



COMUNE DI REZZATO
PROVINCIA DI BRESCIA
REGIONE LOMBARDIA

VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE DEL SUAP "LAMIFER"
AI FENOMENI ALLUVIONALI INDOTTI
DAL NAVIGLIO GRANDE BRESCIANO
STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO



RELAZIONE IDROLOGICA

I PROGETTISTI:
Dott. Ing. GIUSEPPE NEGRINELLI
Dott. Ing. ANTONIO DI PASQUALE

GENNAIO 2017

INDICE

1. PREMESSA – SCOPO DEL LAVORO.....	3
2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO AFFERENTE ALLA SEZIONE DI INTERESSE	5
3. DESCRIZIONE GENERALE DEL CODICE UTILIZZATO E DEL MODELLO DI CALCOLO PREDISPOSTO	12
4. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO.....	14
4.1 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOMETRICI E MORFOLOGICI – SCELTA DEL METODO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI	14
4.1.1 MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI MONTANI E PEDEMONTANI: METODO DI CORRIVAZIONE CON CURVA AREA – TEMPI NON LINEARE.....	15
4.1.2 MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI DI PIANURA: METODO DELL'INVASO.....	17
4.1.3 MODALITÀ DI DESCRIZIONE DEI BACINI URBANI: METODO DI CORRIVAZIONE CON CURVA AREA – TEMPI LINEARE.....	18
4.2 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI INFILTRAZIONE	19
4.3 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDROLOGICI DEI BACINI DI INTERESSE – STIMA DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA	24
4.3.1 BACINO URBANO DI GAVARDO (BACINO "GAVARDO_URBANO").....	24
4.3.2 BACINO GRAVANTE SULLA ROGGIA MEDICI A MONTE DEL PARTITORE (BACINO "ROGGIA_MEDICI_SUD").....	25
4.3.3 BACINO GRAVANTE SULLA ROGGIA MEDICI A VALLE DEL PARTITORE (BACINO "ROGGIA_MEDICI_NORD").....	27
4.3.4 BACINO DEL TORRENTE GIAVA (BACINO "GIAVA").....	28
4.3.5 BACINO DI PIANURA SUL CANALE RIO ALTO (BACINO "CANALE_RIO_ALTO")	29
4.3.6 BACINO DEL TORRENTE SAN CARLO (BACINO "SCARLO").....	30
4.3.7 BACINO DEL TORRENTE RUDONE A MONTE DELL'ABITATO DI NUVOLENTA (BACINO "RUDONE-POSPESIO").....	32
4.3.8 BACINO DEL TORRENTE RUDONE A VALLE DELL'ABITATO DI NUVOLENTA (BACINO "ANTICA_FONTE_SUM")	33
4.3.9 BACINO DI PIANURA GRAVANTE SULLA ROGGIA ABATE A VALLE DELLA CONFLUENZA DELLO SCARICATORE DI VIA DEI MARMI (BACINO "CANALE_ABATE_SUD").....	35
4.3.10 BACINO URBANO DI NUVOLERA (BACINO "UNITO_NUVOLERA").....	36
4.3.11 BACINO DEL TORRENTE RINI (BACINO "RINI")	37
4.3.12 BACINO URBANO DI MAZZANO A OVEST DEL TORRENTE RINI (BACINO "UNITO_MAZZANO_RIDOTTO").....	39
4.3.13 BACINO GRAVANTE SULLA ROGGIA MARMOERIA (BACINO "MARMERIA").....	40
4.3.14 BACINO DEL TORRENTE RINO (BACINO "RINO").....	41
4.3.15 BACINO URBANO AREA DI MAZZANO (BACINO "UNITO_ITALCEMENTI_EST").....	42
5. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO	44
5.1 SCELTA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DEL MODELLO	44
5.2 MODELLAZIONE DEGLI AFFLUSSI DI MAGRA (NODI SOURCES)	44
5.3 MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA.....	44
5.4 MODELLAZIONE DEI NODI DI DEVIAZIONE DELLE PORTATE CONVOGLIATE DALLE RETI DI CANALIZZAZIONI.....	47
5.4.1 MODELLAZIONE DELLE DERIVAZIONI IRRIGUE PRESENTI LUNGO IL NAVIGLIO GRANDE BRESCIANO.....	47
5.4.2 MODELLAZIONE DEI MANUFATTI SCARICATORI PRESENTI SULLA RETE	50
5.4.2.1 Scarico "della Pesca", nodo N03_D_SPESCA (Naviglio Grande Bresciano)	51
5.4.2.2 Scarico "Torrente San Carlo", nodo N05_S_SCARLO (Naviglio Grande Bresciano) ...	52
5.4.2.3 Manufatto di partizione Roggia Abate, nodo A01b_D_PARTITORE	52
5.4.2.4 Scarico "del Mulino", nodo R00_D_MULINO (Torrente Rudone)	53

5.4.2.5	Scarico dello scaricatore "Ponticella", nodo R00_D_SPONTICELLA_DN800 (Torrente Antica Fonte – Sum).....	53
5.4.2.6	Scarico dello scaricatore "Ponticella", nodo R01_D_SPONTICELLA (Torrente Rudone).....	54
5.4.2.7	Scarico dello scaricatore "Via dei Marmi", nodo R03_D_SVIAMARMI (Torrente Rudone e Torrente Giava)	54
5.4.2.8	Scarichi del canale scolmatore del Torrente Rudone del Torrente Giava e del Canale Abate – Rio Alto, nodo R02_D_SCO1 (Torrente Rudone) e nodo A03_D_SCO2 (Canale Abate).....	56
5.4.2.9	Scarico dello scaricatore "del Cimitero", nodo A05_D_SCIMITERO (Roggia Abate) ..	61
5.4.2.10	Scarico dello scaricatore "Marmeria", nodo R05_D_SMARMERIA (Torrente Rudone).....	61
5.4.3	MODELLAZIONE DEI VINCOLI GEOMETRICI DI RESTRINGIMENTO PRESENTI LUNGO LA RETE	62
5.4.3.1	Sezione di controllo A01a_D_CANALE180 (Roggia Abate)	62
5.4.3.2	Sezione di controllo A01d_D_PONTEVIAABATE (Ponte di Via Abate, Roggia Abate) ..	62
5.4.3.3	Sezione di controllo "Ponte Via Soldo", nodo A05A_PONTEVIASOLDO (Roggia Abate).....	62
5.4.3.4	Sezione di controllo "Ponte Scaiola", nodo A05B_PONTESCAIOLA (Roggia Abate) ..	63
5.4.3.5	Sezione di controllo "Ponte Ex S.S. 45 bis", nodo A06_PONTE_EXSS45 (Roggia Abate).....	63
5.4.3.6	Sezione di controllo "Ponte Ex S.S. 45 bis", nodo R05A_D_PONTE_EXSS45 (Roggia Marmeria).....	63
5.4.3.7	Sezione di controllo "Ponte Via San Zeno", nodo MR01_PONTE_VIASANZENO (Roggia Marmeria)	63
5.4.3.8	Sezione di controllo "DN140", nodo FO01 (Fossone).....	64
5.4.3.9	Scarico dello scaricatore "Italcementi", nodo RM01_D_SITALCEMENTI (Torrente Rudone, tratto urbano di Nuvolera e Mazzano)	64
5.4.3.10	Sezione di controllo "Ponte di Via Gardesana" (Nodo N24_PONTEVIAGARDESANA) (Vaso Naviglio Grande Bresciano)	64
5.4.3.11	Sezione di controllo "Cascina Sberna" (Nodo RM02_I_TRINO) (Torrente Rino).....	65
6.	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO METEOROLOGICO	66
7.	RISULTATI DEL MODELLO IDROLOGICO – STIMA DELLA PIENA DI PROGETTO	68
7.1	EVENTO CINQUANTENNALE	69
7.1.1	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N19.....	69
7.1.2	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N21.....	70
7.1.3	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N23.....	71
7.1.4	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N25.....	72
7.2	EVENTO CENTENNALE	73
7.2.1	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N19.....	73
7.2.2	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N21.....	74
7.2.3	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N23.....	75
7.2.4	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N25.....	76
7.3	EVENTO DUECENTENNALE.....	77
7.3.1	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N19.....	77
7.3.2	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N21.....	78
7.3.3	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N23.....	79
7.3.4	IDROGRAMMI DI PIENA SUL LAG_N25.....	80
7.4	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	81

1. PREMESSA – SCOPO DEL LAVORO

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

L'oggetto specifico della presente Relazione Idrologica è la definizione degli idrogrammi di piena attesi all'area di interesse da parte del Naviglio Grande Bresciano.

Stanti le caratteristiche dei fenomeni alluvionali potenzialmente interessanti le aree del SUAP "LAMIFER" (ovvero fenomeni alluvionali con intensità alta legati al reticolo secondario di pianura) delle aree di Studio l'evento di riferimento considerato ai fini del calcolo idrologico dovrebbe essere l'evento cinquantennale; per esigenze di completezza espositiva e con la finalità di fornire una valutazione il più possibile esaustiva sono state svolte analisi anche relativamente ad eventi centennali e duecentennali.

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

Definiti gli idrogrammi attesi alla sezione di interesse, all'interno della Relazione Idraulica si descriveranno compiutamente le analisi svolte ai fini della comprensione delle modalità di deflusso delle aste potenzialmente critiche per l'area di interesse in base alla quale sarà possibile valutare l'esposizione delle aree agli eventuali fenomeni alluvionali.

La presente Relazione è suddivisa in capitoli:

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

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 alla sistema di chiusura di interesse.

Il software utilizzato per l'analisi idrologica (il codice HEC HMS 4.2, 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 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 5 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 6 vengono descritte le modalità di definizione del modello meteorologico del sistema, ovvero i criteri seguiti e i parametri assunti per la definizione degli idrogrammi di progetto.

Nel Capitolo 7 sono riassunti i principali risultati dell'analisi idrologica, con particolare riferimento agli idrogrammi riscontrati alla sezione di interesse.

Si pone infine in evidenza come per la redazione dell'analisi idrologica svolta ai fini del presente Studio si siano presi in esame in misura approfondita i dati e le risultanze dello "Studio di Sistemazione Idraulica dei Bacini Idrografici Afferenti al Territorio del Comune di Brescia – redatto dal Prof. Ing. Baldassare Bacchi ed altri, per conto della Regione Lombardia - Direzione Generale OO.PP. e Protezione Civile - Servizio Difesa del suolo": a tale Studio si è anzi esplicitamente fatto riferimento per la definizione dei gruppi idrologici dei terreni per l'utilizzo del metodo di valutazione dei fenomeni di infiltrazione SCS-CN.

Rispetto a tale Studio, tuttavia, oltre ad un aggiornamento delle informazioni ivi contenute in merito all'uso dei suoli (per i quali si è fatto riferimento al Progetto DUSAF), è stata ampiamente implementata la modellazione delle modalità di convogliamento e ripartizione sul territorio degli afflussi imbriferi provenienti dai bacini, attraverso un'approfondita ed accurata modellazione della rete di drenaggio di pianura, che costituisce di fatto l'oggetto dell'intero Capitolo 5.

2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO AFFERENTE ALLA SEZIONE DI INTERESSE

L'area di interesse ai fini del presente Studio si colloca in posizione limitrofa al Naviglio Grande Bresciano, asta idrica artificiale che però svolge anche una rilevante funzione di bonifica del territorio pedecollinare posto tra la sua bocca di presa in Gavardo e la città di Brescia.

Il Naviglio Grande Bresciano si deriva da un'antica presa sul Fiume Chiese in località Ponte Arche di Gavardo e si dirige in direzione della città di Brescia descrivendo un ampio arco in direzione Sud – Est, con un percorso che potremmo definire pedecollinare.

Questo canale venne costruito nel secolo XIII ad opera della città di Brescia, essenzialmente per esigenze di approvvigionamento idrico; nel tempo è stato anche utilizzato per la flottazione dei legnami.

Oggi il Naviglio svolge la funzione principale di canale irriguo e di ricettore degli scaricatori di piena dei sistemi fognari che incontra lungo il suo percorso.

La sua posizione pedecollinare fa sì che il Naviglio svolga altresì la cruciale funzione di ricettore dei corsi d'acqua che drenano il bacino intercluso dal percorso del Naviglio stesso: molto probabilmente, in epoca remota, tali corsi d'acqua giungevano al fiume Chiese attraverso percorsi abbastanza diretti oppure, come sostenuto da altri, spagliavano le loro acque nella piana che si estende da Paitone a Nuvolera - Mazzano, lungo il percorso del Naviglio stesso.

L'immissione di tali corsi d'acqua naturali nel Naviglio Grande Bresciano avviene solo in alcuni casi direttamente; i corsi d'acqua principali (Torrente Rudone, Torrente Giava e Torrente Musia) vi giungono attraverso un percorso complesso mediante una serie di opere antropiche finalizzate alla ripartizione e al controllo delle portate di piena.

Con riferimento alla Tavola 01 e alla Tavola 05 del presente Studio, procedendo da monte verso valle, i bacini imbriferi montani e pedemontani gravanti sul sistema del Naviglio Grande Bresciano sono i seguenti:

1. il bacino montano gravante sulla parte Sud - Ovest dell'abitato di Gavardo e che comprende altresì una parte piuttosto estesa dello stesso (Bacino GAVARDO_URBANO).

Le acque raccolte dai diversi percorsi di drenaggio del territorio non urbanizzato montano all'altezza della ex S.S. 45 bis vengono convogliate in tubazioni di drenaggio stradale di diametro significativo (DN 80 – DN 100) e, per tale percorso, convogliate ad un unico punto di scarico nel Naviglio Grande Bresciano poco a monte dello Scarico della Pesca.

In realtà in corrispondenza del punto di scarico è presente un sottopasso del Naviglio Grande Bresciano e diretto al Fiume Chiese: tale sottopasso, di dimensioni significative (DN 120 cm) è stato realizzato negli anni '80 con la finalità di convogliare le acque nere dell'abitato di Gavardo, convogliate promiscuamente all'interno delle tubazioni sopra citate al nuovo depuratore, attraverso una stazione di sollevamento posta in linea sul sottopasso.

Per le finalità del presente Studio si prevede a favore di sicurezza che l'intero apporto del bacino GAVARDO_URBANO si scarichi nel Naviglio Grande Bresciano, trascurando la parte delle acque scaricate nel Fiume Chiese per tramite del citato sottopasso;

2. il Torrente San Carlo.

Il Torrente San Carlo è un corso d'acqua naturale che drena le superfici pressoché non urbanizzate della parte Sudoccidentale del Comune di Gavardo al confine con il Comune di Prevalle.

Esso ha direzione prevalente Ovest – Est e si immette nel Naviglio Grande Bresciano all'altezza dell'insediamento delle Fonderie Mora.

In corrispondenza della sezione di immissione del Rio San Carlo, il Naviglio Grande Bresciano presenta un manufatto scaricatore di piena.

3. Il Torrente o Rio Rudone.

Il Torrente Rudone è un corso d'acqua naturale con andamento irregolare e con caratteristiche variabili lungo il suo corso.

La parte più settentrionale del bacino imbrifero tributario è costituita dal substrato roccioso della F.ne della Corna, a litologia prevalentemente carbonatica, intensamente fratturata e con carsismo talvolta molto evoluto e pertanto non genera significativi apporti: all'interno della Tavola 01, la parte del bacino tributario associabile a tale caratteristica è individuata con uno specifico tratto.

Il Torrente Rudone possiede andamento irregolare, probabilmente modificato nei secoli passati per la bonifica delle aree pedemontane. La sua denominazione come *flumen* è testimoniata dalle pergamene del monastero di San Pietro in Monte di Serle (secoli XI e XII), in cui viene menzionato molto di frequente.

Il tratto montano del Torrente Rudone, nel Comune di Nuvolento, è costituito da un'asta principale a direzione circa NW-SE, proveniente dal territorio comunale di Serle e coincidente con il confine del Comune di Paitone. Ad esso corrispondono regimi effimeri o temporanei in relazione alla diffusione del carsismo nelle aree di monte. L'alveo è piuttosto incassato e generalmente bene inciso.

Il tratto pedemontano del Torrente Rudone è costituito da due rami distinti confluenti in località Carlina di Nuvolento:

- il primo è rappresentato dall'asta fluviale che prosegue il tratto montano e inizia in corrispondenza della Sorgente Fontanone;
- il secondo è il tratto che raccoglie le acque provenienti dal Rio di Pospesio (Paitone).

Il ramo pedemontano del Torrente Rudone, a valle della Sorgente Fontanone, è caratterizzato da portate continue in relazione al suo regime perenne. La sorgente, ubicata in alveo, si compone di una sola scaturigine rappresentata da una grossa polla.

A valle dell'attraversamento della Strada Comunale di Nuvolento, l'asta fluviale assume un orientamento all'incirca NE-SW ed un marcato andamento meandriforme.

Immediatamente a valle dell'attraversamento, il Torrente Rudone presenta un primo manufatto destinato all'allontanamento di parte della portata di piena e al suo scarico nel Canale Abate o Canale Rio Alto: in questo caso si tratta semplicemente di una tubazione in cls DN 1000 mm senza alcuna opera di derivazione sul Torrente ma solo con una quota di fondo superiore al piano di scorrimento del Torrente.

Il Rudone medio attraversa l'abitato di Nuvolento, all'incirca longitudinalmente, risultando per lo più canalizzato (da cui la denominazione, talvolta utilizzata, di Roggia o Canale Rudone) fino a giungere allo scaricatore detto "della Ponticella".

Tale scaricatore, che prende denominazione dalla località La Ponticella di Nuvolento ha la finalità di allontanare dal corso del Torrente Rudone parte delle acque provenienti da monte, convogliandole all'interno di un'asta idrica derivata dal Naviglio Grande Bresciano, il Canale Abate, caratterizzata da una sezione idraulica molto capiente.

Esattamente corrispondenza dello scaricatore "della Ponticella" si ha la confluenza di un affluente di destra del Torrente Rudone, definito negli elaborati dello Studio Torrente dell'Antica Fonte o Torrente Sum: per gli scopi e la scala del presente Studio si è ritenuto di dare una specifica evidenza idrologica a tale confluenza, tenendo conto anche del fatto che non tutti gli apporti del Torrente Sum sono convogliati nel Rudone, ma una parte di essi finisce nello scarico "della Ponticella" attraverso un tubo DN 800 mm posato in subalveo al Torrente Rudone stesso.

Lo scaricatore "della Ponticella", come pure il successivo scaricatore di Via dei Marmi (destinato principalmente ad allontanare gli apporti del Torrente Giava) hanno la finalità di salvaguardare l'abitato di Nuvolera.

Il Torrente Rudone basso è rappresentato dal tratto che dalla Ponticella arriva fino alla confluenza con il Rio Giava, in territorio di Nuvolera, per poi procedere verso il territorio dei Comuni di Mazzano e Rezzato. A valle della confluenza con il Rio Giava, in direzione sud, il Torrente Rudone presenta un

secondo manufatto scaricatore (definito scaricatore di Via dei Marmi) avente anch'esso la funzione di sgravare il Torrente Rudone di parte delle portate affluenti da monte e di convogliarle nel Canale Abate.

Lo scaricatore di Via dei Marmi è in realtà costituito da due diversi manufatti, posti l'uno a circa 200 m dall'altro, che alimentano il medesimo canale di scarico (per l'appunto lo scaricatore di Via dei Marmi):

- il primo manufatto, posto in corrispondenza di un cambio di direzione, è costituito da una soglia di sfioro di sviluppo pari a circa 14.20 metri nel cui corpo si apre una paratoia di scarico di sezione pari a 1.00x1.40 m;
- il secondo manufatto, posto immediatamente a monte del salto idraulico in corrispondenza di un mulino oggi dismesso è costituito da una vasca di carico all'interno della quale si trovano tre paratoie con dimensioni e quote di fondo diverse: due che alimentano lo scaricatore ed una che alimenta il canale del mulino e il tratto di Torrente Rudone attraverso l'abitato di Nuvolera.

È interessante notare come a valle dello scaricatore di Via dei Marmi la maggior parte dei contributi imbriferi del sistema del Torrente Rudone e del Torrente Giava non sia più convogliato all'interno dell'alveo del Torrente Rudone stesso, ma sia stato avviato al Canale Abate tramite i due manufatti scaricatori sopra citati.

A valle dello Scaricatore di via dei Marmi, l'antico tracciato del Torrente Rudone attraversa l'abitato di Nuvolera, per poi ricongiungersi, in località Scaiola con il Canale Abate.

Dopo il sottopasso della via dei Marmi, ed un breve tratto tombinato, che scorre all'interno di proprietà private ed intercluso al libero transito, ritorna in sezione a cielo aperto, nelle originarie dimensioni.

Raggiunta l'intersezione con la via Roma, il Torrente sottopassa la sede stradale con un manufatto di antica realizzazione costituito da tre luci dell'altezza di metri 0.90 e della larghezza rispettivamente di metri 1.30, 0.95, 2.20.

A valle di un breve tratto a cielo aperto di raccordo della lunghezza di alcuni metri, protetto da una griglia soprastante muretti in calcestruzzo, parte la tombinatura sulla quale è stato realizzato in un passato abbastanza recente l'ampliamento della via delle Processioni.

Tale manufatto scatolare di dimensioni di metri 1.80*1.00, della lunghezza di 187 metri circa e con pendenza del 3.3%, ha di fatto ridisegnato il reticolo idrografico del comune di Nuvolera e modificato l'assetto idraulico dell'abitato, limitando il transito delle portate provenienti dal Torrente Rudone nel tratto di torrente che dalla via Roma si ricongiunge con quelle scaricate o scolmate nel Canale Abate il località Scaiola.

Con la realizzazione della copertura dell'alveo del Torrente Rudone per l'ampliamento di via delle Processioni si è trascurata la funzione di bonifica e di scaricatore delle acque di piena del bacino di competenza, affidando tale compito esclusivamente allo scaricatore di via dei Marmi, relegando il tratto di torrente che attraversa l'abitato ad esclusivo vettore delle acque di magra a fini irrigui.

Immediatamente a valle della tombinatura di via delle Processioni, si apre un manufatto idraulico a sfioratore, di antica realizzazione, dal quale si dipartono secondo le consuete buone tecniche dell'ingegneria idraulica:

- in sponda destra il canale che alimenta la roggia irrigua;
- in sponda sinistra il torrente che alimentava una antica utilizzazione industriale (Molino – Maglio – turbina per produzione di energia), sottopassando vari fabbricati, che oggi, mediante una rettifica del tracciato, sempre in sezione interrata delle dimensioni di m 2 x 2,50, scorre lateralmente senza più alcuna interferenza.

Il percorso del Torrente Rudone riprende a valle dei nuovi manufatti reimmettendosi nel tracciato antico a monte del sottopasso della Via Soldo, a valle della quale procede in direzione Sud – Ovest completamente in sezione di manufatto coperto interrato, sul lato stradale via Mons. Filippini delle dimensioni minime rilevate di metri 1.40 (in larghezza) * 1.70 (in altezza), per un lungo tratto di circa 340 metri.

Successivamente a valle della via Papa Paolo VI, il torrente procede in direzione Ovest verso la via Scaiola, in sezione aperta, parte con argini in terra e parte con sponde in muratura, per raggiungere, dopo aver ricevuto l'immissione del Torrente Cavrene, proveniente dalla località Camprelle, ed un percorso di circa 220 metri, il ponte di sottopasso della via stessa, costituito da manufatto in entrata a volto, in pietra, delle dimensioni minime rilevate di metri 5.00 (in larghezza) * 2.20 (in sommità di altezza), ed in uscita da manufatto in calcestruzzo delle dimensioni minime rilevate di metri 4.30 (in larghezza) * 1.90 (in sommità di altezza). Riprende ora il tragitto del torrente a cielo aperto, inizialmente all'interno di una zona edificata in sezione completamente rivestita in calcestruzzo, per poi tornare nella originaria sezione in terra, fino al sottopasso della via Gardesana.

Al nodo idraulico dei sottopassi di Via Gardesana alla Scaiola confluiscono il Torrente Rudone ed il Canale Abate, dopo aver attraversato con manufatti distinti la strada.

Allo stesso nodo idraulico si diparte in sponda destra dal Torrente Rudone mediante manufatto partitore posto a monte della Via Gardesana un ramo detto Roggia Rudone Irrigua o Canale Rudone che, attraversata anch'esso la Via Gardesana procede parallelo alla stessa verso il territorio di Mazzano, per l'irrigazione dei territori appartenenti al comprensorio

Il vettore principale che convoglia le acque confluite dal Torrente Rudone e dal Canale Abate a Sud di Via Gardesana presente il nome di Torrente Marmoeria (o Marmorìa o Marmeria) o Torrente Stradella, la quale successivamente abbandona il territorio del Comune di Nuvolera per entrare in quello di Mazzano.

Nel percorso della Marmoeria verso valle, è ancora riscontrabile in sito, seppur non più alimentato ed in condizioni di completo abbandono – disuso un ramo del Torrente Rudone che, staccandosi anticamente dalla sponda destra dal Torrente Marmoeria, si dirigeva anch'esso verso l'abitato di Mazzano, con tratti promiscui con il canale irriguo.

Il ramo del Torrente Rudone denominato Marmoeria procede verso sud ovest; poco a valle di Via Gardesana insiste uno scaricatore di piena che convoglia le acque direttamente nel Canale Naviglio ma la cui sezione risulta oggi occlusa in maniera significativa da un ponte canale di un'asta irrigua.

Il recapito finale delle acque del Torrente Marmoeria è anch'esso costituito dal Canale Naviglio Grande in località Ponte della via Bianchini, di collegamento tra gli abitati di Mazzano e Molinetto.

Lungo il lato sinistro della ex strada statale, poco a valle del nodo idraulico di Via Gardesana, in direzione di Mazzano, a monte dell'abitato, trova origine il canale di colo detto "Fossone", ricettore delle acque provenienti dalle due aste idriche costituenti il Bacino del Torrente Rini, che in esso confluiscono mediante due distinti sottopassi stradali. Dopo breve tratto parte in sezione naturale e parte coperto (tombinatura diametro 1.40 m), il Fossone riconfluisce poco a monte dell'abitato nel Torrente Rudone - Roggia irrigua confluisce

Il ramo del Torrente Rudone, che dà origine alla Roggia Irrigua si dirige verso Mazzano con tracciato misto, in sede naturale o canalizzato e coperto in direzione Ovest, riceve l'immissione del Fossone e raggiunge, dopo aver nuovamente sottopassato la sede della ex strada statale, l'abitato di Mazzano.

Attraverso il centro di Mazzano si incontra in prossimità della Via Cortine l'omonimo scaricatore al Naviglio che insieme a quello situato in prossimità dell'Insediamento Italcementi scolmano pressoché completamente il Torrente.

Lungo il tratto della Roggia Irrigua che procede in direzione di Rezzato si riscontra un'altra immissione proveniente dal reticolo naturale, ovvero il Torrente Rino di Rezzato, che dopo un percorso promiscuo con la viabilità all'interno dell'abitato di Virle si immette nel tratto coperto della Roggia allorquando essa piega in direzione Sud in direzione del Naviglio Grande Bresciano; le acque provenienti dal Torrente Rino di Rezzato vengono scolmate direttamente all'interno del Naviglio stesso.

4. Il Rio Giava.

Il Rio o Torrente Giava è un corso d'acqua con andamento irregolare e con caratteristiche variabili lungo il suo corso.

Prende origine dal Rio Cantir che, nasce in Comune di Serle si dirige verso sud est scorrendo lungo il confine, talvolta nel territorio di Serle e talvolta in quello di Nuvolera, dopo avere ricevuto l'immissione del Rio Cognolo in sponda destra orografica, dreno dell'impluvio creato dalle pendici dei monti Cognolo e Sapone e del Rio Rilasci in sponda sinistra, proveniente dal territorio del Comune di Nuvolento. L'alveo del rio Giava incide il compluvio formato dal versante meridionale dei monti Puletto e Bolle ed il versante settentrionale dei monti Di Dietro e Cavallo, scorrendo nella piana che si apre a ventaglio raggiungendo la massima ampiezza all'altezza della frazione di Sorzana. Imminentemente al suo inizio il Rio Giava riceve le acque del rio Spinera della Molvina, suo immissario di sponda destra. Scorre a fondovalle per addentrarsi nella piana di Sorzana, all'inizio della stessa e a ridosso del versante sud, per poi portarsi in zona centrale e, dopo un tratto rettilineo tra la frazione Sorzana e la località Parolo si immette nel Torrente Rudone.

Con il Torrente Giava si conclude l'elencazione dei corsi d'acqua naturali gravanti sul Vaso Naviglio Grande Bresciano ed il cui regime imbrifero riveste rilevanza ai fini del presente Studio; a titolo di completezza si evidenzia come il Naviglio Grande Bresciano sia interessato ad Ovest dell'immissione del Torrente Rino di Rezzato dalle immissioni, dirette od indirette, di altri due torrenti principali, vale a dire:

- il Torrente Musia, con il suo affluente Torrente Longhetta, che drena i territori montani e pedemontani dei Comuni di Rezzato e Botticino;
- il Torrente Carobbio, che drena il territorio montano e pedemontano gravante sull'abitato di Sant'Eufemia, in Comune di Brescia.

La descrizione della rete idrografica afferente al Canale Naviglio Grande Bresciano si completa con una descrizione di due delle sue principali derivazioni, caratterizzate dallo svolgere anche una importante funzione di convogliamento degli afflussi meteorici afferenti all'area di pianura compresa tra le pendici montane e il Naviglio stesso: il già citato Canale Abate e la Roggia Medici.

La Roggia Medici si deriva in sponda destra dal Vaso Naviglio Grande Bresciano in località Quanello di Gavardo.

Con le sue derivazioni essa innerva tutto il territorio di pianura compreso tra il Canale Naviglio e la zona pedecollinare: essa costituisce di fatto il reticolo idrografico ricettore delle acque di pioggia provenienti sia dal centro urbano sia dalle aree agricole di pianura e pedecollinari appartenenti ai territori dei Comuni di Prevalle, Paitone e Nuvolento (per la parte sudorientale).

La Roggia Medici ha recapito nel Canale Abate al confine tra i Comuni di Prevalle e Nuvolento in prossimità della Località Acquatica.

La Roggia Abate si deriva in sponda destra dal Vaso Naviglio Grande Bresciano a valle del Ponte Celle di Prevalle.

Con tragitto in direzione Nord – Ovest essa raggiunge il confine comunale di Nuvolento e poi in direzione decisamente Nord l'abitato dello stesso.

La Roggia Abate svolge lungo il proprio tracciato una funzione di drenaggio analoga a quella svolta dalla Roggia Medici, raccogliendo mediante le sue derivazioni gli apporti imbriferi del bacino di pianura della parte Sud – Ovest del Comune di Prevalle e del Comune di Nuvolento.

La Roggia Abate confluisce poi nel Canale Abate in Località Bettola di Nuvolento.

Il Canale Abate (anche denominato Rio Alto o Fossone) trae le sue origini dal centro del comune di Nuvolento in Località Bettola.

Scolmo delle portate della Roggia Rudone Abate derivate dal Naviglio in Prevalle, corso d'acqua sicuramente artificiale realizzato per scopi irrigui ed industriali data l'esistenza del molino da Macina denominato Mattei ancor oggi in funzione.

Esso svolge una significativa funzione di scarico delle piene dei Torrenti Rudone e Giava per tramite principalmente dei due citati manufatti di sfioro della Ponticella e di Via Dei Marmi, a tutela del centro abitato di Nuvolera.

In merito va segnalato come in ragione della prevalente funzione di bonifica assegnata al Canale Abate lungo il suo sviluppo le dimensioni del suo alveo varino significativamente: l'alveo del Canale, che in località Acquatica di Prevalle è costituito da una canaletta ad U in cls 180x120 cm, ha una sezione via via crescente man mano che riceve gli apporti dei diversi manufatti scaricatori fino ad arrivare, all'altezza della confluenza con lo scaricatore di Via dei Marmi, ad una sezione di circa 9.50 x 5.60 m.

All'altezza del nodo idraulico di Via Gardesana, il Canale Abate confluisce come si è detto con il Torrente Rudone a formare il Torrente Marmoeria.

Si pone in evidenza come lungo il suo tracciato il Canale Abate presenti anch'esso un manufatto scaricatore, denominato "Scaricatore del Cimitero".

Tale manufatto si dirama dal Canale Abate appena ad est dell'attuale ponte di via Soldo, prendendo direzione Sud sottopassando la strada provinciale, con funzione di convogliare le acque di piena direttamente verso il canale Naviglio, sottendendo così un buon tratto di Canale Abate, la località Scaiola di Nuvolera, e parte dell'abitato di Mazzano.

Di recente, a seguito dei lavori di sistemazione dell'incrocio tra la S.P. 116 con la Via Soldo di Nuvolera, si è reso necessario l'intero rifacimento del manufatto di sottopasso stradale.

Il nuovo tombotto scatolare in C.A. è stato realizzato con le dimensioni di 3.00*2.00 metri.

In corrispondenza del vecchio attraversamento, la cui bocca di derivazione è rimasta sotto l'ampliamento della copertura del Canale Abate, nel tratto immediatamente a valle sotteso dal nuovo attraversamento, è stata posata una tubazione del diametro interno di metri 1.20, sul fondo, prima del riempimento del tratto precedentemente a cielo aperto, sfociante a valle nel canale Scaricatore.

Come è chiaramente possibile evincere dalle caratteristiche della rete idrografica, il Torrente Rudone e il Torrente Giava costituiscono da sempre un elemento di grande criticità idraulica nell'area di interesse, tanto da aver portato nel tempo ad alterazioni antropiche del nodo idraulico, finalizzate alla tutela delle aree edificate mediante l'allontanamento di una parte degli afflussi di piena:

- mediante lo scaricatore "della Ponticella", la cui funzione è quella di convogliare al Canale Rio Alto la maggior parte degli afflussi del Torrente Rudone;
- mediante lo scaricatore di Via dei Marmi, la cui funzione è quella di convogliare al Canale Rio Alto la maggior parte degli afflussi del Torrente Giava, confluiti nel Torrente Rudone a valle dello scaricatore "della Ponticella".

Nonostante la presenza di tali presidi, il nodo di confluenza tra il Torrente Giava ed il Torrente Rudone costituisce storicamente uno dei punti più critici della rete afferente al Naviglio Grande Bresciano, tanto da essere oggetto di una specifica perimetrazione di aree a rischio idrogeologico molto elevato ex Titolo IV N.T.A. P.A.I.

Tale conclamata criticità idraulica è la ragione che ha portato alla realizzazione di un'opera di bonifica idraulica di ampio respiro, ovvero il Canale Scolmatore al Fiume Chiese, destinato ad integrare la funzione di bonifica svolta dagli scaricatori esistenti allontanando un'ulteriore parte degli apporti dei Torrenti Giava e Rudone e scaricandoli al Fiume Chiese.

L'aspetto di novità della realizzazione del Canale Scolmatore è quello di un'opera che sottrae una parte della portata in arrivo all'interno del bacino del Naviglio Grande Bresciano e la scarica al di fuori del bacino, ovvero direttamente nel Fiume Chiese.

La ragione di un intervento così radicale è il fatto che i ricettori principali degli apporti dei Torrenti Giava e Rudone (ovvero, procedendo verso valle, il Canale Rio Alto, il Torrente Marmoeria e il Naviglio Grande

stesso) sono già essi stessi origine di fenomeni di criticità idraulica conclamata lungo il proprio percorso proprio a causa di tali apporti e degli apporti aggiuntivi ulteriori che vi confluiscono lungo il loro percorso: qualsiasi ulteriore intervento di traslazione degli apporti di piena del Torrente Giava e del Torrente Rudone sul Canale Rio Alto o sul Naviglio Grande si tradurrebbe di fatto in un peggioramento della criticità di questi ultimi.

Il Canale Scolmatore è alimentato mediante due manufatti:

1. il manufatto N. 1 è realizzato esattamente alla confluenza tra il Torrente Giava e il Torrente Rudone ed ha la funzione di allontanare una parte degli apporti del Torrente Giava (il Torrente Rudone è, come si è detto, stato già scolmato mediante il manufatto "della Ponticella").

La modalità di funzionamento del manufatto è sostanzialmente quella di lasciar defluire verso valle gli apporti che il sistema di drenaggio esistente (Torrente Rudone, scolmatore di Via dei Marmi) è in grado di sopportare allontanando gli apporti eccedenti fino a un massimo di $17 \text{ m}^3/\text{s}$;

Le portate allontanate dal manufatto n. 1 vengono scaricate nel Canale Rio Alto, in corrispondenza del manufatto N. 2;

2. il manufatto N. 2 è realizzato sul Canale Rio Alto, circa 450 m a valle dell'immissione dello scaricatore "della Ponticella" e in corrispondenza dell'immissione degli apporti allontanati dal manufatto n. 1.

La funzione del manufatto N. 2 è pertanto duplice: allontanare gli apporti del Torrente Giava già separati mediante il manufatto n. 1 e quelli del Torrente Rudone raccolti dallo scaricatore "della Ponticella", fino ad un massimo complessivo di $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Attraverso la descrizione riportata nelle pagine precedenti risulta immediato comprendere come gli idrogrammi di piena del Canale Naviglio Grande Bresciano in corrispondenza delle aree oggetto del presente Studio siano il risultato del deflusso lungo una articolata rete idrografica, caratterizzata dalla presenza di numerosi e significativi manufatti che riorientano le portate idrologiche afferenti tra le aste idriche e, in alcuni casi ne limitano tout-court l'entità.

Ai fini della quantificazione delle portate del Canale Naviglio Grande Bresciano si è resa pertanto necessaria la predisposizione di un vero e proprio modello che descriva non solo le caratteristiche idrologiche dei bacini afferenti al sistema, ma anche le principali caratteristiche della rete idrografica; all'interno dei paragrafi seguenti si procederà alla compiuta descrizione di tale modello.

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

Per la definizione del modello idrologico del sistema di corsi d'acqua facenti capo al Naviglio Grande Bresciano alla sezione di chiusura di Sant'Eufemia si è fatto uso del software Hydrologic Modeling System (HMS) release 4.2, 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 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 idrogrammi sintetici o definiti dall'utente.

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

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

Stanti le complesse caratteristiche della rete di drenaggio facente capo al sistema del Vaso Naviglio Grande Bresciano, nella definizione del modello idrologico si è reso necessario un approccio di modellazione completo, ovvero che prendesse in esame l'intero bacino fino alla sezione di interesse.

Il modello idrologico si compone pertanto di 15 sottobacini, a rappresentare altrettanti apporti meteorici, vale a dire:

- 6 bacini di pianura, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi dell'invaso;
- 9 bacini montani o pedemontani, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi della corrivazione;

La distinzione tra bacini di pianura e bacini montani comporta una diversa modalità di definizione dei parametri geometrici, morfologici e di quelli che ne regolano il comportamento idrologico: sulla modalità di trattazione delle due tipologie di bacino si tornerà più diffusamente nel seguito.

Il modello idraulico si compone di:

- 1 nodo tipo "SOURCE", a rappresentare la captazione del Vaso Naviglio Grande Bresciano dal Fiume Chiese in località "Ponte Arche" di Gavardo;
- 53 tratti delle aste idriche principali, rappresentanti sostanzialmente traslazioni temporali degli idrogrammi di piena lungo il percorso dei canali;

- 52 nodi della rete, a rappresentare:
 - 13 punti di immissione di bacini o ancora recapito di manufatti di partizione;
 - 38 manufatti di partizione, a rappresentare punti di derivazione, manufatti scaricatori e sezioni di controllo;
 - 1 punto di uscita dal sistema, costituito dal punto di confluenza tra il Torrente Rino e il Naviglio Grande Bresciano.

Il modello meteorologico si compone di una serie di ietogrammi triangolari, di differenti caratteristiche (in funzione del corso d'acqua preso in esame) e durate comprese tra 120' e 660', facenti riferimento a eventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 200 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 tre modelli, esplicitando i criteri di calcolo seguiti ed esplicitando i parametri utilizzati per la modellazione.

All'interno del Capitolo 7 vengono invece riportati i risultati salienti delle modellazioni svolte.

4. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO

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

Per la determinazione delle caratteristiche idrologiche dei bacini inseriti all'interno del modello matematico interpretativo del comportamento del bacino complessivo dei corsi d'acqua interessanti l'area oggetto di Studio si è proceduto al calcolo ed alla definizione delle onde di piena mediante un modello matematico afflussi-deflussi, sulla base dei dati pluviometrici pubblicati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con la Direttiva 2 delle NTA del PAI "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" e resi disponibili on-line sul sito www.adbpo.it.

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

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

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

ove:

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

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

Nel caso del sistema afferente al Naviglio Grande Bresciano, al cui interno rientrano i sistemi idrografici di interesse ai fini del presente Studio, 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 del tutto differenti:

- i bacini prevalentemente naturali di tipo montano o pedemontano (quali il bacino del Torrente Giava o del Rio Rudone), ove possono essere ritenuti prevalenti, ai fini della formazione degli idrogrammi di piena, i fenomeni di traslazione rispetto a quelli di invaso;
- i bacini antropizzati di pianura (quali ad esempio il bacino facente capo alla Roggia Abate o quello facente capo alla Roggia Medici), ove le acque corrono all'interno di un sistema regimentato di aste irrigue, e possono essere considerati prevalenti i fenomeni di invaso in rete rispetto a quelli di traslazione.
- i bacini di tipo urbano, ove ai fini della formazione degli idrogrammi di piena sono nuovamente prevalenti i fenomeni di traslazione rispetto a quelli di invaso, ma tali fenomeni non sono più legati alla morfologia naturale ma alle caratteristiche delle reti fognarie che innervano il bacino stesso.

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

4.1.1 Modalità di descrizione dei bacini montani e pedemontani: 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 isocoriva 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, che in linea generale coincidono con il punto di confluenza all'interno della rete di drenaggio di derivata dal Naviglio Grande Bresciano.

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 §4.3; dal punto di vista grafico l'indicazione delle sezioni di chiusura è riportata all'interno della Tavola 06 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 DEM della Carta Tecnica Regionale, con risoluzione pari a 20 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.

Per quanto concerne le aree afferenti al Torrente Giava, al Rio Rudone ed al Torrente San Carlo, il bacino teorico determinato in base alla metodologia sopra citata è stato successivamente depurato delle aree facenti parte dell'Altipiano di Cariadeghe: come già peraltro evidenziato nella Relazione Geologica redatta a firma dello Studio Geologia Ambiente della D.ssa Laura Ziliani nell'ambito del Progetto Preliminare – Sistemazione Idraulica dei Bacini Idrografici Afferenti al Territorio del Comune di Brescia – per conto della Regione Lombardia - Direzione Generale OO.PP. e Protezione Civile - Servizio Difesa del suolo, l'altipiano di Cariadeghe è caratterizzato da fenomeni di tipo carsico, tali da causare la pressoché totale infiltrazione degli afflussi meteorici senza originare deflusso.

In base ai parametri geometrici dei bacini (avendo depurato come si è detto i bacini del Torrente Giava, del Rio Rudone e del Rio San Carlo), 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 Km^2 ;
- 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 le 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 100 m s.l.m.

All'interno del successivo §4.3, per ciascun di bacino di tipo naturale montano o pedemontano, sono riportate tabelle riassuntive riportanti i dati morfologici della curva ipsografica e quelli da questa derivati della curva area – tempi.

4.1.2 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

- 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, per bacini urbanizzati e con una presenza di sistemi di drenaggio superficiale abbastanza diffusi, è nell'ordine di 5 – 10 minuti. Nel caso specifico, in cui si è modellata per sommi capi una rete irrigua sviluppata ed estesa, per tale parametro si è considerato un valore compreso tra 20 e 60 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. Tenendo nuovamente conto delle caratteristiche della rete (a drenaggio di un bacino di pianura, molto sviluppata e con varie singolarità lungo il suo percorso) esso viene determinato in via indicativa stabilendo una velocità di percorrenza nell'ordine di 0.50 – 1.00 m/s.

Sulla base della stima del tempo di corrivazione sopra citato, si è provveduto alla stima della costante di invaso attraverso la formula (Bacchi, 1998):

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

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 nel caso specifico essa varia tra un valore di 0.459 (evento ventennale) e 0.462 (evento centennale), cosicché il parametro k risulta pressoché costante.

Il valore di k stimato sulla base del metodo precedente è stato posto a confronto con altri criteri stima, con la finalità di valutare, almeno in termini di ordine di grandezza, la coerenza del risultato ottenuto.

In particolare si sono prese in esame due relazioni per la stima della costante di invaso direttamente dai parametri morfologici del bacino:

$$k = \frac{4.19 \cdot A^{0.30}}{I_m^{0.45} \cdot (100 \cdot s)^{0.38}} - 0.21 \quad [\text{min}] \quad (\text{Desbordes, 1975})$$

$$k = 0.5 \cdot \frac{A^{0.351} \cdot d^{0.358}}{I_m^{0.163} \cdot s_r^{0.29}} \quad [\text{min}] \quad (\text{Ciaponi e Papiri, 1992})$$

Ove:

- A è la superficie del bacino;
- d è la densità di drenaggio, ovvero il rapporto fra lo sviluppo della rete di drenaggio (espressa in metri) e l'area del bacino (espressa in ettari): si è svolto in merito un calcolo a campione sul bacino della Roggia Medici ottenendo un valore nell'ordine di 85 m/ha;
- s è la pendenza media del collettore principale: si è ipotizzato un valore pari a 0.001 m/m;
- I_m è il rapporto tra l'area impermeabile e l'area totale del bacino: si è ipotizzato un valore nell'ordine del 20%;
- s_r è la pendenza media ponderale dell'intera rete di drenaggio: si è ipotizzato un valore pari a 0.0001 m, tenendo conto che i bacini di pianura sono pressoché in piano.

4.1.3 Modalità di descrizione dei bacini urbani: metodo di corrivazione con curva area – tempi lineare

Per i bacini di tipo urbano, le cui modalità di drenaggio non sono più ovviamente quelle naturali, ma sono legate alle caratteristiche delle rete fognaria interna, si è operato in maniera differente rispetto a quanto fatto per i bacini di tipo extraurbano, montani o di pianura.

Per i bacini urbani si sono nuovamente ritenuti prevalenti i fenomeni di traslazione dell'onda e si è quindi utilizzato il metodo 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 (essenzialmente i punti di recapito nella rete idrografica dei manufatti scaricatori di piena), 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, per bacini urbanizzati e con una presenza di sistemi di drenaggio superficiale abbastanza diffusi, ed in funzione del grado di dettaglio con cui viene descritta la rete, può essere compreso fra 10 e 30 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 0.80 – 1.00 m/s.

4.2 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 del governo degli Stati Uniti d'America.

Il metodo si basa sull'utilizzo della seguente equazione:

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

in cui:

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

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

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

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

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

Nella Tabella 4.1 sono riportate le classi del terreno individuate dal Soil Conservation Service per la definizione dei coefficienti CN.

Nella Tabella 4.2 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 4.3.

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 4.1: 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 4.2: 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 4.3: 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'estensione del bacino imbrifero considerato (superiore a 75 km²), all'interno del bacino drenato sono presenti suoli di tutti e quattro descritti in Tabella 4.2 variamente distribuiti al suo interno.

Ai fini della determinazione dei gruppi idrologici dei terreni componenti il bacino di interesse, si è fatto riferimento direttamente alle risultanze della Relazione Geologica allegata al Progetto Preliminare di – Sistemazione Idraulica dei Bacini Idrografici Afferenti al Territorio del Comune di Brescia –della Regione Lombardia - Direzione Generale OO.PP. e Protezione Civile (settembre 1999).

Tale Studio, condotto sulla base di una serie approfondita di analisi e di prove in situ arriva a classificare i suoli del bacino secondo 5 classi: i 4 citati gruppi idrologici (A, B, C, D) e un'ulteriore classe, definita come "area urbanizzata" (nel seguito abbreviata con il codice "U"), ove la presenza dell'impermeabilizzazione indotta dalle attività antropiche si ritenne avesse portato ad un'uniformazione delle caratteristiche di infiltrazione dei suoli, indipendentemente dal gruppo idrologico originario.

All'interno del presente Studio si è assunta tout-court la determinazione dei gruppi idrologici definita in tale sede; l'unica modifica condotta rispetto a tale determinazione condotta all'interno del presente Studio concerne le eventuali aree verdi ricomprese all'interno del perimetro dell'area urbanizzata.

In sede dello Studio di Sistemazione Idraulica dei Bacini Idrografici Afferenti al Territorio del Comune di Brescia – redatto dal Prof. Ing. Baldassare Bacchi ed altri, per conto della Regione Lombardia - Direzione Generale OO.PP. e Protezione Civile - Servizio Difesa del suolo, probabilmente a causa della qualità e della tipologia dei dati disponibili all'epoca, non fu possibile una perimetrazione di dettaglio delle aree urbanizzate e si dovette procedere ad una perimetrazione ad hoc, ricomprendendo all'interno delle aree "U" (per le quali il gruppo idrologico è influente) anche aree verdi.

La elevata qualità dei dati disponibili ad oggi (in formato GIS) hanno consentito una più precisa perimetrazione delle aree effettivamente urbanizzate e l'attribuzione di uno specifico gruppo idrologico (A, B, C, D in funzione delle caratteristiche delle aree non urbanizzate limitrofe) alle aree classificate come "urbanizzate" in seno allo Studio del Prof. Ing. Baldassare Bacchi ed in realtà a verde.

La perimetrazione delle aree caratterizzate dall'appartenenza a differenti gruppi idrologici (A, B, C, D o U) è riportata all'interno della Tavola 03 del presente Studio e ripetuta all'interno della Tavola 04, ove essa è sovrapposta all'uso dei suoli.

All'interno del presente Studio si è provveduto invece ad un generalizzato aggiornamento dei dati relativi all'uso dei suoli riportati all'interno dello Studio del Prof. Ing. Baldassare Bacchi, facendo riferimento agli usi come risultanti dalle carte del Progetto DUSAF, elaborato dalla Regione Lombardia e dall'ERSAF.

Gli aggiornamenti concernono le seguenti tematiche:

- la citata eliminazione dal novero delle aree urbanizzate ("U") delle aree non effettivamente urbanizzate e l'attribuzione loro di un gruppo idrologico (A, B, C, D) in affinità alle aree non antropizzate limitrofe oltre che, ovviamente, dell'uso del suolo direttamente derivante dalle carte del progetto DUSAF.
- l'espansione delle aree antropizzate (quindi con un ampliamento delle aree "U" rispetto alle aree originariamente classificate come gruppo A, B, C, D);

All'interno dello Studio della Regione Lombardia erano riportati i valori di coefficienti CN relativi a ciascun gruppo idrologico e in funzione dell'uso dei suoli: in tale sede 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.

Tipologia di Uso del suolo riportato all'interno dello Studio Regionale	Gruppo idrologico				
	A	B	C	D	U
AFFIORAMENTI LITOIDI	70	70	70	Non pres.	-
ARBUSTETI	45	66	77	83	-
BOSCHI	25	55	70	77	-
CAVE	Non pres.	Non pres.	75	75	-
PRATI	39	61	74	81	-
SEMINATIVI	62	71	78	81	-
STRADE	-	-	-	-	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	-	-	-	-	86
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	-	-	-	-	77
URBANIZZAZIONE RADA 25%	-	-	-	-	73
VIGNETI	Non pres.	79	84	88	-

Tabella 4.4 Attribuzione dei coefficienti CN a ciascun tipo di uso dei suoli riportato all'interno del presente Studio e del gruppo idrologico del suolo in base ai contenuti dello Studio Regione Lombardia – Direzione Generale OO.PP.-Protezione Civile (1999)

Poiché in sede dello Studio Regionale, si provvede ad una specifica taratura in situ (Tabella 4.2), all'interno del presente Studio si è ritenuto di recepire tali valori, con la sola accortezza di ricondurre le tipologie di usi del suolo riportate all'interno del progetto DUSAF a quelle utilizzate all'interno dello Studio del Prof. Ing. Bacchi.

L'unica variazione apportata concerne la suddivisione delle aree definite come genericamente "urbanizzate" in seno allo Studio citato in quattro sottoclassi ("strade", "urbanizzazione rada", "urbanizzazione media", "urbanizzazione elevata" in funzione del grado di impermeabilizzazione.

Nella successiva Tabella 4.4 sono riportati i coefficienti CN relativi a ciascun tipo di uso del suolo e a ciascun gruppo idrologico: per le coppie di uso del suolo e gruppo idrologico non rappresentate all'interno del bacino oggetto di Studio si è riportata la codifica "non presente".

La Tabella 4.5 rappresenta la tabella di conversione tra gli usi del suolo riportati in Tabella 4.4 e quelli riportati all'interno del Progetto DUSAF.

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
Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione	AFFIORAMENTI LITOIDI
Altre legnose agrarie	ARBUSTETI
Aree degradate non utilizzate e non vegetate	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Aree verdi incolte	PRATI
Boschi conifere a densità media e alta	BOSCHI
Boschi di latifoglie a densità bassa	BOSCHI
Boschi di latifoglie a densità media e alta	BOSCHI
Boschi misti a densità bassa	BOSCHI
Boschi misti a densità media e alta	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 orticole protette.	VIGNETI
Formazioni ripariali	ARBUSTETI
Frutteti e frutti minori	VIGNETI
Impianti di servizi pubblici e privati	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	PRATI
Parchi e giardini	PRATI
Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	PRATI
Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	PRATI
Reti stradali e spazi accessori	STRADE
Seminativi arborati	SEMINATIVI
Seminativi semplici	SEMINATIVI
Tessuto residenziale continuo mediamente denso	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Tessuto residenziale denso	URBANIZZAZIONE ALTA 65%
Tessuto residenziale discontinuo	URBANIZZAZIONE MEDIA 38%
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Tessuto residenziale sparso	URBANIZZAZIONE RADA 25%
Vegetazione rada	PRATI
Vigneti	VIGNETI

Tabella 4.5 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

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

A livello grafico, tale operazione è riportata all'interno della Tavola 04; il calcolo di dettaglio bacino per bacino è riportato all'interno del §4.3.

4.3 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDROLOGICI DEI BACINI DI INTERESSE – STIMA DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

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.

4.3.1 Bacino urbano di Gavardo (Bacino "GAVARDO_URBANO")

Il bacino "GAVARDO_URBANO" è in realtà un bacino con caratteristiche prevalentemente montane, costituito dalla porzione di territorio posta tra la derivazione del Naviglio Grande Bresciano in località "Ponte Arche" di Gavardo e lo spartiacque col bacino afferente al Torrente San Carlo.

Le acque raccolte dai diversi percorsi di drenaggio del territorio non urbanizzato montano all'altezza della ex S.S. 45 bis vengono convogliate in tubazioni di drenaggio stradale di diametro significativo DN 80 – DN 100) e, per tale percorso, convogliate ad un unico punto di scarico nel Naviglio Grande Bresciano poco a monte dello Scarico della Pesca.

In realtà in corrispondenza del punto di scarico è presente un sottopasso del Naviglio Grande Bresciano e diretto al Fiume Chiese: tale sottopasso, di dimensioni significative (DN 120 cm) è stato realizzato negli anni '80 con la finalità di convogliare le acque nere dell'abitato di Gavardo, convogliate promiscuamente all'interno delle tubazioni sopra citate al nuovo depuratore, attraverso una stazione di sollevamento posta in linea sul sottopasso.

Ai fini del modello idrologico e a favore di sicurezza si è considerato che le acque drenate dal bacino "GAVARDO_URBANO" si scarichino integralmente nel Vaso Naviglio Grande Bresciano, trascurando la quota parte avviata al Fiume Chiese.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	1.8171
Lunghezza asta	[km]	2.5493
Altitudine massima	[m s.l.m.]	655.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	192.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	296.38
H media rispetto chiusura	[m]	104.38
Tc Giandotti	[minuti]	67.65
Tc Giandotti modificato	[minuti]	74.03
Tc imposto	[minuti]	75.00

Tabella 4.6: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "GAVARDO_URBANO" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	39.45	12.50
300	113.07	25.00
400	138.31	37.50
500	168.88	50.00
600	179.00	62.50
700	181.88	75.00

Tabella 4.7 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino “GAVARDO_URBANO”.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	3.72	C	77
ARBUSTETI	1.60	D	83
BOSCHI	83.18	C	70
BOSCHI	5.08	D	77
PRATI	3.84	C	74
PRATI	0.30	C	74
PRATI	3.05	D	81
PRATI	0.67	D	81
SEMINATIVI	18.84	C	78
SEMINATIVI	12.67	D	81
STRADE	0.72	U	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	14.20	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	24.46	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	8.86	U	78
VIGNETI	0.49	C	84
VALORE RISULTANTE	181.71		76.09

Tabella 4.8 Determinazione del coefficiente CN per il bacino “GAVARDO_URBANO”.

4.3.2 Bacino gravante sulla Roggia Medici a monte del partitore (Bacino “ROGGIA_MEDICI_SUD”).

Il bacino sotteso dalla Roggia Medici comprende tutte le aree di pianura delimitate sul lato settentrionale dallo spartiacque con i bacini del Torrente Rudone e del Torrente San Carlo, sul lato meridionale dal Naviglio Grande Bresciano e sul lato occidentale dal percorso del Canale Abate.

Gli afflussi meteorici su tale bacino vengono convogliati sulla Roggia Medici, che innerva il territorio con le sue derivazioni ma svolge altresì la funzione di colatore.

Ai fini del presente Studio si è ritenuto corretto suddividere il bacino complessivo della Roggia Medici in due diversi sottobacini, con la finalità di interpretare correttamente il funzionamento di una sezione di controllo (nodo A01a_D_CANALE180) e di un manufatto di partizione e (Nodo A01b_D_PARTITORE):

- il bacino “ROGGIA_MEDICI_SUD” drena le aree poste a monte di tali manufatti;
- il bacino “ROGGIA_MEDICI_NORD” drena le aree poste a valle di tali manufatti.

Il bacino “ROGGIA_MEDICI_SUD” ha pertanto come sezione di chiusura la sezione di controllo.

Le caratteristiche di drenaggio del bacino "ROGGIA_MEDICI_SUD" sono quelle di un bacino di pianura e sono strettamente correlate alla rete di canalizzazioni ivi presenti; esso viene trattato pertanto come si è detto con il metodo di trasformazione dell'invaso.

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

Parametro	U.M.	
Lunghezza asta principale	[km]	7.33
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	60
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	0.50
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	244.22
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	304.22
Costante di invaso	[minuti]	140.00
Costante di invaso (Desbordes)	[minuti]	132.55
Costante di invaso (Ciaponi – Papiri)	[minuti]	112.45

Tabella 4.9: determinazione della costante di invaso per il bacino "ROGGIA_MEDICI_SUD".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	0.56	B	66
ARBUSTETI	19.02	C	77
ARBUSTETI	0.50	D	83
BOSCHI	0.40	B	55
BOSCHI	51.53	C	70
BOSCHI	4.79	D	77
CAVE	0.71	C	75
PRATI	11.29	B	61
PRATI	4.51	C	74
PRATI	0.84	D	81
SEMINATIVI	60.00	B	71
SEMINATIVI	165.70	C	78
SEMINATIVI	0.01	D	81
STRADE	0.58	U	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	93.86	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	111.65	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	20.91	U	78
VIGNETI	4.34	B	79
VIGNETI	16.92	C	84
VALORE RISULTANTE	568.10		79.08

Tabella 4.10 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "ROGGIA_MEDICI_SUD".

4.3.3 Bacino gravante sulla Roggia Medici a valle del partitore (Bacino "ROGGIA_MEDICI_NORD").

Come si è detto, il bacino "ROGGIA_MEDICI_NORD" drena le aree poste a valle del manufatto partitore; esso ha come sezione di chiusura il punto di confluenza tra la Roggia Abate e il ramo della Roggia Medici a Nord dell'abitato di Prevalle.

Le caratteristiche di drenaggio del bacino "ROGGIA_MEDICI_NORD" sono quelle di un bacino di pianura e sono strettamente correlate alla rete di canalizzazioni ivi presenti; esso viene trattato pertanto come si è detto con il metodo di trasformazione dell'invaso.

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

Parametro	U.M.	
Lunghezza asta principale	[km]	2.66
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	40.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	0.50
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	88.50
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	128.50
Costante di invasore	[minuti]	59.00
Costante di invasore (Desbordes)	[minuti]	96.25
Costante di invasore (Ciaponi – Papiri)	[minuti]	77.39

Tabella 4.11: determinazione della costante di invasore per il bacino "ROGGIA_MEDICI_NORD".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	13.66	C	77
ARBUSTETI	0.81	D	83
BOSCHI	5.28	C	70
BOSCHI	0.48	D	77
CAVE	1.19	C	75
PRATI	1.82	C	74
PRATI	5.10	D	81
SEMINATIVI	0.06	B	71
SEMINATIVI	27.43	C	78
SEMINATIVI	25.91	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	67.93	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	37.34	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	8.69	U	78
VIGNETI	0.19	D	88
VALORE RISULTANTE	195.90		83.08

Tabella 4.12 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "ROGGIA_MEDICI_NORD".

4.3.4 Bacino del Torrente Giava (Bacino "GIAVA")

Il Torrente Giava è uno dei quattro corsi d'acqua naturali principali che gravano sul sistema facente capo al Vaso Naviglio Grande Bresciano (gli altri sono il Torrente Rudone, il Torrente Musia e il Torrente San Carlo).

Le caratteristiche del bacino del Torrente Giava sono quelle di un bacino spiccatamente montano.

La sezione di chiusura considerata ai fini del modello idrologico è quella di confluenza con il Torrente Rudone, all'altezza del futuro scolmatore "alto".

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	12.0702
Lunghezza asta	[km]	7.4254
Altitudine massima	[m s.l.m.]	1081.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	171.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	478.97
H media rispetto chiusura	[m]	307.97
Tc Giandotti	[minuti]	106.99
Tc Giandotti modificato	[minuti]	120.44
Tc imposto	[minuti]	120.00

Tabella 4.13: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "GIAVA" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	68.98	12.00
300	294.35	24.00
400	488.55	36.00
500	648.71	48.00
600	815.39	60.00
700	1077.65	72.00
800	1123.06	84.00
900	1189.64	96.00
1000	1204.64	108.00
1100	1206.56	120.00

Tabella 4.14 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino "GIAVA".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
BOSCHI	91.12	B	55
PRATI	21.28	B	61
ARBUSTETI	0.13	B	66
SEMINATIVI	1.26	B	71
VIGNETI	10.06	B	79
BOSCHI	521.99	C	70
PRATI	18.46	C	74
CAVE	193.66	C	75
ARBUSTETI	33.77	C	77
SEMINATIVI	5.61	C	78
VIGNETI	2.03	C	84
CAVE	5.03	D	75
BOSCHI	159.83	D	77
PRATI	60.48	D	81
PRATI	0.30	D	81
SEMINATIVI	31.30	D	81
ARBUSTETI	4.32	D	83
URBANIZZAZIONE RADA 25%	19.73	U	78
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	22.80	U	82
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	3.86	U	90
VALORE RISULTANTE	1'207.02		72.16

Tabella 4.15 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "GIAVA".

4.3.5 Bacino di pianura sul Canale Rio Alto (Bacino "CANALE_RIO_ALTO")

Il bacino "CANALE_RIO_ALTO" comprende le aree di pianura direttamente afferenti alla Roggia omonima a monte della sezione di chiusura individuata (ovvero lo scolmatore detto "del Cimitero"): di fatto tale bacino comprende le aree di pianura (in larga parte urbanizzata) poste tra il Torrente Rudone e il Canale Rio alto stesso.

Le caratteristiche di drenaggio del bacino "CANALE_RIO_ALTO" sono quelle di un bacino di pianura e sono strettamente correlate alla rete di canalizzazioni ivi presenti; esso viene trattato pertanto come si è detto con il metodo di trasformazione dell'invaso.

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

Parametro	U.M.	
Lunghezza asta principale	[km]	2.40
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	20.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	1.00
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	39.92
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	59.92
Costante di invaso	[minuti]	27.00
Costante di invaso (Desbordes)	[minuti]	Non valutato
Costante di invaso (Ciaponi – Papiri)	[minuti]	Non valutato

Tabella 4.16: determinazione della costante di invaso per il bacino “CANALE_RIO_ALTO”.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	0.73	C	77
ARBUSTETI	0.42	D	83
PRATI	0.28	D	81
SEMINATIVI	0.12	B	71
SEMINATIVI	5.16	C	78
SEMINATIVI	17.62	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	13.93	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	15.84	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	21.66	U	78
VIGNETI	0.36	D	88
VALORE RISULTANTE	76.12		81.79

Tabella 4.17 Determinazione del coefficiente CN per il bacino “CANALE_RIO_ALTO”.

4.3.6 Bacino del Torrente San Carlo (Bacino “SCARLO”)

Il Rio San Carlo è, tra i corsi d'acqua naturali afferenti al Naviglio Grande Bresciano, quello caratterizzato dal bacino imbrifero di minore estensione, ma è anche l'unico che vi si immette direttamente, circa 500 metri a valle dello scarico “della Pesca”.

Le caratteristiche del bacino del Rio San Carlo sono quelle di un bacino spiccatamente montano.

La sezione di chiusura considerata ai fini del modello idrologico è quella di confluenza nel Naviglio Grande Bresciano.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	3.8389
Lunghezza asta	[km]	3.8175
Altitudine massima	[m s.l.m.]	655.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	196.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	366.78
H media rispetto chiusura	[m]	170.78
Tc Giandotti	[minuti]	77.84
Tc Giandotti modificato	[minuti]	85.77
Tc imposto	[minuti]	81.00

Tabella 4.18: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "SCARLO" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	12.28	13.50
300	158.44	27.00
400	247.46	40.50
500	305.35	54.00
600	358.88	67.50
700	384.17	81.00

Tabella 4.19 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino "SCARLO".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	6.02	C	77
ARBUSTETI	4.26	D	83
BOSCHI	260.86	C	70
BOSCHI	20.30	D	77
CAVE	7.47	C	75
CAVE	0.03	D	75
PRATI	10.80	C	74
PRATI	10.36	D	81
SEMINATIVI	15.08	C	78
SEMINATIVI	24.33	D	81
STRADE	3.02	U	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	7.67	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	2.88	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	8.07	U	78
VIGNETI	2.15	C	84
VIGNETI	0.59	D	88
VALORE RISULTANTE	383.89		73.13

Tabella 4.20 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "SCARLO".

4.3.7 Bacino del Torrente Rudone a monte dell'abitato di Nuvolento (Bacino "RUDONE-POSPELIO")

Il bacino imbrifero teorico del Torrente Rudone è il più esteso fra i bacini naturali afferenti al sistema facente capo al Naviglio Grande Bresciano.

In realtà la parte settentrionale del bacino è costituita dall'altipiano di Cariadeghe, per cui a fronte di un bacino teorico superiore ai 17 km² solo circa 9.32 km² danno effettivamente origine a deflussi superficiali.

Il Torrente Rudone presenta lungo il suo tracciato una serie di manufatti significativi, in sequenza si riscontrano lo scaricatore "Ponticella", la confluenza con il Torrente Giava, lo scaricatore "di Via dei Marmi", lo scaricatore da cui si origina la Roggia Marmeria, attraverso la quale vengono convogliati nel Naviglio Grande Bresciano i deflussi del Torrente Rudone e del Torrente Giava non allontanati attraverso i manufatti scaricatori.

Ai fini del presente Studio si è introdotta una suddivisione nella perimetrazione del bacino del Torrente Rudone, individuando due sottobacini:

- il bacino "RUDONE-POSPELIO", che comprende il ramo montano del Torrente Rudone nonché il suo affluente principale (il Torrente Pospesio) e si chiude in corrispondenza del primo manufatto significativo che devia la portata nel Canale Rio Alto, ovvero lo scaricatore del Mulino;
- il bacino "ANTICA_FONTE_SUM", che comprende gli apporti compresi tra lo scaricatore del Mulino e la confluenza con il Torrente Giava. In via semplificativa si è previsto che tale bacino abbia come sezione di chiusura lo scolmatore "della Ponticella".

Le caratteristiche del bacino del Torrente Rudone - Pospesio sono quelle di un bacino spiccatamente montano.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	7.6874
Lunghezza asta	[km]	5.1627
Altitudine massima	[m s.l.m.]	697.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	178.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	405.50
H media rispetto chiusura	[m]	227.50
Tc Giandotti	[minuti]	93.65
Tc Giandotti modificato	[minuti]	102.12
Tc imposto	[minuti]	100.00

Tabella 4.21: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "RUDONE-POSPELIO" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	65.26	16.67
300	204.25	33.33
400	363.80	50.00
500	573.73	66.67
600	704.32	83.33
700	768.78	100.00

Tabella 4.22 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino “RUDONE-POSPESIO”.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	42.27	C	77
ARBUSTETI	14.27	D	83
BOSCHI	339.22	C	70
BOSCHI	92.64	D	77
CAVE	47.37	C	75
CAVE	0.22	D	75
PRATI	20.75	C	74
PRATI	96.68	D	81
SEMINATIVI	11.03	C	78
SEMINATIVI	19.26	D	81
STRADE	3.71	U	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	14.25	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	30.74	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	32.93	U	78
VIGNETI	1.54	C	84
VIGNETI	1.85	D	88
VALORE RISULTANTE	768.74		75.06

Tabella 4.23 Determinazione del coefficiente CN per il bacino “RUDONE-POSPESIO”.

4.3.8 Bacino del Torrente Rudone a valle dell’abitato di Nuvolento (Bacino “ANTICA_FONTE_SUM”)

Come si è detto il bacino “ANTICA_FONTE_SUM” comprende gli apporti compresi tra lo scaricatore del Mulino e la confluenza con il Torrente Giava. In via semplificativa si è previsto che tale bacino abbia come sezione di chiusura lo scolmatore “della Ponticella”.

Le caratteristiche del bacino del Torrente Antica Fonte o Sum, che confluisce nel Torrente Rudone esattamente in corrispondenza dello scaricatore “della Ponticella” vengono assimilate a quelle di un bacino montano, ancorché in realtà le modalità di afflusso siano molto più complesse: il Torrente Antica fonte è caratterizzato infatti da sezioni trasversali molto ridotte e, presumibilmente, a fronte di eventi meteorici intensi, si assiste a generalizzati fenomeni di insufficienza e di convogliamento lungo le sedi stradali.

È tuttavia abbastanza evidente in base alla morfologia del territorio che, indipendentemente dai percorsi seguiti, la sezione di chiusura del bacino “ANTICA_FONTE_SUM” coincida con la confluenza nello scaricatore “della Ponticella”.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	1.6362
Lunghezza asta	[km]	2.4913
Altitudine massima	[m s.l.m.]	514.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	171.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	270.80
H media rispetto chiusura	[m]	99.80
Tc Giandotti	[minuti]	66.47
Tc Giandotti modificato	[minuti]	73.23
Tc imposto	[minuti]	70.00

Tabella 4.24: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino “ANTICA_FONTE_SUM” in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	67.10	14.00
300	106.18	28.00
400	142.51	42.00
500	162.68	56.00
600	163.96	70.00

Tabella 4.25 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino “ANTICA_FONTE_SUM”.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	18.05	C	77
ARBUSTETI	1.23	D	83
BOSCHI	68.08	C	70
BOSCHI	7.31	D	77
PRATI	0.10	C	74
PRATI	2.99	D	81
SEMINATIVI	0.06	B	71
SEMINATIVI	1.84	C	78
SEMINATIVI	28.51	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	6.67	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	21.92	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	6.32	U	78
VIGNETI	0.36	C	84
VIGNETI	0.18	D	88
ARBUSTETI	18.05	C	77
ARBUSTETI	1.23	D	83
BOSCHI	68.08	C	70
BOSCHI	7.31	D	77
VALORE RISULTANTE	163.62		76.18

Tabella 4.26 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "ANTICA_FONTE_SUM".

4.3.9 Bacino di pianura gravante sulla Roggia Abate a valle della confluenza dello scaricatore di Via dei Marmi (Bacino "CANALE_ABATE_SUD")

Il bacino "CANALE_ABATE_SUD" comprende tutte le aree di pianura direttamente afferenti alla Roggia omonima (non comprende pertanto le aree gravanti sulla Roggia Medici, valutate a parte) nel tratto compreso tra l'immissione dello scaricatore di Via dei Marmi e lo Scaricatore del Cimitero.

Il bacino pertanto comprende le aree delimitate a Nord dal Canale Abate stesso, a Sud dal Naviglio Grande Bresciano, a Est dalla Roggia Abate stessa, a Ovest dallo scaricatore "del Cimitero".

Le caratteristiche di drenaggio del bacino "CANALE_ABATE_SUD" sono quelle di un bacino di pianura e sono strettamente correlate alla rete di canalizzazioni ivi presenti; esso viene trattato pertanto come si è detto con il metodo di trasformazione dell'invaso.

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

Parametro	U.M.	
Lunghezza asta principale	[km]	4.82
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	60
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	0.50
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	160.58
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	220.58
Costante di invaso	[minuti]	102

Tabella 4.27: determinazione della costante di invaso per il bacino "CANALE_ABATE_SUD".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	9.68	B	77
ARBUSTETI	0.01	C	83
PRATI	0.00	D	61
PRATI	0.87	B	74
PRATI	0.01	C	81
SEMINATIVI	31.11	C	71
SEMINATIVI	190.47	D	78
SEMINATIVI	42.20	B	81
STRADE	3.01	C	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	8.97	D	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	2.88	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	16.60	U	78
VALORE RISULTANTE	306.86		78.20

Tabella 4.28 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "CANALE_ABATE_SUD".

4.3.10 Bacino urbano di Nuvolera (Bacino "UNITO_NUVOLERA")

Il bacino urbano di Nuvolera raggruppa tutte le aree gravanti sul Torrente Rudone nel tratto compreso tra la confluenza col Torrente Giava e il manufatto scaricatore ove si origina la Roggia Marmeria.

Esso comprende una parte con caratteristiche essenzialmente urbane, costituita dall'abitato di Nuvolera, e una parte predominante con caratteristiche montane, costituita dal bacino del Torrente Cavrene, che si immette direttamente nel Torrente Rudone all'altezza della località Camprelle di Nuvolera.

Il bacino "UNITO_NUVOLERA" viene pertanto trattato come un bacino di tipo montano.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	1.4296
Lunghezza asta	[km]	1.2463
Altitudine massima	[m s.l.m.]	563.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	169.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	287.39
H media rispetto chiusura	[m]	118.39
Tc Giandotti	[minuti]	45.85
Tc Giandotti modificato	[minuti]	43.75
Tc imposto	[minuti]	45.00

Tabella 4.29: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "UNITO_NUVOLERA" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	53.57	9.00
300	86.02	18.00
400	114.63	27.00
500	136.95	36.00
600	143.11	45.00

Tabella 4.30 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino "UNITO_NUVOLERA".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	24.92	C	77
ARBUSTETI	0.25	D	83
BOSCHI	63.69	C	70
BOSCHI	5.93	D	77
PRATI	0.63	C	74
PRATI	4.51	D	81
SEMINATIVI	6.51	C	78
SEMINATIVI	4.74	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	8.54	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	15.70	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	7.53	U	78
VALORE RISULTANTE	142.96		75.56

Tabella 4.31 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "UNITO_NUVOLERA".

4.3.11 Bacino del Torrente Rini (Bacino "RINI")

Il bacino del Torrente Rini raggruppa gli apporti di due colatori montani che si scaricano all'interno del cosiddetto "Fossone", il quale poi a sua volta confluisce nel Vaso Rudone Irriguo.

Le caratteristiche del bacino del Torrente Rini sono quelle di un bacino prevalentemente montano.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	1.0298
Lunghezza asta	[km]	1.4182
Altitudine massima	[m s.l.m.]	537.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	162.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	264.82
H media rispetto chiusura	[m]	102.82
Tc Giandotti	[minuti]	45.76
Tc Giandotti modificato	[minuti]	46.67
Tc imposto	[minuti]	45.00

Tabella 4.32: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino “RINI” in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	44.81	9.00
300	68.02	18.00
400	87.26	27.00
500	101.70	36.00
600	102.82	45.00

Tabella 4.33 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino “RINI”.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	8.93	C	77
ARBUSTETI	0.56	D	83
BOSCHI	44.26	C	70
BOSCHI	0.24	D	77
CAVE	18.11	C	75
PRATI	0.36	D	81
SEMINATIVI	4.70	C	78
SEMINATIVI	17.36	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	0.31	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	4.66	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	3.19	U	78
VIGNETI	0.30	C	84
VALORE RISULTANTE	102.98		74.72

Tabella 4.34 Determinazione del coefficiente CN per il bacino “RINI”.

4.3.12 Bacino urbano di Mazzano a Ovest del Torrente Rini (Bacino "UNITO_MAZZANO_RIDOTTO")

Il bacino urbano di Mazzano "ridotto" raggruppa tutte le aree gravanti sul Canale Rudone nel tratto compreso tra lo spartiacque col Torrente Rini e l'immissione del Torrente Rino di Rezzato.

Esso comprende una parte con caratteristiche essenzialmente urbana, costituita dall'abitato di Mazzano, e una parte predominante con caratteristiche montane, costituita dal bacino del Torrente Rino di Mazzano, confluyente nel Canale Rudone all'interno dell'abitato.

Il bacino "UNITO_MAZZANO_RIDOTTO" viene pertanto trattato come un bacino di tipo montano.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	1.9131
Lunghezza asta	[km]	1.3618
Altitudine massima	[m s.l.m.]	554.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	155.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	307.86
H media rispetto chiusura	[m]	152.86
Tc Giandotti	[minuti]	45.95
Tc Giandotti modificato	[minuti]	43.30
Tc imposto	[minuti]	45.00

Tabella 4.35: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "UNITO_MAZZANO_RIDOTTO" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	55.89	9.00
300	88.62	18.00
400	151.68	27.00
500	187.16	36.00
600	191.40	45.00

Tabella 4.36 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino "UNITO_MAZZANO_RIDOTTO".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	71.42	C	77
ARBUSTETI	1.14	D	83
BOSCHI	14.03	C	70
BOSCHI	4.08	D	77
CAVE	57.05	C	75
PRATI	0.73	C	74
PRATI	2.90	D	81
SEMINATIVI	1.16	C	78
SEMINATIVI	0.00	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	8.18	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	21.16	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	9.46	U	78
VALORE RISULTANTE	191.31		77.14

Tabella 4.37 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "UNITO_MAZZANO_RIDOTTO".

4.3.13 Bacino gravante sulla Roggia Marmeria (Bacino "MARMERIA").

Il bacino "MARMERIA" comprende tutte le aree di pianura che drenano sulla Roggia Marmeria o Marmoeria: tale bacino risulta perimetrato sul lato settentrionale dal Torrente Rudone e dal Canale Rudone, sul lato meridionale dal Naviglio Grande Bresciano, sul lato orientale e su quello occidentali dai due scaricatori "del Cimitero" e "di Via Cortine".

Gli afflussi meteorici su tale bacino vengono convogliati direttamente sulla Roggia Marmeria e da questa immessi nel Naviglio Grande Bresciano: il punto di confluenza della Roggia nel Naviglio è la sezione di chiusura considerata.

Le caratteristiche di drenaggio del bacino "MARMERIA" sono quelle di un bacino di pianura e sono strettamente correlate alla rete di canalizzazioni ivi presenti; esso viene trattato pertanto come si è detto con il metodo di trasformazione dell'invaso.

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

Parametro	U.M.	
Lunghezza asta principale	[km]	2.55
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	10.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	1.00
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	42.47
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	52.47
Costante di invaso	[minuti]	24.00

Tabella 4.38: determinazione della costante di invaso per il bacino "MARMERIA".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	4.10	C	77
ARBUSTETI	1.13	D	83
PRATI	1.26	C	74
PRATI	0.97	D	81
PRATI	0.21	D	81
SEMINATIVI	0.06	B	71
SEMINATIVI	27.28	C	78
SEMINATIVI	41.53	D	81
STRADE	0.37	U	98
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	17.04	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	34.49	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	9.28	U	78
VALORE RISULTANTE	137.72		81.44

Tabella 4.39 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "MARMERIA".

4.3.14 Bacino del Torrente Rino (Bacino "RINO").

Il bacino del Torrente Rino di Rezzato (Bacino "RINO") è un bacino con caratteristiche prevalentemente montane, costituito dalla porzione di territorio compresa fra lo spartiacque col bacino afferente al Torrente Musia quello col bacino afferente al Torrente Rino di Mazzano (ricompreso per le finalità del presente Studio all'interno del bacino "UNITO_MAZZANO").

La sezione di chiusura individuata è quella di confluenza nel Torrente Rudone – ramo di Nuvolera e Mazzano.

I dati morfologici del bacino ottenuti secondo la procedura di calcolo individuata per i bacini montani, il tempo di corrivazione, i parametri della curva ipsografica e di quella area – tempi da essa derivata nonché il calcolo del coefficiente CN del bacino sono riportati nelle tabelle seguenti.

Parametro	U.M.	
Superficie bacino	[km ²]	1.7721
Lunghezza asta	[km]	2.6089
Altitudine massima	[m s.l.m.]	551.00
Altitudine minima	[m s.l.m.]	169.00
Altitudine media	[m s.l.m.]	334.59
H media rispetto chiusura	[m]	165.59
Tc Giandotti	[minuti]	53.84
Tc Giandotti modificato	[minuti]	59.41
Tc imposto	[minuti]	60.00

Tabella 4.40: determinazione del tempo di corrivazione per il bacino "GAVARDO_URBANO" in base al metodo di Giandotti.

Altitudine	Area cumulata	Tempo
[m s.l.m.]	[ha]	[minuti]
200	22.25	12.00
300	58.85	24.00
400	135.15	36.00
500	172.48	48.00
600	177.40	60.00

Tabella 4.41 Parametri della curva ipsografica e della curva area – tempi per il bacino “RINO”.

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	16.32	C	77
ARBUSTETI	0.22	D	83
BOSCHI	112.35	C	70
BOSCHI	7.97	D	77
CAVE	26.37	C	75
PRATI	2.14	C	74
PRATI	1.17	D	81
SEMINATIVI	1.78	C	78
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	7.08	U	82
VIGNETI	1.82	C	84
VALORE RISULTANTE	177.21		72.54

Tabella 4.42 Determinazione del coefficiente CN per il bacino “RINO”.

4.3.15 Bacino urbano area di Mazzano (Bacino “UNITO_ITALCEMENTI_EST”).

Il bacino “UNITO_ITALCEMENTI_EST” descrive il bacino di pianura, in larga parte urbanizzato, delimitato a Est dalla Roggia Marmeria, a Sud dal Naviglio Grande Bresciano, a Nord dalla ex S.S. 45 bis e a Ovest dal Canale Rudone – Ramo di Nuvolera e Mazzano;

Il bacino UNITO_ITALCEMENTI_EST potrebbe essere descritto tanto come un bacino di tipo urbano quanto come un bacino di pianura: nella fattispecie, considerata la forma e le caratteristiche del bacino si è adottata questa seconda alternativa ed esso viene trattato pertanto come si è detto con il metodo di trasformazione dell'invaso.

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

Parametro	U.M.	
Lunghezza asta principale	[km]	2.94
Tempo di ingresso in rete	[minuti.]	10.00
Velocità di percorrenza della rete	[m/s]	1.00
Tempo di percorrenza della rete	[minuti]	49.00
Tempo di corrivazione stimato	[minuti]	59.00
Costante di invaso	[minuti]	27.00

Tabella 4.43: determinazione della costante di invaso per il bacino "UNITO_ITALCEMENTI_EST".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN Attribuito
ARBUSTETI	0.39	C	77
ARBUSTETI	3.83	D	83
PRATI	0.01	D	81
SEMINATIVI	10.26	C	78
SEMINATIVI	13.82	D	81
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	40.46	U	90
URBANIZZAZIONE MEDIA 38%	10.40	U	82
URBANIZZAZIONE RADA 25%	1.34	U	78
VALORE RISULTANTE	80.51		85.30

Tabella 4.44 Determinazione del coefficiente CN per il bacino "UNITO_ITALCEMENTI_EST".

5. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Definiti i sottobacini afferenti alla sezione di chiusura, il passo successivo è stato quello di definire il modello idraulico del sistema, ovvero di definire il comportamento della rete di canali e manufatti che raccoglie e convoglia gli apporti dei singoli sottobacini fino alla rete di chiusura.

5.1 SCELTA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA DEL MODELLO

La sezione di chiusura del modello viene individuata nel punto di confluenza all'interno del Naviglio Grande Bresciano del Torrente Rino di Rezzato (Nodo N25_I_RUDONERINO).

Tale sezione si colloca circa 300 metri a valle dell'area di interesse; viene scelta per due ragioni:

1. Essa è situata in corrispondenza della confluenza di un apporto significativo (per l'appunto il Torrente Rino di Rezzato) e nella modellazione idraulica si ritiene opportuno evidenziare gli eventuali effetti di rigurgito indotti da essa e potenzialmente coinvolgenti le aree oggetto del presente Studio;
2. Essa costituisce una sezione particolare del modello idrologico, in quanto rappresenta l'ultimo punto di confluenza nel Naviglio Grande Bresciano della rete originata dalla confluenza tra Torrente Giava e Torrente Rudone: estendere il modello fino ad essa risponde a logiche di unitarietà e di completezza di descrizione idrologica del bacino.

5.2 MODELLAZIONE DEGLI AFFLUSSI DI MAGRA (NODI SOURCES)

La finalità del modello idrologico del sistema facente capo al Naviglio Grande Bresciano è quella di determinare gli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano nell'area di interesse a fronte di eventi meteorici estremi statisticamente significativi.

Il Naviglio Grande Bresciano in tempo asciutto ha la finalità di fornire l'acqua derivata ai fini irrigui dal Fiume Chiese in località "Ponte Arche" di Gavardo ad una serie di derivate, in sponda destra e sinistra: le portate irrigue.

Come si vedrà nel seguito, allorquando si discuterà della modalità di modellazione delle bocche di presa delle Rogge derivate, le portate di tempo asciutto del Naviglio Grande Bresciano sono al più pari a 14'335 l/s medi e 16'615 l/s massimi.

In corrispondenza di eventi meteorici intensi, tuttavia, l'Ente Gestore del Vaso Naviglio Grande Bresciano (Consorzio di Bonifica "Medio Chiese" – Comprensorio n. 13) provvede a chiudere la bocca di presa dal Fiume Chiese in località "Ponte Arche" di Gavardo, cosicché l'apporto dal Fiume alla formazione delle piene nel Naviglio è nullo.

Ai fini di completezza del modello idrologico, pertanto, si è provveduto ad inserire nel modello sia la bocca di presa dal Fiume Chiese, utilizzando un nodo di tipo "source" (nodo N01 del modello idrologico), tanto l'effetto di traslazione indotto sulla portata derivata dal Fiume dal tratto di alveo compreso tra la bocca di presa e la prima immissione di apporti meteorici (immissione del bacino urbano di Gavardo, nodo N01), mediante un "lag" (si veda in merito §5.3).

Il nodo source si caratterizza per non determinare apporti non legati alle piogge ma a leggi di deflusso definite dall'utente: nel caso specifico, in virtù di quanto sopra esposto, si è imposta portata nulla al nodo source N01.

5.3 MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA

Le onde di piena convogliate da ciascun sottobacino vengono poi raccolte dalla rete di canalizzazioni.

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

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

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

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

- indipendentemente dalla sezione e dalla pendenza dei corsi d'acqua, si è imposto che la velocità di traslazione delle onde di piena lungo la rete di canalizzazioni sia nell'ordine di 1.00 m/s, in funzione dello sviluppo e delle caratteristiche ipotizzate per la rete di drenaggio: tale valore è ragionevole in un ambito di pianura, con condotti di pendenze nell'ordine di 0.002-0.008;
- 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 (si veda più avanti il §5.4.2).

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.

In carattere corsivo sono riportati i tratti che convogliano le portate deviate da nodi di tipo "DIVERSION" (si veda §5.4).

Nome	Asta idrica	Sviluppo [m]	Traslazione [minuti]
LAG_A01a	Roggia Abate	564.98	9
LAG_A01b	Roggia Abate	249.03	4
LAG_A01c	Roggia Abate	943.51	16
LAG_A02	Roggia Abate	376.31	6
LAG_A03	Roggia Abate	352.94	6
LAG_A04	Roggia Abate	487.30	8
LAG_A05A	Roggia Abate	458.15	8
LAG_A05B	Roggia Abate	158.55	3
LAG_A06	Roggia Abate	80.44	1
LAG_F001	Canale Fossone	613.30	10
LAG_SCO1	<i>Collegamento tra lo scolmatore sul Torrente Rudone e quello sul Canale Rio Alto</i>	389.02	6
LAG_MR01	Roggia Marmoeria	395.14	7
LAG_N01	Vaso Naviglio Grande Bresciano	414.03	7
LAG_N02	Vaso Naviglio Grande Bresciano	116.37	2
LAG_N03	Vaso Naviglio Grande Bresciano	233.33	4
LAG_N04	Vaso Naviglio Grande Bresciano	38.12	1
LAG_N04_MEDICI	Roggia Medici	7186.01	120
LAG_N05	Vaso Naviglio Grande Bresciano	262.31	4
LAG_N06	Vaso Naviglio Grande Bresciano	1959.99	33
LAG_N07	Vaso Naviglio Grande Bresciano	883.15	15
LAG_N08	Vaso Naviglio Grande Bresciano	1456.58	24
LAG_N09	Vaso Naviglio Grande Bresciano	133.25	2
LAG_N10	Vaso Naviglio Grande Bresciano	173.90	3
LAG_N11	Vaso Naviglio Grande Bresciano	21.91	0
LAG_N12	Vaso Naviglio Grande Bresciano	534.80	9
LAG_N12_ABATE	Roggia Abate	1808.59	30
LAG_N13	Vaso Naviglio Grande Bresciano	1558.27	26
LAG_N14	Vaso Naviglio Grande Bresciano	1762.21	29
LAG_N15	Vaso Naviglio Grande Bresciano	597.82	10
LAG_N16	Vaso Naviglio Grande Bresciano	539.27	9
LAG_N17	Vaso Naviglio Grande Bresciano	513.76	9
LAG_N18	Vaso Naviglio Grande Bresciano	639.29	11
LAG_N19	Vaso Naviglio Grande Bresciano	1184.78	20
LAG_N20	Vaso Naviglio Grande Bresciano	42.68	1
LAG_N21	Vaso Naviglio Grande Bresciano	68.67	1
LAG_N22	Vaso Naviglio Grande Bresciano	22.06	0
LAG_N23	Vaso Naviglio Grande Bresciano	61.89	1
LAG_N24	Vaso Naviglio Grande Bresciano	79.00	1
LAG_R00	Torrente Rudone	1047.10	17
LAG_R01	Torrente Rudone	441.98	7
LAG_R02	Torrente Rudone	323.75	5
LAG_R03	Torrente Rudone	1039.49	17
LAG_R04	Torrente Rudone	370.19	6
LAG_R05	Roggia Marmoeria	66.12	1
LAG_R05_RUDONE_IRRIGUO	Rio Rudone irriguo (Mazzano)	1203.77	20
LAG_R06	Roggia Marmoeria	1429.43	24
LAG_RM00	Rio Rudone irriguo (Mazzano)	466.39	8
LAG_RM00A	Rio Rudone irriguo (Mazzano)	740.30	12
LAG_RM01	Rio Rudone irriguo (Mazzano)	1268.65	21
LAG_RM02	Rio Rudone irriguo (Mazzano)	844.30	14
LAG_SCIMITERO	<i>Scaricatore dal Torrente Rudone al Naviglio Grande Bresciano</i>	1229.44	20
LAG_SPONTICELLA	<i>Scaricatore dal Torrente Rudone alla Roggia Abate</i>	239.84	4
LAG_SVIAMARM	<i>Scaricatore dal Torrente Rudone alla Roggia Abate</i>	352.50	6

Tabella 5.1: Caratteristiche della rete di drenaggio inserite nel modello HEC-HMS

5.4 MODELLAZIONE DEI NODI DI DEVIAZIONE DELLE PORTATE CONVOGLIATE DALLE RETI DI CANALIZZAZIONI

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

Ancorché tutti i nodi di deviazione siano stati modellati attraverso la medesima modalità (ovvero la definizione di un nodo di tipo "diversion"), in realtà all'interno del sistema sono presenti tre tipi di nodi di deviazione aventi caratteristiche e modalità di funzionamento differenti:

1. le derivazioni irrigue presenti lungo il Naviglio Grande Bresciano: sono caratterizzate dal fatto di *deviare una porzione definita delle portate provenienti da monte*, variabile in funzione di queste ultime entro un certo range ma non eccedenti un valore massimo fissato.

Le portate convogliate verso valle lungo l'asta del Naviglio Grande Bresciano non sono pertanto fissate;

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

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

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

Tali manufatti sono caratterizzati di convogliare verso valle lungo l'asta *una porzione definita delle portate provenienti da monte*, variabile in funzione di queste ultime entro un certo range ma non eccedenti un valore massimo fissato dalla geometria del sistema.

Le portate eccedenti tale valore massimo sono considerate perse dal sistema, in quanto fuoriescono a monte del manufatto, dando luogo a fenomeni alluvionali localizzati.

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

I nodi di tipo "diversion" inseriti dal modello sono tutti caratterizzati dall'avere una legge di deviazione del tipo "portata entrante nel nodo – portata deviata": la loro modalità di funzionamento è pertanto legata ad una funzione (definita discretamente per punti) che correla la portata deviata dal nodo a quella in arrivo da monte su di esso.

Ovviamente, la portata convogliata verso valle dal nodo divider è ricavabile per differenza.

La funzione di correlazione viene definita per le bocche irrigue in funzione delle modalità gestionali da parte dell'Ente Gestore e dalla geometria del sistema per i manufatti scaricatori e per le opere interferenti.

5.4.1 Modellazione delle derivazioni irrigue presenti lungo il Naviglio Grande Bresciano

Per la modellazione delle modalità di funzionamento delle derivazioni dal Vaso Naviglio Grande Bresciano è stato possibile fare riferimento ai dati riportati 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, direttamente forniti dall'Ente Gestore della rete irrigua (Consorzio di Bonifica "Chiese") (Tabella 5.2).

In tabella per ciascuna roggia sono riportate le dotazioni assegnate nelle condizioni di erogazione standard, in condizioni di erogazione irrigua massima e le portate massime convogliabili in tempo di piena.

In colore velato sono rappresentate le rogge poste a valle dell'ultima derivazione di interesse per il presente Studio (la derivazione della Roggia Abate) e pertanto escluse dal modello idrologico.

			DOTAZIONE IRRIGUA ROGGIA			DOT. IRRIGUA NAVIGLIO A MONTE DELLA DERIVAZIONE	
	ROGGIA	COMUNE	STAN DARD	MAX	DI PIENA	STAN DARD	MAX
			[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
1	MEDICI	Gavardo	450	518	518	14'335	16'615
2	GAVARDINA	Gavardo	133	155	200	13'885	16'097
3	SPINAROLA	Prevalle	226	260	260	13'752	15'942
4	MAESTA'	Prevalle	253	290	290	13'526	15'682
5	LANCELOTTA	Prevalle	268	310	310	13'273	15'392
6	DESA-CALCINATELLA	Prevalle	2'860	3'300	3'300	13'005	15'082
7	GAZZETTA	Prevalle	268	310	310	10'145	11'782
8	RUDONE ABATE-ABATE	Prevalle	700	775	775	9'877	11'472
9	BONETTA	Prevalle	253	295	295	9'177	10'697
10	GAMBERINA	Nuvolento	446	517	517	8'924	10'402
11	MONFANA	Nuvolera	426	495	520	8'478	9'885
12	MAZZANESCA	Mazzano	1'015	1'180	1'400	8'052	9'390
13	ROBERTA	Rezzato	1'075	1'240	2'500	7'037	8'210
14	LUPA	Rezzato	1'600	1'840	4'500	5'962	6'970
15	RENA	Rezzato	323	370	500	4'362	5'130
16	RUDONE B MORA	Rezzato	286	330	380	4'039	4'760
17	TREINA	Rezzato	323	370	500	3'753	4'430
18	CAVALLINA	Rezzato	358	430	550	3'430	4'060
19	GANASSONA/RUDONCELLO/CAIONVICA	Rezzato	680	790	1'350	3'072	3'630
20	VESCOVADA	Brescia	500	580	2'000	2'392	2'840
21	COMUNA	Brescia	296	340	700	1'892	2'260
22	NAV. CERCA (IRRIGUO)	Brescia	805	1'000	20'000	1'596	1'920
23	NAV. CERCA (BERGAMASCHINO)	Brescia	0	0		791	920
24	NAV. CERCA (S.SUPERFIC.)	Brescia	0	0		791	920
25	MUSIA-MUSIOLO-COLPANA	Brescia	260	300	500	791	920
26	FOGNOLO	Brescia	531	620	2'000	531	620
	TOTALE PORTATE EROGATE		14'335	16'615	44'175		

Tabella 5.2 Dotazioni irrigue massime di ciascuna Roggia derivata dal Vaso Naviglio Grande Bresciano in condizioni standard, in condizioni di massima erogazione ed in condizioni di piena.

La modulazione delle portate derivate dalla rogge nelle diverse condizioni di funzionamento viene attuata manualmente dal personale del Consorzio, che opera in loco la movimentazione delle paratoie di derivazione sulla base delle massime portate compatibili con la capacità del reticolo e la situazione dei territori di valle.

In base alle dotazioni irrigue riportate in Tabella è possibile ricavare le portate convogliate dal Vaso Naviglio Grande Bresciano a monte di ciascuna derivazione nelle condizioni standard e di massima erogazione irrigua: all'altezza di Ponte Arche di Gavardo esso convoglia l'intera portata da erogare alle utenze (ovvero 14'335 l/s in condizioni standard e 16'615 l/s in condizioni massime) e tale portata viene progressivamente sottratta all'asta in funzione delle dotazioni di ciascuna roggia.

Diverso è il caso delle dotazioni assegnate a ciascuna Roggia in tempo di pioggia: *esse rappresentano la massima quantità di acqua che esse sono in grado di allontanare dal Vaso Naviglio Grande Bresciano, indipendentemente dalle portate che esso convoglia, purché queste siano superiori alla dotazione massima irrigua in ciascuna sezione.*

Come si è detto, per le modalità di modellazione dei nodi di tipo DIVERSION richiesta dal codice di calcolo è necessario fornire una serie di coppie di valori di portata in ingresso al nodo (=portata di monte del Naviglio Grande Bresciano) – portata deviata (=portata derivata dalla roggia), in base ai valori riportati in tabella è possibile descrivere per punti la modalità di funzionamento di ciascuna bocca:

	Vaso Naviglio Grande Bresciano a monte della derivazione	Derivazione irrigua
punto 1	Portata nulla	Portata nulla
punto 2	portata media irrigua	Dotazione media
punto 3	portata massima irrigua	dotazione massima irrigua
punto 4	portata appena eccedente la portata massima irrigua	dotazione massima di piena
punto 5	portata massima (valore arbitrario, scelto in maniera da essere certamente superiore al valore massimo derivato dal calcolo idrologico così da non causare alla curva di andare fuori scala, bloccando la risoluzione del modello)	dotazione massima di piena

Tabella 5.3 Schema di costruzione della curva per punti interpretativa del comportamento delle derivazioni dal Naviglio Grande Bresciano.

A titolo di esempio si riporta la curva descrittiva del funzionamento della derivazione della Roggia Cavallina (nodo DIVERSION N_27_D_CAVALLINA):

Portata Naviglio	Portata Roggia Cavallina
[m³/s]	[m³/s]
0.000	0.000
3.430	0.358
4.060	0.430
4.061	0.550
200.000	0.550

Tabella 5.4 Esempio di curva di funzionamento delle derivazioni irrigue come implementate per punti nel modello idraulico: nodo N_27_D_CAVALLINA, derivazione Roggia Cavallina

In merito a quanto riportato in Tabella 5.4 si pone in evidenza come il valore di portata massima imposta al Vaso Naviglio Grande (pari a 200 m³/s!) non abbia rilevanza fisica: esso è stato fissato a monte delle

modellazioni svolte in maniera da essere sicuramente superiore ai massimi valori effettivamente risultanti dall'analisi idrologica.

Per quanto concerne le derivazioni che in tempo di pioggia sono in grado di convogliare portate fortemente superiori alle portate massime irrigue, funzionando pertanto come scaricatori, in grado di alimentare parte delle portate di piena transitanti nel Naviglio (indicate in corsivo in Tabella 5.2, vale a dire Roggia Lupa, Roggia Roberta e Roggia Ganassona – Rudoncello – Caionvica), si è introdotto un elemento di gradualità nel passaggio dall'erogazione delle portate massime irrigue all'inizio dell'erogazione di tempo di pioggia (punto 4 della Tabella 5.4), per tener conto dei tempi necessari per intervenire sulla bocca per portarla all'assetto di tempo di pioggia.

A titolo di esempio si riporta la curva di funzionamento implementata per la Roggia Roberta (nodo DIVERSION N_20_D_ROBERTA).

Portata Naviglio	Portata Roggia Roberta
[m³/s]	[m³/s]
0.000	0.000
7.037	1.075
8.210	1.240
10.210	2.500
200.000	2.500

Tabella 5.5 Esempio di curva di funzionamento delle derivazioni irrigue con funzionamento da scaricatori in tempo di pioggia come implementate per punti nel modello idraulico: nodo N_20_D_ROBERTA, derivazione Roggia Roberta

Si osserva come il passaggio della bocca dall'assetto massimo irriguo (1.24 m³/s) a quello di pioggia (2.50 m³/s) avvenga al crescere di 2.00 m³/s delle portate presenti nel Naviglio a monte della bocca di presa.

5.4.2 Modellazione dei manufatti scaricatori presenti sulla rete

Lungo la rete facente capo al Naviglio Grande Bresciano è presente una serie significativa di manufatti scaricatori di piena, variamente distribuiti sui corsi d'acqua naturali ed artificiali chiamati al compito di accogliere gli afflussi di piena dei bacini montani e pedemontani (il Torrente Rudone, il Canale Rio Alto o Canale Abate, il Torrente Musia).

Le modalità di funzionamento di tali manufatti sono legate alla geometria di ciascuno di essi: non è stato pertanto possibile operare come sulle derivazioni irrigue del Vaso Naviglio Grande Bresciano, definendo cioè un'unica legge di comportamento che li descrivesse tutti e variando soltanto i parametri descrittivi di ciascuna derivazione.

È stato invece necessario procedere ad un rilievo in situ di ciascun manufatto e, sulla base di questo, ricavare per punti una legge di funzionamento dello stesso, facendo riferimento alle usuali formule dell'idraulica (formula dell'efflusso sotto battente, formula dell'efflusso attraverso bocche a stramazzo, formule descrittive del moto uniforme in condotti rettangolari, circolari o trapezoidali).

Nella definizione delle relazioni descrittive del comportamento di ciascun manufatto (anche in questo caso del tipo portate di monte => portate deviate) è stato necessario adottare delle semplificazioni, ritenute accettabili nel grado di approssimazione tipico del modello idrologico:

- Ove i vincoli geometrici imposti fossero legati alla geometria del condotto chiuso (circolare o rettangolare chiuso) si è in linea generale considerata come portata massima la portata convogliabile a pelo libero attraverso il condotto, trascurando l'eventuale comportamento in pressione.

Tale approssimazione si giustifica per il fatto che in generale i manufatti considerati non sono soggetti ad un significativo funzionamento in pressione, al più di qualche decina di cm: ove il funzionamento in pressione fosse predominante, esso è stato descritto.

- La curva di funzionamento dei manufatti è stata descritta per punti, in funzione delle quote altimetriche significative nella geometria dello stesso (per esempio, quota di inizio del funzionamento sotto battente per un efflusso attraverso una paratoia oppure quota di attivazione di uno stramazzo), accettando che il comportamento della curva di funzionamento tra due punti esplicitamente descritti avvenga per interpolazione lineare.

Nei paragrafi che seguono, per ciascun manufatto inserito nel modello, viene presentata una sintetica descrizione e viene riportata la curva di funzionamento implementata nel modello.

5.4.2.1 Scarico “della Pesca”, nodo N03_D_SPESCA (Naviglio Grande Bresciano)

Lo scarico “della pesca” è uno scarico laterale localizzato sulla sponda sinistra del Vaso Naviglio Grande Bresciano; esso è costituito da una luce con la forma approssimativa di un fungo.

- La parte centrale (assimilabile allo stelo del fungo) è costituita da una bocca sotto battente occlusa da una paratoia rettangolare, che in condizioni di massima apertura (quali sono quelle considerate con gli eventi estremi di progetto) lascia aperta una luce di efflusso di dimensioni 1.00x1.70 m con piano di imposta -1.20 m rispetto al fondo del Vaso (in corrispondenza dell'imbocco dello scarico è presente un foro di invito sul fondo del canale);
- La parte laterale (assimilabile al cappello del fungo) è costituita da due luci di troppo pieno laterali alla luce di efflusso centrale, a forma ciascuna di mezzo settore circolare.

Esse sono state approssimate ad una luce rettangolare di dimensione complessiva pari a 1.50x0.60 m con piano di imposta pari a + 1.70 m rispetto al fondo del Vaso.

Il funzionamento di tutte e tre le bocche viene descritto con le formule dell'efflusso sotto battente.

La descrizione delle condizioni di moto nel Naviglio avviene mediante le formule del moto uniforme (sezione rettangolare aperta B x H=17.0 x 2.8 m, pendenza 0.0001 m/m, scabrezza secondo Strickler 40).

Tirante idrico rispetto al fondo del Naviglio	Portata in ingresso (Naviglio)	Portata deviata luce con paratoia (A)	Portata deviata luci laterali (B)	Portata complessiva deviata (A+B)
[m]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.510	2.129	0.533	0.000	0.533
1.710	14.715	6.581	0.000	6.581
2.310	23.384	8.315	1.056	9.266
2.800	31.285	9.567	2.030	11.393

Tabella 5.6 Curva di comportamento del nodo DIVERSION N03_D_SPESCA (Scarico “della Pesca”).

5.4.2.2 Scarico "Torrente San Carlo", nodo N05_S_SCARLO (Naviglio Grande Bresciano)

Lo scarico del Torrente San Carlo si trova in sponda sinistra al Vaso Naviglio Grande Bresciano, pressoché in corrispondenza dell'immissione in sponda destra del Torrente omonimo.

Tirante idrico rispetto al fondo del Naviglio	Portata in ingresso (Naviglio)	Portata complessiva deviata
[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.000	0.000	0.000
0.110	0.712	0.483
1.600	54.759	6.858

Tabella 5.7 Curva di comportamento del nodo DIVERSION N05_S_SCARLO (Scarico "Torrente San Carlo").

La bocca di scarico è costituita da una luce circolare di diametro pari a 1.40 m occlusa da una paratoia che, in condizioni di massima apertura, lascia libera l'intera luce. La quota di imposta della luce di efflusso si colloca -1.30 m rispetto al fondo del Vaso Naviglio Grande Bresciano (in corrispondenza dell'imbocco dello scarico è presente un foro di invito sul fondo del canale).

Il funzionamento della bocca viene descritto con la formula dell'efflusso sotto battente.

La descrizione delle condizioni di moto nel Naviglio avviene mediante le formule del moto uniforme (sezione rettangolare aperta B x H=15.0 x 1.6 m, pendenza 0.001 m/m, scabrezza secondo Strickler 60).

5.4.2.3 Manufatto di partizione Roggia Abate, nodo A01b_D_PARTITORE

Tale partitore si trova nei pressi della Cascina Abate, al confine tra i Comuni di Nuvolento e Prevalle.

Esso divide il flusso della Roggia Abate, proveniente da monte, in due porzioni pressoché uguali, l'una che va a confluire al Canale Abate o Canale Rio Alto, e l'altra che prosegue, approssimativamente parallelo al Naviglio Grande Bresciano, in comune di Nuvolento.

Ai fini del presente Studio solo il primo dei due contributi riveste interesse, le portate dell'altro si ritengono perse dal sistema.

La legge descrittiva del funzionamento del manufatto è semplice, in quanto prevede la partizione al 50% delle portate in arrivo.

Portata in ingresso	Portata complessiva deviata
[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.000	0.000
10.000	5.000
100.000	50.000

Tabella 5.8 Curva di comportamento del nodo A01b_D_PARTITORE.

5.4.2.4 Scarico "del Mulino", nodo R00_D_MULINO (Torrente Rudone)

Lo scarico "del Mulino" è localizzato sul Torrente Rudone, in corrispondenza della curva destrorsa che lo porta ad entrare nel centro abitato di Nuvolento.

Esso è costituito semplicemente da una tubazione in cls DN 1000 mm il cui fondo si colloca circa 0.50 m al di sopra del fondo del Torrente Rudone.

Il funzionamento della bocca viene descritto con la formula del moto uniforme, considerando che lo scaricatore abbia una pendenza nell'ordine del 0.5%; non viene considerato il moto sotto battente: si ipotizza perciò che la portata massima che imbocca lo scaricatore sia quella massima a pelo libero.

La descrizione delle condizioni di moto nel Torrente Rudone avviene mediante le formule del moto uniforme (sezione rettangolare aperta B x H=6.0 x 2.1 m, pendenza 0.003 m/m, scabrezza secondo Strickler 60).

Tirante idrico rispetto al fondo del T. Rudone	Portata in ingresso	Portata complessiva deviata
[m]	[m³/s]	[m³/s]
0.000	0.000	0.000
0.500	5.600	0.000
1.000	16.300	0.660
1.500	29.580	1.420
...	100.000	1.420

Tabella 5.9 Curva di comportamento del nodo R00_D_MULINO

5.4.2.5 Scarico dello scaricatore "Ponticella", nodo R00_D_SPONTICELLA_DN800 (Torrente Antica Fonte – Sum)

Tale scarico è posizionato immediatamente a monte della confluenza del Torrente Antica Fonte – Sum nel Torrente Rudone, ed è costituito da una tubazione in cls DN 800 mm in cls che sottopassa il Torrente Rudone per immettersi nello scarico "della Ponticella".

Il funzionamento della bocca viene descritto con la formula del moto uniforme, considerando che lo scaricatore abbia una pendenza nell'ordine del 0.5% ed una scabrezza secondo Stricker pari a 70; non viene considerato il moto sotto battente: si ipotizza perciò che la portata massima che imbocca lo scaricatore sia quella massima a pelo libero.

Portata in ingresso	Portata complessiva deviata
[m³/s]	[m³/s]
0.000	0.000
0.913	0.000
100.913	100.000

Tabella 5.10 Curva di comportamento del nodo R00_D_SPONTICELLA_DN800

5.4.2.6 Scarico dello scaricatore "Ponticella", nodo R01_D_SPONTICELLA (Torrente Rudone)

Lo scaricatore "Ponticella" è caratterizzato dall'aver una geometria piuttosto complessa: per la sua descrizione è stato possibile fare riferimento alle risultanze di un rilievo strumentale del manufatto.

Sul Torrente Rudone proveniente da Est sono realizzate in sponda sinistra due bocche di efflusso sotto battente direttamente sul fondo del manufatto (169.37 m s.l.m.), parzialmente occluse da paratoie con luce libera (a paratoia completamente aperta, come avviene in tempo di pioggia) di 2.40x1.00 m ciascuna.

L'attivazione del percorso longitudinale lungo il Torrente avviene per tiranti idrici superiori: il Torrente Rudone presenta infatti a valle dello scaricatore un tratto in contropendenza di sviluppo prossimo a 280 m e perché questo percorso si attivi l'acqua deve invasarsi in tale tratto fino ad una quota pari a 169.91 m s.l.m..

L'efflusso lungo il percorso longitudinale viene valutato secondo la formula del moto uniforme in canale trapezoidale a valle del tratto in contropendenza (larghezza sul fondo 2.00 m, altezza 1.73 m, larghezza in sommità 6.92 m, pendenza longitudinale 0.0008 m/m, scabrezza secondo Stricker 30).

Per battenti idrici ulteriormente superiori, si ha l'attivazione in sequenza di due luci a stramazzo poste in corrispondenza del manufatto

- quella più bassa ha sviluppo pari a 6.50 m e posta ad una quota di 170.47 m s.l.m. (ovvero ad una quota più o meno pari a quella dell'inizio del funzionamento sotto battente delle paratoie);
- quella più alta ha sviluppo pari a 6.83 m ed una quota di 170.60 m s.l.m.

Le portate massime derivabili attraverso il manufatto corrispondono a quelle transitanti con un tirante pari alla quota del terreno, pari a circa 171.50 m s.l.m.; le portate eccedenti tale valore massimo spagliano sul terreno.

Il funzionamento dello scaricatore "Ponticella" è quindi piuttosto particolare: il percorso di deviazione è il primo ad attivarsi, tramite le due luci sotto battente; per tiranti maggiori si attiva il percorso longitudinale e, per tiranti ancora maggiori, si attiva un secondo percorso di deviazione attraverso i due sfiori.

Tirante idrico assoluto	Portata verso il Torrente Rudone	Portata deviata attraverso le paratoie	Portata deviata dallo stramazzo basso	Portata deviata dallo stramazzo alto	Portata complessiva in arrivo (Torrente Rudone)	Portata complessiva deviata (Scaricatore Ponticella)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A+B+C+D)	(B+C+D)
[m s.l.m.]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
169.37	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
169.91	0.000	0.000	0.000	0.000	3.248	3.248
170.47	0.699	0.000	0.000	0.000	10.143	9.444
170.60	1.025	8.598	0.540	0.000	10.162	9.138
171.10	2.907	12.528	5.759	4.278	25.472	22.565
171.50	5.221	15.123	12.039	10.332	42.715	37.494

Tabella 5.11 Curva di comportamento del nodo DIVERSION R01_D_SPONTICELLA (Scarico "Ponticella").

5.4.2.7 Scarico dello scaricatore "Via dei Marmi", nodo R03_D_SVIAMARMI (Torrente Rudone e Torrente Giava)

Lo scarico di Via dei Marmi si colloca a valle della confluenza tra il Torrente Rudone e il Torrente Giava: dato che la maggior parte dei deflussi provenienti dal Torrente Rudone sono, in questo tratto, già stati

allontanati mediante lo scarico "della Ponticella", la funzione principale dello scarico di Via dei Marmi è quello di allontanare i deflussi immessi dal Torrente Giava.

Come si è detto, lo scarico di Via dei Marmi è alimentato da due manufatti.

Il primo manufatto che alimenta lo scolmatore di Via dei Marmi è localizzato circa 150 metri a valle della confluenza con il Torrente Giava ed in corrispondenza del cambio di direzione che porta il Torrente Rudone da un tracciato prevalente NW-SE a uno NE-SW.

Esso è costituito da una soglia di sfioro di sviluppo pari a circa 14.20 metri nel cui corpo (a circa metà dello sviluppo) si apre una paratoia di scarico di sezione pari a 1.00x1.40 m (paratoia n. 4).

Lo scaricatore di Via dei Marmi di fatto si origina in corrispondenza del punto di scarico della paratoia; a monte è presente solo un'incisione nel terreno.

Nel tratto compreso tra il primo e il secondo manufatto il Torrente Rudone presenta una sponda destra costituita da un muro in cls realizzato in tempi relativamente recenti: tale muro rappresenta di fatto anch'esso una soglia di sfioro continua lungo tutto il tracciato che alimenta il limitrofo Scolmatore di Via Marmi.

Il secondo manufatto che alimenta lo scolmatore di Via dei Marmi è localizzato circa 200 metri a valle del primo ed è localizzato in corrispondenza di un mulino oggi dismesso.

Esso è costituito da una vasca approssimativamente rettangolare di dimensioni in pianta pari a 8.00x5.50 m circa che si colloca in continuità con l'alveo proveniente da monte seppur con un ribassamento nella quota di fondo pari a circa 0.30 m.

All'interno della vasca sono presenti 3 paratoie di dimensioni diseguali:

- la paratoia 1, di dimensioni pari a 1.55 x 1.00 m, impostata sul fondo della vasca e che alimenta lo scolmatore di Via dei Marmi;
- la paratoia 2, di dimensioni pari a 1.05 x 1.00 m, impostata circa 0.28 m al di sopra del fondo della vasca e che alimenta anch'essa lo scolmatore di Via dei Marmi;
- la paratoia 3, di dimensioni pari a 1.45 x 1.50 m, impostata circa 0.61 m al di sopra del fondo della vasca e che alimenta il ramo del Torrente Rudone diretto verso Nuvolera; tale ramo presenta pochi metri a valle della paratoia un salto di fondo di circa 2 metri.

La parete ove sono collocate le paratoie 1 e 2, costituita da porzioni di muro di altezza variabile e di sviluppo complessivo pari a 10.2 m, funge da soglia di sfioro per l'alimentazione dello Scolmatore di Via dei Marmi.

In posizione frontale rispetto alla paratoia 3 è presente un canale longitudinale privo di sbocco, parallelo al Torrente Rudone, di sviluppo pari a circa 17.5 m con una soglia di sfioro diretta verso il canale che si deriva dalla paratoia 3 stessa.

Tale canale di fatto funge da sfioro frontale (il tirante idrico al suo interno è costante ed è pari a quello che si ritrova a monte della paratoia 3) in grado di alimentare comunque il Torrente Rudone verso Nuvolera bypassando la paratoia 3 e, pertanto anche in condizioni di paratoia 3 completamente chiusa.

Lo scaricatore di Via dei Marmi si origina in corrispondenza dell'immissione del primo scarico e presenta un primo tratto (avente uno sviluppo nell'ordine di 210 – 230 metri) in parallelismo al Torrente Rudone.

Si evidenzia come, in questo tratto, la sponda sinistra del Torrente sia costituita da un muro in c.a. di realizzazione relativamente recente, avente una quota di estradosso più bassa di quella di sponda destra: di fatto, pertanto, nel tratto compreso tra il primo manufatto di scarico e lo scarico del Mulino, la sponda sinistra del Torrente Rudone funge da soglia (impropria) di sfioro che alimenta il limitrofo scarico di Via dei Marmi.

A valle del mulino, lo scarico di Via dei Marmi presenta un attraversamento da parte di una strada poderale, costituito da un ponte ad arco in muratura che (a prima vista) costituisce un vincolo geometrico alle portate convogliabili e poi piega in direzione Est, portandosi sul lato settentrionale di Via dei Marmi.

Qui esso corre canalizzato in un alveo artificiale, con il muro di sostegno della sede stradale in sponda destra e quello di sostegno delle proprietà in sponda destra.

Lungo tale tratto sono presenti diversi manufatti di attraversamento che, tuttavia, non si configurano come vincoli significativi ai deflussi del canale, presentando tutti una sezione idraulica più ampia del citato ponte in muratura.

All'altezza dell'incrocio tra Via dei Marmi e la S.P. 116 lo scarico di Via dei Marmi si immette nel Canale Rio Alto – Canale Abate.

Come condizione all'interno del modello idrologico si è stabilito che verso valle possano procedere al massimo 2.00 m³/s, in realtà una portata inferiore a quella massima convogliabile attraverso il tratto di Torrente Rudone che attraversa l'abitato di Nuvolera (nell'ordine di 3.00 m³/s, vincolate dall'attraversamento di Via Processioni).

L'ipotesi assunta è a favore di sicurezza (massimizza le portate immesse nello scaricatore di Via dei Marmi) ed è in ogni caso del tutto ininfluyente ai fini della modellazione idraulica: nella modellazione monodimensionale infatti le portate ivi immesse vengono stimate in base alla geometria effettiva dei manufatti e nella modellazione bidimensionale si assumono come dati di base quelli della modellazione monodimensionale.

Portata condotto di valle (Torrente Rudone)	Portata complessiva in ingresso (Torrente Rudone)	Portata complessiva deviata sullo scaricatore di Via dei Marmi
(A)	(B)	(A-B)
[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.000	0.000	0.000
2.00	2.000	0.000
2.00	102.000	100.00

Tabella 5.12 Curva di comportamento del nodo R03_D_SVIAMARM (Scaricatore "Via dei Marmi").

5.4.2.8 Scarichi del canale scolmatore del Torrente Rudone del Torrente Giava e del Canale Abate – Rio Alto, nodo R02_D_SCO1 (Torrente Rudone) e nodo A03_D_SCO2 (Canale Abate)

Il nuovo Canale Scaricatore ha come si è detto la finalità di allontanare una parte degli afflussi provenienti dai due corsi d'acqua principali dell'area (Torrente Rudone e Torrente Giava) attraverso altrettanti manufatti scaricatori, e di scaricarli al Fiume Chiese attraverso un canale di convogliamento posato all'interno dei territori comunali di Nuvolento, Nuvolera e Bedizzole.

L'opera è progettata in riferimento ad un evento meteorico con tempo di ritorno ventennale e si configura come opera strategica a tutela del territorio, sia in riferimento alle portate allontanate (per un massimo di 30 m³/s, di cui 17 m³/s dalla confluenza tra Torrente Giava e Rudone e 13 m³/s dal Rio Alto – Canale Abate) sia per il fatto che essa allontana tali portate dal bacino facente capo al Naviglio Grande Bresciano e le immette in un altro bacino idrografico (quello del Fiume Chiese, come si è detto).

L'opera di presa dello Scolmatore è caratterizzata dall'avere una geometria piuttosto complessa; il Canale Scolmatore è infatti alimentato da due manufatti, l'uno in corrispondenza della confluenza tra il Torrente

Giava e il Torrente Rudone (manufatto 1), l'altro sul Canale Abate – Canale Rio Alto, nel tratto compreso fra l'immissione dello scarico "della Ponticella" e quella dello scarico di Via dei Marmi (manufatto 2).

Il manufatto 1 è realizzato sul Torrente Rudone immediatamente a valle della confluenza con il Torrente Giava.

Esso presenta una quota di fondo media pari a 169.66 m s.l.m. (in realtà variabile di alcuni centimetri, tenuto conto che viene data al manufatto una certa pendenza lungo la direzione di scorrimento del Torrente Rudone), ed è costituito da una serie di opere differenti.

Procedendo lungo il corso del Torrente, si riscontrano in sequenza:

- in sponda sinistra la bocca di alimentazione dello Scolmatore, costituita da una parete inclinata avente sviluppo pari a 10.60 m circa e quota di petto pari a 170.00 m s.l.m. (a fronte di una quota di fondo pari come si è detto circa a 169.66 m s.l.m. e quota di estradosso del manufatto pari a 171.66 m s.l.m.).

Tale parete immette le acque in una vasca di sghiaimento trapezoidale avente quota di fondo pari a 168.50 m s.l.m. e dimensioni medie in pianta 10.83 x 9.20 m.

Sulla parete opposta alla soglia di sfioro è presente la bocca di presa del Canale Scolmatore, costituita da due paratoie a strisciamento avente ciascuna sezione pari a 1.50x2.00 m.

La quota di imposta delle paratoie è 169.15 m s.l.m. (ovvero 0.65 m al di sopra della quota del manufatto di sghiaimento), mentre la quota di imbocco del Canale Scolmatore da esse alimentato è pari a 168.50 m s.l.m.;

- in sponda sinistra la soglia di troppo pieno che alimenta lo Scolmatore: essa ha uno sviluppo pari a 10.50 m e una quota di petto pari a 170.84 m s.l.m.

Le acque allontanate dal Torrente Rudone mediante la soglia di sfioro si immettono nel Canale Scolmatore a valle delle paratoie di presa: tale apporto non è pertanto regolabile con le paratoie ed è comunque presente allorché il tirante idrico nel Torrente Rudone supera 170.84 m s.l.m.

Come si vedrà, le portate massime scaricate attraverso la soglia di sfioro in condizioni di paratoie completamente chiuse sono nell'ordine di grandezza delle massime portate convogliabili dal Canale Scaricatore (ovvero circa 17.00 – 17.50 m³/s).

- trasversalmente all'alveo, le 3 paratoie di regolazione delle portate convogliate verso valle.

Le tre paratoie hanno dimensioni differenti: le due paratoie laterali hanno sezione 2.50x1.50 m, quella centrale ha sezione pari a 2.50x1.15 m.

La paratoia centrale del gruppo di arresto delle acque del torrente Rudone - Giava viene prevista di altezza ridotta rispetto alle altre due per consentire, nel caso di chiusura completa delle paratoie laterali e l'allineamento di tutte e tre le paratoie al ciglio superiore, una apertura libera nella luce centrale di 0.35 metri atta a garantire lo scarico di fondo delle acque di magra (DMV), parte delle acque di morbida e di piena e la contemporanea messa in carico del canale Scolmatore, fermo restando la potenzialità di sfioro superficiale sia dal ciglio sfiorante di tutte e tre le paratoie, precedute dallo sfioratore laterale posto nella muratura in sponda sinistra che interviene alla quota 170.84 (ridotta di 0.15 metri rispetto al ciglio superiore delle paratoie).

Il Canale Scaricatore si origina a valle dell'immissione delle acque sfiorate: in tale primo tratto esso è costituito da un manufatto prefabbricato in c.a. avente sezione 3.00x2.00 m, che, dopo uno sviluppo prossimo a 400 m si immette nel Rio Alto – Canale Abate in corrispondenza del manufatto n. 2.

Le paratoie sopra descritte sono tutte attuate elettricamente ma è ovviamente prevista la possibilità di una movimentazione manuale delle stesse; dalla sintetica descrizione effettuata appare chiaro che le portate derivabili a valle nel Torrente e/o scaricabili nello Scolmatore sono determinate dalla combinazione di aperture delle paratoie dei singoli manufatti oltre al contributo dello sfioro, una volta attivato.

Le portate massime derivabili attraverso il manufatto dell'opera di presa dello Scolmatore corrispondono a quelle transitanti con un tirante pari alla quota di sommità delle murature ed arginali in prossimità, pari a circa 171.66 m s.l.m.; le portate eccedenti tale valore massimo spagliano sul terreno sia in sponda destra che sinistra per sormonto.

Il funzionamento complessivo dell'opera di presa è quindi piuttosto particolare e complesso:

- il percorso del Torrente Rudone - Giava verso valle è sempre attivo tramite l'apertura delle luci delle tre paratoie, di cui la centrale con scudo di altezza inferiore; a tiranti superiori all'apertura il loro funzionamento passa a battente; ed infine per tiranti ancora superiori ed aperture tali che il ciglio superiore delle paratoie possa essere tracimando defluiscono da queste ulteriori portate per sfioro superficiale; alla quota del pelo libero delle acque pari a 171.66 assistiamo all'esalveo generalizzato dalle murature spondali e/o dalle arginature in entrambe le sponde;
- l'attivazione dello scolmatore avviene a quote del pelo idrico superiore a 170.00, quota del muretto che delimita l'alveo del Torrente dalla vasca dissabbiatrice, a seconda dell'apertura delle paratoie e del tirante idrico il funzionamento delle due paratoie d'intercettazione passa da efflusso a bocca libera in stramazzo in larga soglia a luce sotto battente;
- lo sfioratore laterale posto a valle della presa dello Scolmatore ed a monte delle paratoie di arresto deviazione poste sul Torrente si attiva per tiranti maggiori 170.84 con consegna delle acque sfiorate a valle delle paratoie dello Scolmatore.

In aggiunta a ciò va segnalato che la portata di progetto dello scolmatore in questo primo tratto è stata individuata in 17 m³/s, valore massimo entro il quale va mantenuta la portata immessa nel canale tombato scatolare, mediante modulazione delle aperture delle singole paratoie dell'intera opera, onde evitare il suo funzionamento in pressione, non previsto progettualmente.

Appare immediato che molteplici sono le possibilità di regolazione delle aperture delle singole paratoie della complessa opera di presa e arresto, deviazione e modulazione.

Il manufatto 2 è realizzato sul Canale Rio Alto – Canale Abate nel tratto compreso tra l'immissione dello scarico "della Ponticella" e quello di Via dei Marmi: esso si colloca pertanto in un tratto in cui gli apporti provenienti dal Torrente Rudone vi sono già stati immessi.

Il manufatto 2 ha pertanto la funzione di allontanare questi ultimi e, mediante l'immissione in sponda destra del canale proveniente dal manufatto 1, anche quelli provenienti dal Torrente Giava, per un massimo di 30 m³/s.

Il manufatto, con una quota di fondo impostata a circa 165.00 - 164.80 m s.l.m. è costituito da due opere principali, poste l'una a circa 50 m di distanza l'una dall'altra:

- l'opera di derivazione delle portate convogliate allo Scolmatore, costituita da una soglia di sfioro di sviluppo pari a 19.00 m con quota di petto pari a 167.50 m s.l.m. in coda alla quale sono presenti due paratoie di sezione ciascuna pari a 2.00x2.00 m, impostate a 165.80 m s.l.m.;
- l'opera trasversale di limitazione delle portate dirette verso valle al Rio Alto – Canale Abate, costituita da 3 paratoie aventi dimensioni diseguali: le due laterali hanno sezione pari a 2.50x2.55 m, quella centrale pari a 2.50x3.00 m.

Le dimensioni delle paratoie sono diseguali, in quanto l'alveo del Rio Alto presenta quote differenti: in corrispondenza delle due paratoie laterali esso ha quota pari a 165.25 m s.l.m., in corrispondenza di quella centrale esso ha quota pari a 164.80 m s.l.m.

Poiché le paratoie hanno sezioni diverse, quando esse sono tutte e tre chiuse, la quota di tracimazione al di sopra di esse è la medesima.

Immediatamente a monte dell'opera trasversale si ha l'immissione in sponda destra del manufatto scatolare 3.00x2.00 m proveniente dal Manufatto 1: attraverso l'opera di controllo delle portate convogliate verso valle e dell'opera di scarico è pertanto possibile modulare non solo le portate provenienti da monte

(essenzialmente quelle ivi immesse dallo scaricatore “della Ponticella” ma anche quelle provenienti dal manufatto 1.

Il Canale Scolmatore che si diparte dal manufatto 2 ha una sezione scatolare prefabbricata pari a 4.00x2.00 m ed è dimensionato per il convogliamento di una portata pari a 30 m³/s.

Come già per il manufatto n. 1, anche in questo caso la mutua proporzione fra le portate convogliate verso il Rio Alto – Canale Abate e quelle convogliate al Canale Scolmatore è legata alla combinazione di apertura delle paratoie.

In merito al funzionamento tanto del manufatto n. 1 quanto del manufatto n. 2 si evidenzia come essi siano studiati in maniera che i percorsi lungo l'asta idrica da cui si derivano (il Torrente Rudone per il manufatto n. 1 e il Canale Rio Alto – Canale Abate per il manufatto n. 2) siano comunque riattivabili in caso di portate transitorie superiori a quelle di dimensionamento delle opere, mediante tracimazione superiore delle paratoie.

Per sintetizzare all'estremo, i due manufatti sono dimensionati in maniera da consentire l'allontanamento delle portate di progetto (30 m³/s dal manufatto n. 2 comprendenti 17 m³/s provenienti dal manufatto n. 1) lasciando inalterate le condizioni di deflusso lungo la rete preesistente per le portate eccedenti tali portate.

Nella modellazione del funzionamento dei due manufatti scaricatori del nuovo Canale Scolmatore, si è seguito un approccio differente in funzione delle caratteristiche dei due manufatti.

Per quanto concerne il manufatto n. 1 (nodo R02_D_SCO1), si è adottato un approccio analitico di modellazione:

- del deflusso attraverso le due paratoie di imbocco del manufatto, imboccate a quota 169.15 m s.l.m. e aventi ognuna luce larga 1.50 m e alta 2.00 m supposta tutta libera.

Il deflusso attraverso tali paratoie viene modellato come stramazzone a larga soglia (esse sono in rilievo rispetto al canale da esso derivato, che ha una quota di fondo pari a 168.50 m) fino al raggiungimento di un tirante idrico pari a 171.15 m s.l.m.; per tiranti superiori il deflusso viene modellato come moto sotto battente;

- dello stramazzone laterale avente sviluppo pari a 10.50 m, posto a quota 170.84 m s.l.m..

Si prevede in ogni caso un vincolo alle portate massime scaricate attraverso il manufatto scaricatore, dato dalla massima capacità di convogliamento del canale, pari a circa 17.56 m³/s: ciò si traduce, al crescere delle portate scaricate dallo stramazzone al superamento di una quota fissata in 171.15 m s.l.m., nella necessità di chiudere progressivamente le paratoie di alimentazione dello Scolmatore.

Per quanto concerne il moto lungo l'alveo del Torrente Rudone, si prevede la progressiva apertura delle paratoie poste all'interno del manufatto al crescere del tirante idrico, a simulare le attività di un operatore in situ che, al variare delle portate in arrivo, vari il regime di funzionamento dell'opera:

- per tiranti idrici inferiori o pari a 170.84 m s.l.m. le paratoie (ciascuna larga 2.50 m) sono tutte e tre aperte per 0.35 m;
- per tiranti idrici compresi fra 170.84 m s.l.m. e 171.15 m s.l.m., le due paratoie laterali sono aperte per 0.57 m, quella centrale per 0.70 m;
- per tiranti idrici pari o superiori a 171.15 m s.l.m., le due paratoie laterali sono aperte per 1.50 m, quella centrale per 1.60 m.

La curva di funzionamento dello scaricatore R02_D_SCO1 è riportata in tabella.

Tirante idrico	Portata in ingresso (Torrente Rudone)	Portata verso valle (Torrente Rudone)	Portata complessiva deviata (scolmatore)
[m s.l.m.]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
169.59	0.00	0.00	0.00
170.00	2.55	2.55	0.00
170.50	13.37	5.34	8.03
170.84	17.93	6.69	11.24
170.84	21.48	10.24	11.24
171.15	29.78	12.22	17.56
171.15	38.81	21.25	17.56
171.66	45.91	28.35	17.56
171.66	100.00	82.44	17.56

Tabella 5.13 Curva di comportamento del nodo DIVERSION R02_D_SCO1 (Manufatto n. 1 dello Scolmatore - Torrente Rudone).

Per quanto concerne lo Scolmatore n. 2 (Rio Alto) si è utilizzata una relazione semplificata, ipotizzando nuovamente l'intervento manuale di un operatore che intervenga sulle paratoie del manufatto garantendo il transito verso valle (lungo il Rio Alto) di una portata pari a 5.00 m³/s fino al raggiungimento della massima portata convogliabile dallo Scolmatore (30 m³/s circa), oltre la quale le portate eccedenti vengono comunque inviate al Rio Alto.

La curva di funzionamento dello scaricatore A03_D_SCO2 è riportata in tabella.

Portata in ingresso (Torrente Rudone)	Portata complessiva deviata (scolmatore)
[m³/s]	[m³/s]
0.000	0.000
5.000	0.000
10.000	5.000
20.000	15.000
30.000	25.000
35.000	30.000
100.000	30.000

Tabella 5.14 Curva di comportamento del nodo DIVERSION A03_D_SCO2 (Manufatto n. 2 dello Scolmatore – Rio Alto).

In merito alla curva di funzionamento dei due manufatti si deve in ogni caso porre in evidenza come le modalità di funzionamento dei due manufatti sono potenzialmente infinite, in funzione delle diverse combinazioni di apertura delle paratoie presenti al loro interno: le modalità ipotizzate sono definibili "di buon senso", ovvero ipotizzando che gli operatori in situ avviino alla rete di valle (Torrente Rudone e Rio Alto) le portate che questa è in grado di reggere fino al raggiungimento della capacità massima di convogliamento dello Scolmatore e, a questo punto, ripristino le modalità originarie di esercizio (al netto, ovviamente, delle portate allontanate dallo Scolmatore stesso).

5.4.2.9 Scarico dello scaricatore "del Cimitero", nodo A05_D_SCIMITERO (Roggia Abate)

Lo scaricatore "del Cimitero" è costituito da due manufatti chiusi che si distaccano dalla sponda sinistra della Roggia Abate:

- un manufatto rettangolare in cls (scabrezza secondo Strickler 65) 3.00x2.00 m posato con pendenza pari a 0.001 m/m ad una quota di +0.40 m rispetto al fondo del Canale Abate;
- un manufatto circolare in cls (scabrezza secondo Strickler 70) di diametro pari a 1.20 m posato con pendenza pari a 0.001 m/m ad una quota di +0.40 m rispetto al fondo del Canale Abate.

La stima delle portate derivate dai due canali, così come quelle provenienti da monte dalla Roggia Abate (scatolare in cls 6.95x2.20 con scabrezza secondo Strickler pari a 65 e posato con pendenza 0.0025 m/m) vengono determinate a moto uniforme, impostando il livello idrico nel nodo.

Determinate le massime portate convogliabili nelle due tubazioni di deviazione (a moto uniforme) la funzione viene estesa per portate della Roggia Abate sicuramente superiori al valore idrologico, indipendentemente dalla geometria in situ.

Tirante idrico rispetto al fondo della Roggia Abate	Portata in ingresso (Roggia Abate)	Portata deviata tubo scatolare (A)	Portata deviata tubo circolare (B)	Portata complessiva deviata (A+B)
[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.400	4.561	0.000	0.000	0.000
1.600	38.407	5.647	1.165	6.812
2.200	60.613	9.71	1.165	10.875
-	100.000	9.71	1.165	10.875

Tabella 5.15 Curva di comportamento del nodo DIVERSION A05_D_SCIMITERO (Scarico "del Cimitero").

5.4.2.10 Scarico dello scaricatore "Marmeria", nodo R05_D_SMARMERIA (Torrente Rudone)

Il manufatto "Marmeria" ha la funzione, in tempo asciutto, di avviare verso l'abitato di Nuvolera la parte prevalente delle portate affluenti dal Torrente Rudone.

Proprio in considerazione che il ramo del Torrente Rudone che viene derivato dal manufatto transita all'interno di un centro abitato, ove peraltro raccoglie una serie di contributi urbani e pedemontani (accorpati ai fini del presente Studio nel bacino B_UNITO_NUVOLERA), è pratica gestionale usuale da parte dell'Ente Gestore (Consorzio di Bonifica "Medio Chiese") in tempo di pioggia di chiudere tale percorso, avviando verso la Roggia Marmeria la totalità delle portate meteoriche affluenti da monte.

All'interno del modello idrologico, pertanto, pur ritenendo opportuno segnalare l'esistenza di tale manufatto scaricatore con un nodo tipo DIVERSION, lo scaricatore "Marmeria" è stato modellato semplicemente prevedendo una traslazione di portata dal Torrente Rudone all'imbocco della Roggia Marmeria, senza definire una curva di deviazione.

5.4.3 Modellazione dei vincoli geometrici di restringimento presenti lungo la rete

Oltre alle derivazioni irrigue del Vaso Naviglio Grande Bresciano e ai manufatti scaricatori presenti sulla rete, il sistema dei vasi afferenti alla sezione di chiusura considerato è caratterizzato anche dalla presenza di alcune sezioni di controllo, che costituiscono un vincolo fisico alle portate convogliabili verso valle.

In linea generale sono state considerati come "sezioni di controllo" i tratti tombati e i ponti dei corsi d'acqua ove a monte del manufatto vi fosse una effettiva possibilità di fuoriuscita e di accumulo od allontanamento ex alveo delle acque dall'alveo stesso.

Ovviamente all'interno di un bacino di ampiezza superiore a 46 km² caratterizzato da un'estesa attività antropica è riscontrato un numero significativo di possibili sezioni di controllo: la completa modellazione di esse oltre ad essere estremamente onerosa non sarebbe congrua con le finalità di un modello idrologico.

All'interno del modello idrologico si sono pertanto modellate solo le sezioni di controllo che storicamente hanno dato effettivamente luogo a fenomeni di fuoriuscita di acqua: per l'idonea collocazione delle sezioni di controllo in posizione strategica è stato necessario acquisire una estesa e significativa memoria storica degli eventi alluvionali verificatisi all'interno dell'intero bacino modellato.

Le sezioni di controllo sono state modellate con nodi di tipo DIVERSION ove la curva di funzionamento assume una forma piuttosto semplice: le portate provenienti da monte vengono convogliate integralmente verso valle fino al valore corrispondente alla massima capacità di convogliamento del manufatto; le portate eccedenti tale valore si considerano fuoriuscite dall'alveo e perse per il sistema.

Nel bacino chiuso alla sezione di interesse ai fini del presente Studio si è riscontrata la presenza di diverse sezioni di controllo posizionate su varie aste idriche.

5.4.3.1 Sezione di controllo A01a_D_CANALE180 (Roggia Abate)

Tale sezione di controllo è costituita da un tratto molto esteso costituito da una canaletta ad "U" in cls a cielo aperto avente sezione 1.80 x 1.20 m; tale canaletta, posata con una pendenza pari a 0.002 m/m, ha una capacità di convogliamento massima pari a 3.52 m³/s.

5.4.3.2 Sezione di controllo A01d_D_PONTEVIAABATE (Ponte di Via Abate, Roggia Abate)

La sezione di controllo è costituita dal ponte di Via Abate, che ha una sezione rettangolare di 3.50 x 1.10 m.

Ipotizzando che l'alveo in corrispondenza del ponte abbia una pendenza nell'ordine di 0.0005 m/m se ne deduce che la capacità di convogliamento massima del ponte sia pari a circa 3.50 m³/s.

La motivazione che ha portato all'imposizione di una pendenza così bassa all'alveo è che, in effetti, il ponte di Via Abate si colloca all'inizio del tratto della Roggia Abate diretto ad un mulino (lo stesso dello scarico "del Mulino"): tale tratto è caratterizzato da una pendenza pressoché nulla.

5.4.3.3 Sezione di controllo "Ponte Via Soldo", nodo A05A_PONTEVIASOLDO (Roggia Abate)

La sezione di controllo si trova in Comune di Nuvolera ed è costituita dal ponte di attraversamento della Roggia da parte di Via Soldo.

Il manufatto è costituito da una sezione rettangolare in c.a. con fondo in c.a. (scabrezza secondo Strickler pari a 60) larga 7.13 metri e con altezza pari a 2.20 m, per la quale è stata ipotizzata una pendenza pari a 0.0025 m.

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 57.77 m³/s.

Si evidenzia come, per le finalità del presente Studio, la rappresentazione del restringimento indotto dal ponte di Via Soldo e da quello successivo indotto dal ponte della Cascina Scaiola riveste un interesse limitato, in quanto a valle di tali restringimenti ne è presente uno molto più limitante, ovvero quello della ex S.S. 45 bis.

La rappresentazione di tali restringimenti è stata tuttavia decisa per migliorare la verisimiglianza fisica del modello: storicamente, infatti, si sono riscontrati eventi alluvionali a monte di ciascuno di tali ponti, non solo a monte di quello della ex S.S. 45 bis: la realtà osservata è pertanto quella di una progressiva limitazione delle portate convogliate verso valle dalla Roggia Abate per l'effetto di sezioni di controllo via via più penalizzanti.

5.4.3.4 Sezione di controllo "Ponte Scaiola", nodo A05B_PONTESCAIOLA (Roggia Abate)

La sezione di controllo si trova in Comune di Nuvolera ed è costituita dal ponte di attraversamento della Roggia da parte dell'accesso carrabile alla Cascina Scaiola.

Il manufatto è costituito da una sezione rettangolare in c.a. con fondo in c.a. (scabrezza secondo Strickler pari a 60) larga 6.80 metri e con altezza pari a 1.90 m, per la quale è stata ipotizzata una pendenza pari a 0.0025 m.

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 44.23 m³/s.

5.4.3.5 Sezione di controllo "Ponte Ex S.S. 45 bis", nodo A06_PONTE_EXSS45 (Roggia Abate)

La sezione di controllo si trova in Comune di Nuvolera ed è costituita dal ponte di attraversamento della Roggia da parte della Ex S.S. 45 bis.

Il manufatto è costituito da una sezione a volta in c.a. con fondo naturale (scabrezza secondo Strickler pari a 35) larga 8.40 metri e con altezza pari a 1.00 m sui piedritti e a 2.40 m in chiave, per la quale è stata ipotizzata una pendenza pari a 0.002 m.

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 19.73 m³/s.

5.4.3.6 Sezione di controllo "Ponte Ex S.S. 45 bis", nodo R05A_D_PONTE_EXSS45 (Roggia Marmoeria)

Tale ponte è posto immediatamente a valle del manufatto di derivazione R05_D_S_MARMERIA e costituisce un vincolo alle portate che possono transitare verso valle.

Il manufatto è costituito da una sezione a volta in c.a. con fondo naturale (scabrezza secondo Strickler pari a 35) larga 4.00 metri e con altezza pari a 1.00 m sui piedritti e a 1.50 m in chiave, per la quale è stata ipotizzata una pendenza pari a 0.002 m.

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 6.00 m³/s.

5.4.3.7 Sezione di controllo "Ponte Via San Zeno", nodo MR01_PONTE_VIASANZENO (Roggia Marmeria)

La sezione di controllo si trova in Comune di Mazzano, è costituita di un tratto tombato di sviluppo pari a circa 30 metri in attraversamento a Via San Zeno.

Il manufatto è costituito da un tombotto in c.a. con fondo dissestato (scabrezza secondo Strickler pari a 50) di sezione pari a 4.20x2.05, per il quale è stata ipotizzata una pendenza media pari a 0.002 m/m.

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 24.90 m³/s.

5.4.3.8 Sezione di controllo "DN140", nodo FO01 (Fossone)

La sezione di controllo si trova in Comune di Mazzano, è costituita di un tratto tombato di sviluppo pari a circa 600 metri parallelamente alla S.P. 116 (ex S.S. 45 bis).

Il manufatto è costituito da un tubo in c.a. (scabrezza secondo Strickler pari a 60) di diametro pari a 1.40m, avente una pendenza media pari a 0.0037 m/m.

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 2.99 m³/s.

5.4.3.9 Scarico dello scaricatore "Italcementi", nodo RM01_D_SITALCEMENTI (Torrente Rudone, tratto urbano di Nuvolera e Mazzano)

Nel nodo di modello RM01_D_SITALCEMENTI sono in realtà accorpati gli effetti di due scaricatori posti a poca distanza l'uno dall'altro sul ramo del Torrente Rudone che attraversa gli abitati di Nuvolera e Mazzano, che, come si è detto al §5.4.2.10, in tempo di pioggia risulta disconnesso dal ramo di monte, le cui portate vengono avviate integralmente alla Roggia Marmoeria.

Gli scaricatori sono denominati scaricatore "Via Cortine" e scaricatore "Italcementi".

Per la determinazione della curva di comportamento del manufatto di deviazione che rappresenta il comportamento dei due scaricatori, si è tenuto conto del fatto che il tratto del Torrente a valle del manufatto "Italcementi" presenta una condizione geometrica stringente, essendo costituito da uno scatolare rettangolare in cls (scabrezza secondo Strickler pari a 65) di dimensioni 1.20x1.30 m e posato con una pendenza pari a 0.0007 m/m.

Al fine di determinare la curva di funzionamento del manufatto, si prevede pertanto che il canale sia in grado di convogliare verso valle al più a massima portata data a moto uniforme dalla geometria del manufatto e che tutte le portate eccedenti tale valore siano sfiorate attraverso i due scaricatori citati.

Tirante idrico rispetto al fondo del Torrente Rudone	Portata condotto di valle (Torrente Rudone)	Portata complessiva in ingresso (Torrente Rudone)	Portata complessiva deviata (scaricatore "Italcementi")
	(A)	(B)	(A-B)
[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
0.000	0.000	0.000	0.000
1.300	1.482	1.482	0.000
Valore fissato! =>	1.482	100	98.52

Tabella 5.16 Curva di comportamento del nodo RM01_D_SITALCEMENTI (Scaricatori "Via Cortine" e "Italcementi").

5.4.3.10 Sezione di controllo "Ponte di Via Gardesana" (Nodo N24_PONTEVIAGARDESANA) (Vaso Naviglio Grande Bresciano)

La sezione di controllo imposta sul Vaso Naviglio Grande Bresciano dal ponte di Via Gardesana (ex S.S. 45 Bis) in località Virle di Rezzato presenta un aspetto di complessità geometrica che ha imposto la determinazione delle portate massime convogliabili mediante un modello ad hoc attraverso il codice di calcolo HEC-RAS 4.1.

La sezione di controllo risulta in realtà costituita da due manufatti posti in rapida successione in alveo, ovvero:

- il ponte di Via Gardesana, costituito da un impalcato che impone alla sezione d'alveo del Naviglio (rettangolare 7.65x3.09 m) un restringimento, dato dalla presenza dell'impalcato del ponte, che ha estradosso pari al livello di sponda e altezza pari circa a 1.10 m;
- lo sbarramento trasversale all'alveo per la captazione della Roggia Treina, posto circa 270 metri a valle del ponte, costituito da una travata continua esattamente ortogonale alla direzione del flusso, di altezza pari a 0.79 m rispetto al fondo del canale, seguita da un salto di fondo di 0.66 m sempre misurati rispetto al fondo.

La presenza dello sbarramento impone un rigurgito sul moto della corrente attraverso il ponte di Via Gardesana; la presenza di tale rigurgito fa sì che lo studio delle modalità di comportamento del ponte attraverso le formule del moto uniforme non dia risultati fisicamente basati.

Si è pertanto prodotto un modello HEC-RAS del sistema del ponte di Via Gardesana e della traversa della Roggia Treina, determinando per tentativi la massima portata transitante, pari a quella che massimizza il tirante idrico nella sezione più sfavorita, portandolo ad una quota pari a quella di sponda: la portata massima attraverso il manufatto risulta pertanto pari a circa 35.00 m³/s.

5.4.3.11 Sezione di controllo "Cascina Sberna" (Nodo RM02_I_TRINO) (Torrente Rino)

La sezione di controllo si trova in Comune di Rezzato ed è costituita da un tratto tombato scatolare in cls (scabrezza secondo Strickler pari a 65) di sezione 2.91x1.38 m e pendenza pari a 0.003 m/m sito presso la Cascina Sberna).

La portata massima transitabile in moto uniforme attraverso tale manufatto è nell'ordine di 11.36 m³/s.

In realtà, stante la limitata estensione del bacino facente capo al Torrente Rino, tale limitazione non costituisce vincolo, in quanto le portate convogliate dal corso d'acqua in condizioni di piena sono inferiori alla limitazione imposta.

6. 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 riportata all'interno della Direttiva delle NTA del PAI *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"*, reperibili on-line sul sito dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (www.adbpo.it), ove l'intero territorio compreso all'interno del bacino del Fiume Po (dunque comprendente anche bacino di interesse ai fini del presente Studio), è stato suddiviso in celle quadrate di 2 km di lato, ciascuna caratterizzata da specifiche coppie di parametri (a, n) per ciascun tempo di ritorno considerato, in un range compreso fra 10 e 500 anni.

I parametri relativi al bacino afferente al Vaso Naviglio Grande Bresciano sono stati ricavati mediante una pesatura sull'area del bacino dei parametri regionalizzati e interessanti il bacino in esame, vale a dire le celle EV76, EV77, EV79, EW76, EW77, EW78, EW79, EW80, EX76, EX77, EX78, EX79, EX80, EY76, EY77, EY78, EY79, EZ76, EZ77, EZ78, EZ79, FA76, FA77, FA78.

In base al disposto della D.G.R. 30.11.2011 N. IX/2616 Allegato 4, nonché alla definizione delle caratteristiche del vincolo contenute all'interno della cartografia allegata al P.G.R.A. adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n. 5 del 07.12.2016 (ovvero area Pericolosità H riconducibile al reticolo secondario di pianura), per le finalità del presente Studio l'evento di riferimento è quello con tempo di ritorno cinquantennale.

Ai fini della completezza espositiva e della completa determinazione delle caratteristiche dei deflussi riguardanti l'area di interesse si è fatto riferimento anche ad eventi con tempo di ritorno di 100 e di 200 anni; le curve risultanti sono pertanto le seguenti:

Tempo di ritorno 10 anni:	n = 0.29692	a = 39.11263
Tempo di ritorno 20 anni:	n = 0.29595	a = 44.55335
Tempo di ritorno 50 anni:	n = 0.29171	a = 51.57340
Tempo di ritorno 100 anni:	n = 0.29046	a = 56.85258
Tempo di ritorno 200 anni:	n = 0.28922	a = 62.10768
Tempo di ritorno 500 anni:	n = 0.28711	a = 69.03693

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 120 e 660 minuti;

7. RISULTATI DEL MODELLO IDROLOGICO – STIMA DELLA PIENA DI PROGETTO

Attraverso le simulazioni svolte sul modello idrologico è possibile definire gli idrogrammi di piena attesi per l'asta idrica di interesse.

Come si vedrà il modello idraulico sviluppato è esteso ad un tratto del Naviglio Grande Bresciano compreso fra il LAG_N19 e il nodo N25_I_RUDONERINO: tale tratto è interessato dalla presenza di una serie di derivazioni irrigue (delle quali le più importanti sono la Roggia Roberta e la Roggia Lupa che, come si è detto, svolgono anche una funzione di allontanamento delle portate di piena) e dall'immissione del Torrente Rino di Rezzato.

Ai fini del modello idraulico riveste pertanto interesse la definizione degli idrogrammi di piena lungo i seguenti percorsi del modello idrologico:

- LAG_N19 (convenzionalmente si è considerato l'idrogramma nella sezione di valle del lag);
- LAG_N21 (convenzionalmente si è considerato l'idrogramma nella sezione di monte del lag);
- LAG_N23 (convenzionalmente si è considerato l'idrogramma nella sezione di monte del lag);
- LAG_N25 (convenzionalmente si è considerato l'idrogramma nella sezione di monte del lag).

Non si sono ritenuti significativi ai fini della modellazione idraulica gli idrogrammi di piena riscontrati in alcuni tratti intermedi a quelli sopra citati, in quanto:

- per quanto concerne il LAG_N20, esso si colloca tra la derivazione della Roggia Roberta e quella della Roggia Lupa: all'interno del modello idraulico si è modellata esplicitamente la derivazione della Roggia Roberta, cosicché il valore di portata corrispondente a quella riscontrata nel LAG_N20 risulta direttamente dal calcolo idraulico;
- per quanto concerne il LAG_N24 esso si colloca a valle della sezione di controllo costituita dal ponte di Via Gardesana che in nessuna delle modellazioni svolte risulta effettivamente vincolante per le portate transitanti: l'idrogramma di piena nel LAG_N24 è pertanto, al netto della traslazione temporale dell'onda di piena, il medesimo riscontrato nel LAG_N23.

7.1 EVENTO CINQUANTENNALE

7.1.1 Idrogrammi di piena sul LAG_N19

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	15.000	22.258	26.079	29.601	31.089	32.084	33.016	33.510	33.699	33.191	33.510
u [l/(s*ha)]	3.2022	4.7517	5.5674	6.3192	6.6370	6.8493	7.0483	7.1536	7.1941	7.0857	

Tabella 7.1 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N19 - Evento con tempo di ritorno cinquantennale

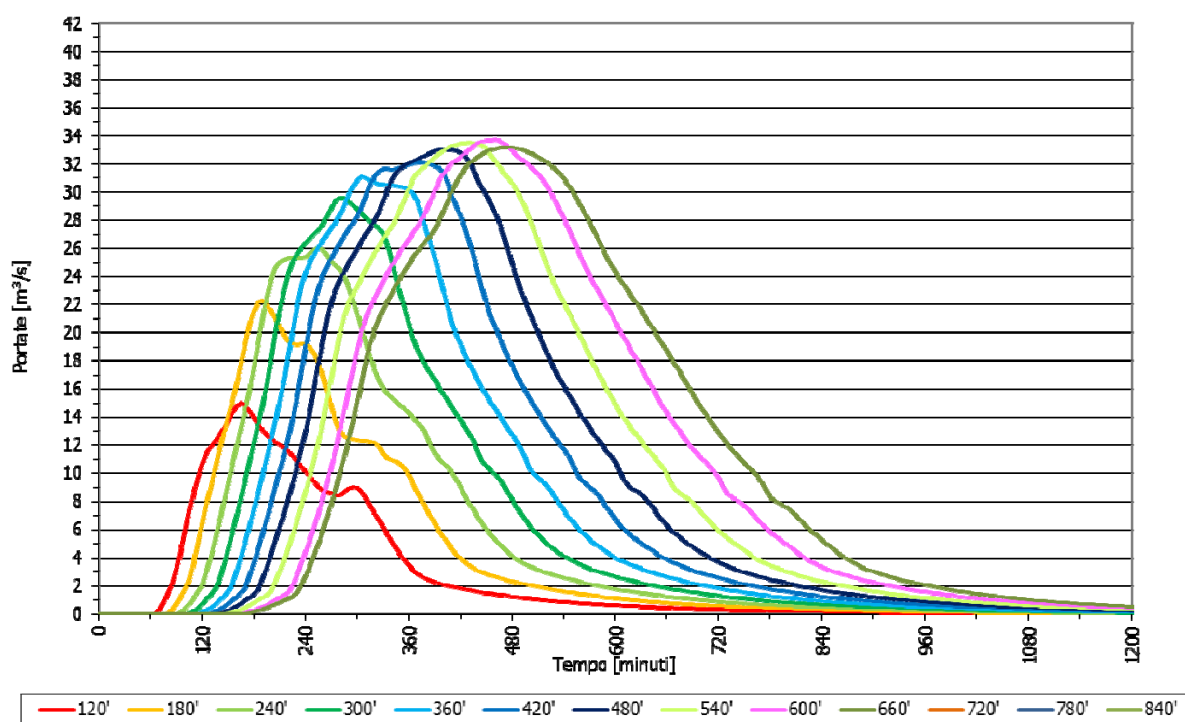


Grafico 7.1 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N19 Evento con tempo di ritorno cinquantennale

7.1.2 Idrogrammi di piena sul LAG_N21

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	7.961	15.239	19.050	22.599	24.051	25.083	26.016	26.507	26.697	26.190	26.697
u [l/(s*ha)]	1.6995	3.2532	4.0667	4.8245	5.1344	5.3547	5.5539	5.6588	5.6993	5.5910	

Tabella 7.2 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N21 - Evento con tempo di ritorno cinquantennale

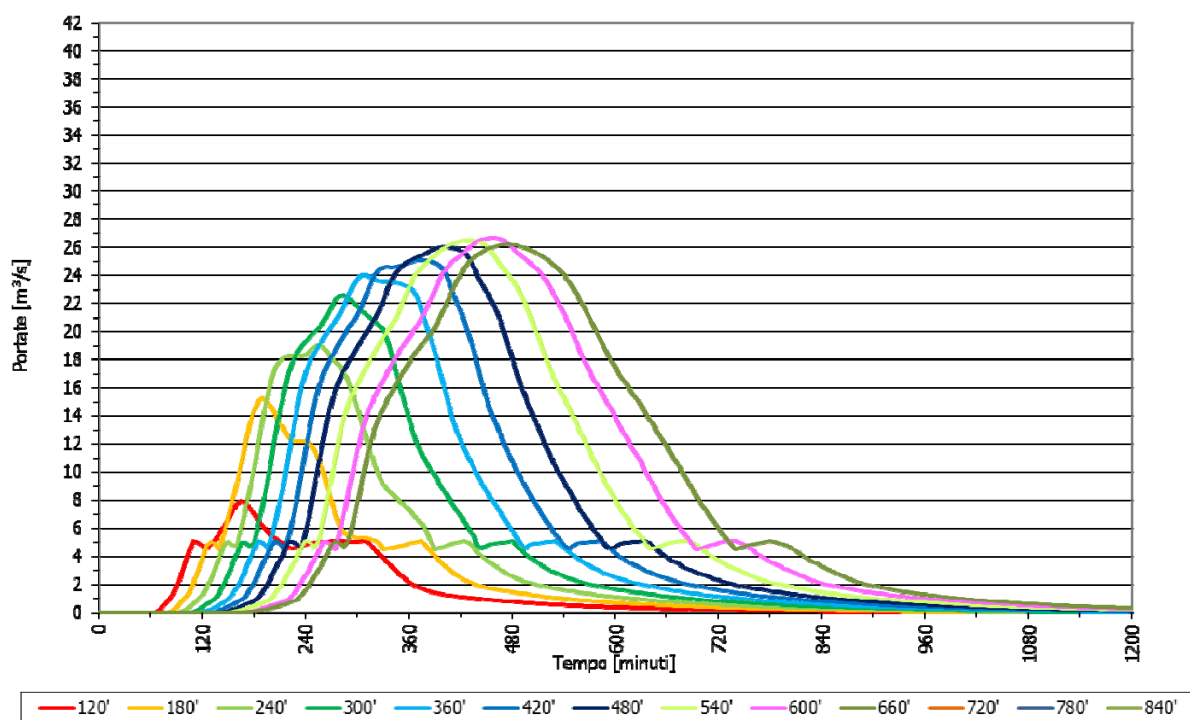


Grafico 7.2 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N21 Evento con tempo di ritorno cinquantennale

7.1.3 Idrogrammi di piena sul LAG_N23

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m³/s]
Portata massima [m³/s]	6.999	14.262	18.094	21.688	23.145	24.196	25.132	25.619	25.809	25.303	25.809
u [l/(s*ha)]	1.4942	3.0446	3.8627	4.6300	4.9411	5.1654	5.3651	5.4691	5.5097	5.4018	

Tabella 7.3 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N23 - Evento con tempo di ritorno cinquantennale

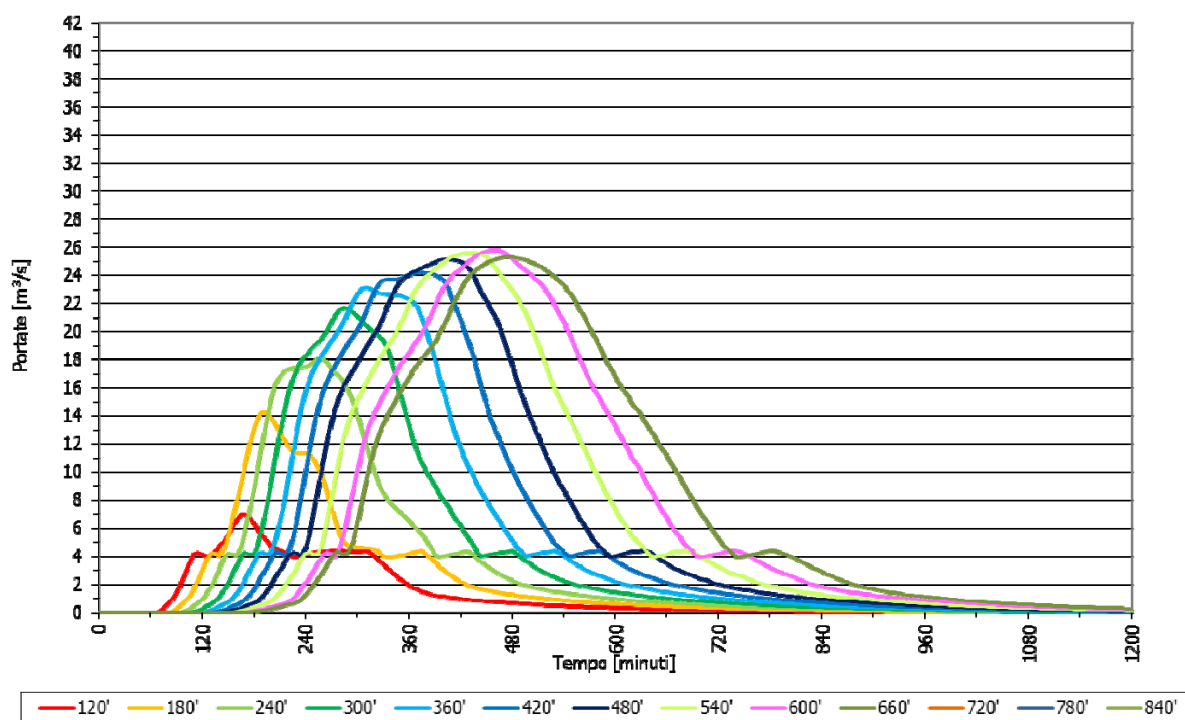


Grafico 7.3 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N23 Evento con tempo di ritorno cinquantennale

7.1.4 Idrogrammi di piena sul LAG_N25

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	10.557	18.309	23.038	26.153	28.572	29.642	30.320	31.059	31.422	31.096	31.422
u [l/(s*ha)]	2.2537	3.9087	4.9181	5.5832	6.0996	6.3281	6.4728	6.6304	6.7079	6.6383	

Tabella 7.4 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N25 - Evento con tempo di ritorno cinquantennale

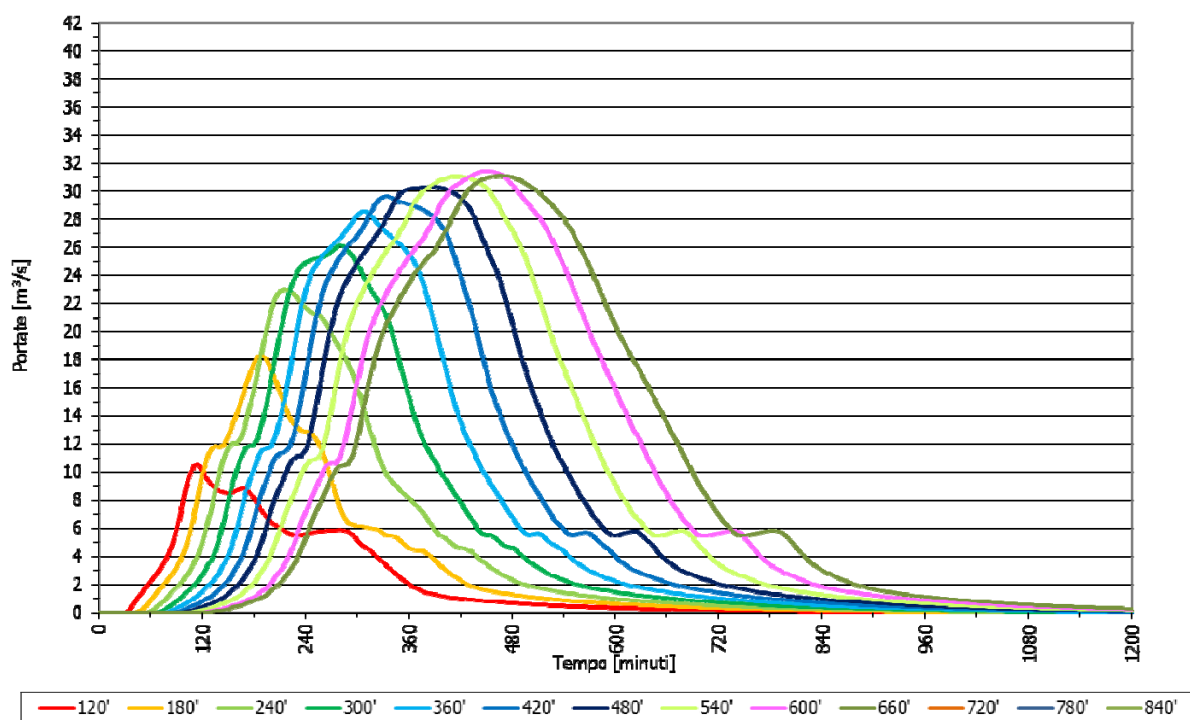


Grafico 7.4 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N25 Evento con tempo di ritorno cinquantennale

7.2 EVENTO CENTENNALE

7.2.1 Idrogrammi di piena sul LAG_N19

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	18.418	26.385	30.993	33.358	34.227	35.463	36.497	36.979	37.124	37.057	36.979
u [l/(s*ha)]	3.9319	5.6327	6.6163	7.1212	7.3068	7.5707	7.7914	7.8942	7.9252	7.9110	

Tabella 7.5 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N19 - Evento con tempo di ritorno centennale

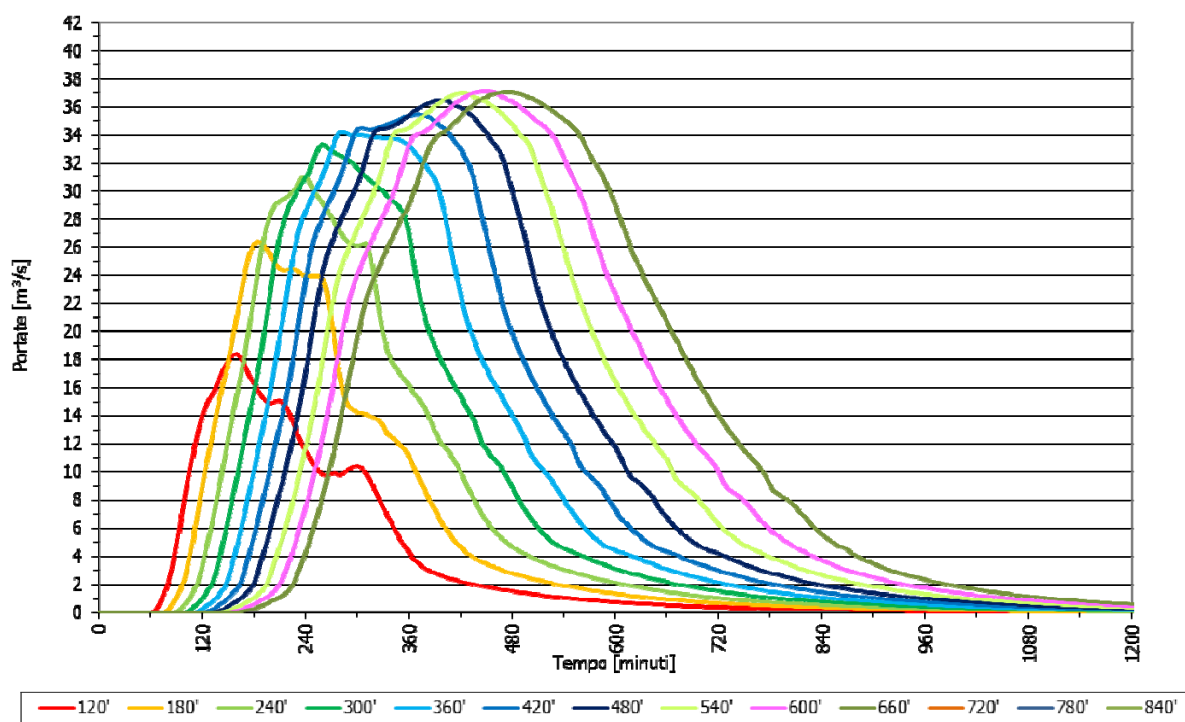


Grafico 7.5 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N19 Evento con tempo di ritorno centennale

7.2.2 Idrogrammi di piena sul LAG_N21

	Trian golare 120'	Trian golare 180'	Trian golare 240'	Trian golare 300'	Trian golare 360'	Trian golare 420'	Trian golare 480'	Trian golare 540'	Trian golare 600'	Trian golare 660'	Valore max [m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	11.397	19.351	23.979	26.311	27.203	28.458	29.495	29.974	30.121	30.055	30.121
u [l/(s*ha)]	2.4331	4.1311	5.1190	5.6169	5.8072	6.0753	6.2965	6.3989	6.4301	6.4161	

Tabella 7.6 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N21 - Evento con tempo di ritorno centennale

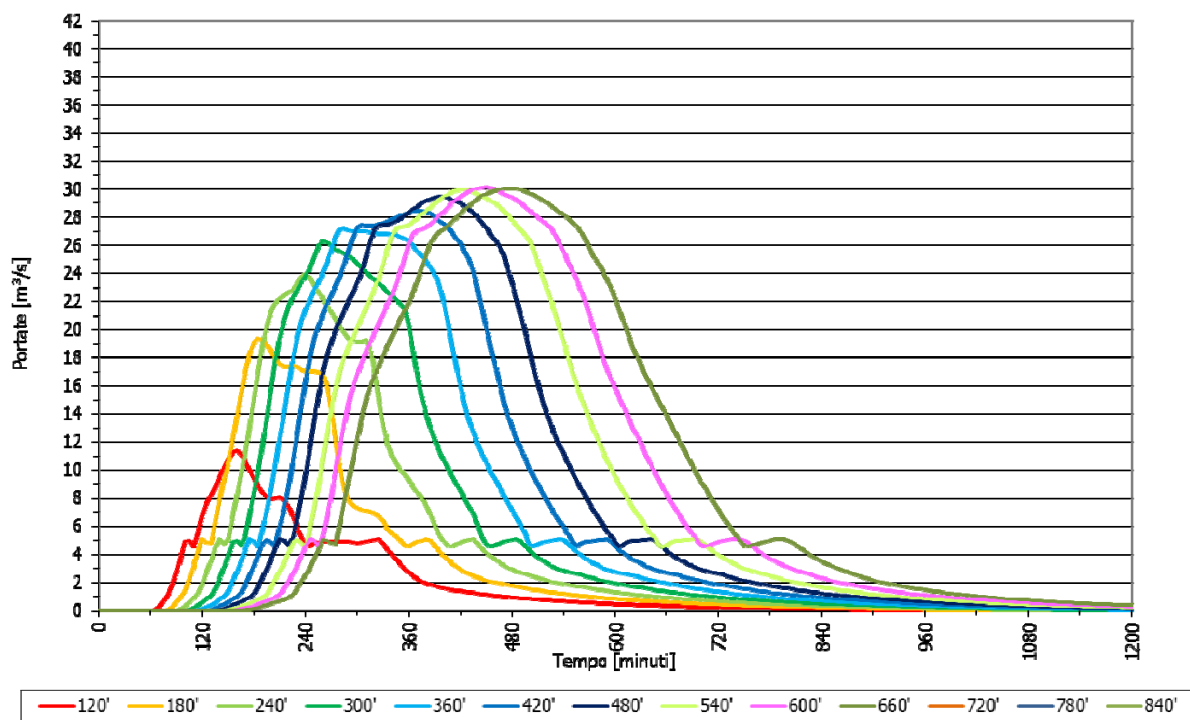


Grafico 7.6 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N21 Evento con tempo di ritorno centennale

7.2.3 Idrogrammi di piena sul LAG_N23

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	10.440	18.390	23.019	25.351	26.280	27.569	28.605	29.081	29.233	29.167	29.233
u [l/(s*ha)]	2.2287	3.9259	4.9140	5.4120	5.6102	5.8854	6.1065	6.2083	6.2407	6.2267	

Tabella 7.7 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N23 - Evento con tempo di ritorno centennale

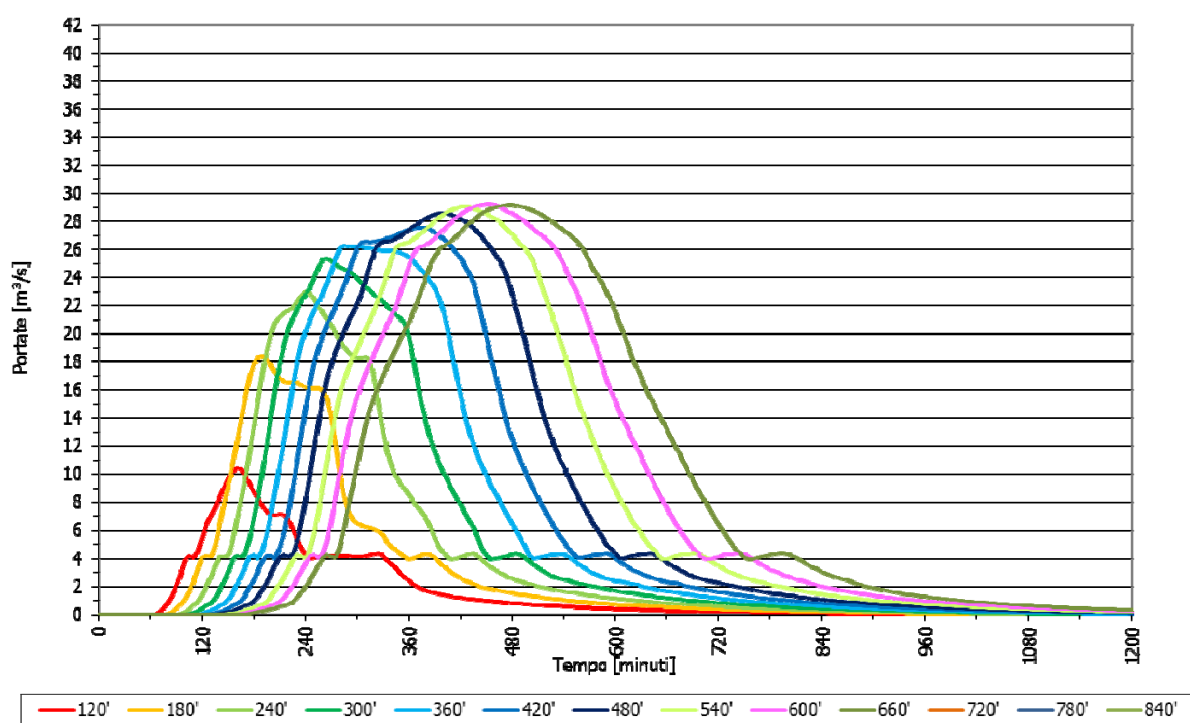


Grafico 7.7 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N23 Evento con tempo di ritorno centennale

7.2.4 Idrogrammi di piena sul LAG_N25

	Trian golare 120'	Trian golare 180'	Trian golare 240'	Trian golare 300'	Trian golare 360'	Trian golare 420'	Trian golare 480'	Trian golare 540'	Trian golare 600'	Trian golare 660'	Valore max [m³/s]
Portata massima [m³/s]	12.904	23.411	28.236	31.666	33.407	34.059	34.473	35.222	35.562	35.610	35.610
u [l/(s*ha)]	2.7548	4.9978	6.0279	6.7601	7.1318	7.2709	7.3594	7.5192	7.5917	7.6020	

Tabella 7.8 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N25 - Evento con tempo di ritorno centennale

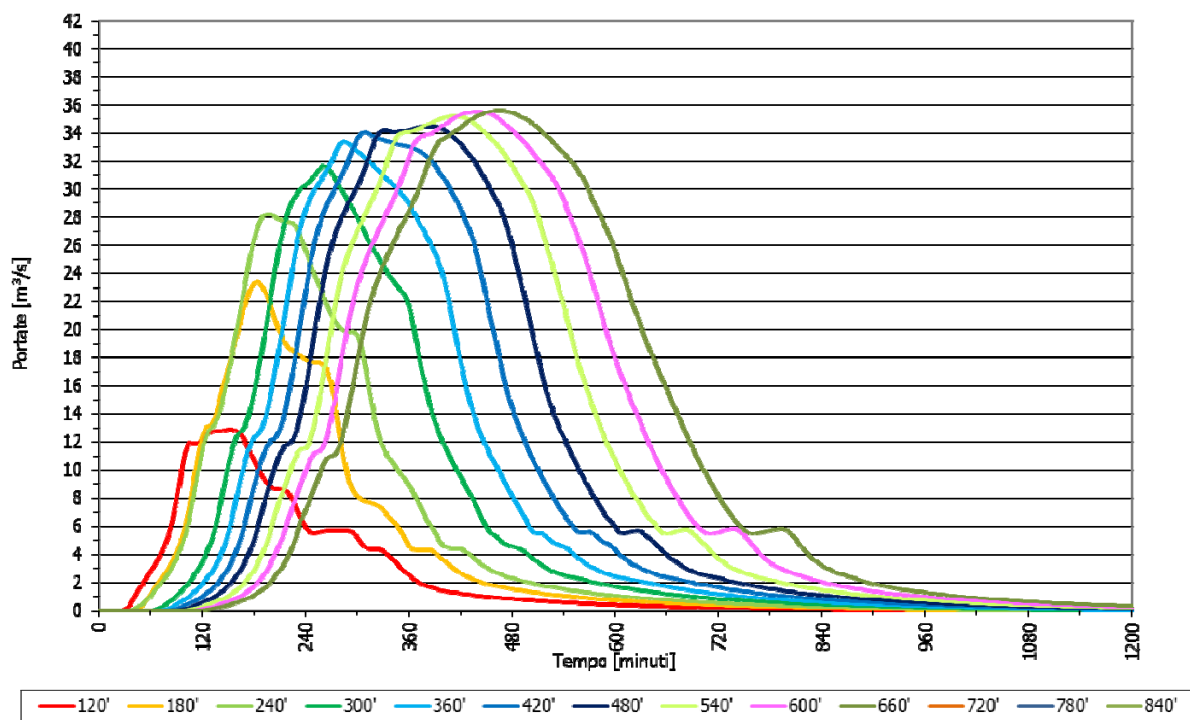


Grafico 7.8 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N25 Evento con tempo di ritorno centennale

7.3 EVENTO DUECENTENNALE

7.3.1 Idrogrammi di piena sul LAG_N19

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	22.203	30.452	34.450	36.069	37.346	39.055	40.178	40.671	40.765	40.582	40.765
u [l/(s*ha)]	4.7399	6.5009	7.3545	7.7001	7.9725	8.3374	8.5772	8.6825	8.7026	8.6635	

Tabella 7.9 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N19 - Evento con tempo di ritorno duecentennale

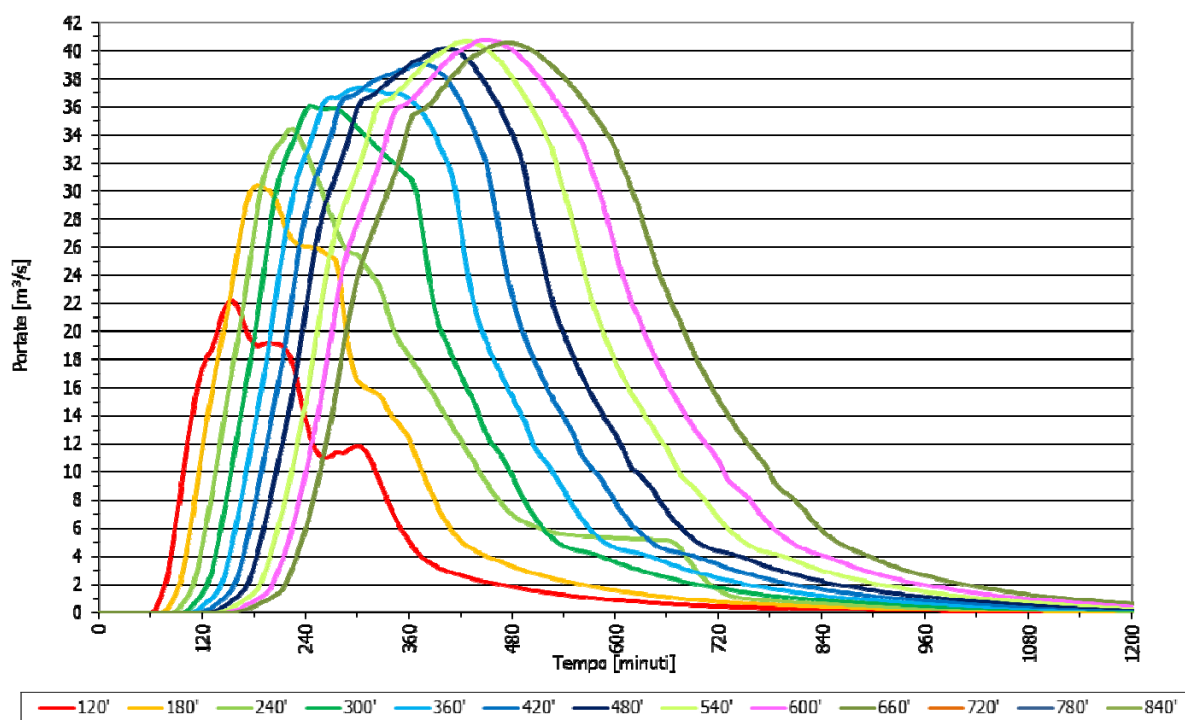


Grafico 7.9 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N19 Evento con tempo di ritorno duecentennale

7.3.2 Idrogrammi di piena sul LAG_N21

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	15.186	23.429	27.439	29.045	30.335	32.049	33.174	33.666	33.760	33.579	33.760
u [l/(s*ha)]	3.2418	5.0016	5.8576	6.2005	6.4759	6.8418	7.0819	7.1870	7.2070	7.1685	

Tabella 7.10 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N21 - Evento con tempo di ritorno duecentennale

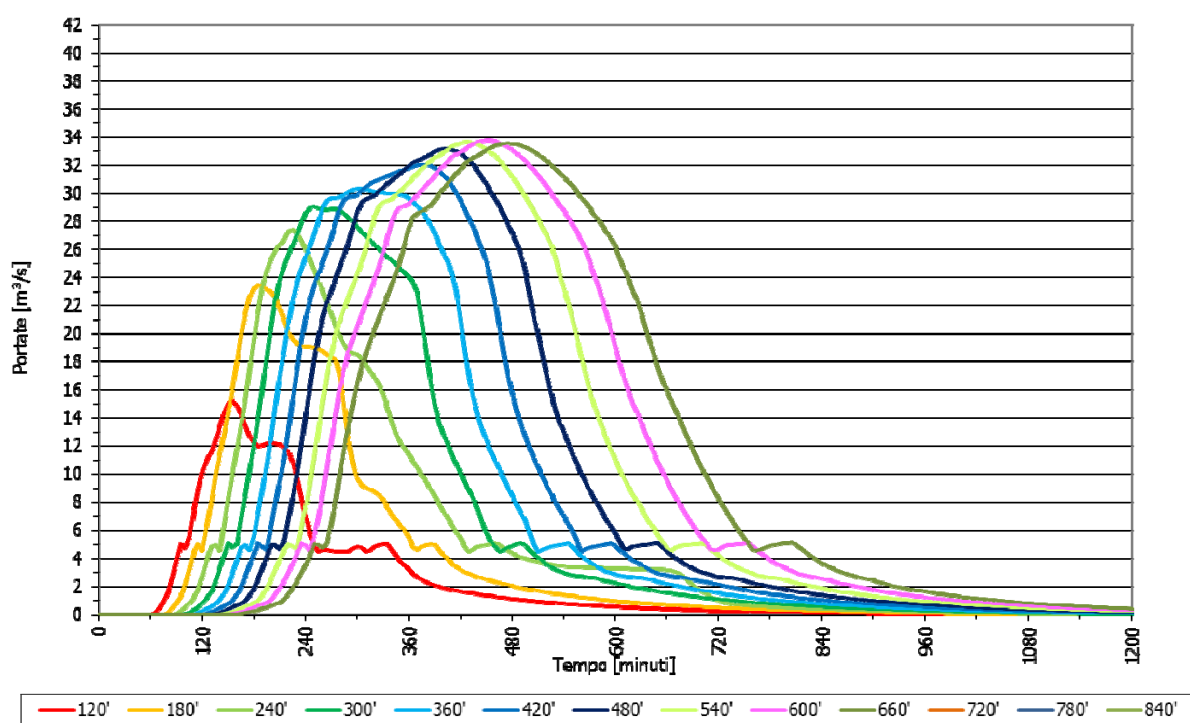


Grafico 7.10 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N21 Evento con tempo di ritorno duecentennale

7.3.3 Idrogrammi di piena sul LAG_N23

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	14.215	22.493	26.485	28.140	29.449	31.155	32.289	32.783	32.874	32.689	32.874
u [l/(s*ha)]	3.0346	4.8017	5.6540	6.0074	6.2868	6.6511	6.8931	6.9984	7.0179	6.9785	

Tabella 7.11 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N23 - Evento con tempo di ritorno duecentennale

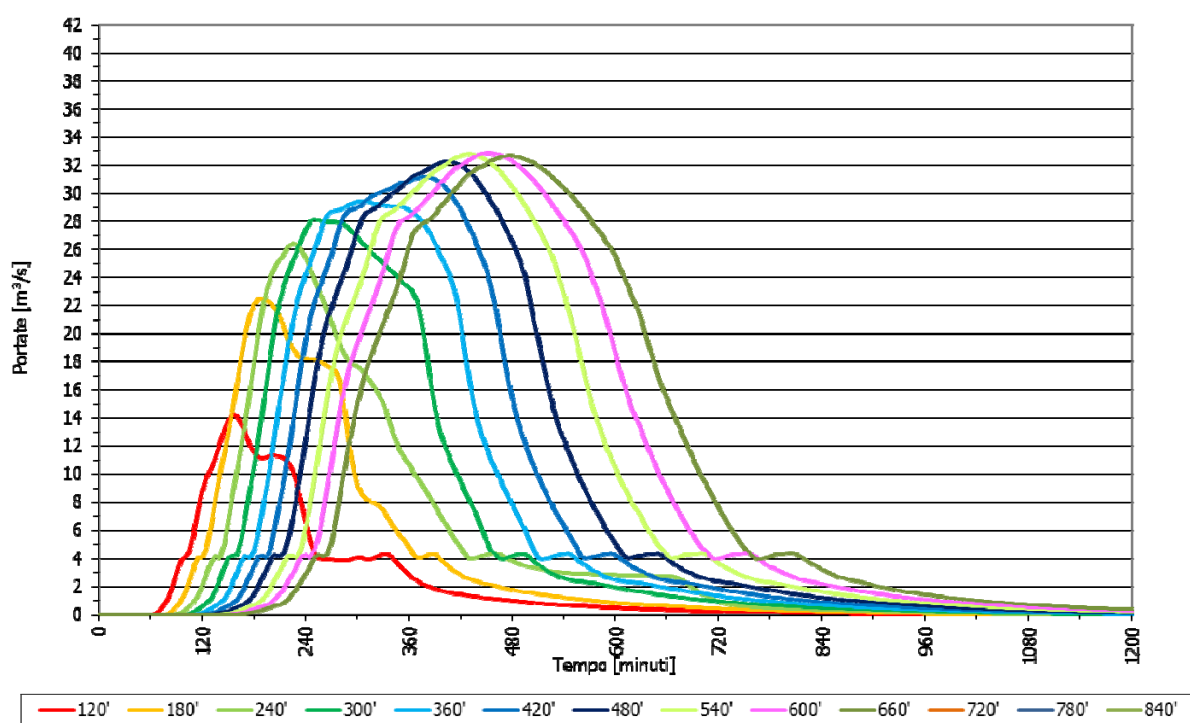


Grafico 7.11 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N23 Evento con tempo di ritorno duecentennale

7.3.4 Idrogrammi di piena sul LAG_N25

	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Trian golare	Valore max
	120'	180'	240'	300'	360'	420'	480'	540'	600'	660'	[m ³ /s]
Portata massima [m ³ /s]	17.380	28.311	33.211	36.103	37.333	37.806	38.610	39.434	39.780	39.746	39.780
u [l/(s*ha)]	3.7102	6.0438	7.0899	7.7072	7.9699	8.0708	8.2424	8.4184	8.4923	8.4849	

Tabella 7.12 Prospetto riassuntivo dei risultati delle simulazioni svolte sul modello idrologico: Naviglio Grande Bresciano LAG_N25 - Evento con tempo di ritorno duecentennale

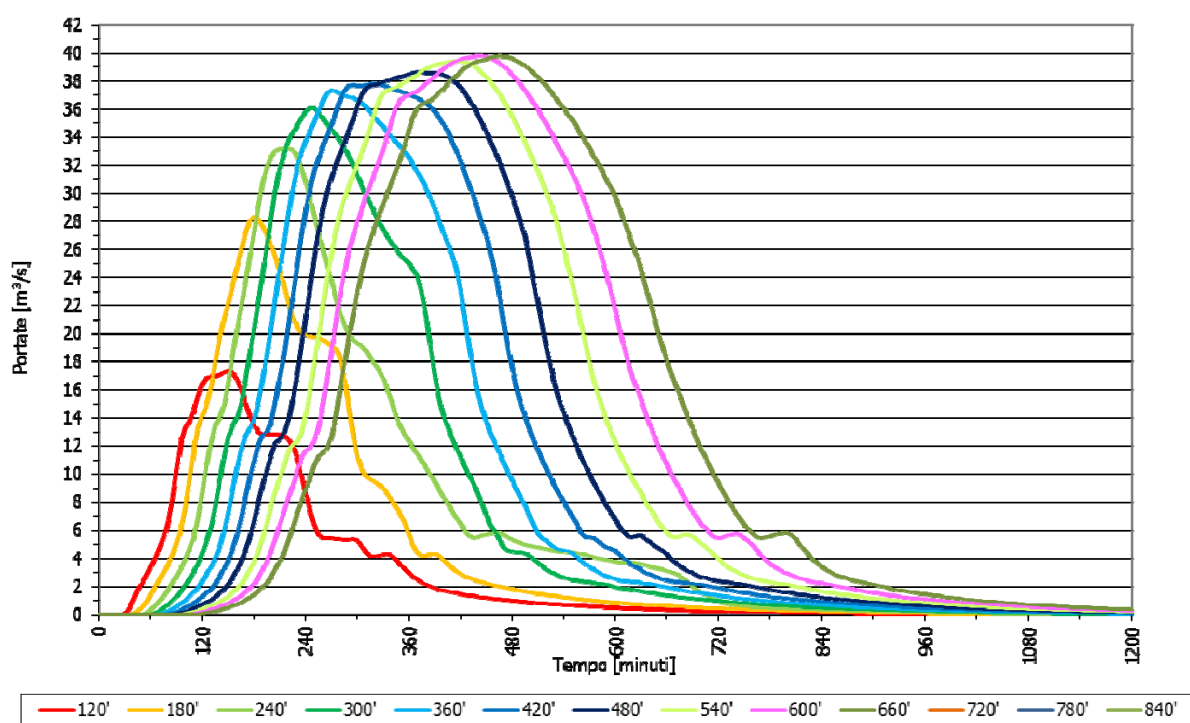


Grafico 7.12 Andamento degli idrogrammi di piena del Naviglio Grande Bresciano: LAG_N25 Evento con tempo di ritorno duecentennale

7.4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati delle simulazioni svolte, riassunti per sommi capi all'interno dei paragrafi precedenti, evidenziano come per la pressoché totalità del tratto modellato il picco di piena si abbia, per tutti i tempi di ritorno, per eventi di durata pari a 600' (fa eccezione solo il LAG_N25 per l'evento centennale, ma le portate al colmo sono pressoché uguali per gli eventi di 540', 600' e 660', per cui si può con ragionevole certezza ritenere che il picco di portata non sia molto diverso da tali valori).

All'interno dell'analisi idraulica a moto permanente si utilizzeranno pertanto i valori di portata corrispondenti, per ciascuna sezione presa in esame, all'evento di 600' e riportate all'interno della tabella seguente.

Come si vedrà in sede di relazione idraulica in realtà i valori derivanti dall'analisi idrologica saranno soggetti ad un'analisi interpretativa e non saranno applicati tout court.

Elemento del modello	Portata 050y [m ³ /s]	Portata 100y [m ³ /s]	Portata 200y [m ³ /s]	Descrizione
LAG_N19	33.70	37.12	40.76	Sezione iniziale modello
LAG_N21	26.70	30.12	33.76	Uscita Roggia Roberta e Roggia Lupa
LAG_N23	25.82	29.24	32.88	Uscite Roggia Rena e-Rudone Mora
LAG_N25	31.42	35.56	39.78	Immissione Torrente Rino di Rezzato - Virle

Tabella 7.13 Portate al colmo utilizzate nell'analisi monodimensionale

Gennaio 2017

Ing. Giuseppe Negrinelli

Ing. Antonio Di Pasquale