.73
60	41'471.87	6.01	10.50
120	58'128.65	8.26	14.42
180	72'681.07	8.19	14.30
240	88'098.39	7.96	13.91
300	100'871.89	7.80	13.63

Tabella 8.4 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento centennale

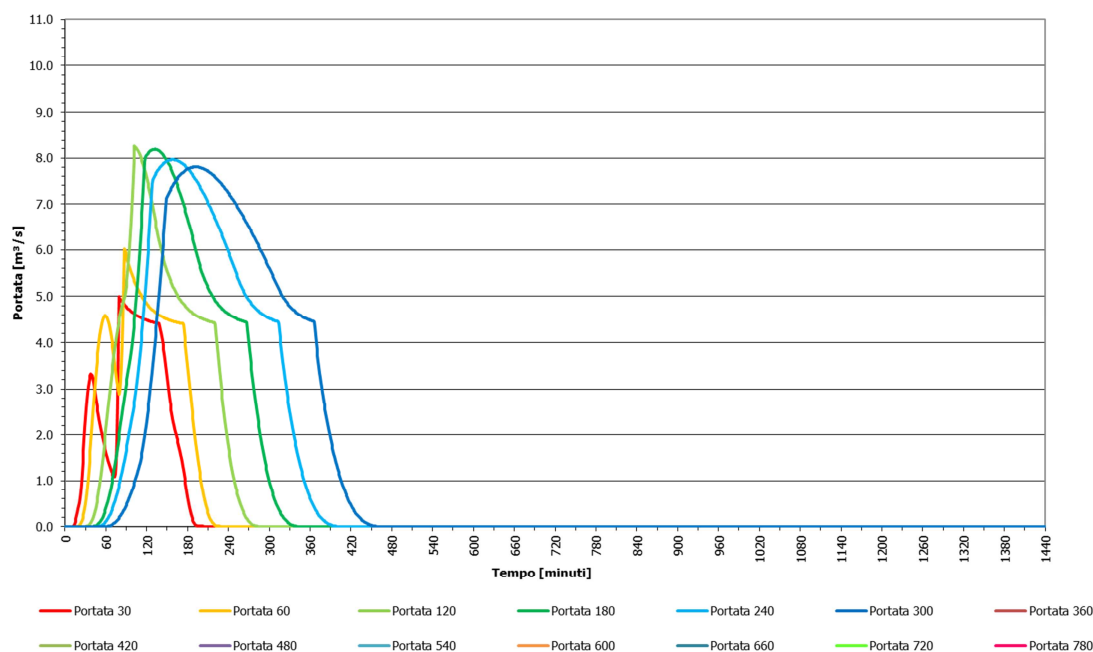
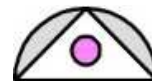


Figura 8.4 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento centennale

8.2 PORTATE DI PIENA ATTESE AL NODO MI04

Il bacino complessivo drenato alla sezione MI04 è costituito dai contributi del Torrente Miola e del Torrente Mioletta a Nord dell'autostrada A4 oltre agli apporti dei bacini posti a Nord di Via G.B. Vezzoli (con particolare riferimento al bacino urbano di San Pancrazio, per complessivi 624.44 ha circa).

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati delle simulazioni svolte.



8.2.1 Evento decennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	18'609.99	4.59	7.34
60	30'261.62	4.98	7.97
120	45'101.39	6.32	10.12
180	57'630.46	6.95	11.13
240	70'131.87	6.95	11.12
300	82'483.12	6.86	10.98

Tabella 8.5 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento decennale

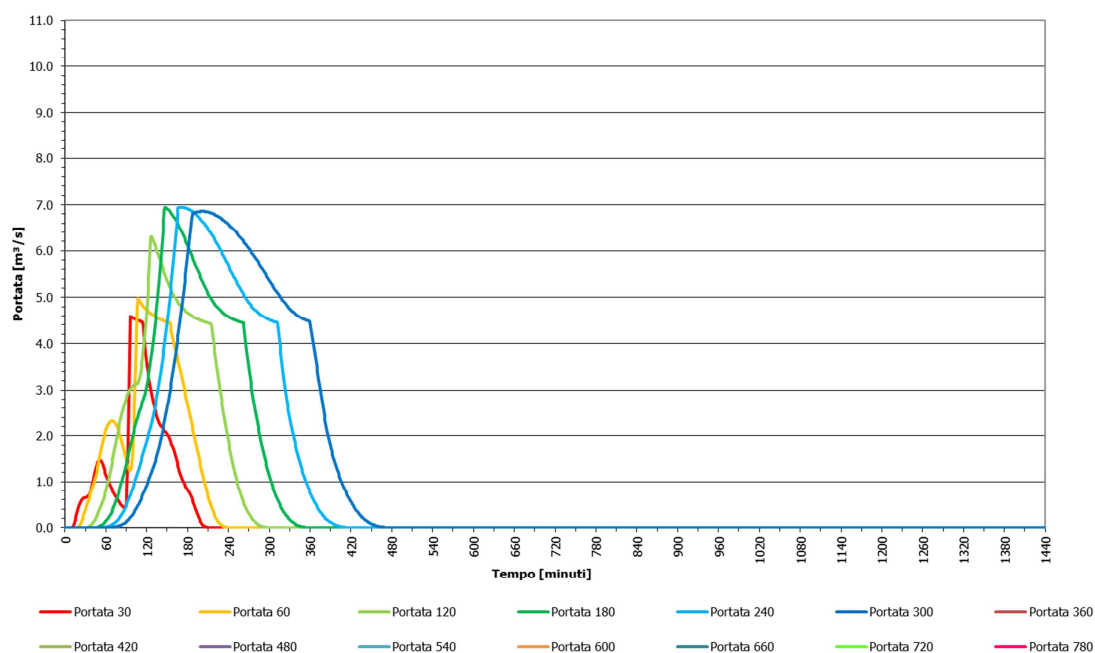
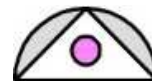


Figura 8.5 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento decennale



8.2.2 Evento ventennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	23'216.89	4.69	7.51
60	35'523.35	5.25	8.41
120	51'602.34	7.10	11.37
180	65'545.15	7.77	12.44
240	79'238.15	7.70	12.32
300	92'807.22	7.57	12.12

Tabella 8.6 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento ventennale

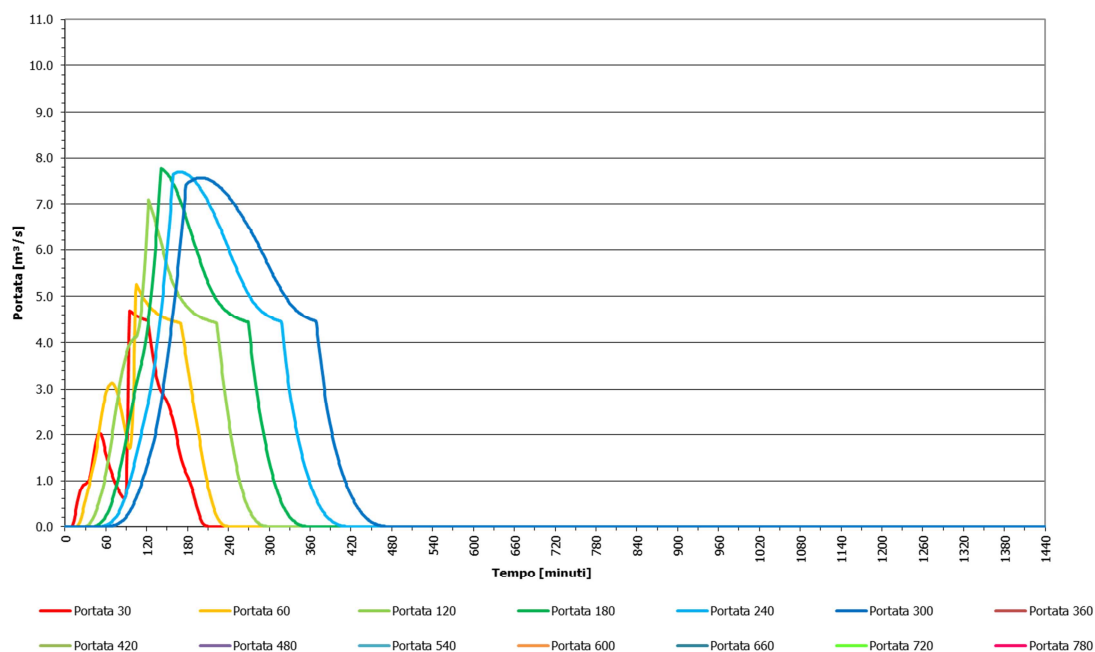
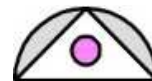


Figura 8.6 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento ventennale



8.2.3 Evento cinquantennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	28'966.47	4.85	7.77
60	41'772.43	5.68	9.09
120	60'032.81	8.25	13.22
180	75'878.63	8.91	14.27
240	91'163.05	8.76	14.03
300	106'166.66	8.58	13.73

Tabella 8.7 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento cinquantennale

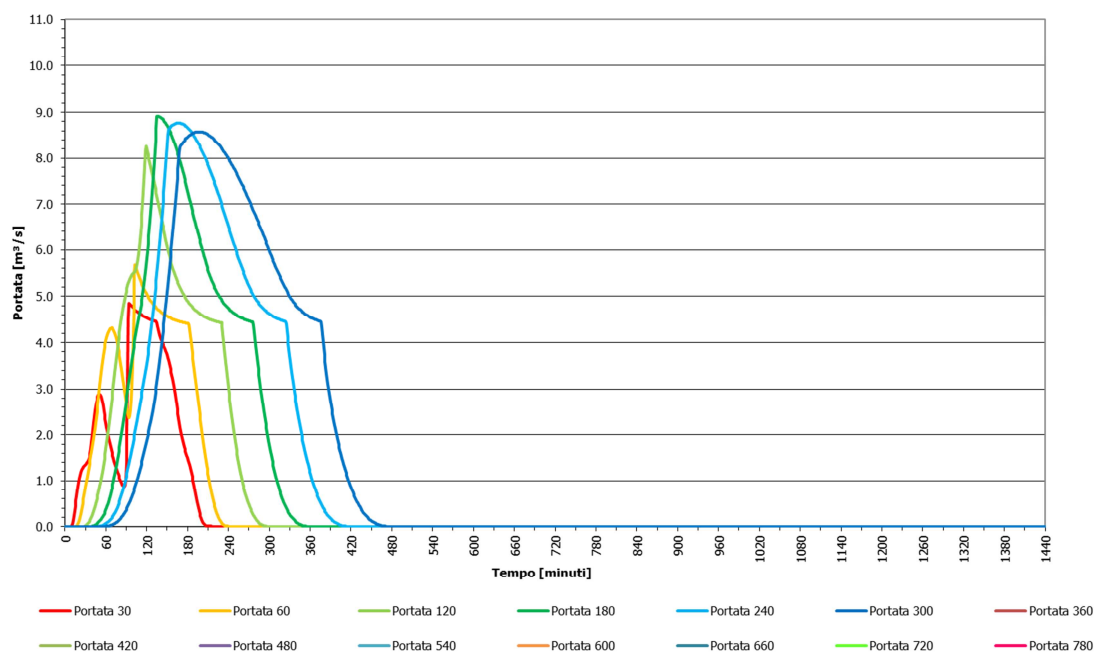
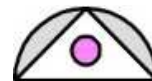


Figura 8.7 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI03 – evento cinquantennale



8.2.4 Evento centennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	32'855.62	5.01	8.02
60	46'295.96	6.05	9.69
120	66'385.64	9.25	14.82
180	83'768.24	9.83	15.74
240	101'748.09	9.59	15.36
300	116'332.35	9.39	15.04

Tabella 8.8 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento centennale

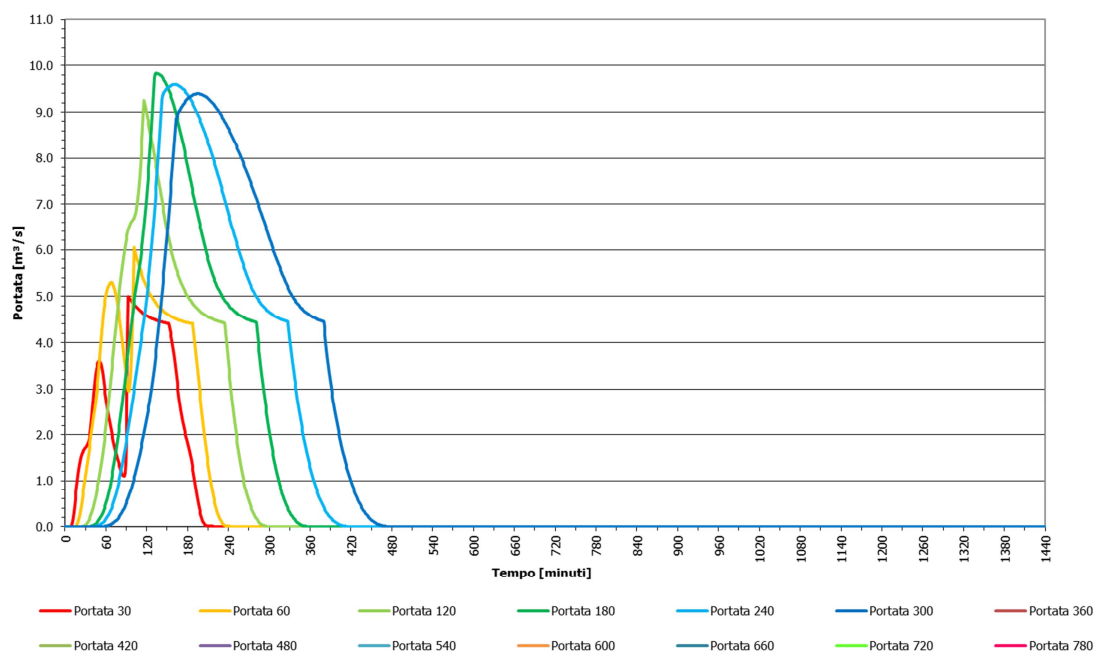
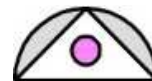


Figura 8.8 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento centennale

8.3 PORTATE DI PIENA ATTESE AL NODO MI05

Il bacino complessivo drenato alla sezione MI05 è costituito dalla totalità dei bacini presi in esame, per complessivi 649.80 ha.

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati delle simulazioni svolte.



8.3.1 Evento decennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	19'038.92	4.59	7.06
60	31'137.76	4.99	7.67
120	46'722.48	6.39	9.84
180	59'873.67	7.24	11.14
240	72'919.17	7.30	11.23
300	85'759.11	7.21	11.09

Tabella 8.9 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento decennale

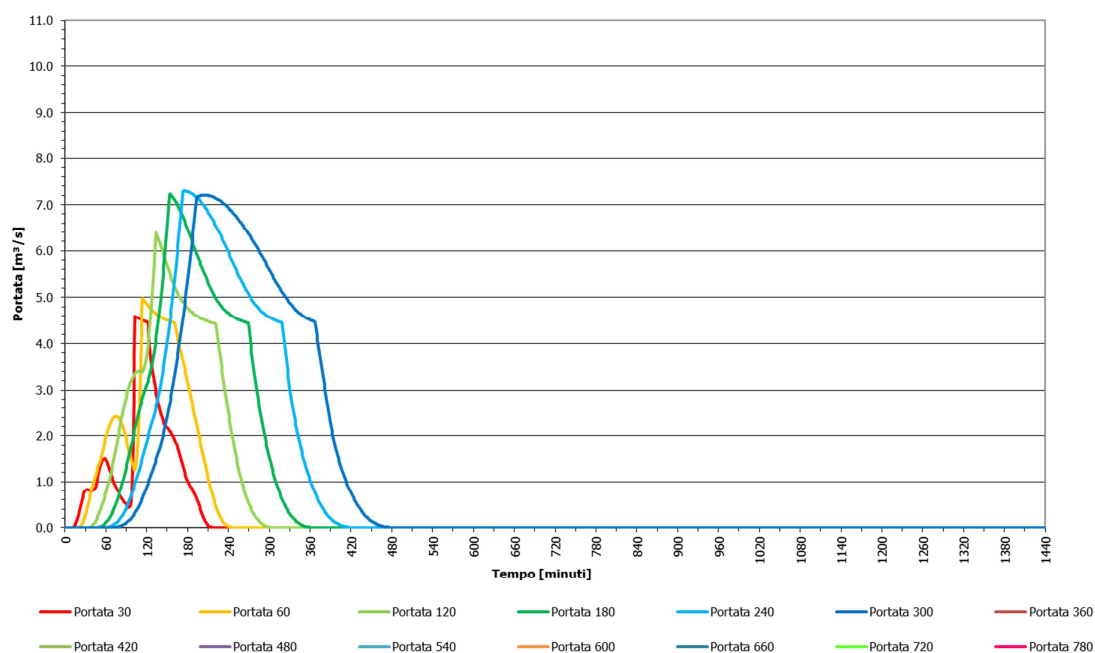
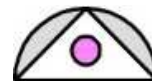


Figura 8.9 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento decennale



8.3.2 Evento ventennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	23'834.97	4.70	7.23
60	36'735.26	5.27	8.10
120	53'782.42	7.22	11.11
180	68'522.82	8.19	12.60
240	82'907.87	8.15	12.55
300	97'095.12	8.02	12.34

Tabella 8.10 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento ventennale

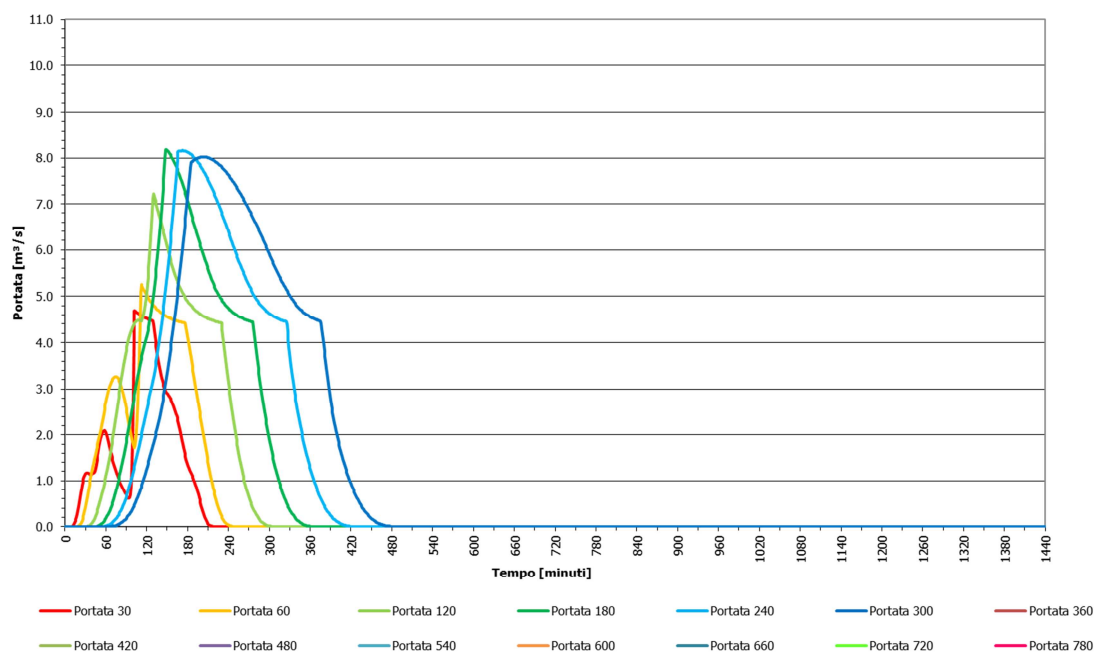
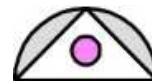


Figura 8.10 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento ventennale



8.3.3 Evento cinquantennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	29'876.04	4.86	7.48
60	43'489.07	5.70	8.77
120	63'036.80	8.46	13.02
180	79'928.00	9.51	14.63
240	96'111.82	9.38	14.43
300	111'914.07	9.18	14.12

Tabella 8.11 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento cinquantennale

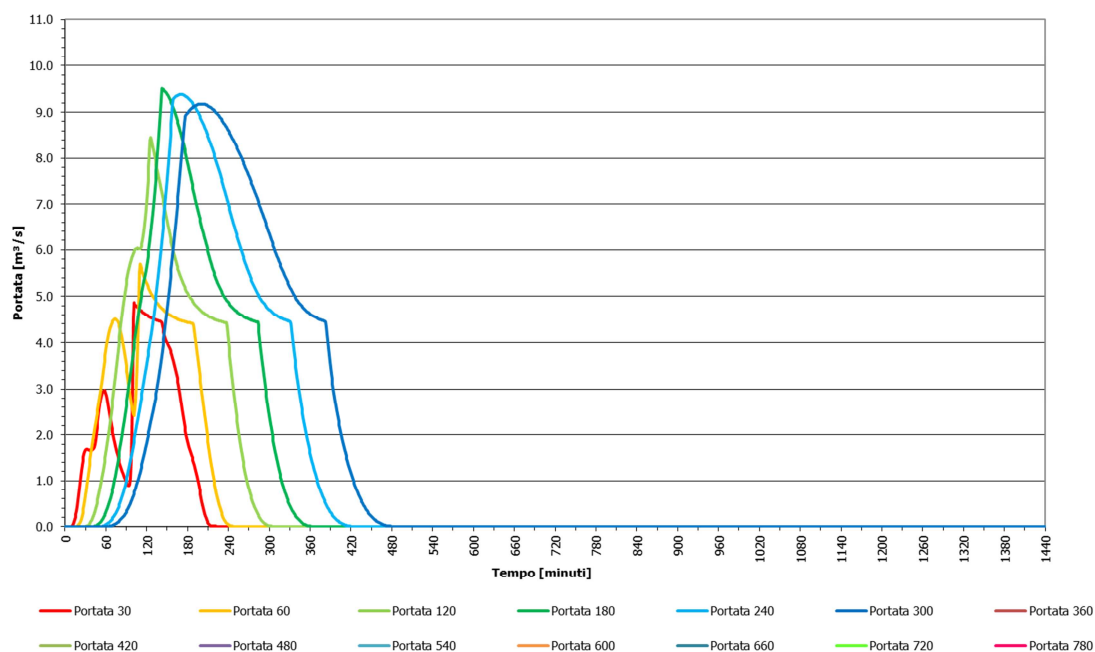
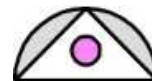


Figura 8.11 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento cinquantennale



8.3.4 Evento centennale

Durata evento	Volume idrogramma	Portata al colmo	Coefficiente udometrico apparente
[minuti]	[m ³]	[m ³ /s]	[l/(s*ha)]
30	34'016.86	5.01	7.71
60	48'439.99	6.08	9.36
120	70'076.30	9.55	14.70
180	88'703.40	10.57	16.26
240	107'857.36	10.33	15.89
300	123'274.45	10.11	15.56

Tabella 8.12 caratteristiche principali degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI05 – evento centennale

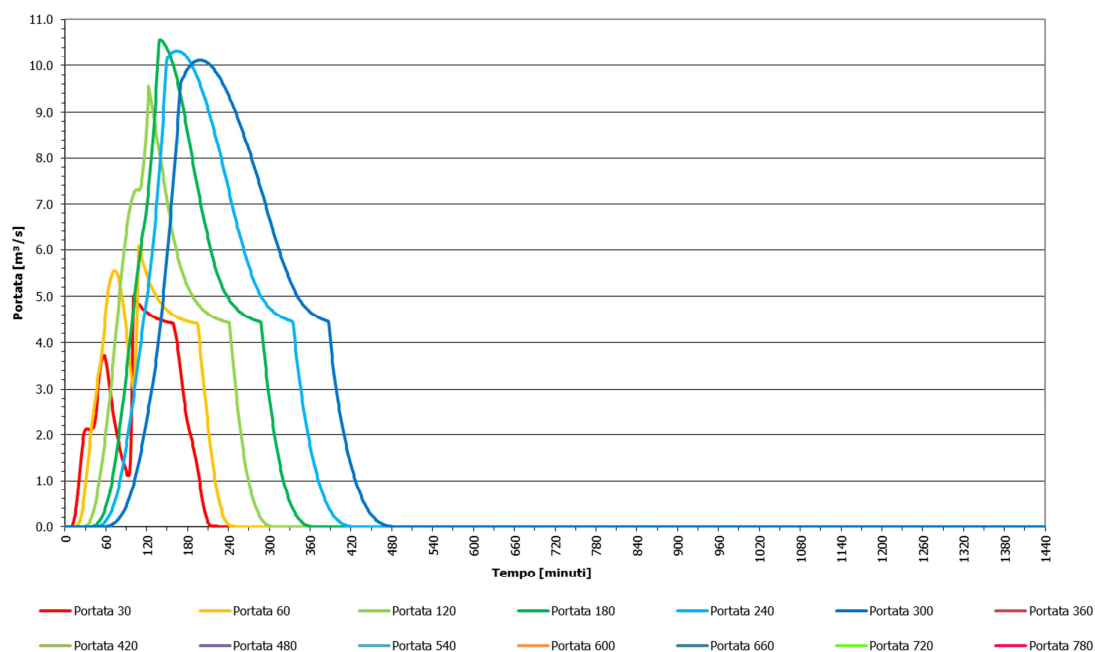
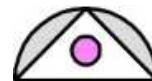


Figura 8.12 Rappresentazione grafica dell'andamento degli idrogrammi di piena attesi al nodo MI04 – evento centennale



8.4 CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

I risultati dell'analisi idrologica condotta sono riportati all'interno della successiva Tabella 8.13.

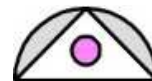
Sezione	Tempo di ritorno dell'evento			
	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni
MI03	6.22 m ³ /s	6.77 m ³ /s	7.56 m ³ /s	8.26 m ³ /s
MI04	6.95 m ³ /s	7.77 m ³ /s	8.91 m ³ /s	9.83 m ³ /s
MI05	7.30 m ³ /s	8.19 m ³ /s	9.51 m ³ /s	10.57 m ³ /s

Tabella 8.13 Portate al colmo per il Torrente Miola nelle tre sezioni prese in esame per tempi di ritorno di 10, 20, 50 e 100 ann.

I risultati in tabella evidenziano *l'effetto rilevante delle sezioni di controllo*; a titolo di confronto è stata condotta un'analisi idrologica senza considerare l'effetto di queste ultime: ne è risultato, con riferimento all'evento centennale, che le portate attese sono rispettivamente nell'ordine di 23.54 m³/s (MI03), 24.13 m³/s (MI04), 24.46 m³/s (MI05), ovvero tra 2 e 3 volte i valori riscontrati.

Questo dà ragione dei bassi coefficienti udometrici relativi agli eventi presi in esame che pertanto, nelle tabelle riportate in precedenza, vengono definiti come "apparenti": essi non sono i veri coefficienti udometrici che risulterebbero dall'analisi idrologica, ma i valori in esito al taglio degli idrogrammi causato dalle sezioni di controllo: i coefficienti udometrici "apparenti" stimati in precedenza non sono pertanto rappresentativi della capacità di drenaggio media dei bacini considerati, che, nella realtà e in assenza di sezioni di controllo sarebbe tra 2 e 3 volte superiore a quella riscontrata.

Si evidenzia infine un aspetto che sarà affrontato in maniera più sistematica nel paragrafo precedente: le sezioni del Torrente Miola riscontrate sul territorio sarebbero del tutto insufficienti (anche a monte dell'area di interesse) per il convogliamento dei valori idrologici mentre sono confrontabili con quelli ritenuti realistici.



9 ANALISI IDRAULICA SPEDITIVA DELLE CAPACITÀ DI CONVOGLIAMENTO DELLA RETE A FRONTE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA ATTESI

All'interno del paragrafo seguente si sono stimate le portate reali attese lungo il tratto del Torrente Miola che lambisce sul lato orientale l'abitato di San Pancrazio.

Al fine di valutare l'adeguatezza o meno delle sezioni d'alveo presenti in rapporto a tali portate di piena è stata condotta un'analisi idraulica speditiva, sviluppata secondo le modalità seguenti:

- il rilievo in campo di alcune sezioni (nella fattispecie 11) nel tratto di interesse, considerate rappresentative dei manufatti principali presenti e delle caratteristiche tipiche dell'alveo;
- la quantificazione a moto uniforme della capacità di convogliamento delle stesse, sulla base dell'ipotesi (considerata come si è detto ragionevole per il caso in esame) che la pendenza dell'alveo sia analoga a quella del terreno limitrofo;
- il confronto tra le portate risultanti a moto uniforme e quelle di piena stimate per gli eventi di 10, 20, 50 e 100 anni.

È opportuno chiarire il significato e i limiti di validità di una simile analisi: **un'analisi a moto uniforme e per sezioni tipo non può in nessun modo essere considerata esaustiva in merito alla valutazione della pericolosità idraulica dell'asta idrica nel suo complesso, che da norma deve essere valutata con un livello di dettaglio diverso** (al minimo con un'analisi in moto permanente e sulla base di un rilievo celerimetrico dell'alveo, in grado di descrivere le singolarità delle sezioni e quindi i fenomeni di rigurgito che, giocoforza, la valutazione a moto uniforme non è in grado di rappresentare), ma consente in ogni caso un inquadramento del problema: è abbastanza evidente che se un'analisi speditiva evidenzia insufficienze diffuse dell'alveo per eventi con tempo di ritorno di 10 o 20 o 50 anni questo con tutta probabilità presenta situazioni di criticità che rendono assolutamente necessari maggiori approfondimenti.

Nel caso specifico si osserverà come le sezioni d'alveo appaiano invece come complessivamente adeguate al transito delle portate centennali lasciando intendere come non vi sia una problematica di insufficienza estesa e diffusa della sezione d'alveo; l'indagine sul territorio ha portato tuttavia ad evidenziare singolarità e criticità di carattere locale su singole sezioni o su singoli manufatti che possono in determinate condizioni ingenerare fenomeni di intasamento che a loro volta possono dare luogo a fenomeni alluvionali.

9.1 SEZIONE 01

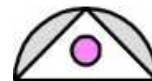
La prima sezione presa in esame è costituita dall'attraversamento di Via Bornico, circa 150 metri a valle dell'attraversamento dell'Autostrada A4.

Non è stato possibile rilevare sezioni tra l'attraversamento dell'Autostrada e quello di Via Bornico per la fitta vegetazione arbustiva ed arborea presente.

L'attraversamento è costituito da un manufatto scatolare in opera di sezione pari a 4.00 x 1.10 m.

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Tipo manufatto: rettangolare chiuso
- Larghezza manufatto: 4.00 m
- Altezza manufatto: 1.10 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.56%



La portata massima convogliabile dal manufatto (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 13.18 m³/s.

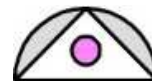
In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento del manufatto e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI03.



Figura 9.1 Vista da valle verso monte del ponte di Via Bornico (sezione 01)

Portata massima Convogliabile [m³/s]	Portata con Tr=10 anni [m³/s]	Portata con Tr=20 anni [m³/s]	Portata con Tr=50 anni [m³/s]	Portata con Tr=100 anni [m³/s]
13.18	6.22	6.77	7.56	8.26

Tabella 9.1 capacità di convogliamento della Sezione 01 (ponte di Via Bornico)



9.2 SEZIONE 02

La seconda sezione presa in esame è costituita dalla sezione a cielo aperto posta a valle dell'attraversamento di Via Bornico.

La sezione ha le caratteristiche geometriche indicate in figura.

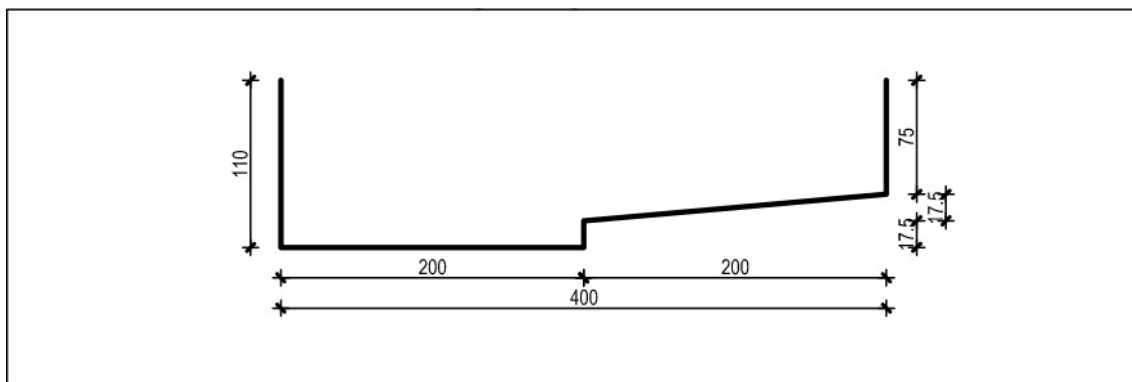


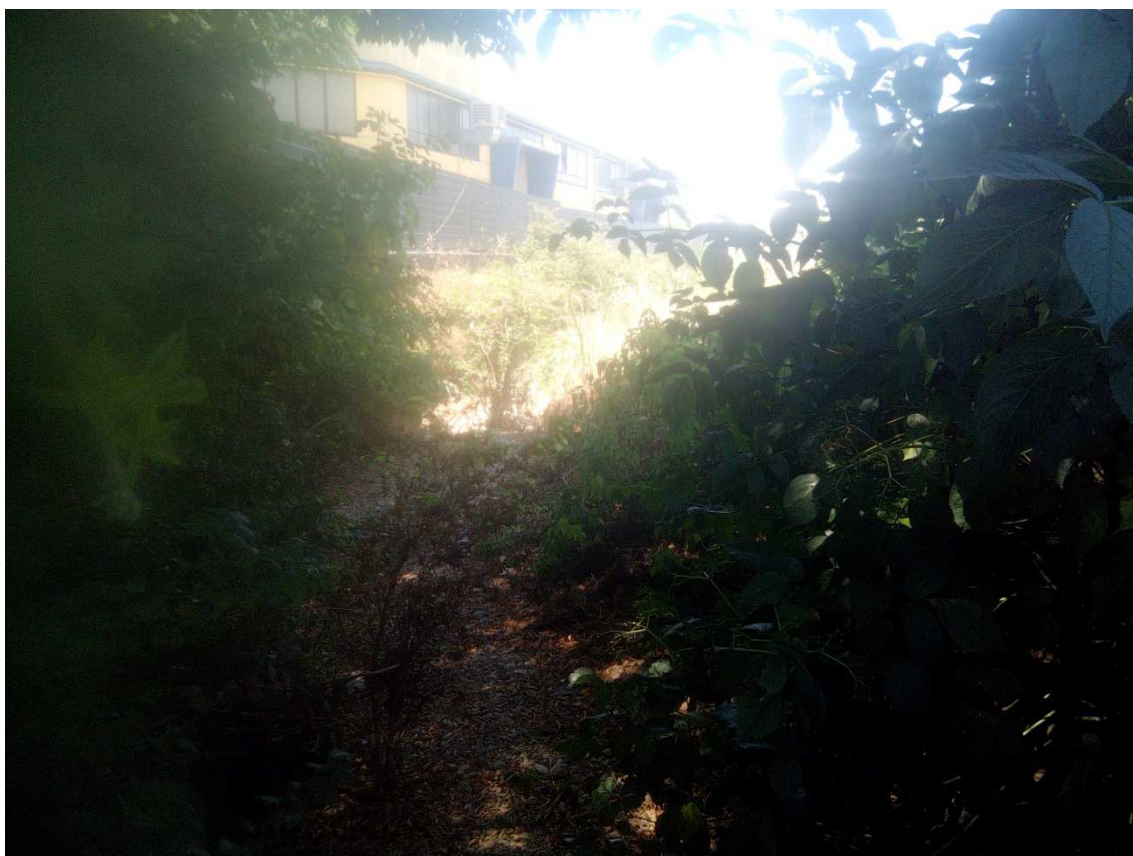
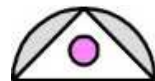
Figura 9.2 rappresentazione schematica della sezione 02, scala 1:50

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Sezione manufatto: come in figura
- Scabrezza secondo Strickler: 40
- Pendenza: 0.56%

La portata massima convogliabile dalla sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 8.65 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI03.

**Figura 9.3 Vista da monte verso valle della sezione 02**

Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
8.65	6.22	6.77	7.56	8.26

Tabella 9.2 capacità di convogliamento della Sezione 02**9.3 SEZIONE 03**

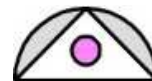
La sezione 03 è costituita dal ponte carraio di accesso a un'azienda posta in Via Bornico sul lato destro del Torrente Miola.

La sezione 03 è stata presa in esame in quanto gli utenti presenti sul territorio segnalano che nell'anno 2020 essa è stata causa di una fuoriuscita d'acqua dall'alveo, dovuta all'accumulo di materiali flottanti trasportati dalla corrente in imbocco alla stessa.

L'attraversamento è costituito da un manufatto scatolare in opera di sezione pari a 3.00 x 1.10 m.

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Tipo manufatto: rettangolare chiuso
- Larghezza manufatto: 3.00 m
- Altezza manufatto: 1.10 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70



- Pendenza: 0.56%

La portata massima convogliabile dal manufatto (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 11.39 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento del manufatto e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI03.

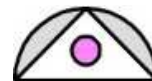


Figura 9.4 Vista da monte verso valle del ponte privato per l'accesso a un'azienda in Via Bornico (sezione 03)

Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
11.39	6.22	6.77	7.56	8.26

Tabella 9.3 capacità di convogliamento della Sezione 03 (ponte privato su Via Bornico)

In base a quanto riportato in tabella, pertanto, la sezione idraulica appare a prima vista idonea a convogliare le portate provenienti da monte (in effetti essa non restringe in larghezza la sezione, ma solo, per la presenza della soletta dell'attraversamento, in altezza) e, pertanto, i fenomeni alluvionali conclamati a cui essa ha dato luogo appaiono da ricondurre non a un'insufficienza idraulica ma al suo intasamento e alla conseguente riduzione della capacità di trasporto.



9.4 SEZIONE 04

La sezione 04 è considerata rappresentativa del tratto di alveo che costeggia Via Bornico e che è compreso tra il ponte privato di cui alla sezione 3 e il ponte, parimenti privato, in corrispondenza del cambio di direzione del Torrente.

La sezione ha le caratteristiche geometriche indicate in figura.

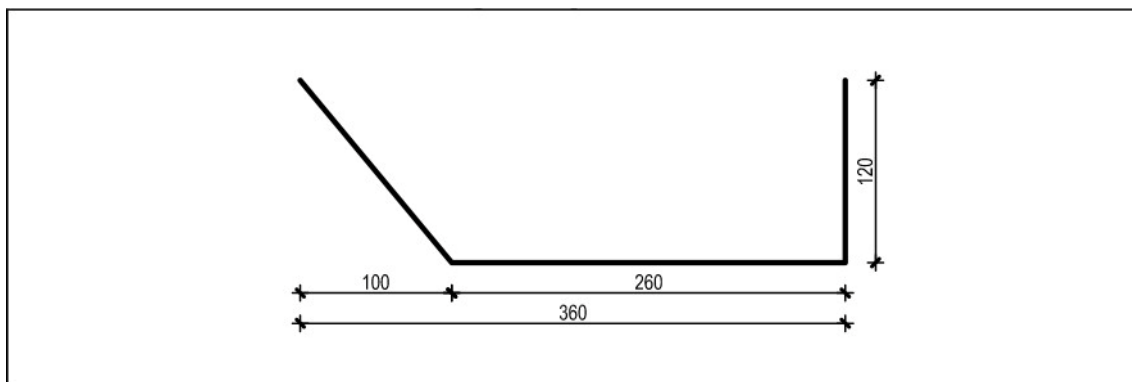


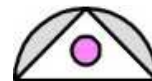
Figura 9.5 rappresentazione schematica della sezione 04, scala 1:50

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Sezione manufatto: come in figura
- Scabrezza secondo Strickler: 40
- Pendenza: 0.56%

La portata massima convogliabile dalla sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 8.75 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI03.

**Figura 9.6 Vista da valle verso monte della sezione 04**

Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
8.75	6.22	6.77	7.56	8.26

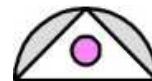
Tabella 9.4 capacità di convogliamento della Sezione 04**9.5 SEZIONE 05**

La sezione 05 è costituita da un ponte carraio che collega Via Bornico con un fondo posto in sponda sinistra rispetto al Torrente Miola, in corrispondenza del cambio di direzione che porta quest'ultimo in direzione Sud allontanandosi dalla sede stradale.

L'attraversamento è costituito da un manufatto scatolare in opera di sezione pari a 3.50 x 1.50 m; ai fini della stima della portata di convogliamento si è però tenuto conto che l'alveo del Torrente in corrispondenza dell'attraversamento è inciso solo di 1 m rispetto a p.c. per cui l'effettiva capacità di convogliamento della sezione è quella di una sezione rettangolare aperta alta 1.00 m: al di sopra di tale tirante si ha fuoriuscita d'acqua dalle sponde.

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Tipo manufatto: Rettangolare aperto
- Larghezza manufatto: 3.50 m



- Altezza manufatto: 1.00 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.47%

La portata massima convogliabile dal manufatto (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 12.45 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento del manufatto e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI03.



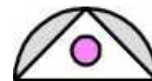
Figura 9.7 Vista da valle verso monte del ponte privato per l'accesso a un fondo da Via Bornico (sezione 05)

Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
12.45	6.22	6.77	7.56	8.26

Tabella 9.5 capacità di convogliamento della Sezione 03 (ponte privato su Via Bornico)

La sezione teoricamente appare pertanto adeguata dal punto di vista idraulico al transito delle portate di piena attese.

Il rilievo sul terreno evidenzia tuttavia fenomeni di malfunzionamento, legati probabilmente alla collocazione del ponte in corrispondenza del brusco cambio di direzione del Torrente Miola: come è possibile osservare in Figura 9.7, la sezione presenta un fenomeno di sovralluvionamento in sponda sinistra (a destra



nella foto) e un fenomeno erosivo in sponda sinistra: appare evidente come, attualmente, la sezione d'alveo effettivamente disponibile per il convogliamento delle portate sia significativamente più ridotta di quella teorica.

9.6 SEZIONE 06

La sezione 06 è rappresentativa del tratto di Torrente Miola che corre in fregio ad una edificazione piuttosto recente lungo una traversa di Via Bornico.

Con tutta probabilità all'atto di realizzazione dell'intervento edificatorio è stato posto in essere un intervento di sistemazione dell'alveo del Torrente che, lungo tale tratto, risulta costituito da una sezione trapezoidale avente le seguenti caratteristiche:

- Tipo sezione: trapezoidale
- Larghezza sezione sul fondo: 2.00 m
- Pendenza sponda sinistra: 1:1
- Altezza sponda sinistra: 1.00
- Pendenza sponda destra: 1:1
- Altezza sponda destra: 1.50
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.50%

La sponda destra (su cui si trovano le abitazioni) è più alta della sponda sinistra ed è munita mediante una scogliera regolare in massi ciclopici.

Il fondo del canale è rivestito in cls.

La sponda sinistra, in terra, è lievemente in rilevato rispetto al terreno limitrofo.

La portata massima convogliabile dal sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 10.81 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI03.

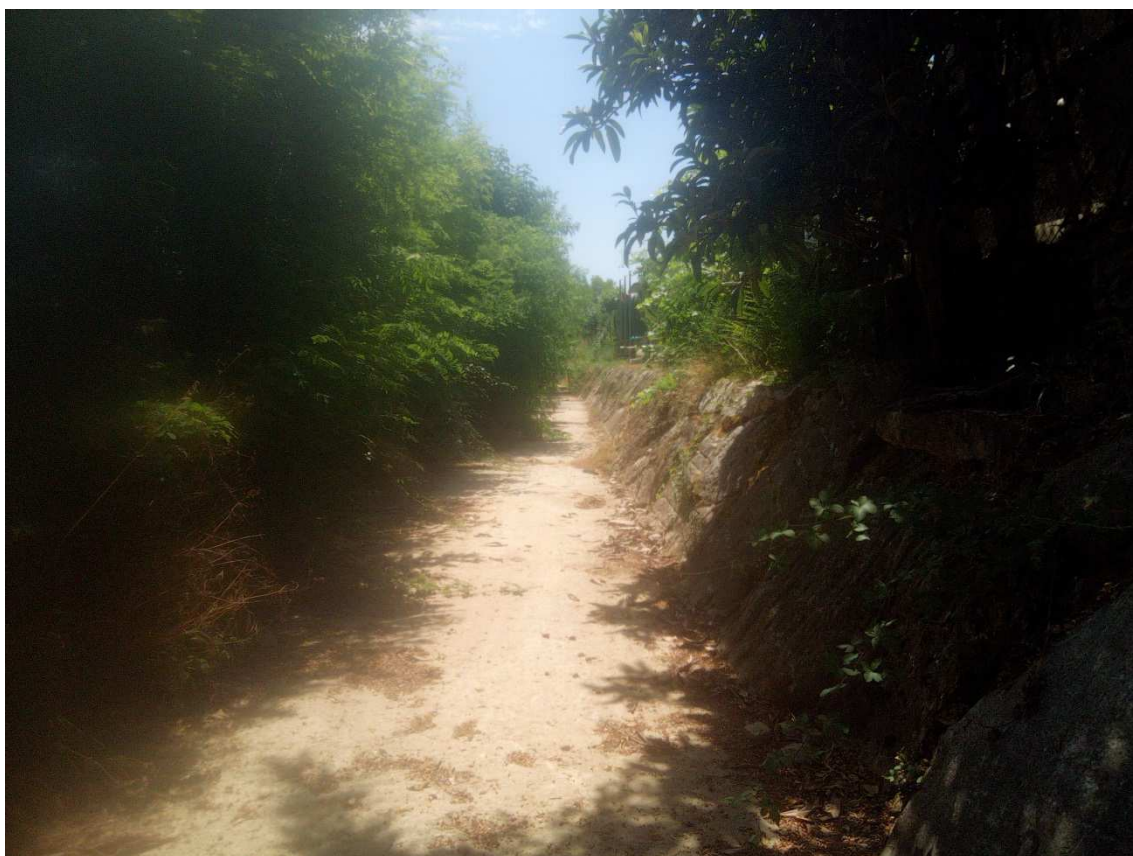
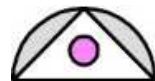


Figura 9.8 Vista da monte verso valle della sezione del Torrente Miola in corrispondenza della sezione 06

Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
11.39	6.22	6.77	7.56	8.26

Tabella 9.6 capacità di convogliamento della Sezione 06

9.7 SEZIONE 07

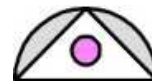
La sezione 07 è costituita dall'attraversamento del Torrente Miola da parte di Via G.B. Vezzoli.

Immediatamente a monte dell'attraversamento, in sponda destra è rilevabile l'immissione dello scaricatore di piena della fognatura di San Pancrazio (si veda precedente §6.3.4).

L'attraversamento è costituito da un manufatto scatolare in opera di sezione pari a 3.50 x 1.50 m.

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Tipo manufatto: rettangolare chiuso
- Larghezza manufatto: 3.50 m
- Altezza manufatto: 1.50 m
- Scabrezza secondo Strickler: 70
- Pendenza: 0.75%



La portata massima convogliabile dal manufatto (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 24.58 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento del manufatto e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI04.



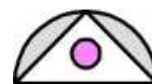
Figura 9.9 Vista da valle verso monte del ponte di Via G.B. Vezzoli (sezione 07)

Portata massima Convogliabile [m³/s]	Portata con Tr=10 anni [m³/s]	Portata con Tr=20 anni [m³/s]	Portata con Tr=50 anni [m³/s]	Portata con Tr=100 anni [m³/s]
24.58	6.95	7.77	8.91	9.83

Tabella 9.7 capacità di convogliamento della Sezione 07 (ponte di Via G.B. Vezzoli)

Il ponte di Via G.B. Vezzoli pertanto dal punto di vista teorico appare del tutto adeguato al convogliamento delle portate di piena attesa (sarebbe idonea al convogliamento perfino delle portate idrologiche); il rilievo sul terreno evidenzia però (Figura 9.9) la presenza dell'attraversamento di un servizio a rete a metà della luce del manufatto.

La presenza di tale anomalia (che di fatto lascia libera al di sotto dell'attraversamento una luce di passaggio nell'ordine di 60 – 70 cm) potrebbe essere sede di fenomeni di accumulo di materiali trasportati dalla corrente, come peraltro già riscontrabile in sponda destra (a sinistra nella foto) anche per la probabile contemporanea presenza dello scarico dello scaricatore (posto sul fondo dell'alveo e dietro al materiale accumulato visibile in fotografia).



9.8 SEZIONE 08

La sezione 08 descrive il primo tratto del Torrente Miola posto a valle del ponte di Via G.B. Vezzoli.
La sezione ha le caratteristiche geometriche indicate in figura.

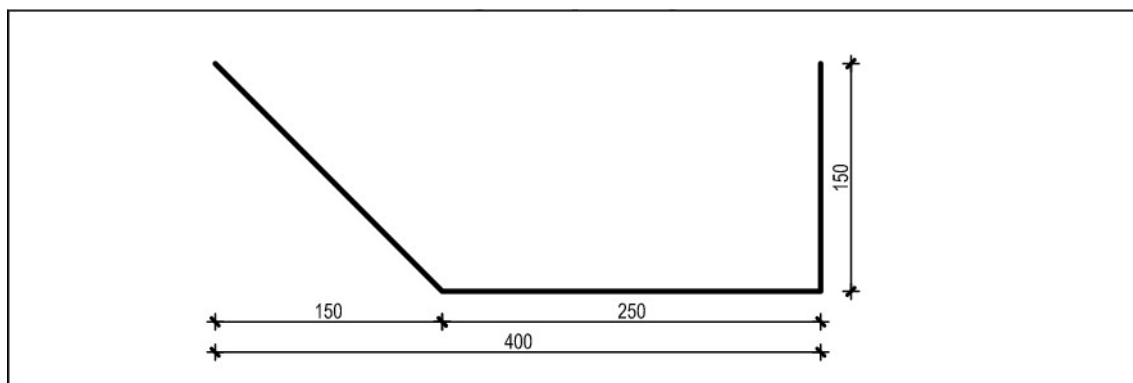


Figura 9.10 rappresentazione schematica della sezione 09, scala 1:50

La stima della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Sezione manufatto: come in figura
- Scabrezza secondo Strickler: 40
- Pendenza: 0.75%

La portata massima convogliabile dalla sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 14.48 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI04.

Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
14.48	6.95	7.77	8.91	9.83

Tabella 9.8 capacità di convogliamento della Sezione 08

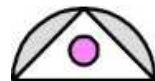


Figura 9.11 Vista da monte verso valle della sezione 08

9.9 SEZIONE 09

La sezione 09 è rappresentativa del tratto di Torrente Miola compreso tra Via G.B. Vezzoli e l'attraversamento con guado posto in Via delle Ghilarde.

La sezione ha le caratteristiche geometriche seguenti.

- Tipo sezione: trapezoidale
- Larghezza sezione sul fondo: 3.00 m
- Pendenza sponda sinistra: 1:1
- Altezza sponda sinistra: 1.20
- Pendenza sponda destra: 1:1
- Altezza sponda destra: 1.20
- Scabrezza secondo Strickler: 40
- Pendenza: 0.65%

La portata massima convogliabile dalla sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 13.88 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI05.

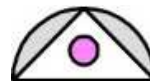


Figura 9.12 Vista dalla sponda sinistra del Torrente Miola in corrispondenza della sezione 09

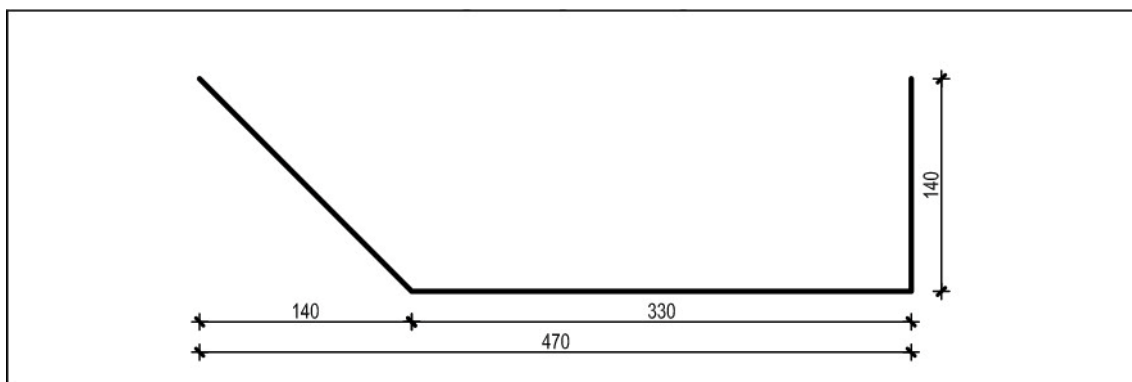
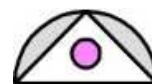
Portata massima Convogliabile [m ³ /s]	Portata con Tr=10 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=20 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=50 anni [m ³ /s]	Portata con Tr=100 anni [m ³ /s]
13.880	7.30	8.19	9.51	10.57

Tabella 9.9 capacità di convogliamento della Sezione 09

9.10 SEZIONE 10

La sezione 10 è rappresentativa del tratto di Torrente Miola compreso tra Via G.B. Vezzoli e l'attraversamento con guado posto in Via delle Ghilarde.

La sezione ha le caratteristiche geometriche indicate in figura.

**Figura 9.13 rappresentazione schematica della sezione 10, scala 1:50**

La valutazione della capacità di convogliamento della sezione d'alveo è pertanto stata valutata sulla base dei parametri seguenti:

- Sezione manufatto: come in figura
- Scabrezza secondo Strickler: 40
- Pendenza: 0.65%

La portata massima convogliabile dalla sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 16.07 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI05.

Portata massima Convogliabile [m³/s]	Portata con Tr=10 anni [m³/s]	Portata con Tr=20 anni [m³/s]	Portata con Tr=50 anni [m³/s]	Portata con Tr=100 anni [m³/s]
16.07	6.95	7.77	8.91	9.83

Tabella 9.10 capacità di convogliamento della Sezione 10

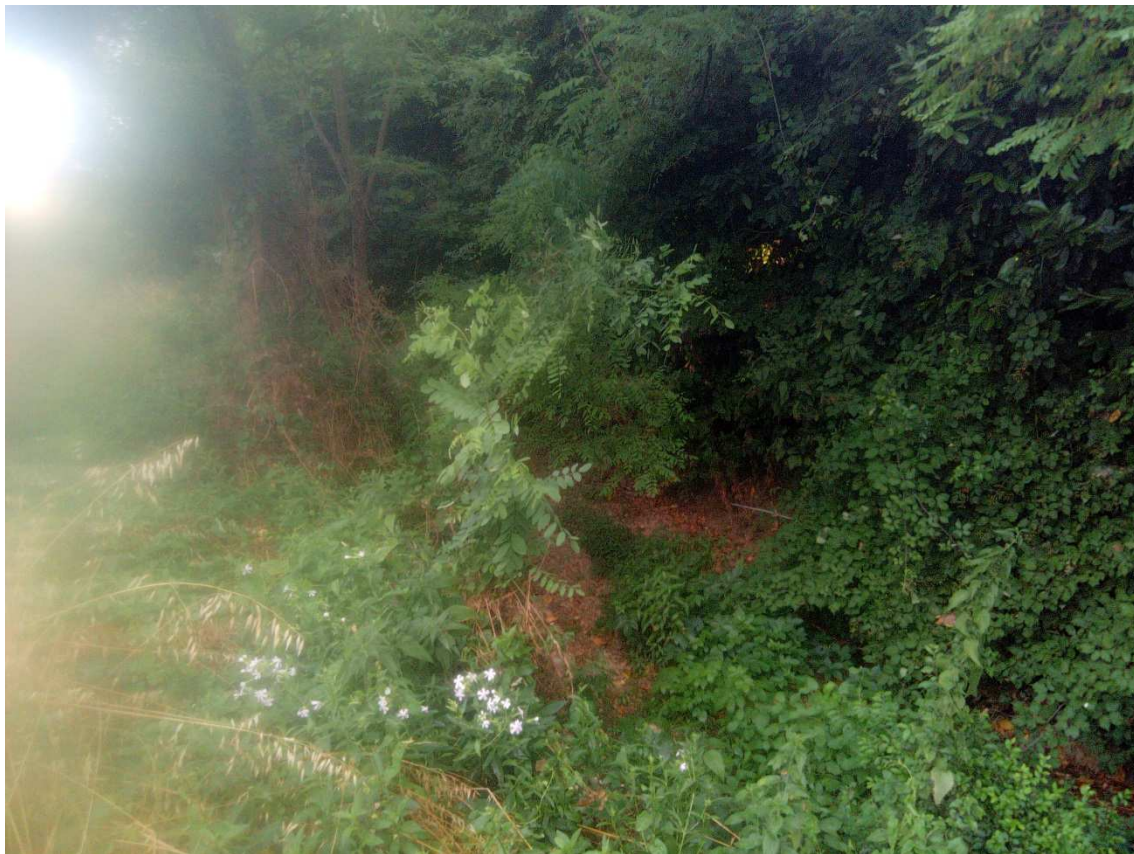
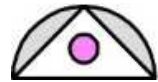


Figura 9.14 Vista da monte verso valle della sezione 10 dalla sponda sinistra

9.11 SEZIONE 11

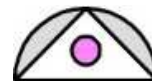
La sezione 11 è rappresentativa della sezione del guado di Via delle Ghilarde.

La sezione ha le caratteristiche geometriche seguenti.

- Tipo sezione: trapezoidale
- Larghezza sezione sul fondo: 2.00 m
- Pendenza sponda sinistra: 1:1
- Altezza sponda sinistra: 1.20
- Pendenza sponda destra: 1:1
- Altezza sponda destra: 1.20
- Scabrezza secondo Strickler: 40
- Pendenza: 0.65%

La portata massima convogliabile dalla sezione (valutata con la formula di Chezy) è pari a circa 9.18 m³/s.

In Tabella è riportato il confronto tra la capacità di convogliamento della sezione e le portate di piena attese nella sezione di chiusura MI05.

**Figura 9.15 Vista da valle verso monte del Torrente Miola in corrispondenza della sezione 11**

Portata massima Convogliabile [m³/s]	Portata con Tr=10 anni [m³/s]	Portata con Tr=20 anni [m³/s]	Portata con Tr=50 anni [m³/s]	Portata con Tr=100 anni [m³/s]
9.18	7.30	8.19	9.51	10.57

Tabella 9.11 capacità di convogliamento della Sezione 11

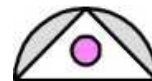
La Sezione 11 presenta pertanto una lieve insufficienza sull'evento cinquantennale e più pronunciata sull'evento centennale: tale insufficienza appare però correlata ad un elemento puntuale, ovvero la presenza del guado, a valle del quale la sezione riprende con caratteristiche analoghe a quelle presenti a monte.

9.12 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi speditiva condotta sulle sezioni d'alveo del Torrente Miola in corrispondenza dell'abitato di San Pancrazio, pur con i limiti interpretativi e di validità descritti in precedenza, consente di trarre alcune conclusioni di carattere generale.

Le sezioni del Torrente Miola appaiono adeguate al convogliamento delle portate di piena reali provenienti da monte, ovvero degli idrogrammi di piena "tagliati" dai limiti imposti dalle sezioni geometriche poste a monte e in corrispondenza dell'Autostrada A4.

A fronte di questa complessiva non – criticità del Torrente si sono evidenziate alcune singolarità presenti lungo la sezione d'alveo che, pur non costituendo nelle condizioni di esercizio normali un elemento di



limitazione delle portate, possono diventarlo a seguito di malfunzionamenti legati al trasporto e al deposito di materiali flottanti, in particolare:

- il ponte privato a valle dell'attraversamento di Via Bornico è stato nel 2020 sede di un fenomeno alluvionale legato all'occlusione del lume per accumulo di materiale (sezione 03);
- il ponte privato in corrispondenza del cambio di direzione da Via Bornico in relazione alla posizione dove è collocato presenta fenomeni di sovralluvionamento sul lato interno dell'ansa e di erosione sul lato esterno (sezione 05);
- il ponte di Via G.B. Vezzoli presenta un servizio a rete a metà dell'altezza del lume del manufatto (sezione 07);
- il guado di Via delle Ghilarde costituisce un punto di criticità localizzata (sezione 11).

A seguito dell'analisi svolta, pertanto, la proposta di interventi strutturali che si formula è quella di interventi che, pur senza alterare le sezioni d'alveo esistenti, mitigano la loro esposizione a fenomeni di intasamento e di conseguente fuoriuscita delle acque, vale a dire:

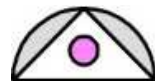
- la realizzazione di un manufatto di intercettazione dei materiali flottanti trasportati dalla corrente, da posizionarsi a monte del ponte di Via Bornico;
- il rifacimento del ponte privato in corrispondenza del cambio di direzione da Via Bornico, in maniera da addolcire la curva e la protezione delle sponde e del fondo così da limitare i fenomeni di erosione e sovralluvionamento;
- l'eliminazione del servizio a rete interferente con la sezione del ponte di Via delle Ghilarde;
- l'eliminazione del guado (che può costituire, in condizioni di piena del Torrente, anche un elemento di pericolosità per l'incolumità delle persone) mediante la realizzazione di un attraversamento superiore di sezione analoga a quelle presenti a monte e a valle.

Relativamente alle su cui era imposto un vincolo di esondazione all'interno del P.G.T. (poi recepito nel P.G.R.a.) si evidenzia come, in esito alle analisi svolte nel presente Studio, le aree poste a Nord di Via G.B. Vezzoli e di Via delle Ghilarde non siano aree esondabili propriamente dette, bensì aree *che possono essere allagate al verificarsi di particolari condizioni di malfunzionamento indipendentemente dal tempo di ritorno dell'evento considerato*; per esemplificare: se il servizio a rete posato in luce al ponte di Via G.B. Vezzoli causa l'accumulo di ramaglie trasportate dal Torrente, anche un evento con tempo di ritorno biennale può dare luogo a fenomeni alluvionali, pur in presenza di un manufatto che teoricamente è in grado di far fronte perfino all'evento idrologico centennale.

L'individuazione di tali aree all'interno del P.G.R.A. e del P.G.T. è a parere dello scrivente molto accurata:

- l'area in sponda destra a monte di Via G.B. Vezzoli è posizionata in corrispondenza di un cambio di direzione del Torrente ove esso corre parzialmente arginato e tutto il terreno posto a Nord di Via Vezzoli risulta ribassato rispetto alle aree limitrofe e alla sede stradale: a fronte di un intasamento del ponte il primo punto da cui l'acqua fuoriuscirà dall'alveo sarà presumibilmente in corrispondenza del cambio di direzione, per effetto del rigurgito causato dal ponte;
- l'area in sponda sinistra di Via delle Ghilarde, pur a fronte di un alveo inciso, si presenta come lievemente ribassata rispetto alla sponda destra: a fronte del rigurgito indotto dal restringimento locale causato dal guado, le acque fuoriuscite tenderanno ad interessare tale sponda, per poi rientrare in alveo passata la strettoia del guado.

Nell'ambito del presente Studio si propone l'ampliamento dell'area vincolata a monte del ponte di Via G.B. Vezzoli anche alle aree poste in sponda sinistra in corrispondenza del tratto dove l'alveo è canalizzato e con sponda destra rivestita: la sponda destra risulta circa 30 – 40 cm più alta della sponda sinistra



(probabilmente per scelta progettuale: su di essa si affacciano le abitazione) e quest'ultima risulta arginata rispetto al p.c., che si colloca poco al di sopra della quota di fondo alveo.

A seguito dell'intasamento del ponte di Via G.B. Vezzoli anche quest'area, come quella già individuata dal P.G.R.A., si presenta come sede privilegiata per la fuoriuscita delle acque per il rigurgito indotto dal ponte.