

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BERGAMO



COMUNE DI CALCIO



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

STUDIO IDROLOGICO

Committente:

Amministrazione Comunale

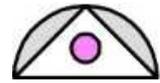
STUDIO GEOLOGIA AMBIENTE

Dott. Geol. LAURA ZILIANI
Dott. Ing. ANTONIO DI PASQUALE
Dott. Geol. DAVIDE GASPARETTI
Dott. Geol. GIANANTONIO QUASSOLI
Dott. Geol. SAMUELE CORRADINI

25123 BRESCIA – Via T. Olivelli, 5
Tel. 030-3771189 Fax 030-3778086
e-mail: info@studiogeologiaambiente.it

Data:

LUGLIO 2023



1 PREMESSA

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

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

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

[...]

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

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

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

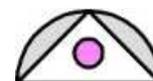
La presente Relazione è suddivisa in capitoli:

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

Nel Capitolo 3 viene descritto per sommi capi il metodo seguito per lo Studio, essenzialmente la definizione di un modello matematico sviluppato con un software open source in grado di simulare la complessa idrologia del sistema dei vasi afferenti alle sezioni di chiusura di interesse.

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

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



- il modello meteorologico del sistema: esso comprende la modellazione degli afflussi meteorici, secondo ietogrammi sintetici o definiti dall'utente.

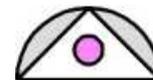
Nel Capitolo 4 vengono riassunte le ipotesi sulla cui base viene sviluppata l'analisi idrologica e vengono motivate le eventuali semplificazioni riportate nel calcolo.

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

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

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

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



2 DESCRIZIONE DELLE FINALITÀ DELLO STUDIO

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

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

[...]

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

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

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

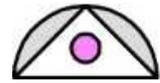
Con riferimento agli interventi strutturali delineati all'interno della Relazione Generale, lo Studio Idrologico contiene elementi specifici concernenti la problematica concernente gli allagamenti su Via De Gasperi (VIA DE GASPERI), Via Kennedy e Via Molgora (VIA KENNEDY) e Via Orsi (VIA ORSI).

Il modello idrologico redatto ai fini del presente Studio non interpreta il comportamento del territorio comunale di Calcio nel suo complesso, ma solo delle sue parti che hanno specifico riferimento per le problematiche segnalate: in realtà, dal momento che le problematiche sopra citate concernono i collettori principali della rete fognaria e il nodo idraulico ove tutti gli apporti urbani si raccolgono per essere poi convogliati all'impianto di depurazione, di fatto il modello idrologico interpreta, seppur in maniera molto semplificata, il funzionamento complessivo dell'intera rete fognaria del Comune.

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

Per la definizione del modello idrologico dei deflussi del territorio comunale di Calcio alle sezioni di chiusura di interesse si è fatto uso del software Hydrologic Modeling System (HMS) release 4.3, sviluppato dall'Hydraulic Engineering Center (HEC) del Corpo del Genio dell'Esercito statunitense (www.hec-usace.army.mil).

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



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

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

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

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

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

Sono stati sviluppati 3 diversi modelli idrologici:

- il modello SDF, che rappresenta il comportamento attuale del bacino imbrifero dominante;
- il modello PRO01, che rappresenta il comportamento del bacino una volta che saranno realizzati gli interventi strutturali proposti (ovvero un risezionamento del collettore principale lungo Via De Gasperi e del canale emissario degli sfioratori della fognatura fino a valle dell'attraversamento della Roggia Calciana);
- il modello PRO02, che rappresenta il comportamento del bacino qualora fossero realizzati interventi di laminazione sugli apporti provenienti dal bacino posto a Ovest dell'attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e della Roggia Antegnata 5.0.00 (bacini B_SEGMENTO_OVEST_01 E B_SEGMENTO_OVEST_02); le valutazioni idrologiche e idrauliche svolte in relazione a tale proposta di intervento sono sostanzialmente sovrapponibili ad una proposta simile che preveda lo scarico di una parte di questi apporti nella rete idrografica in luogo della loro laminazione.

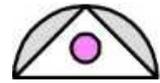
Come si vedrà, la proposta PRO02 (declinata nelle due possibilità previste, laminazione degli apporti o scarico nel reticolo idrografico) presenta a parere degli scriventi problematiche tali da ritenerla decisamente meno funzionale della proposta PRO01.

I tre modelli sono simili per larga parte, in quanto essi contengono tutti la medesima descrizione idrologica dei bacini e si differenziano solo per aspetti concernenti le modalità di funzionamento di alcuni nodi.

I tre modelli pertanto descrivono a livello idrologico la rete fognaria comunale di Calcio mediante 8 bacini di tipo urbano, con comportamento prevalente valutabile attraverso il metodo di trasformazione afflussi – deflussi della corrivazione con area tempi lineare;

Il modello idraulico SDF si compone di:

- 3 tratti delle aste idriche principali, rappresentanti sostanzialmente traslazioni temporali degli idrogrammi di piena lungo il percorso delle tubazioni;



- 15 nodi della rete, a rappresentare:
 - 1 nodo tipo JUNCTION a rappresentare punti di immissione di bacini o ancora recapito di manufatti di partizione;
 - 13 nodi di diversione, che rappresentano sezioni di limitazione delle portate con fuoriuscita di acqua dal sistema o di convogliamento in altri elementi della rete;
 - 1 nodo tipo SINK a rappresentare l'uscita dal sistema, ovvero lo scarico del canale emissario degli scaricatori di piena di Via Basse Oglio (SF1, SF2, SF3, SF4 e SF5) nel Fiume Oglio.

Il modello idraulico PRO01 si compone dei medesimi elementi del modello SDF, all'interno del quale sono eliminate le regole di diversione sui nodi rappresentativi del collettore principale che si propone di risonare (nodi C03, C04, C05, C06).

Il modello idraulico PRO02 si compone dei medesimi elementi del modello SDF, con l'unica differenza che il nodo JUNCTION C03 è sostituito con un nodo di tipo BASIN, con una regola di funzionamento diversa in funzione del tempo di ritorno dell'evento sulla base del quale si dimensionano le opere.

Il modello meteorologico si compone di una serie di ietogrammi triangolari, di durata comprese tra 30' e 1'440', facenti riferimento a eventi con tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni; gli ietogrammi sono applicati uniformemente su tutti i sottobacini componenti il modello idrologico.

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

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

4 IPOTESI ASSUNTE ALLA BASE DELL'ANALISI IDROLOGICA

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

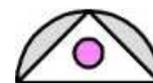
1. vengono trascurati i fenomeni di laminazione delle onde di piena indotti dai fenomeni alluvionali verificatisi a monte delle sezioni di chiusura così come quelli indotti dalla traslazione degli idrogrammi lungo la rete stessa.

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

Per la definizione dei fenomeni di traslazione dell'onda, si è imposto che, indipendentemente dalla sezione e dalla pendenza dei corsi d'acqua, la velocità di traslazione delle onde di piena lungo la rete di canalizzazioni sia nell'ordine di 1.00 m/s, in funzione dello sviluppo e delle caratteristiche ipotizzate per la rete di drenaggio: tale valore è ragionevole in un ambito di pianura, con condotti di pendenze nell'ordine di 0.001-0.008 m/m.

Peraltro in considerazione della limitata estensione dei tratti di rete considerati (dall'attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00) fino all'imbocco del canale emissario DN 1600 mm di Via Basse Oglio lo sviluppo complessivo del collettore è nell'ordine di 400 metri) i fenomeni di traslazione temporale degli idrogrammi hanno una significatività piuttosto ridotta;

2. gli unici contributi di sottrazione agli idrogrammi di piena sono dati da sezioni di controllo note, ove cioè



esiste un vincolo fisico che limiti le portate transitanti verso valle (tipicamente tratti di tubazioni) ed una possibilità di allontanamento delle portate eccedenti.

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

Attraverso tale modalità vengono ad esempio modellati gli apporti dei collettori principali in ingresso al modello, dei quali sono noti la sezione e, in alcuni casi, anche la pendenza: per essi si prevede (in via semplificativa) che le portate eccedenti la capacità idraulica delle sezioni terminali dei collettori di scarico non transitino in rete ma diano luogo a fenomeni alluvionali a monte della sezione di immissione.

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

L'ipotesi assunta è ragionevole, considerato che tutti i manufatti presenti sulla rete sono dotati di organi di regolazione più o meno efficaci e che in ogni caso un'elevata efficienza dei manufatti scaricatori di piena rappresenta da un lato un'approssimazione a favore di sicurezza, dall'altro lato una possibile implementazione futura da parte dell'Ente Gestore della rete fognaria atta a tutelare l'impianto di depurazione.

5 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO

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

Per la determinazione delle caratteristiche idrologiche dei bacini inseriti all'interno del modello matematico interpretativo del comportamento del bacino complessivo dei corsi d'acqua interessanti l'area oggetto di Studio si è proceduto al calcolo ed alla definizione delle onde di piena mediante un modello matematico afflussi-deflussi, sulla base dei dati pluviometrici pubblicati recentemente pubblicati da ARPA Lombardia, nei quali il territorio lombardo è stato suddiviso in celle quadrate di 1.5 km di lato, ciascuna caratterizzata da specifiche coppie di parametri (a, n) per ciascun tempo di ritorno considerato, in un range compreso fra 2 e 200 anni: la griglia di copertura del territorio (in formato ASCII) e i parametri assegnati a ciascuna cella sono liberamente disponibili sul sito di ARPA.

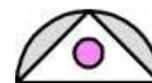
Lo scopo di un tale modello è, essenzialmente, quello di consentire il calcolo delle caratteristiche più importanti delle onde di piena a partire da precipitazioni estreme statisticamente significative.

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

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

ove:

- q è la portata di deflusso;
- i(t) è la intensità di pioggia netta;



- $u(t)$ è l'idrogramma unitario istantaneo.

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

Nel caso della parte del territorio comunale di Calcio modellata (ovvero il territorio urbanizzato), si riscontra come alla formazione dei deflussi di piena dell'asta idrica alla sezione di chiusura considerata concorrono solo bacini di tipo urbano, ove ai fini della formazione degli idrogrammi di piena sono prevalenti i fenomeni di traslazione rispetto a quelli di invaso, ma tali fenomeni non sono più legati alla morfologia naturale ma alle caratteristiche delle reti fognarie che innervano il bacino stesso.

Per quanto concerne la modellazione della risposta idrologica di tali bacini, si è fatto riferimento al *metodo cinematico della corrivazione con curva area tempi lineare*.

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

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

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

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

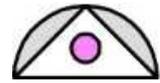
ove A è l'area del bacino e T_c è il tempo di corrivazione del bacino, definito come il tempo necessario ad una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino lungo il percorso idraulicamente più lungo. In base alle ipotesi sopra definite, si ammette che tale tempo sia una costante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

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

Nel caso dei bacini urbani la curva area – tempi non è funzione della morfologia del terreno bensì del tracciato e delle caratteristiche intrinseche della rete fognaria (diametri, pendenze, materiali etc.). Stante la finalità e la portata dello Studio, si è ritenuta un'approssimazione accettabile quella di considerare una curva area – tempi di tipo lineare, che porta a stimare un IUH di tipo costante.

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

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



$$T_c = T_i + T_p$$

Ove:

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

5.2 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI INFILTRAZIONE

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

Il metodo si basa sull'utilizzo della seguente equazione:

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

in cui:

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

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

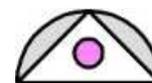
che riconduce la sua determinazione a quella del parametro CN (Curve Number), compreso tra 0 (massima infiltrazione, nessun deflusso) e 100 (terreno impermeabile, nessuna infiltrazione).

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

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

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

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



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

Per quanto concerne il coefficiente Ia (Initial Abstraction, è la parte di pioggia che inizialmente si accumula nel terreno o viene assorbita prima di generare deflusso), il SCS propone di assumere:

$$Ia = 0.2 \cdot S$$

Ancorché la proposta del SCS di definizione del coefficiente Ia sia stata, negli ultimi anni, sottoposta ad una revisione critica da parte della ricerca, che ha evidenziato come questa porti generalmente ad una sottostima degli idrogrammi di piena, all'interno del presente Studio si è confermato tale valore: le analisi preliminari condotte relativamente a un valore più penalizzante di Ia, posto pari a $0.05 \cdot S$, hanno prodotto risultati che in prima analisi appaiono incompatibili con le evidenze sul territorio e le caratteristiche dei fenomeni osservati.

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

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

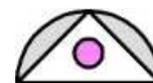
Group	Meaning
A	Soils having high infiltration rates even when thoroughly wetted and consisting chiefly deep to deep, well to excessively drained sands or gravels.
B	Soils having moderate infiltration rates when thoroughly wetted and consisting chiefly of moderately deep to deep, moderately well to well-drained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

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



Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land				
Without conservation treatment	72	81	88	91
With conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or rangeland				
Poor condition	68	79	86	89
Good condition	39	61	74	80
Meadow				
Good condition	30	58	71	78
Wood or forest land				
Thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
Good cover ¹	25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf, courses, cemeteries, etc.				
Good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
Fair condition: grass cover on 50-75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential ²				
Average lot size (% Impervious ³)				
1/8 ac or less (65)	77	85	90	92
1/4 ac (38)	61	75	83	87
1/3 ac (30)	57	72	81	86
1/2 ac (25)	54	70	80	85
1 ac (20)	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. ⁴	98	98	98	98
Streets and roads				
Paved with curbs and storm sewers ⁴	98	98	98	98
Gravel	76	85	89	91
Dirt	72	82	87	89
1. Good cover is protected from grazing and litter and brush cover soil. 2. Curve numbers are computed assuming that the runoff from the house and driveway is directed toward the street with a minimum of roof water directed to lawns where additional infiltration could occur. 3. The remaining pervious areas (lawn) are considered to be in good pasture condition for these curve numbers. 4. In some warmer climates of the country a curve number of 95 may be used.				

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



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

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

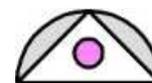
Nel caso in esame si è considerato che i terreni di fondovalle, costituiti per la pressoché totalità da terreni di tipo alluvionale siano caratterizzati da un'elevata permeabilità (terreni di tipo B); tuttavia, l'importanza del gruppo idrologico nel caso dei bacini di interesse riveste un'importanza nel complesso limitata in relazione sia all'elevata urbanizzazione delle aree considerate sia del livello di dettaglio della base considerata (che descrive con una precisione nell'ordine di 1:1'000 – 1:2'000 il territorio in termini di uso dei suoli): come si vedrà nel seguito il CN stimato mediante le informazioni disponibili appare piuttosto elevato e poco sensibile alla permeabilità delle aree ancora libere.

Per quanto concerne l'attribuzione dell'uso dei suoli presente sul territorio preso in esame si è fatto riferimento ai dati riportati all'interno del Database Topografico (DBT) del Comune di Calcio reperibile sul geoportale regionale.

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

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

Tale Studio, condotto sulla base di una serie approfondita di analisi e di prove in situ individuò il coefficiente CN relativo ai diversi usi del suolo in funzione del gruppo idrologico (A, B, C, D) e ad 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 e ove, pertanto, il valore del coefficiente CN era il medesimo per tutti e quattro i gruppi idrologici.

All'interno di tale Studio erano riportati pertanto 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.

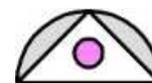
Tipologia di Uso del suolo riportato all'interno dello Studio Regionale	Gruppo idrologico			
	A	B	C	D
AFFIORAMENTI LITOIDI	70	70	70	Non pres.
ARBUSTETI	45	66	77	83
BOSCHI	25	55	70	77
CAVE	Non pres.	Non pres.	75	75
PRATI	39	61	74	81
SEMINATIVI	62	71	78	81
STRADE	98			
URBANIZZAZIONE ALTA 65%	86			
URBANIZZAZIONE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

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

Poiché in sede dello Studio Regionale si provvede ad una specifica taratura in situ, 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 della base DBT utilizzata a quelle utilizzate all'interno dello Studio del Prof. Ing. Bacchi.

L'unica variazione apportata concerne il maggiore dettaglio relativamente alle aree urbanizzate conseguibile mediante la base aerofotogrammetrica utilizzata: si è pertanto potuto suddividere le aree genericamente descritte nello Studio citato come "aree urbanizzate" in funzione delle sottoaree che le costituiscono: strade, vialetti, aree verdi e, in aggiunta, impronta dei fabbricati: gli usi dei suoli utilizzati nel presente Studio sono pertanto riportati all'interno della Tabella 5.5 e, a livello grafico, nella Tavola 04.

Si è infine aggiunta una classe, ACQUA, a deflusso nullo (CN=0) a rappresentare eventuali specchi d'acqua.



Tipologia di Uso del suolo	Coefficiente CN			
	Gruppo A	Gruppo B	Gruppo C	Gruppo D
Acqua	0	0	0	0
Affioramenti litoidi	70	70	70	70
Arbusteti	45	66	77	83
Boschi	25	55	70	77
Cave	75	75	75	75
Prati	39	61	74	80
Seminativi	72	81	88	91
Strade, piazzali, parcheggi e cortili	98	98	98	98
Edifici	98	98	98	98
Vigneti	70	79	84	88

Tabella 5.5 **Attribuzione dei coefficienti CN a ciascun tipo normalizzato di uso dei suoli secondo geodatabase del Comune di Calcio.**

Come si può osservare da quanto riportato in Tabella 5.5, agli usi dei suoli corrispondenti agli Edifici e a quelli corrispondenti a Strade, piazzali, parcheggi e cortili, è stato assegnato il medesimo valore del coefficiente CN (pari a 98, completa impermeabilità) indipendentemente dal gruppo idrologico: considerato che tali tipologie di uso sono prevalenti in ambito urbano se ne deduce una limitata influenza del gruppo idrologico assegnato alle aree non edificate.

5.3 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI IDROLOGICI DEI BACINI DI INTERESSE

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

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

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

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

Ai fini di tale stima, si è considerato:

- il tempo di ingresso T_i in rete compreso pari a 20 minuti in ragione dell'ampiezza di ciascun bacino e della ramificazione della rete;
- la velocità di percorrenza della rete fino alla sezione di chiusura V_p pari a 1.00 m/s.



Bacino	Area [ha]	Lmax [km]	Ti [min]	Vp [m/s]	Tc [min]
B_SEGMENTO_CENTRO_01	8.89	1.080	20.00	1.00	18.00
B_SEGMENTO_CENTRO_02	6.05	0.488	20.00	1.00	8.14
B_SEGMENTO_EST	13.09	0.859	20.00	1.00	14.31
B_SEGMENTO_OVEST_01	20.13	0.954	20.00	1.00	15.90
B_SEGMENTO_OVEST_02	44.53	1.818	20.00	1.00	30.29
B_SEGMENTO_OVEST_03	4.95	0.667	20.00	1.00	11.11
B_SEGMENTO_OVEST_04	3.24	0.310	20.00	1.00	5.17

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

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

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.19	B	0
ARBUSTETI	0.03	B	66
BOSCO	0.03	B	55
CAVE	0.00	B	75
EDIFICI	1.69	B	98
PRATI	4.20	B	61
SEMINATIVI	0.14	B	81
STRADE	2.62	B	98
COMPLESSIVO	8.89		77.89

Tabella 5.7 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_CENTRO_01".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.00	B	0
EDIFICI	2.38	B	98
PRATI	2.69	B	61
STRADE	0.97	B	98
COMPLESSIVO	6.05		81.48

Tabella 5.8 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_CENTRO_02".



Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.15	B	0
ARBUSTETI	0.01	B	66
BOSCO	0.02	B	55
CAVE	0.05	B	75
EDIFICI	3.40	B	98
PRATI	6.67	B	61
SEMINATIVI	0.14	B	81
STRADE	2.62	B	98
VIGNETI	0.03	B	79
COMPLESSIVO	13.09		77.63

Tabella 5.9 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_EST".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.29	B	0
ARBUSTETI	0.06	B	66
EDIFICI	5.07	B	98
PRATI	10.18	B	61
SEMINATIVI	0.01	B	81
STRADE	4.52	B	98
COMPLESSIVO	20.13		77.76

Tabella 5.10 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_OVEST_01".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.42	B	0
ARBUSTETI	0.75	B	66
BOSCO	0.14	B	55
CAVE	0.14	B	75
EDIFICI	10.44	B	98
PRATI	22.11	B	61
SEMINATIVI	1.02	B	81
STRADE	9.48	B	98
VIGNETI	0.02	B	79
COMPLESSIVO	44.53		77.56

Tabella 5.11 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_OVEST_02".



Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.01	B	0
ARBUSTETI	0.02	B	66
BOSCO	0.01	B	55
EDIFICI	1.10	B	98
PRATI	2.57	B	61
SEMINATIVI	0.27	B	81
STRADE	0.97	B	98
COMPLESSIVO	4.95		77.42

Tabella 5.12 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_OVEST_03".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.01	B	0
EDIFICI	0.56	B	98
PRATI	1.67	B	61
SEMINATIVI	0.02	B	81
STRADE	0.98	B	98
COMPLESSIVO	3.24		78.58

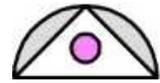
Tabella 5.13 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_OVEST_04".

Tipo	Area [ha]	Gruppo idrologico	Coefficiente CN attribuito
ACQUA	0.01	B	0
BOSCO	0.01	B	55
EDIFICI	0.86	B	98
PRATI	2.23	B	61
SEMINATIVI	0.01	B	81
STRADE	0.71	B	98
COMPLESSIVO	3.82		76.03

Tabella 5.14 Determinazione del coefficiente CN per il bacino urbano "B_SEGMENTO_OVEST_05".

6 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Definiti i sottobacini afferenti al sistema costituito dalla rete fognaria che innerva il bacino di interesse del Comune di Calcio, il passo successivo è stato quello di definire il modello idraulico del sistema, ovvero di definire il comportamento della rete di canali e manufatti che raccoglie e convoglia gli apporti dei singoli sottobacini lungo il territorio.



6.1 SCELTA DELLE SEZIONI DI CHIUSURA DEL MODELLO

Il modello predisposto descrive come si è detto un'ampia parte della rete a servizio del Comune di Calcio, la scelta della sezione di chiusura dipende, di volta in volta, per quali finalità il modello viene analizzato.

Con specifico riferimento alle problematiche in riferimento alle quali il modello è stato implementato, le sezioni di chiusura di interesse sono le seguenti:

- le sezioni che descrivono il collettore principale della rete, dall'attraversamento del Naviglio Civico di Cremona e della Roggia Antegnata fino allo scarico in Oglio (nodi C02, C03, C04, C05, C06, C07, C08);
- le sezioni che descrivono i punti di immissione al collettore principale dei bacini dominanti.

6.2 MODELLAZIONE DELLA TRASLAZIONE DELLE ONDE DI PIENA

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

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

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

La rete considerata è caratterizzata da una ridotta gamma di canalizzazioni ma con pendenze variabili, solo in alcuni casi note con ragionevole affidabilità.

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

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

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

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

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

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



Nome	Sviluppo [m]	Traslazione [minuti]
LAG_C00	172.53	3
LAG_C01	59.74	1
LAG_C02	252.56	4

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

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

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

I nodi di tipo "DIVERSION" inseriti nel modello, ancorché a livello di rappresentazione del tutto identici gli uni agli altri, hanno la finalità di descrivere tre diverse tipologie di vincolo:

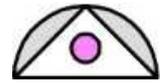
1. i nodi che interpretano porzioni ampie della rete, che non sono state inserite nel modello idrologico (in quanto quest'ultimo rappresenta sostanzialmente solo il collettore principale della rete, dall'attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e della Roggia Antegnata 5.0.00. Dal momento che la rete a servizio del Comune di Calcio è costituita da ampie porzioni di rete che non sottendono alcuno scaricatore di piena si è ritenuto ragionevole dare una rappresentazione per quanto semplificata dei vincoli geometrici rappresentati dalla capacità di convogliamento della rete a monte del tratto modellato in quanto i valori che risulterebbero da un'applicazione acritica delle portate teoriche derivanti dall'analisi idrologica porterebbero a risultati non coerenti con l'evidenza fisica.

La rappresentazione che viene data di tali vincoli è data dalla capacità di convogliamento a pelo libero del tratto posto immediatamente a monte dell'immissione del segmento di rete considerato; a tal fine si fa riferimento alle informazioni sulla rete fognaria fornite dall'Ente Gestore della stessa: qualora attraverso tali dati sia possibile ricostruire in maniera realistica oltre alle caratteristiche geometriche dei condotti (sezione, materiale) anche la pendenza, si fa riferimento a questa, qualora tale dato manchi o non sia ricostruibile con ragionevole affidabilità, si assegna una pendenza ipotizzata dello 0.5%.

La rappresentazione di tali vincoli è la medesima nei tre modelli SDF, PRO01 e PRO02.

I nodi tipo DIVERSION che rappresentano ampi segmenti della rete e le loro caratteristiche sono i seguenti:

- la DIVERSION I_B_SEGMENTO_CENTRO_01, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 600 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.50%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 424 l/s;
- la DIVERSION I_B_SEGMENTO_CENTRO_02, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 800 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.50%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 913 l/s;
- la DIVERSION I_B_SEGMENTO_EST, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (GRES DN 700 mm, $K_s=80$, con pendenza pari a 0.50%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 714 l/s;
- la DIVERSION I_B_SEGMENTO_OVEST_01, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione



esistente (CLS DN 600 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.50%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 424 l/s;

- la DIVERSION I_B_SEGMENTO_OVEST_03, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 600 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.50%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 424 l/s;
- la DIVERSION I_B_SEGMENTO_OVEST_05, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 500 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.50%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 261 l/s;
- la DIVERSION C01, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 600 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.70%) si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 503 l/s;

2. i nodi che rappresentano manufatti della rete, ovvero, nel caso specifico, il manufatto di sfioro SF6.

Nella rappresentazione di tale manufatto si è ritenuto prioritario dare una descrizione ragionevolmente corretta della capacità di scarico effettiva in corpo idrico, vincolata dalla sezione relativamente ridotta del canale emissario.

Non appare ragionevole darne una rappresentazione della capacità di convogliamento del condotto di valle in quanto questa nel tempo potrebbe essere modificata / risezionata / ampliata, laddove la bocca di scarico nel canale si ritiene che difficilmente potrà essere ampliata, stante il fatto che lo scarico medesimo avviene in un canale privato (e quindi sul quale l'Ente proprietario può porre legittimamente dei vincoli legati alla sua funzione ad esclusivo beneficio dei consorziati).

Il nodo che rappresenta il nodo SF6 pertanto viene descritto attraverso un vincolo sulle portate scaricate in corpo idrico dato dalla geometria del canale emissario e prevedendo che tutte le portate eccedenti tale valore proseguano lungo la rete.

La rappresentazione di tale vincolo è la medesima nei tre modelli SDF, PRO01 e PRO02.

Considerato che del canale emissario è nota solo la geometria (PVC DE 400 mm), si impone ad esso una pendenza pari a 0.5% e, pertanto, una portata massima scaricabile pari a 162 l/s.

Stante il fatto che immediatamente a valle del nodo SF6 è presente un nodo DIVERSION "di bacino" come il nodo C01, si sarebbe potuta dare una rappresentazione più semplificata della rete utilizzando solo quest'ultimo, ma si è ritenuto di modellare anche il nodo SF6 in quanto pur non costituendo un contributo significativo di sottrazione d'acqua in rete fognaria, nondimeno è presente ed assodato;

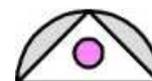
3. i nodi che rappresentano la capacità di convogliamento del collettore principale della rete, specificatamente modellato a livello idrologico.

Dal momento che il collettore principale della rete rappresenta l'elemento sul quale si focalizza l'attenzione in termini di proposta di misure strutturali, le caratteristiche del vincolo rappresentato da ciascun nodo tipo DIVERSION sono diverse in ragione del modello idrologico; in particolare:

- la DIVERSION C03, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 800 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.12%) nei modelli SDF e PRO02 si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 453 l/s.

Nel modello PRO01 (che prevede il risezionamento del collettore principale) al nodo C03 non viene assegnato un vincolo di portata, in quanto in base al valore risultante "tagliato" dai nodi DIVERSION di bacino, viene definita la capacità di convogliamento richiesta;

- la DIVERSION C04, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 800 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.12%) nei modelli SDF e PRO02 si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 453 l/s.



Nel modello PRO01 (che prevede il risonamento del collettore principale) al nodo C04 non viene assegnato un vincolo di portata, in quanto in base al valore risultante “tagliato” dai nodi DIVERSION di bacino, viene definita la capacità di convogliamento richiesta;

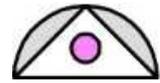
- la DIVERSION C05, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 800 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.12%) nei modelli SDF e PRO02 si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 453 l/s.
- la DIVERSION C06, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente nei modelli SDF e PRO02 si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 780 l/s.

Ai fini della determinazione della capacità di convogliamento della DIVERSION C06 si è fatto riferimento alle caratteristiche geometriche del manufatto di attraversamento della Roggia Calciana 6.0.00, costituita da una botte a sifone in CLS DN 800 mm come riportate all’interno del rilievo fornito dall’Ente Gestore, assegnando come condizione di valle che il collettore di cui alla sezione di controllo C07 funzioni a pieno riempimento [si veda più sotto] e che il vincolo nella sezione di monte del sifone sia dato dalla quota del terreno. Si ottiene pertanto quanto riportato in tabella:

Portata transitante nel sifone	[m ³ /s]	0.78
Carico assoluto camera monte del sifone	[m s.l.m.]	117.40
Numero canne		1.00
Diametro	[m]	0.80
Perimetro bagnato	[m]	2.51
Superficie bagnata	[m ²]	0.50
Raggio idraulico	[m]	0.20
Scabrezza	[m ^{1/3} /s]	70.00
Velocità attraverso il sifone	[m/s]	1.56
Perdite concentrate	[m]	0.18
	Coefficiente ξ	[-]
	Imbocco	[-]
	Sbocco	[-]
	Altro	[-]
Perdite distribuite	[m]	0.042
	Sviluppo sifone	[m]
	Cadente	[m/m]
Perdite totali attraverso il sifone	[m]	0.23
Quota fondo valle	[m s.l.m.]	115.70
Tirante idrico valle (imposto dalla geometria)	[m]	1.472
Carico assoluto valle	[m s.l.m.]	117.17

Tabella 6.2: Determinazione della portata di massima transitante attraverso il nodo DIVERSION C06 (la condizione di valle è data dalla capacità massima di convogliamento del nodo C07)

- la DIVERSION C07, cui, in relazione alle caratteristiche della tubazione esistente (CLS DN 1'600 mm, $K_s=70$, con pendenza pari a 0.20%) nei modelli SDF e PRO02 si è assegnata una capacità di convogliamento massima di 3'667 l/s.



Non è nota la pendenza della tubazione in quanto il valore che si ricaverebbe dai dati forniti dall'Ente Gestore (0.7%) appare poco credibile considerata la collocazione; si assume pertanto un valore ragionevole in un territorio di pianura tenendo in ogni caso conto che le caratteristiche geometriche del tubo sono tali da rendere entro certi limiti la pendenza ininfluente: una pendenza del 0.1% ad esempio porterebbe ad un valore pari a 2'593 l/s.

In merito a quanto riportato sopra in rapporto ai nodi C03, C04, C05, C06 e C07 si formulano alcune osservazioni:

- non è nota la pendenza del condotto nel tratto compreso tra i nodi C03 e C06: considerato che tale tubazione rappresenta sia in termini geometrici sia funzionali la prosecuzione del tratto C02-C03 si è applicata estensivamente la pendenza, nota, del tratto di monte (0.12%): si tratta nel caso specifico di un'approssimazione che pur ragionevole non è a favore di sicurezza in quanto la ridotta pendenza del tratto di monte costituisce un vincolo importante alle portate convogliabili dal sistema.

Tale approssimazione è stata comunque ritenuta non significativa nell'ottica del presente Studio in quanto indicativa di una generica sofferenza del collettore (comunque di sezione costante) rispetto alle immissioni successive dei bacini dominanti: considerare una pendenza superiore (ad esempio pari a 0.5%, con una portata convogliabile di 913 l/s, anche se tale valore si rappresenta come poco credibile in ragione della collocazione del tubo) modificherebbe l'entità del sottodimensionamento della tubazione ma non la presenza di tale criticità.

6.4 MODELLAZIONE DELLE AREE DI ACCUMULO E RILASCIO DELLE ACQUE DA REALIZZARE LUNGO LA RETE DI CANALIZZAZIONI – NODI TIPO "BASIN"

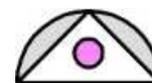
All'interno del modello PRO02 si prevede l'implementazione di un nodo di tipo BASIN sul nodo C02, a rappresentare l'effetto di una modulazione delle portate convogliate dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 verso la rete di valle (o, a più forte ragione, l'apertura di uno sfioro più efficiente del manufatto esistente SF6 nel Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e/o nella Roggia Antegnata 5.0.00).

Tale vincolo non è presente nei modelli SDF e PRO01, ove il nodo C02 viene modellato come una semplice JUNCTION, dal momento che:

- Nel modello SDF esso (che viene imboccato in carico) rappresenta un vincolo meno penalizzante di quello presente immediatamente a valle sul nodo C03;
- Nel modello PRO01 non si prevede l'implementazione di vincoli alle portate sul collettore principale in quanto il risezionamento di tale tubo è proprio la misura strutturale che si intende proporre.

Il nodo tipo BASIN presente nel modello PRO02 sul nodo C02 viene definito in ragione della portata residua convogliabile nel tratto C02-C03 in base al bacino drenato lungo tale tratto (ovvero il bacino B_SEGMENTO_OVEST_04): poiché gli apporti di quest'ultimo non sono controllati dal manufatto proposto e la geometria del condotto (e la relativa capacità di convogliamento, fissata in 453 l/s, si veda §6.3) di valle è fissata, ne consegue che la portata di scarico del nodo BASIN è data dalla capacità residua.

Poiché la portata al colmo del bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 è come ovvio variabile in ragione del tempo di ritorno dell'evento considerato, ne consegue che il nodo BASIN avrà portate di dimensionamento diverse in ragione dell'evento di dimensionamento e, conseguentemente, un grado di efficienza ed una dimensione del manufatto parimenti differenti, secondo quanto indicato in Tabella 6.3.



Tempo di ritorno dell'evento	Portata convogliabile nel condotto di valle	Portata al colmo del bacino B_SEGMENTO_OVEST_04	Portata residua disponibile
[anni]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
20 anni	453	170	283
50 anni		240	213
100 anni		300	153

Tabella 6.3 Determinazione della portata convogliata nella sezione di valle attraverso il nodo tipo BASIN C02 (modello PRO02).

7 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL MODELLO METEOROLOGICO

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

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

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

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

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

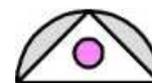
$$h = a \cdot t^n$$

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

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

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

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



L'ARPA ha previsto tale regionalizzazione sia per le piogge con durata inferiore alle 24 ore (è quella cui si fa riferimento nel presente Studio), sia per le piogge con durata compresa da 1 e 5 giorni.

Tale seconda regionalizzazione (eseguita su celle di minore ampiezza) porta a stimare afflussi meteorici decisamente meno penalizzanti rispetto a quella relativa alle piogge di durata inferiore a 24 ore: per questo motivo, nel caso in cui, nelle simulazioni svolte ai fini del dimensionamento delle opere all'interno del presente Studio, risultasse che l'evento che massimizzava le opere fosse quello di durata pari a 1'440 minuti (ovvero al limite della validità delle curve di pioggia utilizzate), si è assunto tale valore come quello di dimensionamento.

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

Tempo di ritorno	Parametro n	Parametro a
2 anni	0.27962	26.78572
5 anni	0.27962	36.32542
10 anni	0.27962	42.80857
20 anni	0.27962	49.15548
50 anni	0.27962	57.56141
100 anni	0.27962	64.00447
200 anni	0.27962	70.54940

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

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

In assenza di riferimenti espliciti di norma, all'interno del presente Studio si sono presi in esame eventi di 20, 50 e 100 anni di tempo di ritorno: i primi due tempi di ritorno sono tipicamente utilizzati nel dimensionamento delle opere sulle reti fognarie, il tempo di ritorno centennale viene invece utilizzato per gli studi del rischio. Non è apparso significativo svolgere simulazioni su eventi decennali, che, statisticamente, ormai si ripresentano almeno una volta ogni 5 – 7 anni.

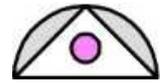
Ai fini del ragguglio delle precipitazioni all'area del bacino, si è fatto riferimento alla formula di Moisello – Papiri:

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

Con:

- A= area del bacino in km²;
- t= durata di pioggia in ore.

Il coefficiente di ragguglio 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 verosimile 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.

Nel caso specifico si è utilizzato come coefficiente di ragguaglio l'area complessiva del bacino urbanizzato del Comune di Calcio afferente alla sezione chiusa all'impianto di depurazione (0.23 km²); si è inoltre arbitrariamente estesa nel caso del modello PRO02 la validità della formula fino a piogge di durate pari a 24 ore anche se, come si è detto, al crescere della durata degli eventi l'importanza del coefficiente di ragguaglio via via si riduce.

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

Le simulazioni svolte hanno preso in esame eventi di durata compresa fra 30 e 1'440 minuti.

8 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

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

8.1 RISULTATI SULLA MODELLAZIONE SUL MODELLO SDF

La modellazione sul modello SDF presenta una rilevanza sotto due aspetti:

1. In base alle portate convogliate al nodo C03 dal bacino posto a Est della Roggia Antegnata 5.0.00 (B_SEGMENTO_OVEST_04) non controllabili attraverso opere di modulazione delle portate collocate al nodo C02 definisce le portate massime convogliabili verso valle nel modello PRO02 (si veda precedente §6.4);
2. In base al rapporto tra gli idrogrammi di piena risultanti e la capacità di convogliamento data dalla geometria per i diversi tempi di ritorno considerati definisce il grado di insufficienza del collettore nel tratto C03-C08.



8.1.1 Determinazione delle portate convogliate dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 sulla tubazione di Via De Gasperi

All'interno delle tabelle e dei grafici seguenti sono riportati i parametri principali degli idrogrammi di piena del bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 e l'andamento degli stessi nel tempo.

In particolare si osserva che le portate al colmo prodotte dal bacino per diversi tempi di ritorno sono le seguenti:

- per evento con tempo di ritorno ventennale: 0.170 m³/s;
- per evento con tempo di ritorno cinquantennale: 0.240 m³/s.
- per evento con tempo di ritorno centennale: 0.300 m³/s.

A fronte di una capacità di convogliamento del tubo di Via De Gasperi stimata in 0.453 m³/s.

Si osserva pertanto che la capacità di convogliamento del tubo di Via De Gasperi sia già saturata per un'ampia parte dagli apporti provenienti dal bacino proprio, senza tener conto del fatto che successivamente e a parità di sezione idraulica (DN 800 mm) nello stesso collettore confluiscono gli apporti dei bacini B_SEGMENTO_OVEST_05, B_SEGMENTO_CENTRO_01 e B_SEGMENTO_CENTRO_02.

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	180.69	0.12	37.22
60	310.97	0.17	52.32
120	499.37	0.15	45.57
180	642.81	0.13	39.25
240	761.90	0.11	34.80
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.1 Portate massime prodotte dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale

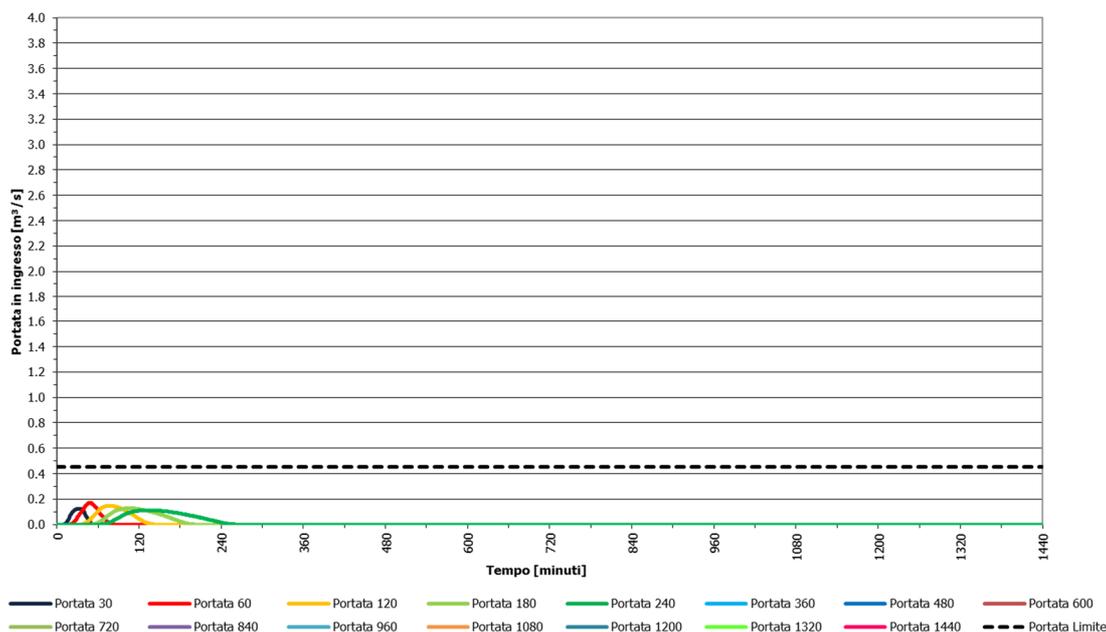
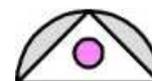


Figura 8.1 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	275.29	0.18	56.71
60	449.39	0.24	74.05
120	694.24	0.20	62.14
180	877.43	0.17	52.72
240	1'028.07	0.15	46.30
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.2 Portate massime prodotte dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale

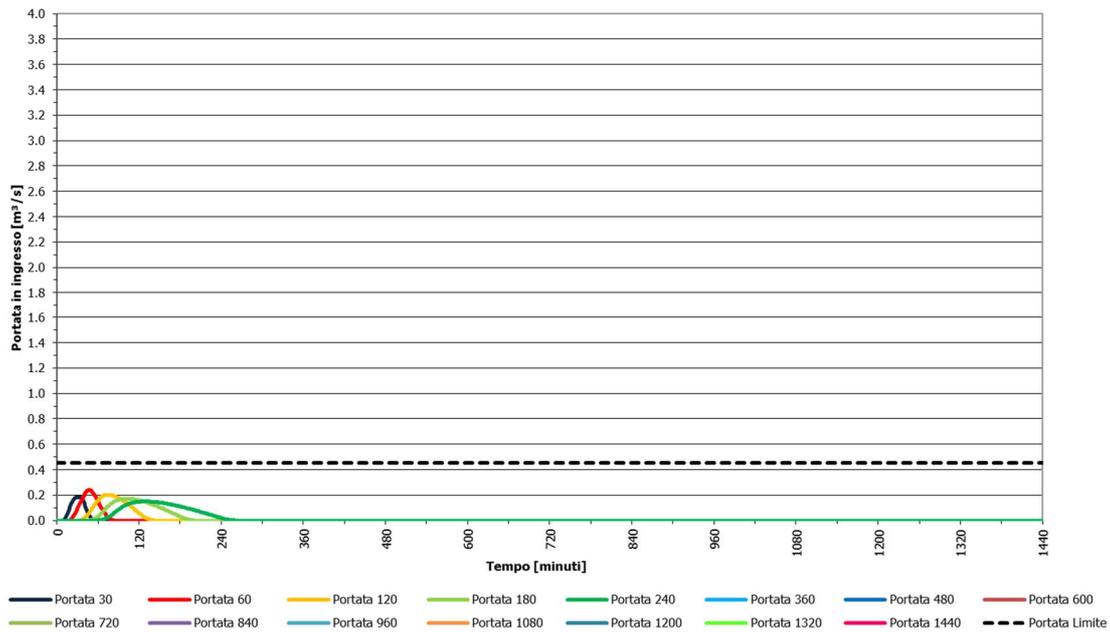
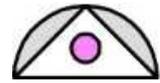


Figura 8.2 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	356.63	0.24	73.46
60	565.54	0.30	92.12
120	854.68	0.25	75.71
180	1'068.83	0.21	63.68
240	1'243.92	0.18	55.62
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.3 Portate massime prodotte dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale

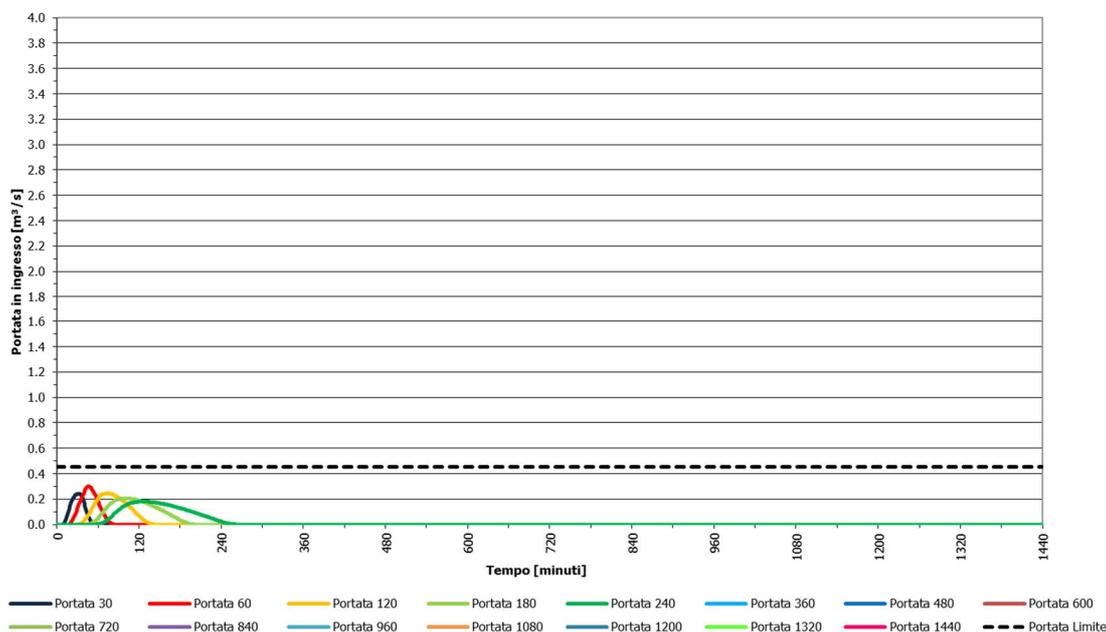
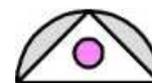


Figura 8.3 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale

8.1.2 Determinazione del grado di insufficienza del collettore principale della rete (tratto C03-C08)

La principale criticità idraulica segnalata sulla rete fognaria di Calcio è data dai problemi posti dal collettore principale nel tratto compreso tra Via De Gasperi e Via Orsi / SP106.

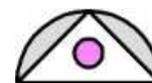
Al fine di inquadrare l’entità della problematica si sono determinati gli idrogrammi in arrivo a ciascun nodo principale del collettore procedendo da monte verso valle e tenendo ovviamente conto del fatto che il vincolo idraulico posto dal nodo di monte “taglia” l’idrogramma in arrivo dal collettore sul nodo immediatamente a valle.

Di seguito sono riportati i risultati del calcolo.

8.1.2.1 Idrogrammi di piena al nodo C03

Le portate in arrivo al nodo C03 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità delle tubazioni terminali di ciascun bacino dominante il nodo C02);
- le portate provenienti dal bacino direttamente gravitante sul nodo C03 (il bacino B_SEGMENTO_OVEST_04).



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	1'972.20	0.75	10.35
60	2'672.50	0.86	11.87
120	4'031.91	0.85	11.70
180	5'365.48	0.81	11.11
240	6'683.22	0.78	10.66
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.4 Portate massime in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

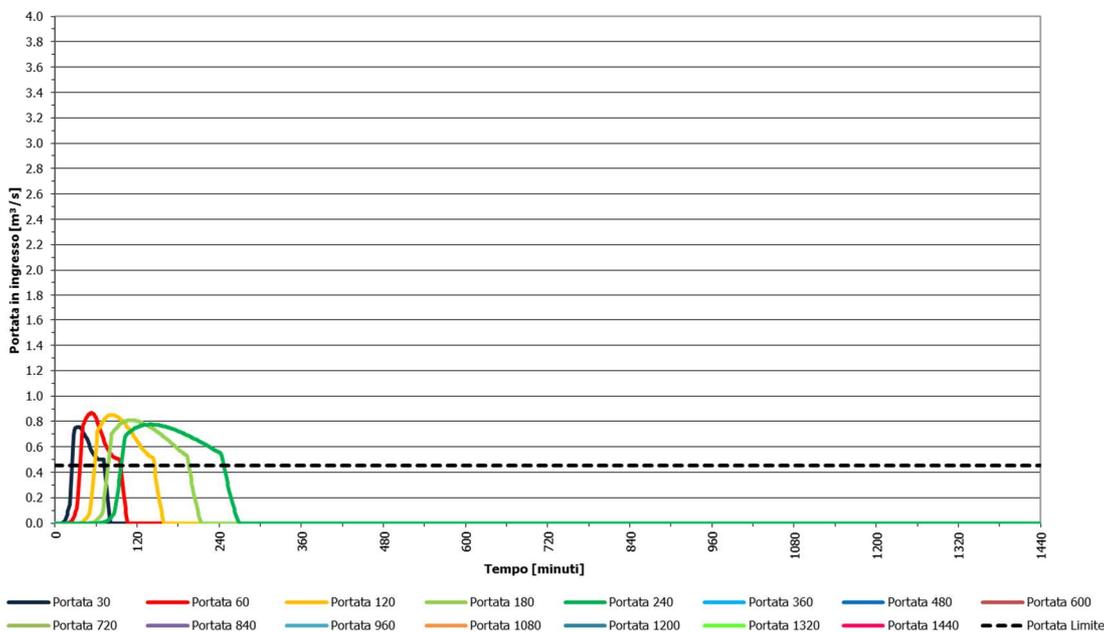


Figura 8.4 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'336.30	0.89	12.22
60	3'176.78	1.02	14.04
120	4'742.76	0.98	13.48
180	6'236.58	0.92	12.57
240	7'690.45	0.87	11.92
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.5 Portate massime in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

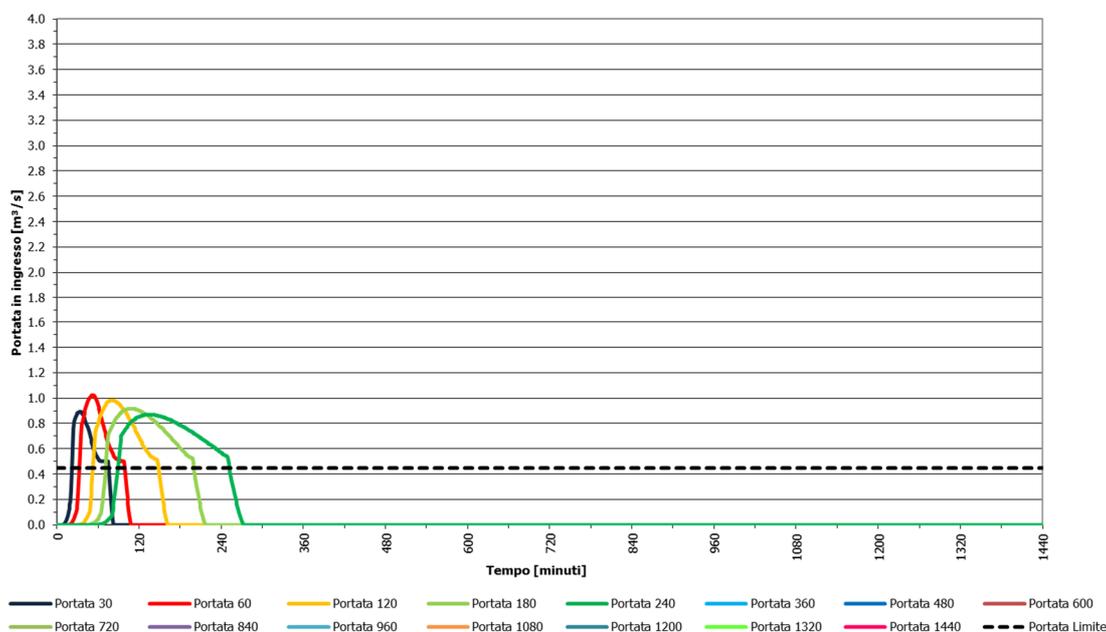


Figura 8.5 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'601.15	1.01	13.83
60	3'554.59	1.15	15.84
120	5'270.36	1.09	14.94
180	6'878.29	1.00	13.77
240	8'430.51	0.94	12.94
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.6 Portate massime in arrivo al nodo C03a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

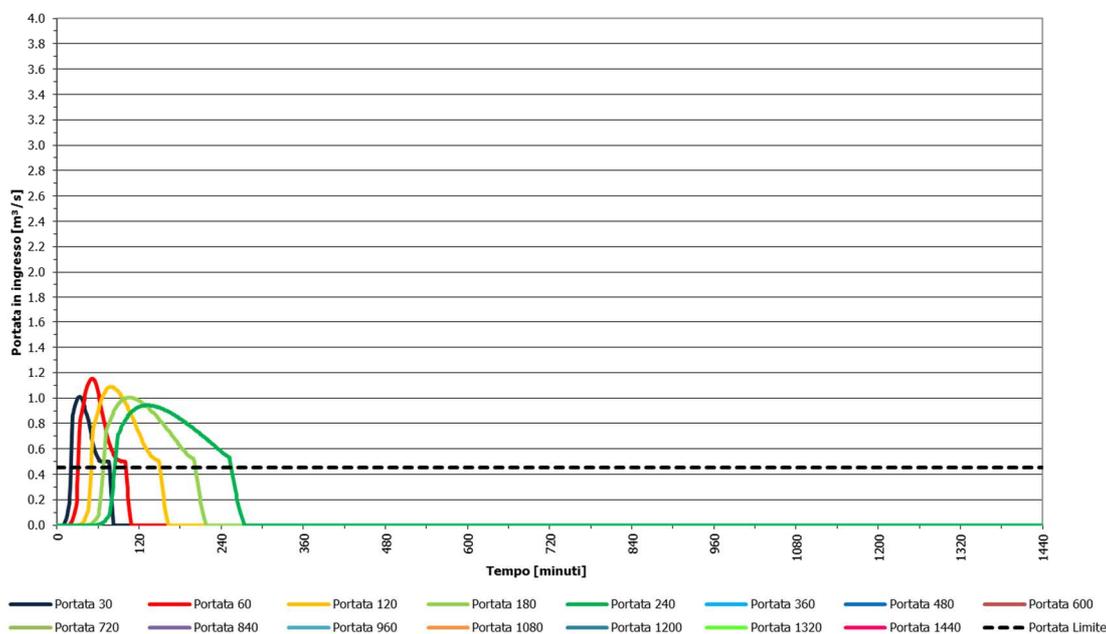
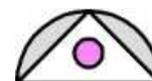


Figura 8.6 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF



8.1.2.2 Idrogrammi di piena al nodo C04

Le portate in arrivo al nodo C04 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C03, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_05, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C04).

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	1'651.72	0.56	7.24
60	2'138.22	0.61	8.01
120	3'164.92	0.60	7.84
180	4'225.57	0.58	7.60
240	5'303.79	0.57	7.43
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.7 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

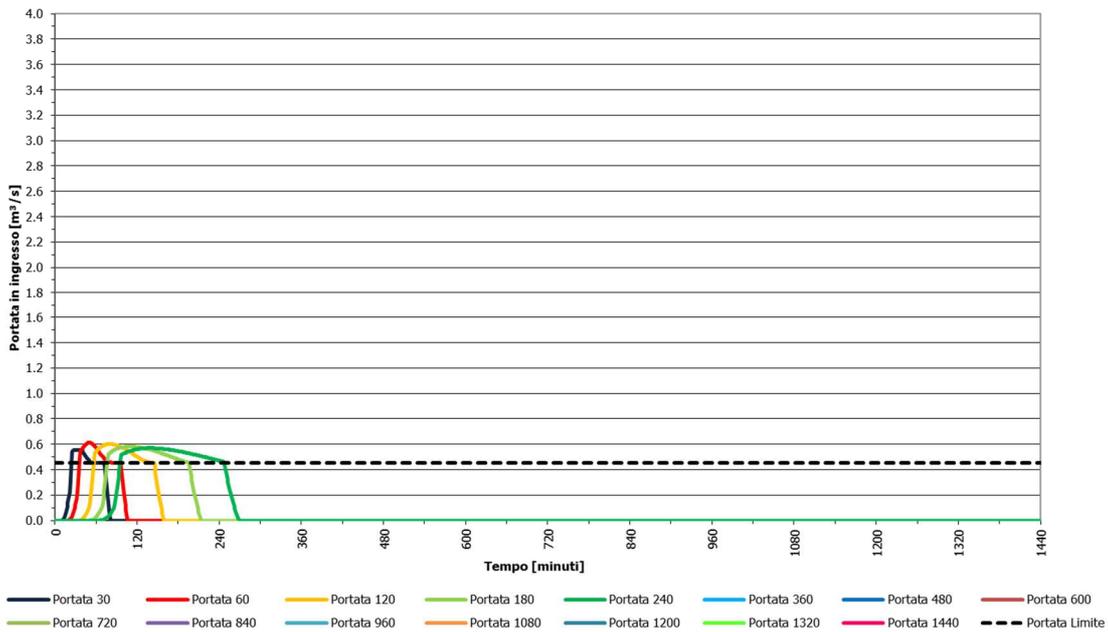
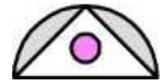


Figura 8.7 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	1'866.88	0.62	8.05
60	2'428.47	0.69	8.97
120	3'570.24	0.66	8.59
180	4'726.08	0.63	8.22
240	5'887.95	0.61	7.96
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.8 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

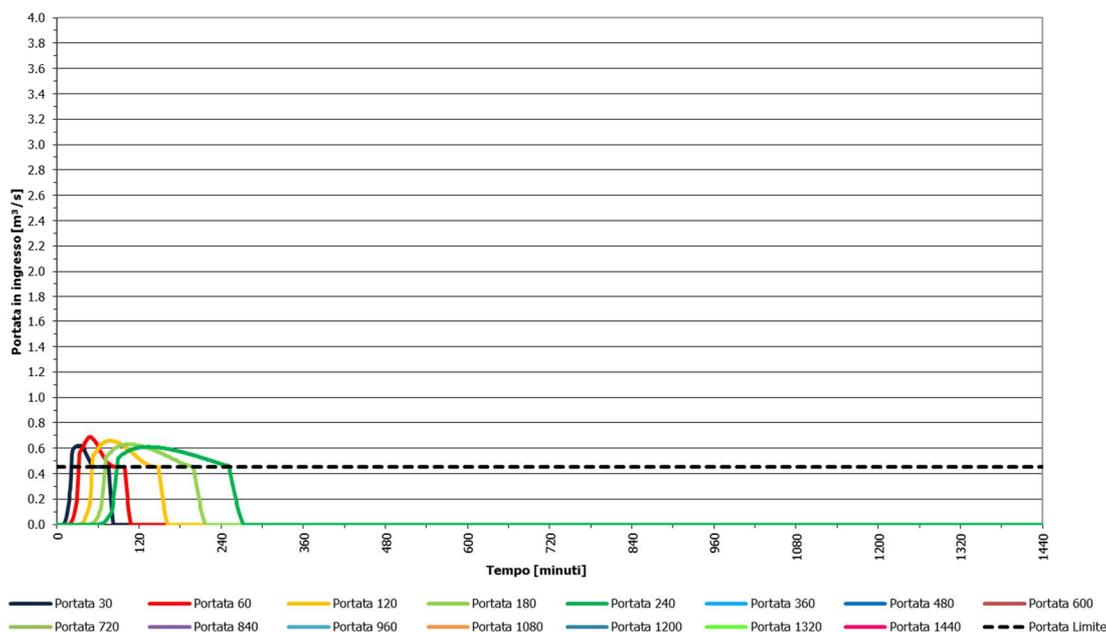


Figura 8.8 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'014.19	0.67	8.75
60	2'615.51	0.71	9.31
120	3'858.13	0.71	9.22
180	5'079.80	0.67	8.73
240	6'301.36	0.64	8.40
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.9 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

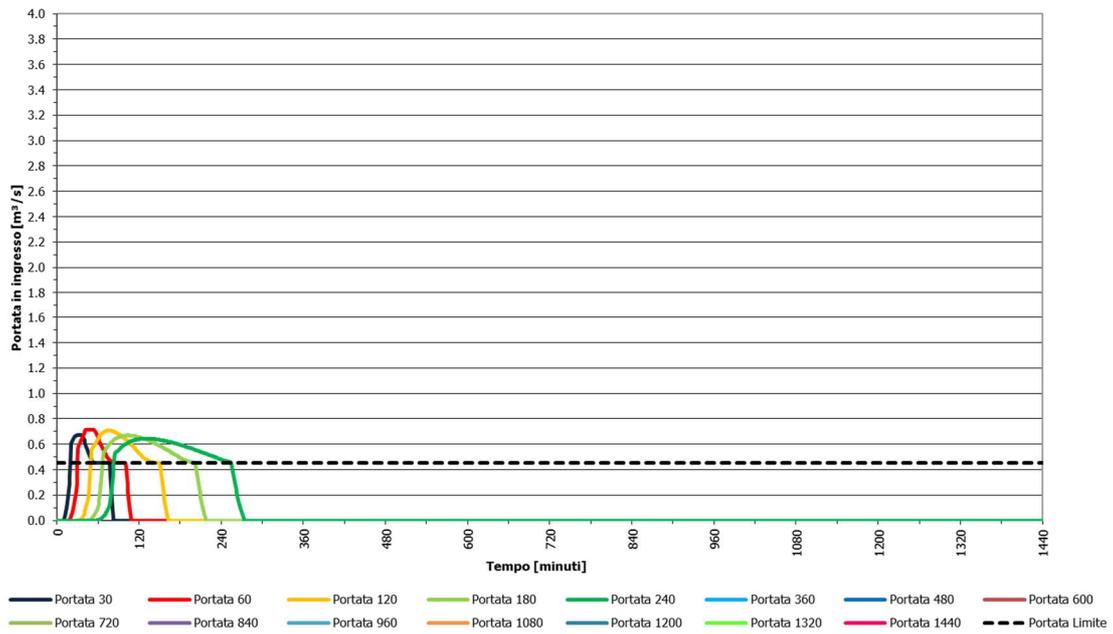
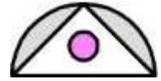


Figura 8.9 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF



8.1.2.3 Idrogrammi di piena al nodo C05

Le portate in arrivo al nodo C05 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C04, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_CENTRO_01, come "tagliate" dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C05).

In merito ai dati riportati nel seguito si evidenzia come al crescere del tempo di ritorno dell'evento (e al conseguente aumento delle portate in arrivo al nodo lungo i due percorsi sopra specificati) diventi via via più significativo l'effetto dei vincoli geometrici presenti sulla rete, per cui per eventi di 50 e 100 anni la portata in arrivo al nodo sia la medesima per eventi di diversa durata solo perché i valori idrologici sono tagliati dalla capacità di convogliamento.

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	1'985.23	0.65	7.65
60	2'683.08	0.80	9.40
120	4'014.39	0.82	9.63
180	5'308.17	0.78	9.14
240	6'582.29	0.75	8.75
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.10 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

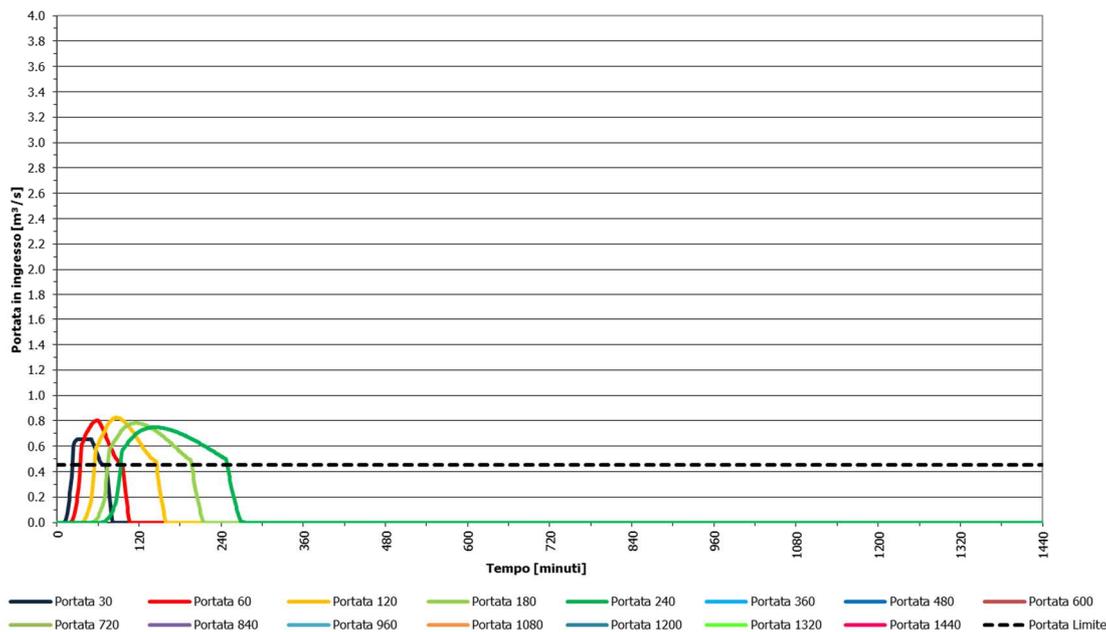
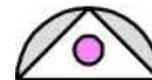


Figura 8.10 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'357.70	0.76	8.94
60	3'138.33	0.88	10.25
120	4'628.52	0.88	10.25
180	6'162.23	0.88	10.25
240	7'588.77	0.85	9.91
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.11 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

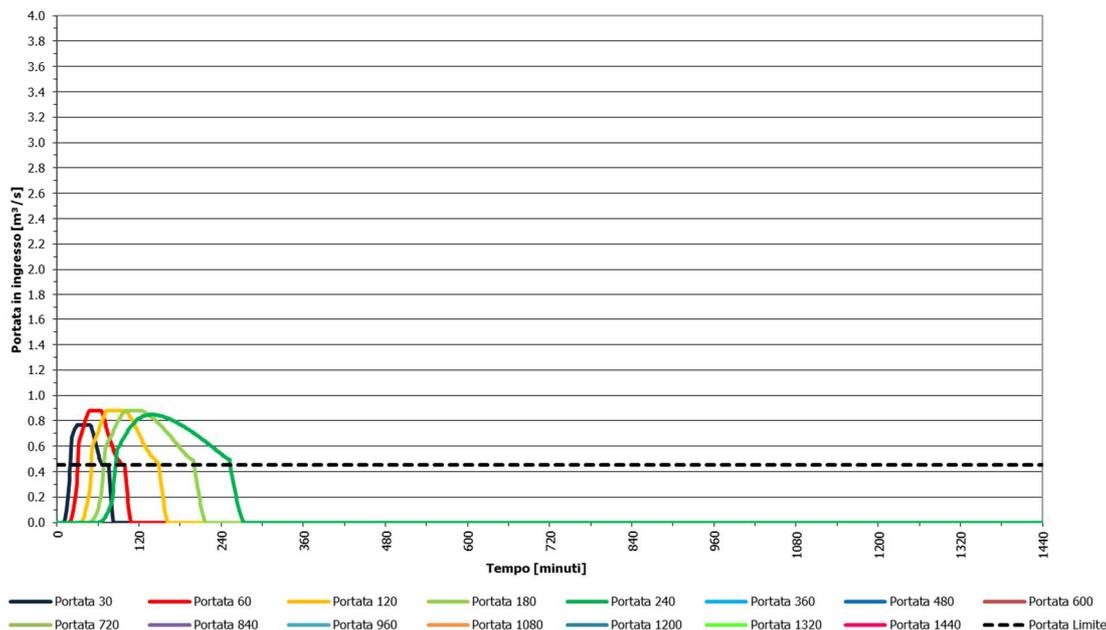
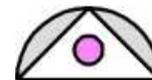


Figura 8.11 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'641.45	0.86	10.04
60	3'357.32	0.88	10.25
120	4'933.36	0.88	10.25
180	6'594.86	0.88	10.25
240	8'238.57	0.88	10.25
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.12 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

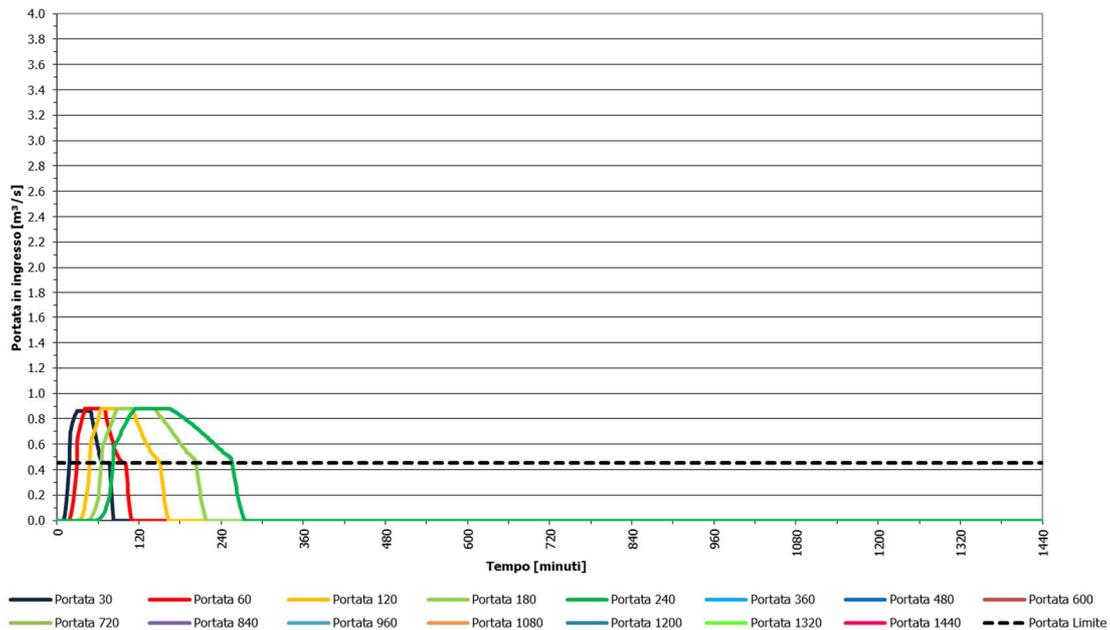
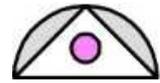
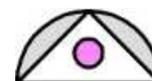


Figura 8.12 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

8.1.2.4 Idrogrammi di piena al nodo C06

Le portate in arrivo al nodo C06 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C05, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_CENTRO_02, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C06).



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'028.94	0.72	7.90
60	2'665.92	0.83	9.07
120	3'901.44	0.78	8.49
180	5'121.81	0.73	7.96
240	6'335.30	0.70	7.60
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.13 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

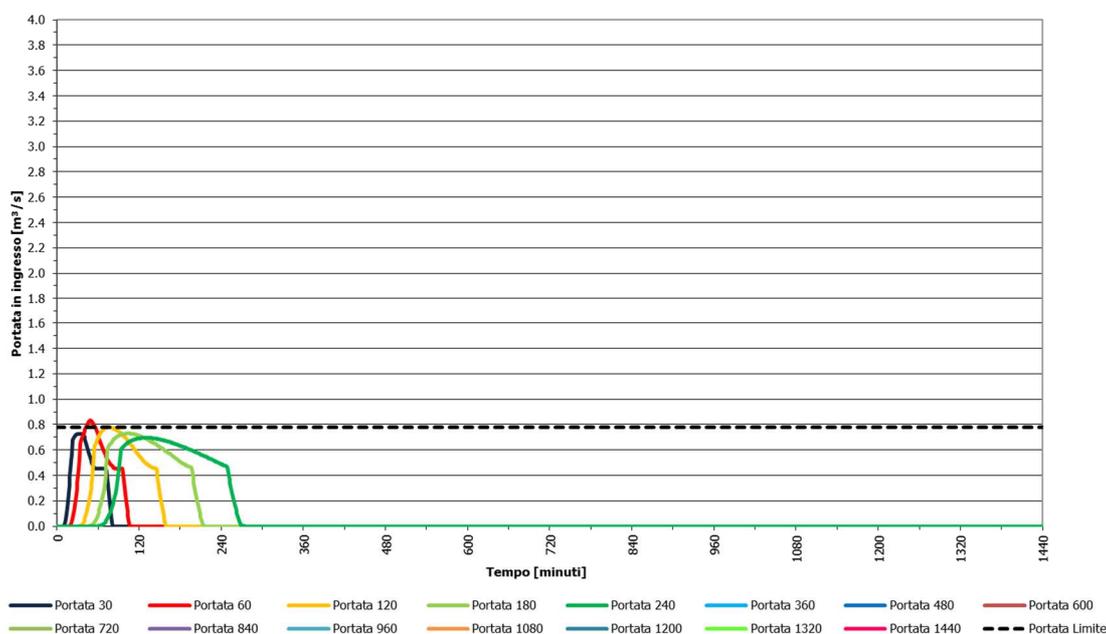
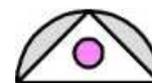


Figura 8.13 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'358.66	0.85	9.24
60	3'102.45	0.97	10.62
120	4'492.08	0.89	9.68
180	5'832.99	0.82	8.92
240	7'150.10	0.77	8.41
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.14 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

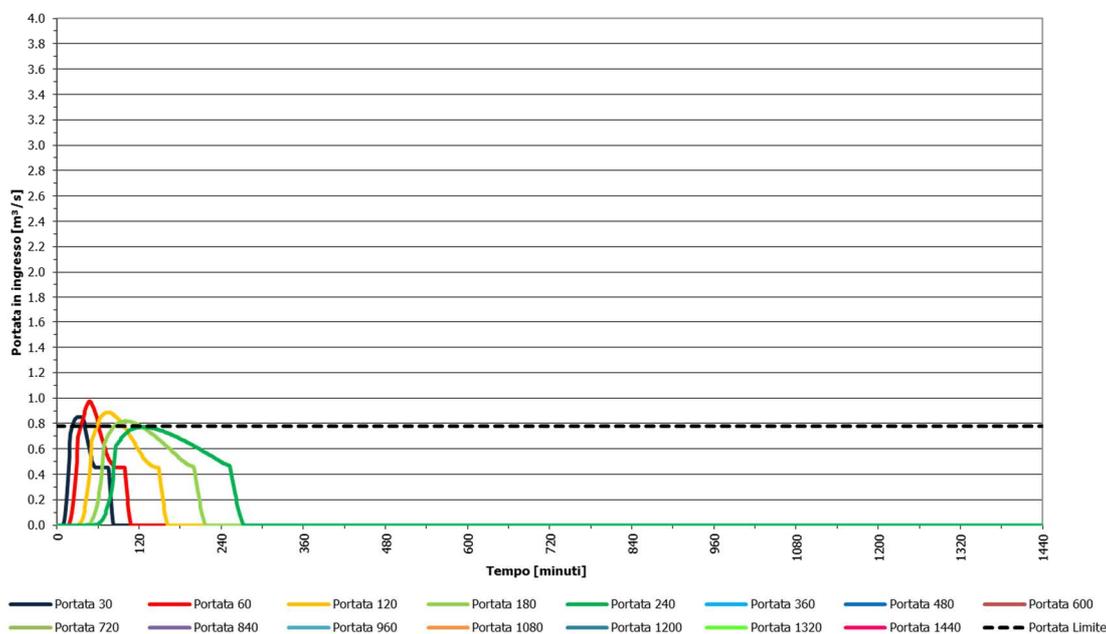
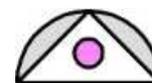


Figura 8.14 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'595.59	0.95	10.37
60	3'426.51	1.09	11.89
120	4'928.16	0.97	10.64
180	6'356.98	0.89	9.70
240	7'748.21	0.83	9.07
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.15 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

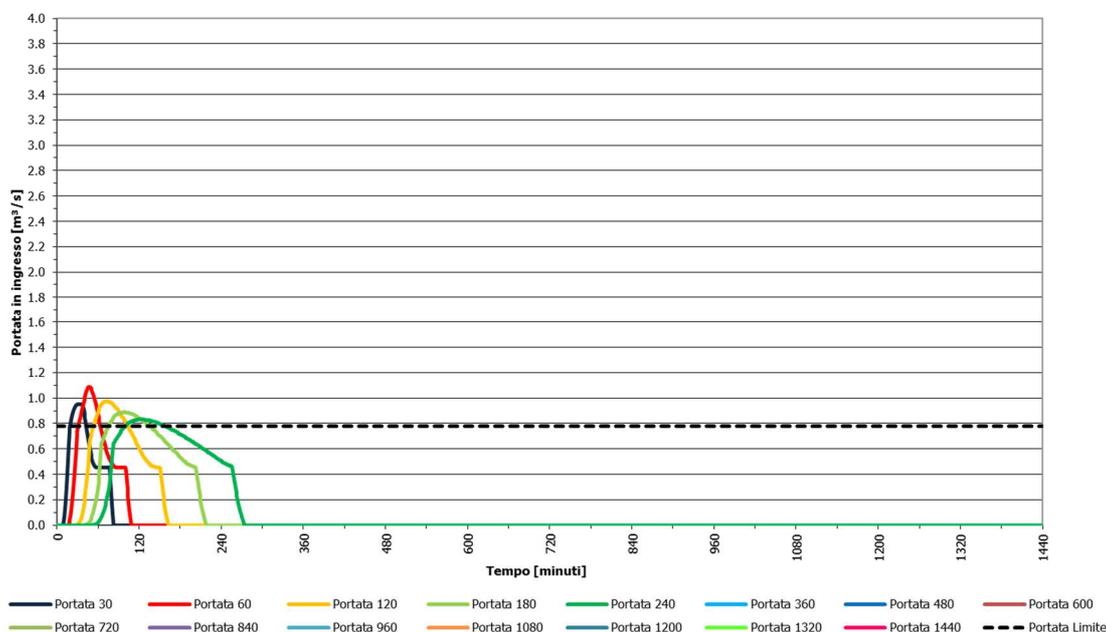
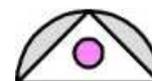


Figura 8.15 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF



8.1.2.5 Idrogrammi di piena al nodo C07

Le portate in arrivo al nodo C06 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C06, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_EST, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C07).

In merito ai dati riportati nel seguito si evidenzia come al crescere del tempo di ritorno dell’evento (e al conseguente aumento delle portate in arrivo al nodo lungo i due percorsi sopra specificati) diventi via via più significativo l’effetto dei vincoli geometrici presenti sulla rete, per cui per eventi di 50 e 100 anni la portata in arrivo al nodo sia la medesima per eventi di diversa durata solo perché i valori idrologici sono tagliati dalla capacità di convogliamento.

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'359.84	1.38	13.15
60	4'486.03	1.49	14.27
120	6'679.41	1.49	14.25
180	8'523.32	1.34	12.77
240	10'243.49	1.22	11.69
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.16 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

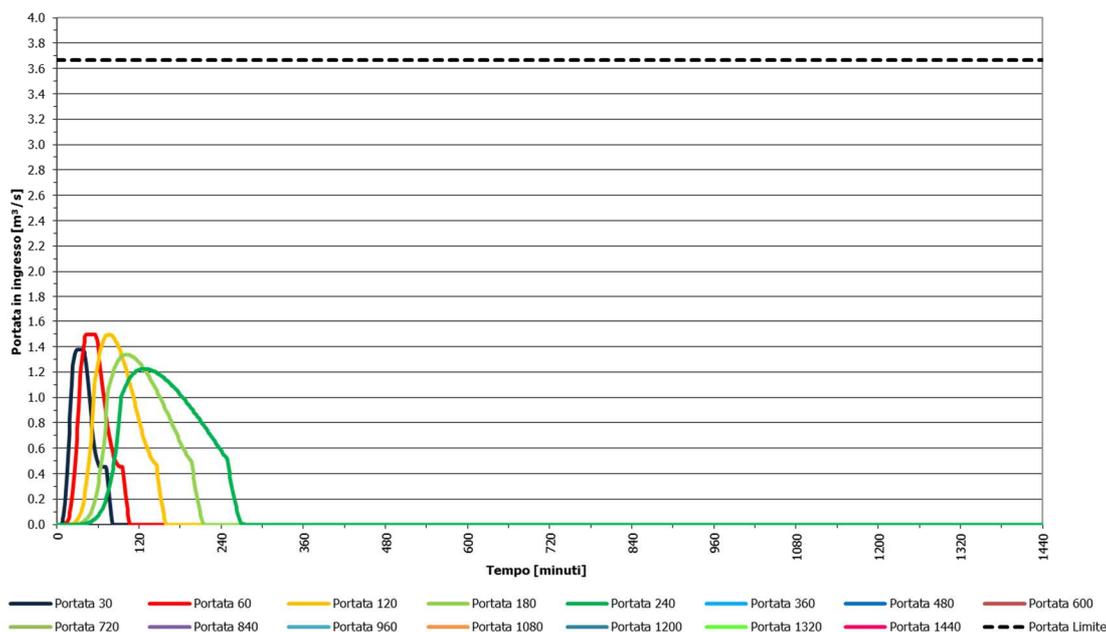


Figura 8.16 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello SDF

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'902.32	1.49	14.27
60	5'031.36	1.49	14.27
120	7'588.98	1.49	14.27
180	10'069.91	1.49	14.27
240	12'175.23	1.45	13.85
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.17 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

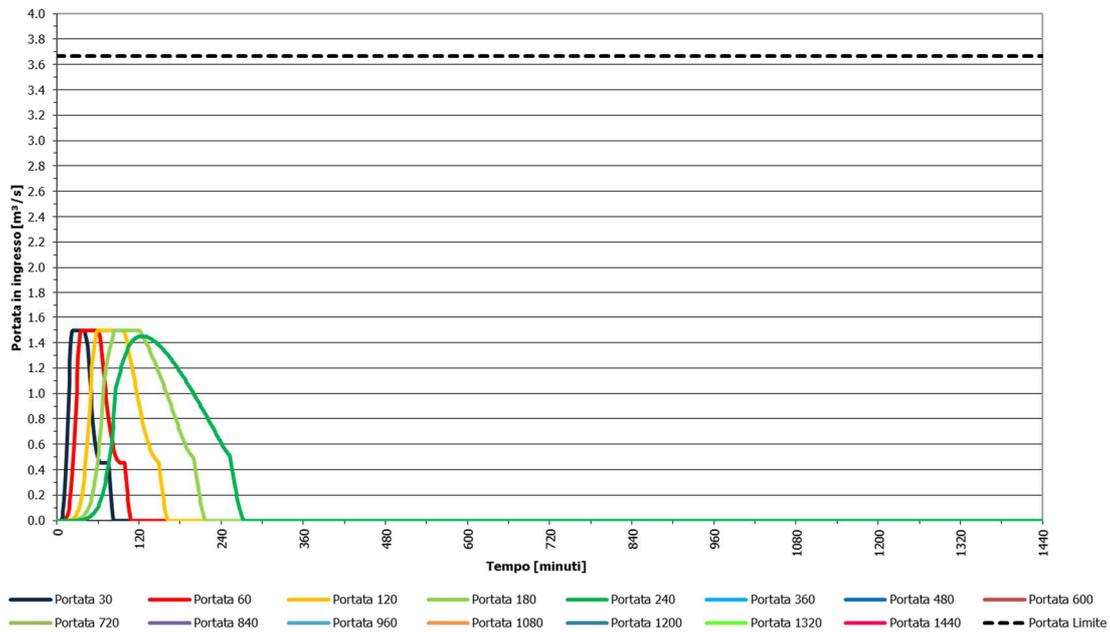
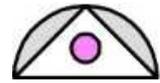


Figura 8.17 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello SDF

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	4'121.51	1.49	14.27
60	5'329.21	1.49	14.27
120	8'058.39	1.49	14.27
180	10'804.53	1.49	14.27
240	13'367.31	1.49	14.27
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.18 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

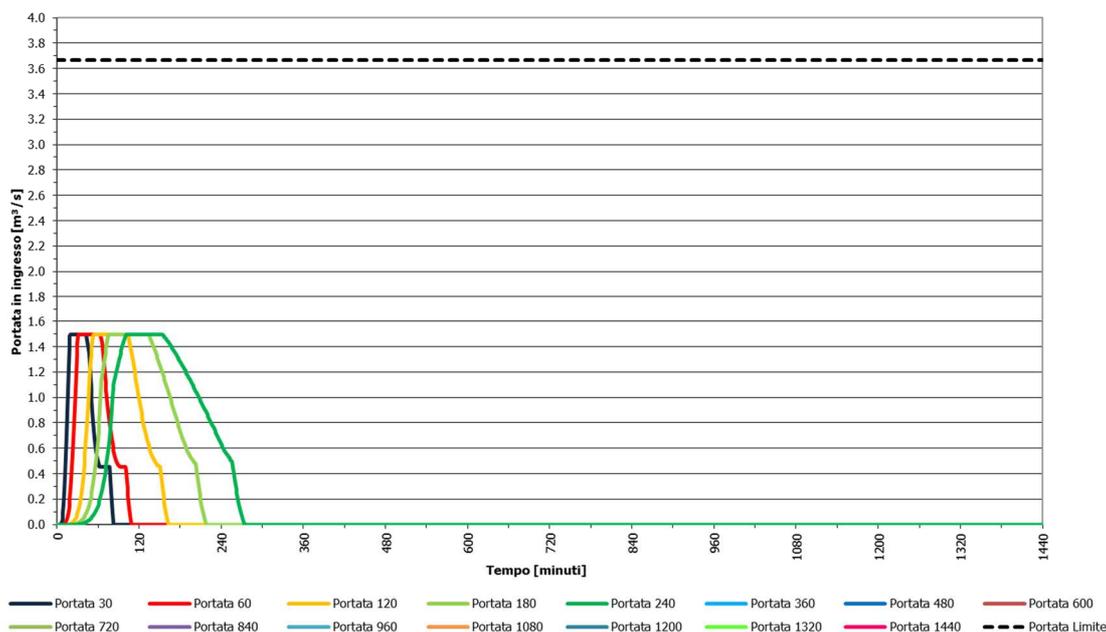
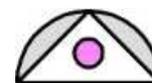


Figura 8.18 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello SDF

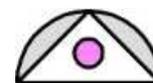
8.1.2.6 Considerazioni conclusive

L’analisi delle condizioni di funzionamento del collettore principale della rete nel tratto compreso tra l’attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e la Roggia Calciana 6.0.00 evidenzia una generale condizione di criticità.

A fronte di una capacità di convogliamento che rimane più o meno inalterata (se non altro in relazione al fatto che il collettore principale ha una sezione costante e pari a DN 800 mm) e che risulta già saturata in Via De Gasperi (nodo C03, come peraltro testimoniato dall’evidenza fisica), si ha un susseguirsi di immissioni successive e quindi una generalizzata condizione di insufficienza, che si sviluppa fino a valle dell’attraversamento della Roggia Calciana ove il canale emissario che raccoglie le acque sfiorate dai diversi manufatti presenti lungo la rete ha una sezione largamente sovrabbondante a convogliare le portate in arrivo.

Nodo	Portata massima 20 anni [m³/s]	Portata massima 50 anni [m³/s]	Portata massima 100 anni [m³/s]	Portata limite condotto di valle [m³/s]
C03	0.86	1.02	1.15	0.453
C04	0.61	0.69	0.71	0.453
C05	0.82	0.88	0.88	0.453
C06	0.83	0.97	1.09	0.780
C07	1.49	1.49	1.49	3.667

Tabella 8.19 Riassunto delle portate massime convogliate a ciascun nodo e della relativa capacità di convogliamento, modello SDF



8.2 RISULTATI SULLA MODELLAZIONE SUL MODELLO PRO02

I risultati della modellazione svolta sul modello PRO02 vengono presentati prima di quelli svolti sul modello PRO01 in quanto la proposta formulata nell'ambito di quest'ultimo (e che rappresenta la proposta di intervento strutturale che questo Studio fa propria) nasce sulla base delle criticità emerse in base all'analisi sul modello PRO02.

Appare pertanto opportuno descrivere i risultati di questa modellazione (che rappresenta una proposta più canonica, meno costosa [almeno in una sua accezione] e più in linea con le finalità del R.R. 07/2017 [nell'altra sua accezione]) per la mitigazione delle problematiche idrauliche ma che in definitiva appare poco efficace.

La soluzione proposta nel modello PRO02 prevede sostanzialmente la limitazione delle portate provenienti dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 a monte del collettore di Via De Gasperi ove si hanno le prime problematiche idrauliche.

La soluzione presa in esame prevede la laminazione di tali apporti ma può essere considerata rappresentativa anche di una soluzione, diversa ma improntata alla stessa logica, che prevede lo scarico delle portate eccedenti la capacità di convogliamento del tubo di Via De Gasperi nel Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 o nella Roggia Antegnata 5.0.00 o in ambedue.

La portata di dimensionamento dell'ipotetico bacino di laminazione / dell'ipotetico sfioro da posizionare sul lato Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 è dato da quanto descritto in precedenza al §6.4 e riportato nella tabella in calce:

Tempo di ritorno dell'evento	Portata convogliabile nel condotto di valle	Portata al colmo del bacino B_SEGMENTO_OVEST_04	Portata residua disponibile
[anni]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
20 anni	453	170	283
50 anni		240	213
100 anni		300	153

Tabella 8.20 Determinazione della portata convogliata nella sezione di valle attraverso il nodo tipo BASIN C02 (modello PRO02).

Sostanzialmente si determina la portata convogliabile verso valle in ragione della capacità residua del condotto di Via De Gasperi a fronte degli apporti comunque presenti e non controllabili.

Nell'accezione di questa proposta che preveda lo scarico delle portate in corpo idrico (e prescindendo dalle ovvie problematiche autorizzative di un simile scarico, su cui si tornerà nel seguito) in luogo della loro laminazione come ovvio le portate convogliate verso valle potrebbero essere considerate nulle ma, come si vedrà, tale ulteriore ottimizzazione non cambia le coordinate del problema.

8.2.1 Dimensionamento della vasca di laminazione sul nodo C02

L'ipotetica vasca di laminazione da posizionarsi sul nodo C02 avrebbe caratteristiche diverse (e quindi un diverso grado di efficienza) in ragione del tempo di ritorno sulla base della quale essa viene dimensionata:

- per evento con tempo di ritorno ventennale, la portata scaricabile viene imposta in 0.283 m³/s ed il conseguente volume di accumulo risulta pari a 10'386.22 m³;
- per evento con tempo di ritorno cinquantennale, la portata scaricabile viene imposta in 0.213 m³/s ed il



conseguente volume di accumulo risulta pari a 16'464.18 m³.

- per evento con tempo di ritorno centennale, la portata scaricabile viene imposta in 0.153 m³/s ed il conseguente volume di accumulo risulta pari a 21'650.44 m³.

In merito a quanto riportato nel seguito si evidenzia come per tutti e tre i tempi di ritorno considerati l'evento che massimizza il volume di laminazione sia quello di durata pari a 1 giorno (1440 minuti): ancorché tale risultato sia accettabile (per durate di pioggia superiore al giorno si utilizzano curve ARPA di tipo diverso [ovvero comprese tra 1 e 5 giorni] e decisamente meno penalizzanti in rapporto all'evento da 1 giorno, per cui il volume ricavato in base alle curve valide tra 1 e 24 ore è effettivamente quello massimo, nondimeno il risultato risulta indicativo di un dimensionamento della vasca al limite della fattibilità tecnica: la portata di svuotamento è troppo sottodimensionata rispetto agli apporti del bacino dominante per garantire un funzionamento ragionevolmente rapido della vasca.

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]	Volume accumulato [m³]
30	1'791.52	0.63	27.31	847.86
60	2'361.53	0.72	30.99	1'187.11
120	3'532.55	0.71	30.55	1'822.03
180	4'722.68	0.68	29.47	2'428.03
240	5'921.33	0.66	28.64	3'018.49
360	8'303.82	0.64	27.51	4'135.27
480	10'587.57	0.62	26.78	5'144.66
600	12'778.51	0.61	26.26	6'068.08
720	14'851.74	0.60	25.87	6'901.55
840	16'818.92	0.59	25.55	7'655.56
960	18'691.27	0.59	25.30	8'338.70
1'080	20'455.34	0.58	25.08	8'948.74
1'200	22'129.56	0.58	24.90	9'494.33
1'320	23'701.61	0.57	24.74	9'972.13
1'440	25'180.75	0.57	24.60	10'386.22

Tabella 8.21 Portate massime in ingresso e volumi massimi invasati nella vasca di laminazione C02 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale modello PRO02

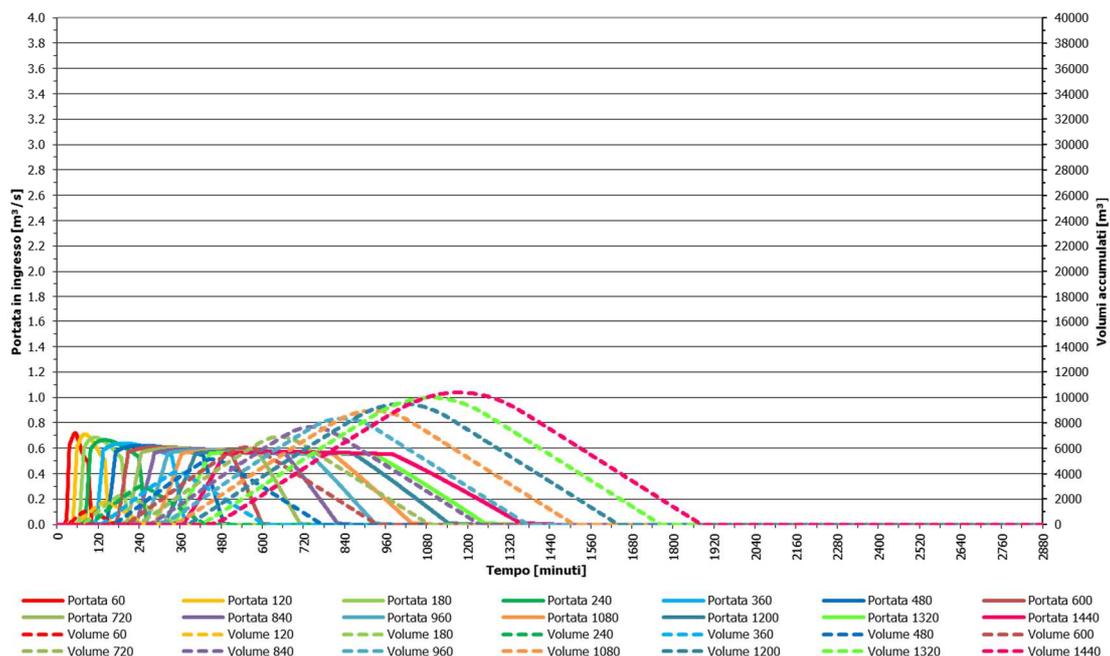


Figura 8.19 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate entranti e dei volumi accumulati nella vasca di laminazione C02, tempo di ritorno ventennale modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]	Volume accumulato [m³]
30	2'061.01	0.71	30.45	1'292.35
60	2'727.38	0.81	35.11	1'765.18
120	4'048.53	0.79	33.90	2'652.86
180	5'359.15	0.75	32.22	3'496.13
240	6'662.37	0.72	31.01	4'313.90
360	9'260.53	0.68	29.39	5'901.65
480	11'778.89	0.66	28.38	7'387.72
600	14'222.01	0.64	27.66	8'789.81
720	16'564.01	0.63	27.12	10'102.98
840	18'814.73	0.62	26.70	11'335.75
960	20'985.09	0.61	26.35	12'497.75
1'080	23'062.26	0.60	26.07	13'585.10
1'200	25'064.95	0.60	25.82	14'610.01
1'320	26'980.96	0.59	25.61	15'567.57
1'440	28'820.59	0.59	25.43	16'464.18

Tabella 8.22 Portate massime in ingresso e volumi massimi invasati nella vasca di laminazione C02 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale modello PRO02

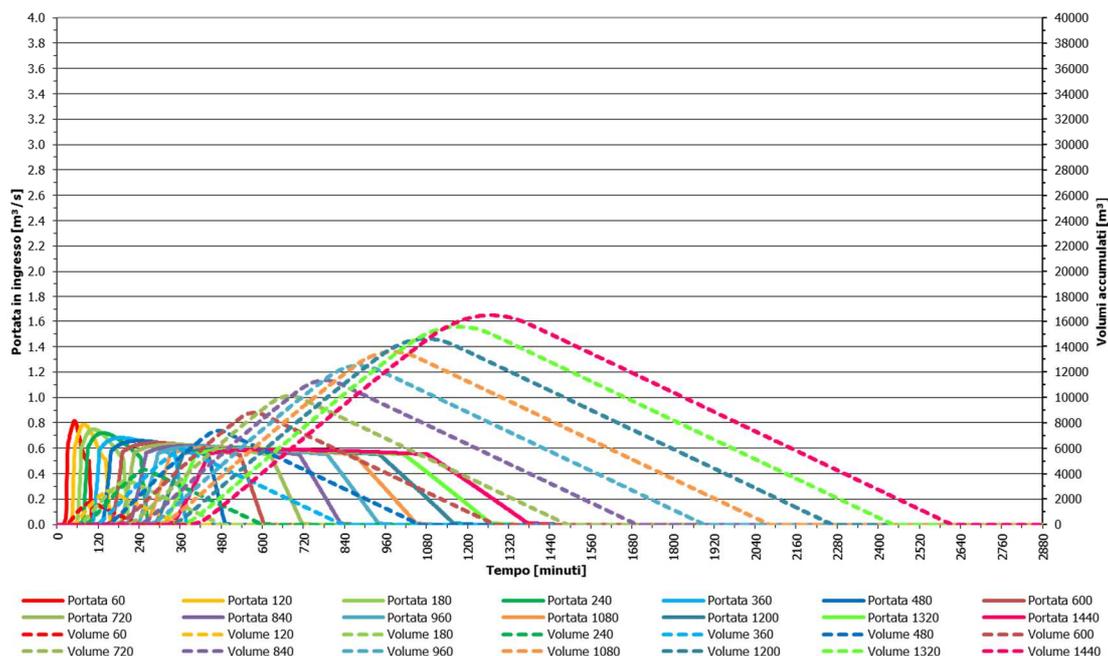


Figura 8.20 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate entranti e dei volumi accumulati nella vasca di laminazione C02, tempo di ritorno cinquantennale modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]	Volume accumulato [m³]
30	2'244.52	0.77	33.17	1'665.67
60	2'989.05	0.89	38.57	2'263.45
120	4'415.67	0.85	36.66	3'364.48
180	5'809.46	0.80	34.48	4'408.31
240	7'186.59	0.76	32.94	5'422.40
360	9'924.72	0.72	30.92	7'407.18
480	12'590.77	0.69	29.67	9'303.18
600	15'186.31	0.67	28.78	11'115.20
720	17'689.04	0.65	28.13	12'837.65
840	20'107.28	0.64	27.61	14'480.33
960	22'451.79	0.63	27.19	16'052.32
1080	24'710.36	0.62	26.85	17'547.86
1200	26'901.57	0.62	26.55	18'981.37
1320	29'013.32	0.61	26.30	20'346.31
1440	31'055.92	0.61	26.08	21'650.44

Tabella 8.23 Portate massime in ingresso e volumi massimi invasati nella vasca di laminazione C02 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

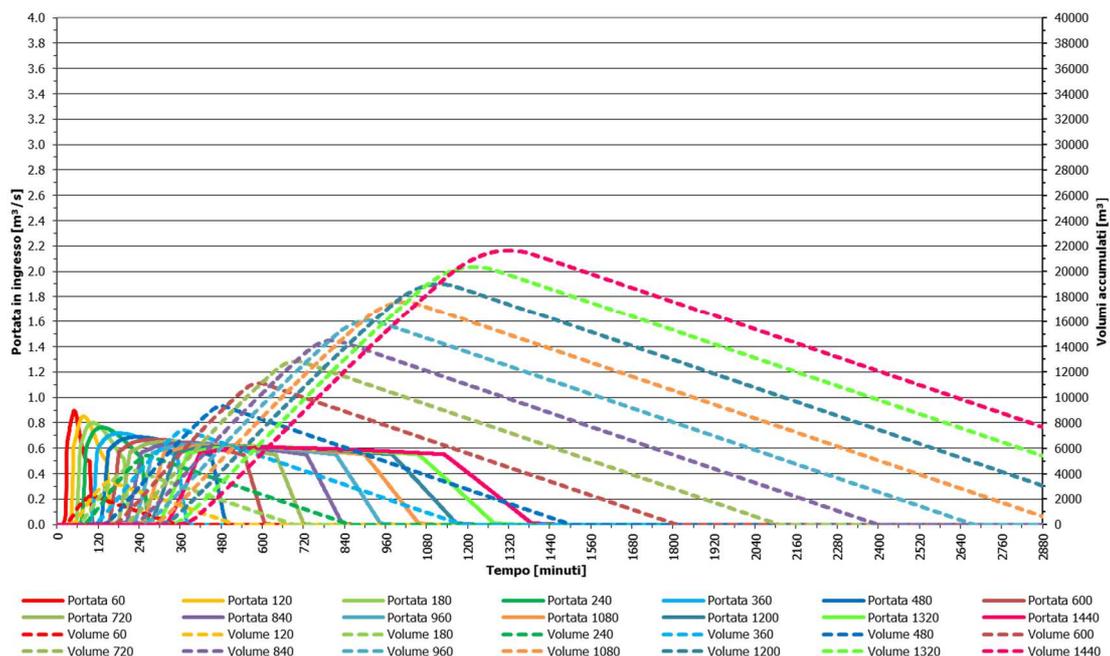


Figura 8.21 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate entranti e dei volumi accumulati nella vasca di laminazione C02, tempo di ritorno centennale, modello PRO02

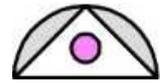
8.2.2 Determinazione del grado di insufficienza del collettore principale della rete (tratto C03-C08)

In ragione della misura strutturale della laminazione o dello scarico di una quotaparte significativa degli apporti in arrivo al nodo C02 appare necessario svolgere la medesima operazione di verifica del grado di insufficienza del collettore principale della rete nel nuovo scenario operativo.

8.2.2.1 Idrogrammi di piena al nodo C03

Le portate in arrivo al nodo C03 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00, come “tagliate” dal valore di dimensionamento del bacino di laminazione;
- le portate provenienti dal bacino direttamente gravitante sul nodo C03 (il bacino B_SEGMENTO_OVEST_04).



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	1'972.21	0.40	5.54
60	2'672.50	0.45	6.21
120	4'031.91	0.43	5.91
180	5'365.48	0.41	5.63
240	6'683.22	0.40	5.43
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.24 Portate massime in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

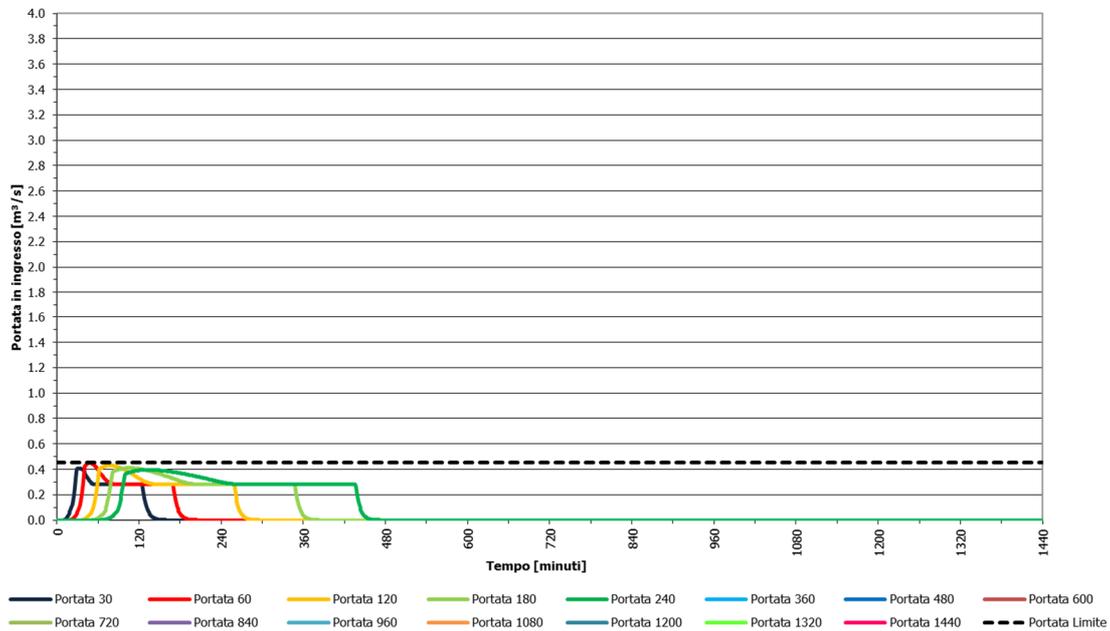
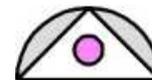


Figura 8.22 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'336.30	0.40	5.44
60	3'176.78	0.45	6.21
120	4'742.77	0.41	5.68
180	6'236.57	0.38	5.27
240	7'690.45	0.36	4.98
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.25 Portate massime in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

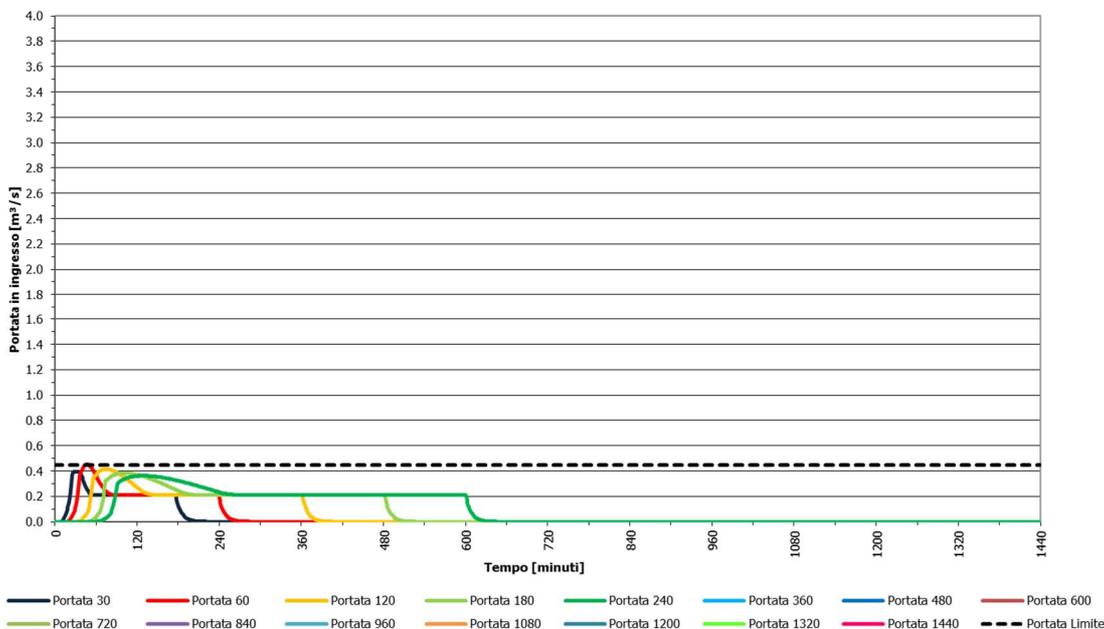


Figura 8.23 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'601.15	0.39	5.32
60	3'554.59	0.45	6.15
120	5'270.35	0.40	5.42
180	6'878.29	0.36	4.89
240	8'430.50	0.33	4.53
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.26 Portate massime in arrivo al nodo C03a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

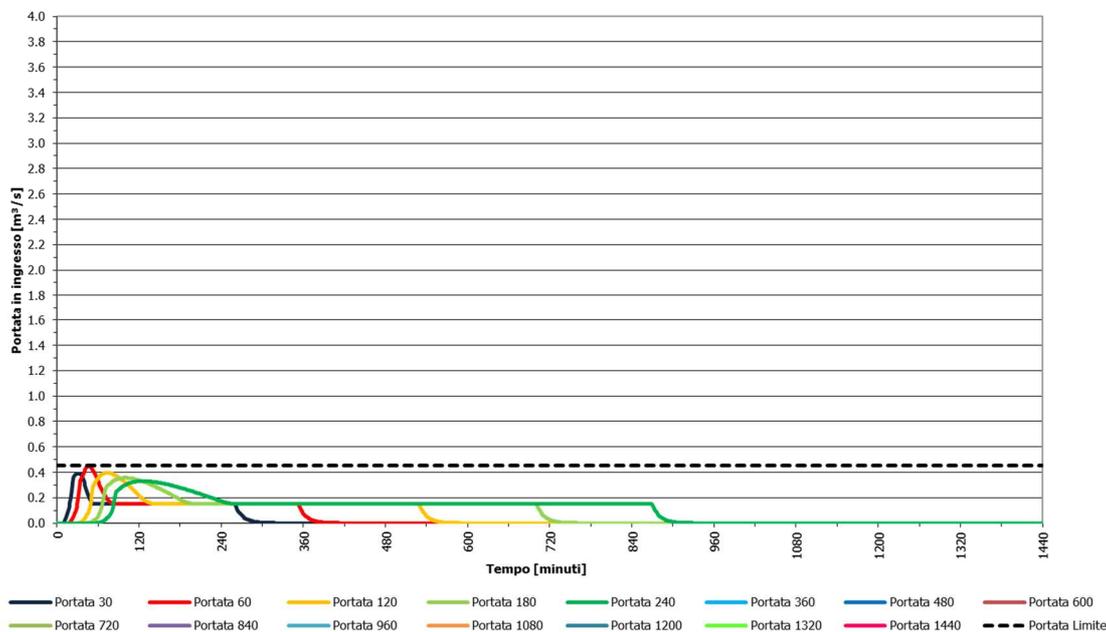


Figura 8.24 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02



8.2.2.2 Idrogrammi di piena al nodo C04

Le portate in arrivo al nodo C04 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C03, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_05, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C04).

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'131.64	0.51	6.60
60	2'964.88	0.61	7.98
120	4'522.65	0.58	7.54
180	6'010.16	0.54	7.04
240	7'457.06	0.51	6.67
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.27 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

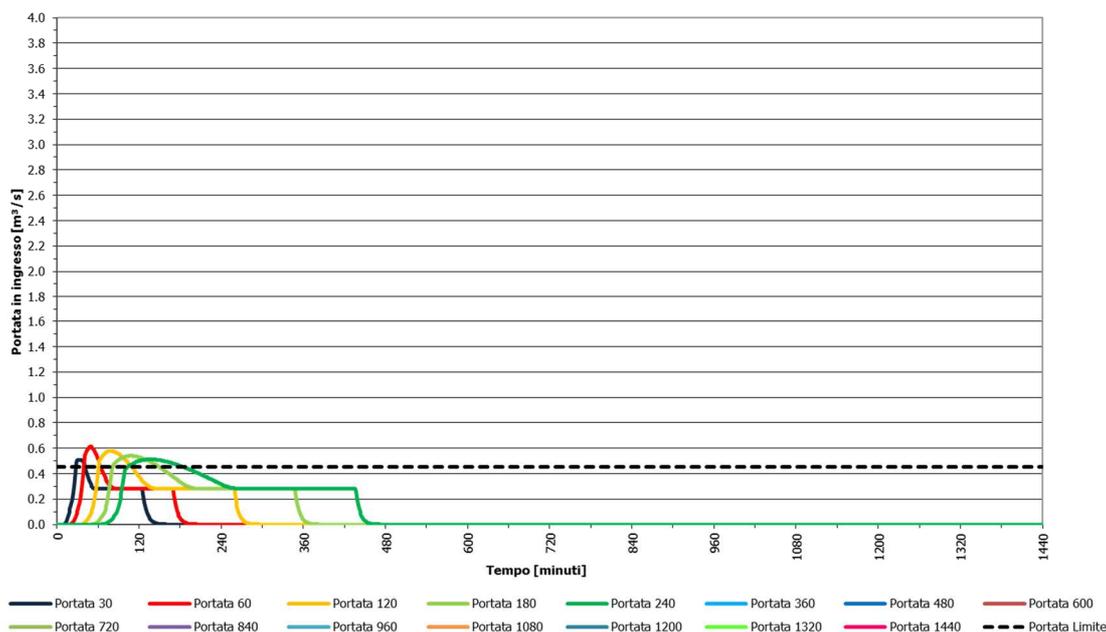
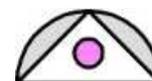


Figura 8.25 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'591.81	0.56	7.31
60	3'614.40	0.69	8.95
120	5'443.10	0.62	8.08
180	7'136.62	0.56	7.31
240	8'756.17	0.52	6.78
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.28 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

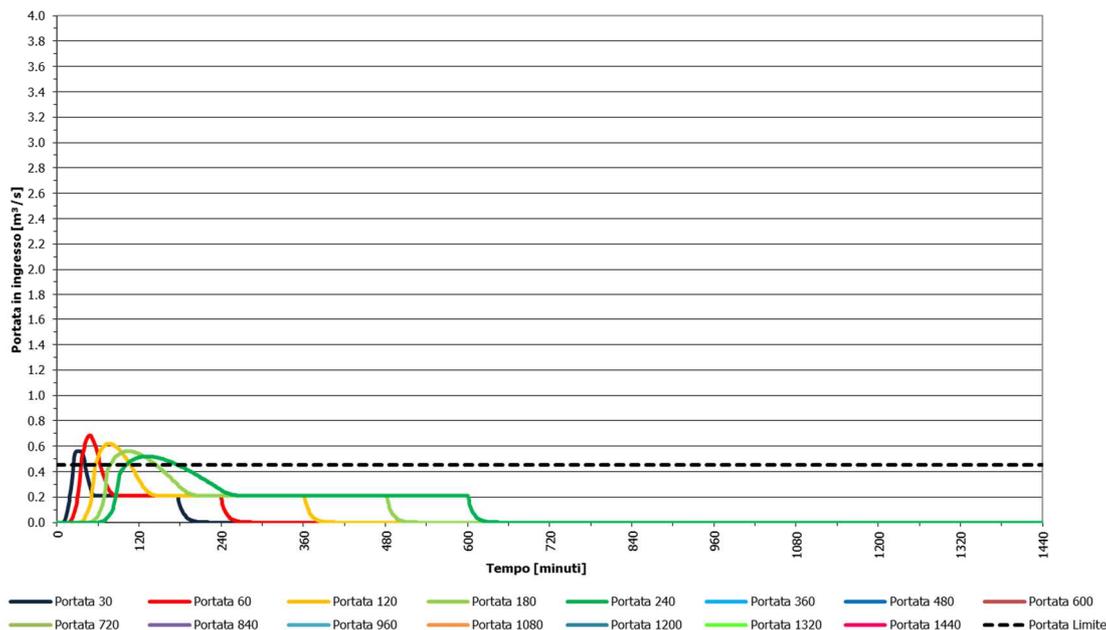
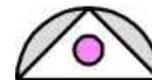


Figura 8.26 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'941.08	0.61	7.90
60	4'098.30	0.71	9.25
120	6'145.49	0.65	8.46
180	7'989.02	0.57	7.46
240	9'735.41	0.52	6.79
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.29 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

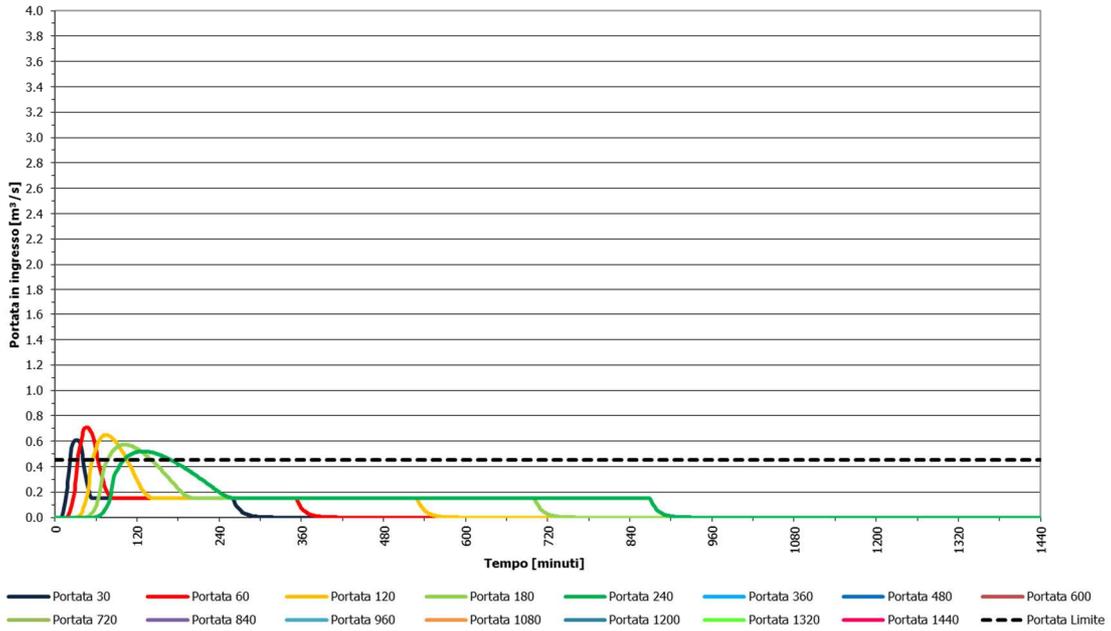
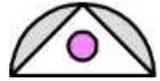
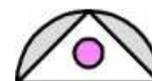


Figura 8.27 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02



8.2.2.3 Idrogrammi di piena al nodo C05

Le portate in arrivo al nodo C05 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C04, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_CENTRO_01, come "tagliate" dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C05).

In merito ai dati riportati nel seguito si evidenzia come al crescere del tempo di ritorno dell'evento (e al conseguente aumento delle portate in arrivo al nodo lungo i due percorsi sopra specificati) diventi via via più significativo l'effetto dei vincoli geometrici presenti sulla rete, per cui per eventi di 50 e 100 anni la portata in arrivo al nodo sia la medesima per eventi di diversa durata solo perché i valori idrologici sono tagliati dalla capacità di convogliamento.

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'556.62	0.65	7.65
60	3'609.57	0.80	9.40
120	5'582.59	0.82	9.63
180	7'465.55	0.78	9.14
240	9'280.81	0.75	8.75
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.30 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

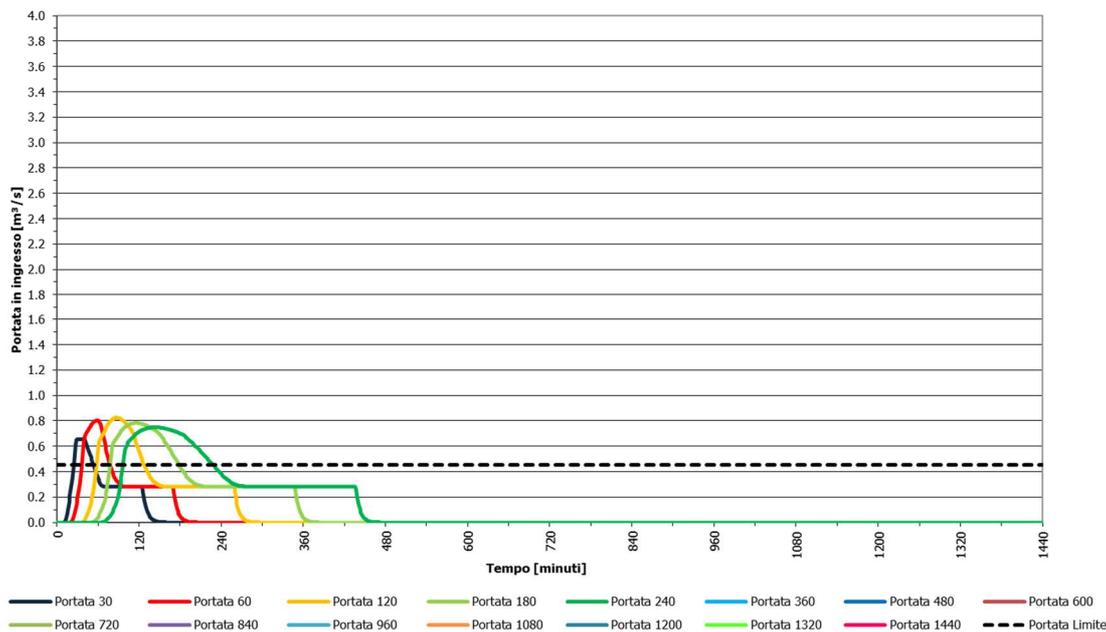
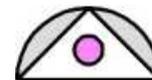


Figura 8.28 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'214.27	0.76	8.94
60	4'474.44	0.88	10.25
120	6'836.23	0.88	10.25
180	9'153.74	0.88	10.25
240	11'286.54	0.85	9.91
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.31 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

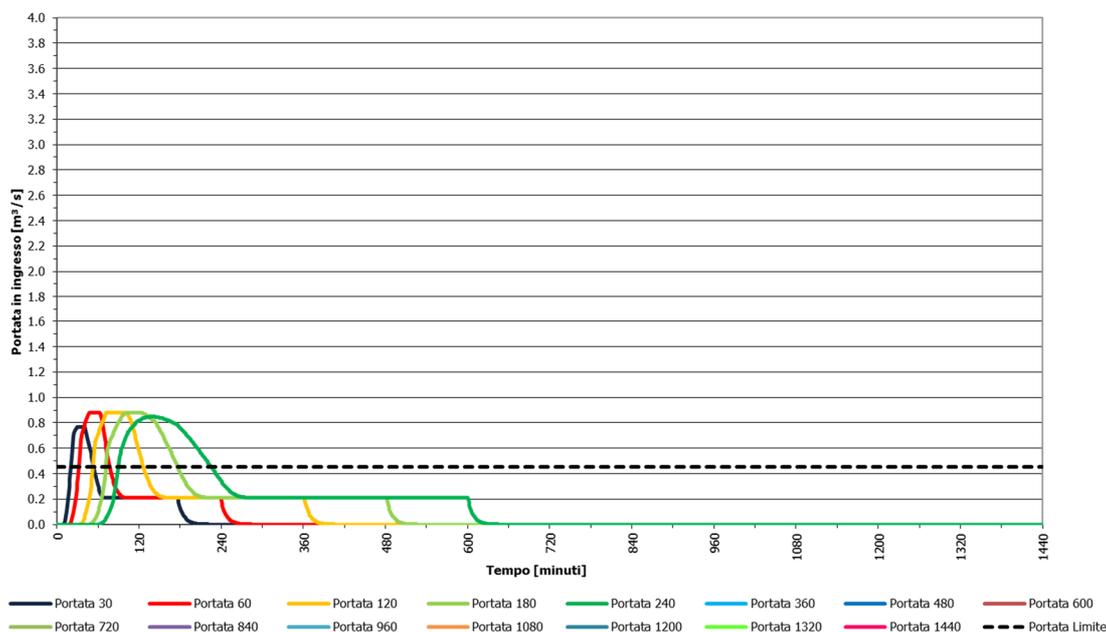


Figura 8.29 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'734.41	0.86	10.04
60	5'043.40	0.88	10.25
120	7'678.24	0.88	10.25
180	10'279.12	0.88	10.25
240	12'757.99	0.88	10.25
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.32 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

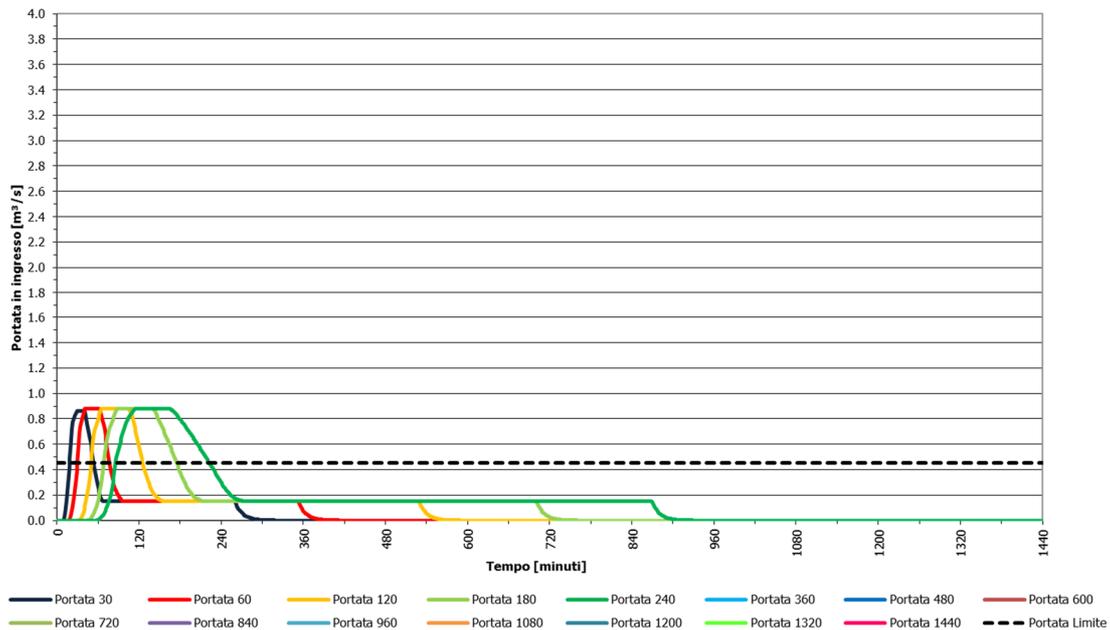
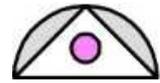


Figura 8.30 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

8.2.2.4 Idrogrammi di piena al nodo C06

Le portate in arrivo al nodo C06 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C05, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_CENTRO_02, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C06).



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'758.93	0.72	7.90
60	3'749.63	0.83	9.07
120	5'637.90	0.78	8.49
180	7'476.86	0.73	7.96
240	9'284.84	0.70	7.60
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.33 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

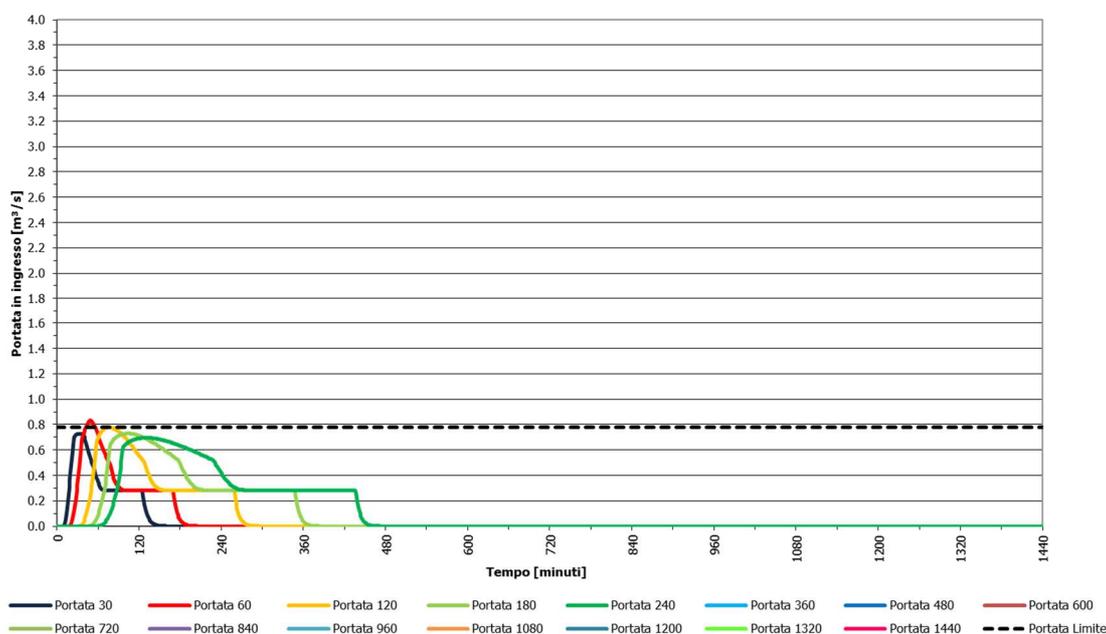
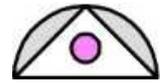


Figura 8.31 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'421.61	0.85	9.24
60	4'651.20	0.97	10.62
120	6'939.65	0.89	9.68
180	9'127.31	0.82	8.92
240	11'255.71	0.77	8.41
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.34 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

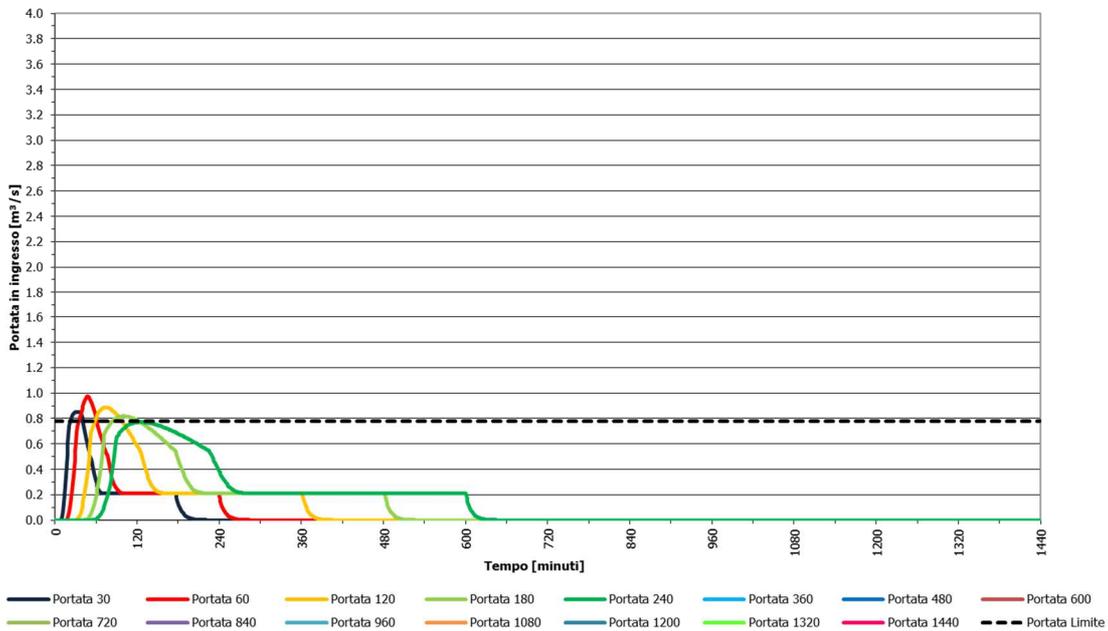
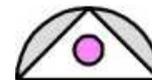


Figura 8.32 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'940.76	0.95	10.37
60	5'373.58	1.09	11.89
120	7'982.29	0.97	10.64
180	10'450.41	0.89	9.70
240	12'838.59	0.83	9.07
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.35 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

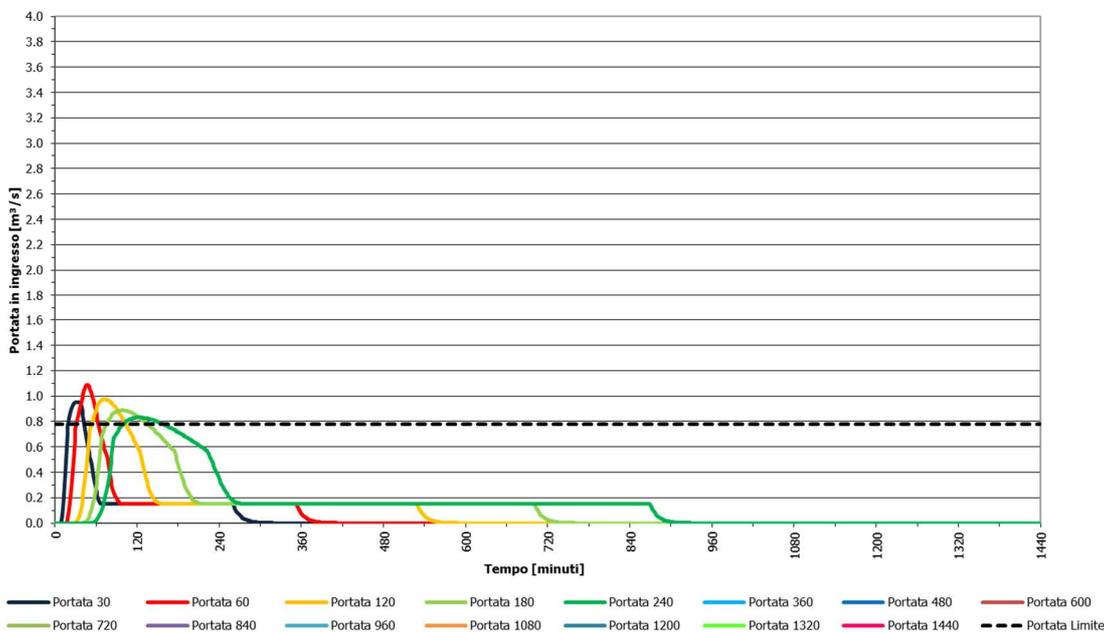


Figura 8.33 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02



8.2.2.5 Idrogrammi di piena al nodo C07

Le portate in arrivo al nodo C06 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C06, come tagliate dalla capacità di convogliamento della tubazione del collettore principale;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_EST, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C07).

In merito ai dati riportati nel seguito si evidenzia come al crescere del tempo di ritorno dell’evento (e al conseguente aumento delle portate in arrivo al nodo lungo i due percorsi sopra specificati) diventi via via più significativo l’effetto dei vincoli geometrici presenti sulla rete, per cui per eventi di 50 e 100 anni la portata in arrivo al nodo sia la medesima per eventi di diversa durata solo perché i valori idrologici sono tagliati dalla capacità di convogliamento.

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	4'089.83	1.38	13.15
60	5'569.74	1.49	14.27
120	8'415.87	1.49	14.25
180	10'878.37	1.34	12.77
240	13'193.03	1.22	11.69
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.36 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

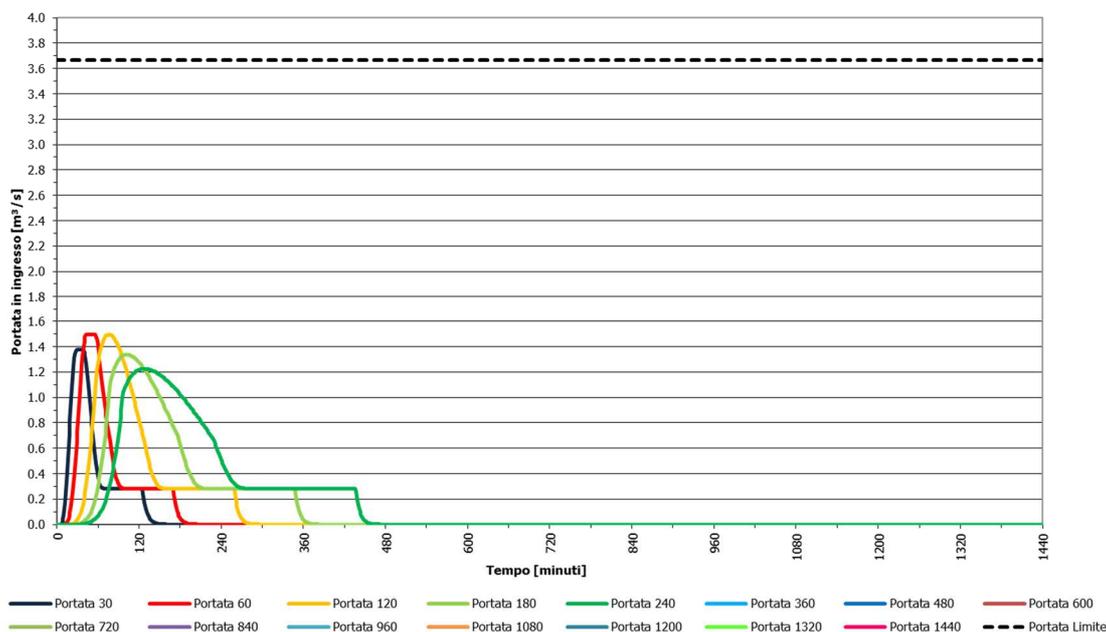
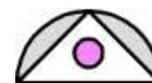


Figura 8.34 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	4'965.28	1.49	14.27
60	6'580.12	1.49	14.27
120	10'036.55	1.49	14.27
180	13'364.22	1.49	14.27
240	16'280.85	1.45	13.85
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.37 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

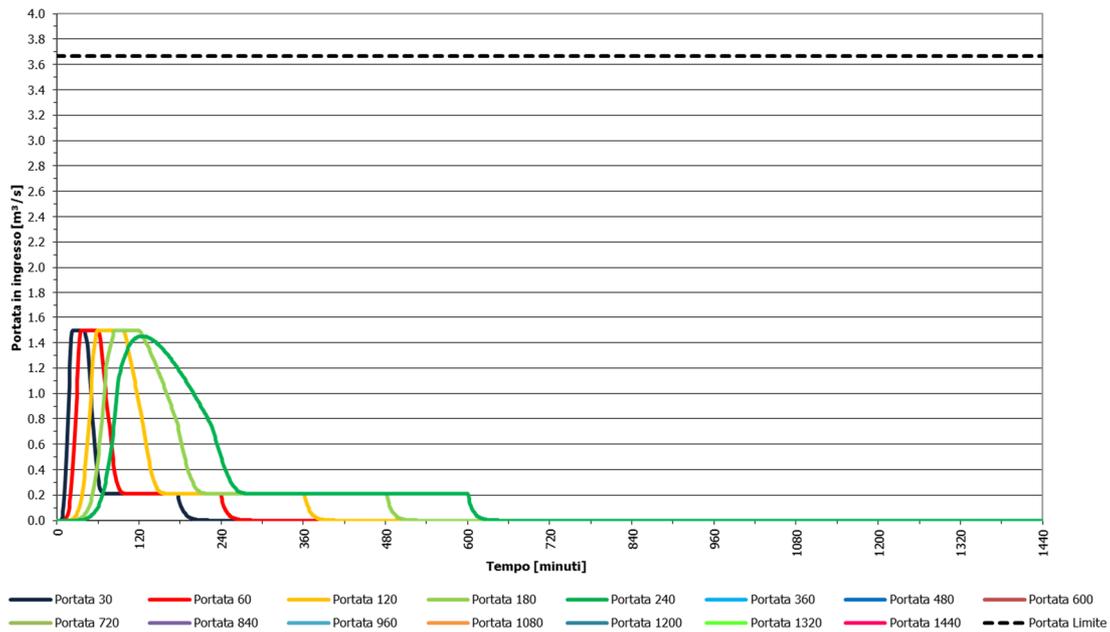
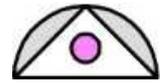


Figura 8.35 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	5'466.68	1.49	14.27
60	7'276.28	1.49	14.27
120	11'112.52	1.49	14.27
180	14'897.95	1.49	14.27
240	18'457.69	1.49	14.27
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.38 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

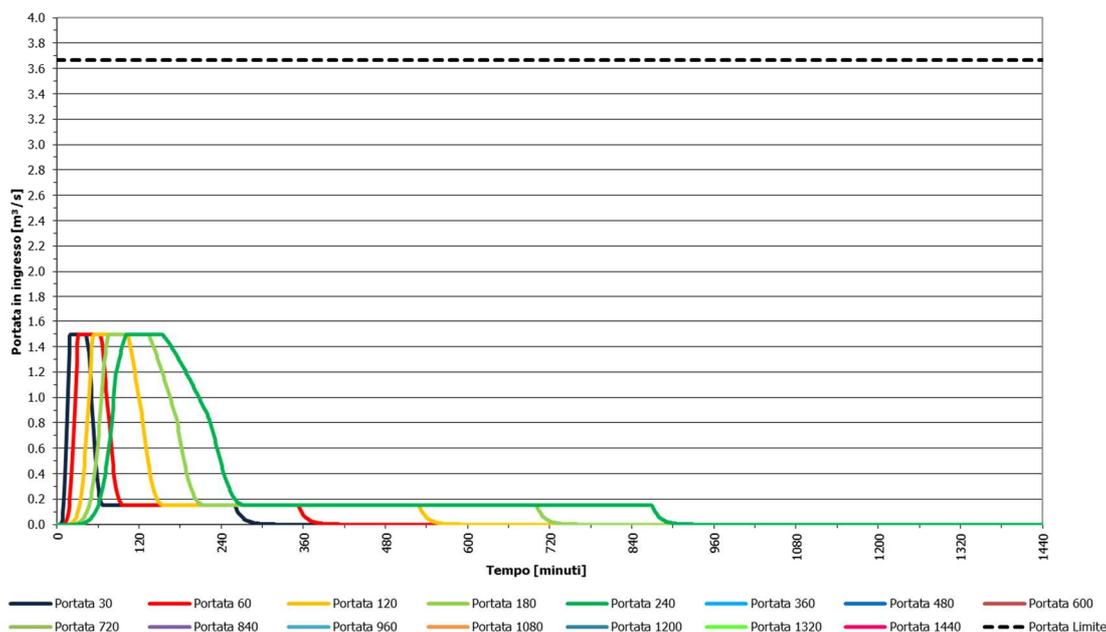
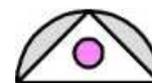


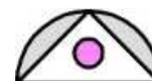
Figura 8.36 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO02

8.2.3 Considerazioni conclusive

L’analisi delle condizioni di funzionamento del collettore principale della rete nel tratto compreso tra l’attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e la Roggia Calciana 6.0.00 a seguito di un intervento di limitazione delle portate convogliate dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona individuato in via ipotetica con una laminazione ma che per le finalità del presente Studio potrebbe essere anche quello dell’apertura di un nuovo scaricatore di piena nel Naviglio Civico stesso o nella Roggia Antegnata, evidenzia quanto segue.

Sostanzialmente un intervento di limitazione delle portate in arrivo al nodo C02 riveste un effetto solo sul tratto del collettore principale che si estende lungo Via De Gasperi; dal momento che la capacità di convogliamento del condotto resta inalterata proseguendo verso valle, la problematicità dello stesso resta inalterata rispetto alla situazione attuale a partire dall’immissione del bacino B_SEGMENTO_OVEST_05.

Nella configurazione proposta si è previsto di convogliare a valle del nodo C02 una quotaparte non preponderante ma comunque significativa degli apporti provenienti da monte; nell’ipotesi (non scevra da criticità, come si vedrà) di scaricare tali apporti nel Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e/o nella Roggia Antegnata 5.0.00 gli apporti dal nodo C02 potrebbero essere azzerati (al netto delle portate nere diluite che, nell’ambito di questa analisi non vengono prese in esame in quanto di 1 – 2 ordini di grandezza inferiori alle portate meteoriche), ma gli effetti sarebbero parimenti limitati sul collettore principale: poiché esso è così fortemente sottodimensionato rispetto agli apporti dei bacini dominanti che vi confluiscono a monte dell’attraversamento della Roggia Calciana 6.0.00, la quotaparte della capacità idraulica liberata dall’azzeramento degli apporti dal nodo C02 sarebbe saturata dal primo degli apporti che vi confluisca (il bacino B_SEGMENTO_OVEST_05) senza dare luogo a significativi miglioramenti verso valle.



Nodo	Portata massima 20 anni [m ³ /s]	Portata massima 50 anni [m ³ /s]	Portata massima 100 anni [m ³ /s]	Portata limite condotto di valle [m ³ /s]
C03	0.45 <i>(0.86)</i>	0.45 <i>(1.02)</i>	0.45 <i>(1.15)</i>	0.453
C04	0.61 <i>(0.61)</i>	0.69 <i>(0.69)</i>	0.71 <i>(0.71)</i>	0.453
C05	0.82 <i>(0.82)</i>	0.88 <i>(0.88)</i>	0.88 <i>(0.88)</i>	0.453
C06	0.83 <i>(0.83)</i>	0.97 <i>(0.97)</i>	1.09 <i>(1.09)</i>	0.780
C07	1.49 <i>(1.49)</i>	1.49 <i>(1.49)</i>	1.49 <i>(1.49)</i>	3.667

Tabella 8.39 Riassunto delle portate massime convogliate a ciascun nodo e della relativa capacità di convogliamento, modello PRO02. Tra parentesi in corsivo i valori corrispondenti al modello SDF.

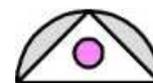
Pertanto, l'intervento di riduzione delle portate provenienti dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00, che consista in una modulazione o in uno scarico tout court nella rete idrografica non può in ogni caso prescindere da un risezionamento del collettore tra i nodi C02 e C07:

- in relazione alla mitigazione delle problematiche riscontrate su Via Orsi, in quanto le portate affluenti dagli altri bacini dominanti il collettore principali sono di entità tale da azzerare il beneficio dato dalla riduzione degli apporti al nodo C02;
- in relazione (probabilmente) anche alla mitigazione delle problematiche stesse riscontrate su Via De Gasperi: il presente modello idrologico non prende come ovvio in esame gli effetti di rigurgito indotti dalla rete di Via Orsi su Via De Gasperi e Via Kennedy, ma non si può escludere che data l'importanza delle portate immesse ai nodi C04, C05 e C06 dagli altri bacini tributari e la ridotta pendenza del collettore principale su Via De Gasperi l'effetto di rigurgito su questa strada dato dai problemi di Via Orsi si estenda verso monte fino di fatto ad annullare il beneficio dato dalla riduzione delle portate provenienti dal nodo C02.

A fronte di limitati benefici dal punto di vista idraulico, la soluzione di "tagliare" gli idrogrammi di piena in arrivo al nodo C02 presenta tuttavia una serie di problematiche di tipo tecnico non secondarie:

1. qualora si preveda di conseguire tale "taglio" attraverso una laminazione occorre tenere di due aspetti:
 - la problematica è di tipo **globale**, concerne cioè ampie porzioni del territorio urbanizzato (il bacino che grava sul nodo B02 ha un'estensione nell'ordine di 23 ha).

Gli idrogrammi di piena alle sezioni di chiusura del nodo idraulico sono pertanto di entità significativa, sia in termini di portata al colmo, sia in termini di volumi complessivi e l'opera strutturale conseguente ha dimensioni corrispondenti: in base a quanto riportato al precedente §8.2.1 i volumi di laminazione sono rispettivamente pari a 10'386 m³ (opera dimensionata per far fronte all'evento ventennale); 16'464.18 m³ (opera dimensionata per far fronte all'evento cinquantennale); 21'650.44 m³ (opera dimensionata per far fronte all'evento centennale);



- la rete fognaria di Calcio è per la pressoché totalità di tipo **misto**, raccoglie cioè indistintamente acque reflue ed acque fognarie.

In ragione delle due caratteristiche sopra citate la definizione di misure strutturali improntate al principio dell'invarianza idraulica, ovvero la volanizzazione di parte delle reti afferenti al nodo idraulico, così da ridurre i picchi di piena appare problematica (anche prescindendo dalla citata prevista limitata efficacia dell'intervento), in quanto la laminazione su reti fognarie miste presenta criticità legate alla natura inquinante delle acque:

- la laminazione direttamente delle acque miste necessita di importanti opere di pretrattamento (peraltro dettagliate all'interno di un documento ufficiale della Regione Lombardia (D.G.R. 23.12.2019 n. XI/2723 "*Linea guida per la progettazione e realizzazione di sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da scarichi di sfioratori di reti fognarie*") e la realizzazione di idonei presidi finalizzati alla mitigazione degli impatti delle opere (quali l'impermeabilizzazione delle superfici ed eventualmente la copertura e la deodorizzazione delle vasche).

Si tratta di opere che, prescindendo dai volumi e dalle superfici richieste e dagli oneri economici realizzativi e gestionali comunque non trascurabili, sono poco collocabili in un ambito urbano o periurbano quale quello di interesse;

- alternativamente ai fini della volanizzazione delle acque meteoriche si potrebbe pensare ad una preliminare separazione della rete, così da disgiungere i percorsi della rete di drenaggio delle acque nere da quelli delle acque meteoriche.

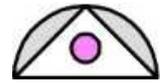
Tale seconda ipotesi di intervento *una volta completata la separazione* consente la realizzazione di opere di laminazione di limitato impatto sia in termini paesaggistici sia in termini di carichi inquinanti e sostanzialmente prive di impianti di pretrattamento: sulle reti meteoriche è possibile pensare ad una laminazione estensiva su aree a verde, opportunamente plantumate e inerbite ed arginate per evitare la divagazione delle acque.

Tale modalità intervento presenta l'importante criticità che, su reti esistenti e di una certa vetustà, è un processo molto oneroso in termini temporali e di controlli da parte dell'Ente Gestore la garanzia della completa separazione degli allacciamenti fognari in quanto, successivamente al completamento della separazione della rete pubblica, richiede l'esecuzione di opere da parte dei singoli utenti delle reti all'interno delle proprietà.

In tali circostanze non è neppure detto che si riesca anche in tempi lunghi ad arrivare ad una completa separazione della rete non solo per l'inerzia degli utenti ma anche perché, a volte, gli utenti stessi non conoscono la precisa organizzazione dei propri scarichi interni e quindi non sono in grado di garantirne una completa separazione.

In tali situazioni a livello progettuale si tende o a sovradimensionare le nuove tubazioni accettando come fisiologica la presenza residuale di una quotaparte delle acque bianche, allacciando in via provvisoria le utenze miste al nuovo tubo oppure a convogliare al nuovo tubo solo le utenze effettivamente nere, allacciando progressivamente a quest'ultimo le utenze man mano che vengono separate: in questo caso vi è un transitorio che può prolungarsi per anni in cui tutte e due le reti convogliano utenze di tipo misto.

Nel caso specifico è condizione *necessaria e inderogabile per l'attuazione degli interventi di volanizzazione* che la rete bianca nelle condizioni di progetto convogli solo ed esclusivamente acque di origine meteoriche, per consentire l'accumulo delle stesse con opere di basso impatto (ovvero aree a verde non impermeabilizzate).



2. Qualora si preveda di conseguire tale “taglio” mediante lo scarico di parte degli apporti meteorici provenienti dai bacini di monte nel Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e/o nella Roggia Antegnata occorre tener presenti due aspetti:

- Le portate che si intendono scaricare sono significative in termini quantitativi: tenuto conto che in ragione delle limitazioni geometriche presenti lungo la rete i collettori afferenti al nodo idraulico B02 possono convogliare 0.424 m³/s (B_SEGMENTO_OVEST_03) e 0.503 m³/s (B_SEGMENTO_OVEST_01 e B_SEGMENTO_OVEST_02) le portate scaricate in corpo idrico sono nell'ordine di alcune centinaia di l/s, cioè tali da poter ingenerare problematiche sui recapiti medesimi;
- I canali ove si intende scaricare hanno natura patrimoniale privata, non sono cioè corsi d'acqua pubblici, bensì canali in concessione la cui finalità e il cui utilizzo è funzionale ai fabbisogni degli utenti consorziati.

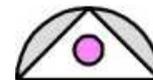
Ne consegue che la possibilità di scaricare al loro interno è soggetta ad un'autorizzazione da parte del Consorzio che ne è proprietario: l'ottenimento di tale autorizzazione è tutt'altro che scontato e, anche nel caso potesse essere raggiunto un accordo, questo sarebbe subordinato all'esecuzione di pretrattamenti finalizzati al miglioramento della qualità dell'effluente e, sicuramente, ad un limite quantitativo massimo, ovvero nuovamente ad una volanizzazione dello scarico.

In conclusione si ritiene che la limitazione degli apporti in arrivo al nodo B02:

- configuri risultati in termini di mitigazione della criticità idraulica conclamata del nodo di Via De Gasperi e di quello di Via Orsi nel complesso modesti e con oggettiva efficacia da valutare, a meno che non sia accompagnata da un risezionamento del collettore principale tra l'attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e la Roggia Calciana 6.0.00;
- possa essere conseguita mediante due diverse strategie, ambedue con un iter autorizzativo e realizzativo complesso:
 - mediante la volanizzazione degli apporti, con la necessità data la natura delle acque (fognatura mista) e dell'ampiezza dei bacini drenati di volumi ampi, da realizzarsi mediante strutture impermeabili e con impianti di pretrattamento;
 - mediante lo scarico in canali che convogliano acque in concessione a beneficio e per l'utilità di Consorzi privati, con la necessità di ottenere da questi un'autorizzazione allo scarico tutt'altro che scontata ed in ogni caso soggetta a limiti qualitativi e quantitativi sulle acque scaricate.

Tale modalità di intervento non appare praticabile almeno nel breve – medio periodo; la proposta che si formula all'interno del presente Studio e che viene descritta nel paragrafo seguente trae origine da alcune osservazioni già formulate nell'ambito dell'analisi dei modelli SDF e PRO02, ovvero:

- l'inderogabilità di un risezionamento del collettore principale della rete (inteso come canale che convoglia le acque meteoriche, come collettore di rete mista o come emissario di un sistema di scaricatori di piena) ai fini della mitigazione delle problematiche su Via Orsi e, probabilmente, anche su Via De Gasperi e Via Kennedy;
- il generoso dimensionamento della tubazione esistente diretta allo scarico nel Fiume Oglio posta a Est della Roggia Calciana 6.0.00, costituita da un tubo in cls DN 1'600 mm con una capacità di convogliamento nell'ordine di 3 – 4 m³/s oggi utilizzata al 40 – 50% in ragione dei vincoli esistenti sui condotti di monte.



8.3 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE SUL MODELLO PRO01

La soluzione proposta nel modello PRO01 prevede sostanzialmente il risezionamento del collettore principale nel tratto B02-B07 per essere in grado di accogliere gli apporti dei bacini urbani dominanti, come “tagliati” dai vincoli presenti sulla rete.

Il modello PRO01 si differenzia dal modello SDF solo in quanto rispetto a quest’ultimo sono rimossi i vincoli alle portate convogliabili presenti nei nodi B03, B04, B05 e B06: scopo della modellazione è proprio quello di determinare le portate massime che il collettore è chiamato a convogliare e sulla base di questo determinare l’entità del risezionamento.

L’unico vincolo che non viene rimosso è quello sul nodo B07, ovvero il canale emissario in CLS DN 1'600 mm diretto al Fiume Oglio, in quanto si è ipotizzato (e le analisi svolte lo hanno dimostrato) che questo sia già sufficientemente capiente per convogliare gli apporti di monte.

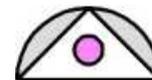
Rimandando al paragrafo 8.3.2 per una disamina dell’intervento nel suo complesso e delle relative problematiche (in primis il fatto che esso non è un intervento in invarianza) nei paragrafi seguenti si riassumono i risultati relativi a ciascun nodo della rete.

8.3.1 Determinazione delle portate in arrivo al collettore in assenza di vincoli geometrici su di esso (tratto C03-C08)

8.3.1.1 Idrogrammi di piena al nodo C03

Le portate in arrivo al nodo C03 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dai bacini posti a Ovest del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00, come “tagliate” dai vincoli presenti sulla rete dominante il nodo;
- le portate provenienti dal bacino direttamente gravitante sul nodo C03 (il bacino B_SEGMENTO_OVEST_04).



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	1'972.20	0.75	10.35
60	2'672.50	0.86	11.87
120	4'031.91	0.85	11.70
180	5'365.48	0.81	11.11
240	6'683.22	0.78	10.66
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.40 Portate massime in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

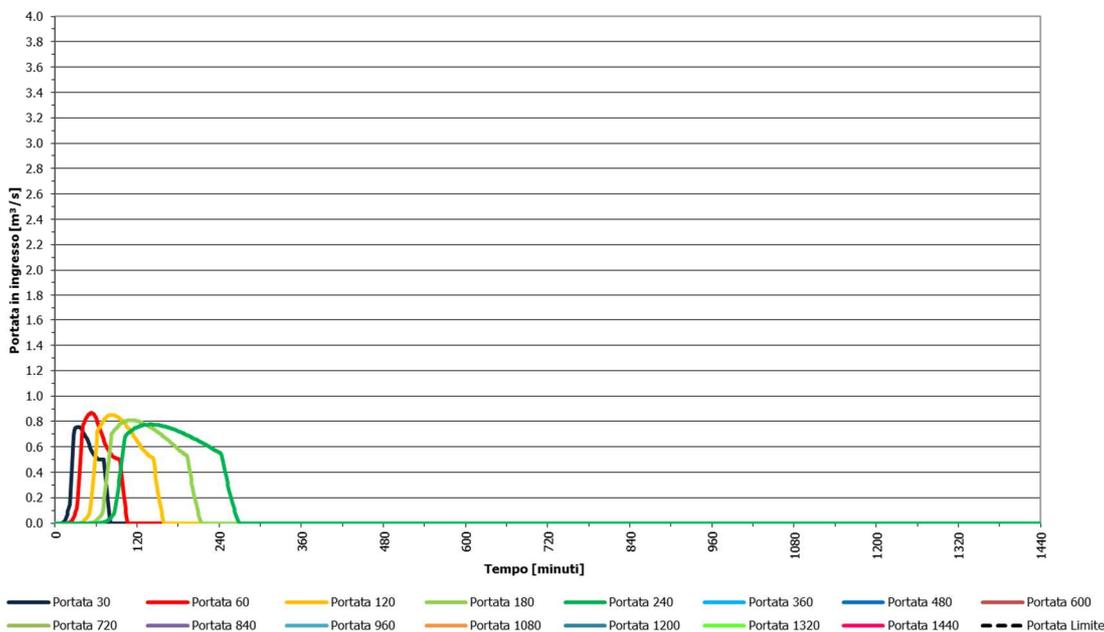
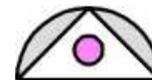


Figura 8.37 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'336.30	0.89	12.22
60	3'176.78	1.02	14.04
120	4'742.76	0.98	13.48
180	6'236.58	0.92	12.57
240	7'690.45	0.87	11.92
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.41 Portate massime in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

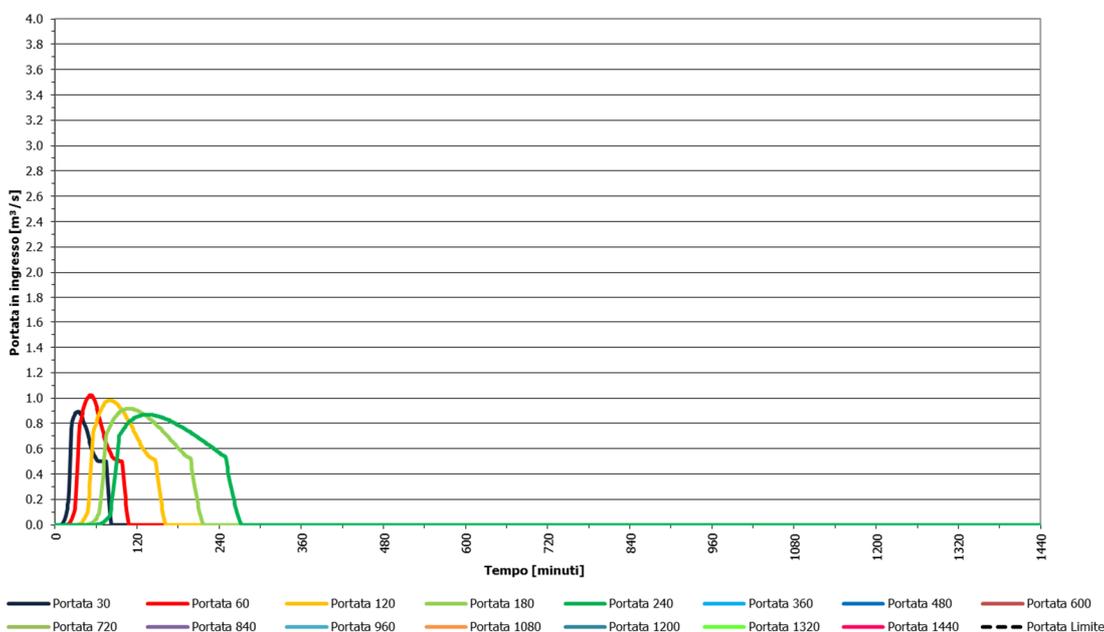
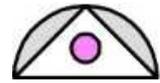


Figura 8.38 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01



Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m ³]	Portata al colmo [m ³ /s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'601.15	1.01	13.83
60	3'554.59	1.15	15.84
120	5'270.36	1.09	14.94
180	6'878.29	1.00	13.77
240	8'430.51	0.94	12.94
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.42 Portate massime in arrivo al nodo C03a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01

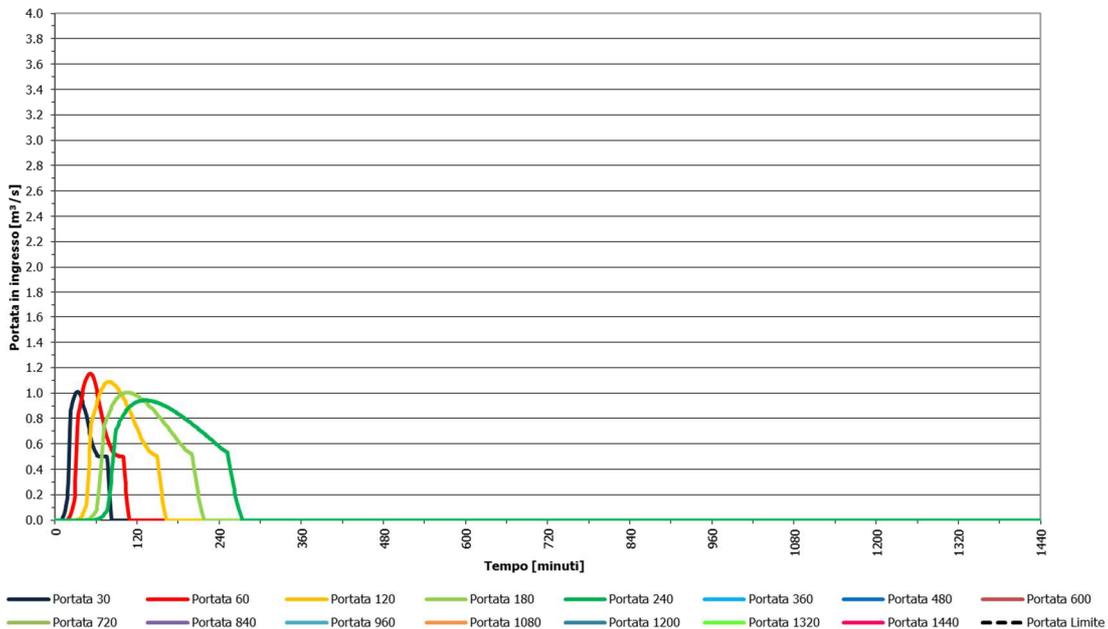


Figura 8.39 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C03 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01



8.3.1.2 Idrogrammi di piena al nodo C04

Le portate in arrivo al nodo C04 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C03, che nel modello PRO01 non vengono “tagliate”;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_OVEST_05, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C04).

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'131.64	0.86	11.17
60	2'964.88	1.02	13.34
120	4'522.65	1.00	13.03
180	6'010.17	0.94	12.24
240	7'457.06	0.89	11.64
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.43 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

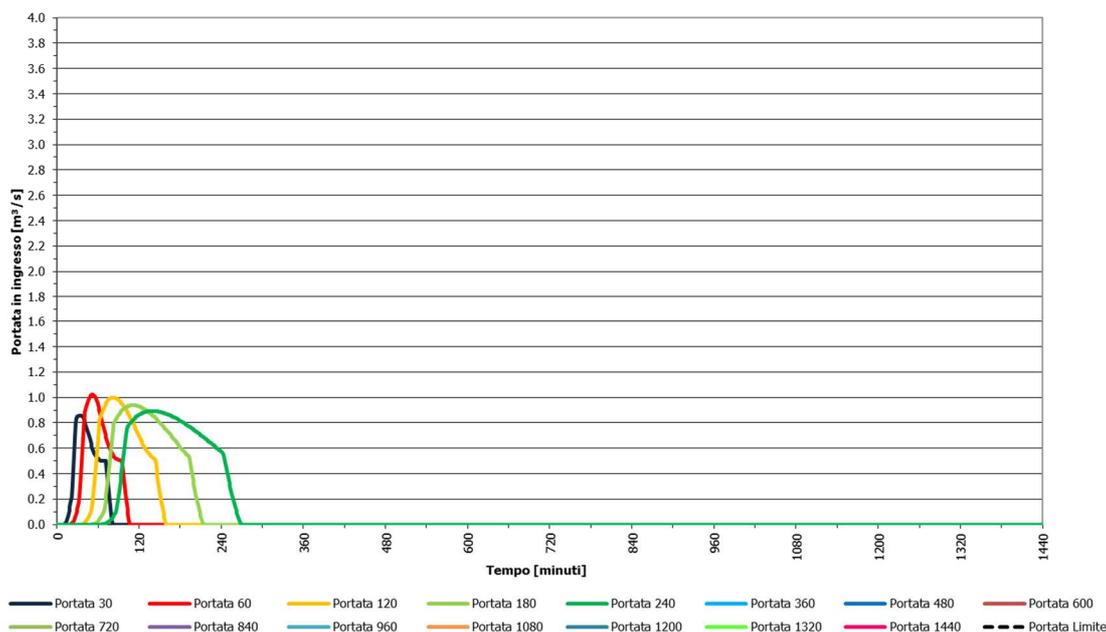
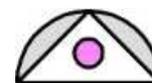


Figura 8.40 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO02

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'591.82	1.05	13.75
60	3'614.40	1.25	16.32
120	5'443.10	1.19	15.48
180	7'136.62	1.09	14.26
240	8'756.17	1.03	13.37
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.44 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

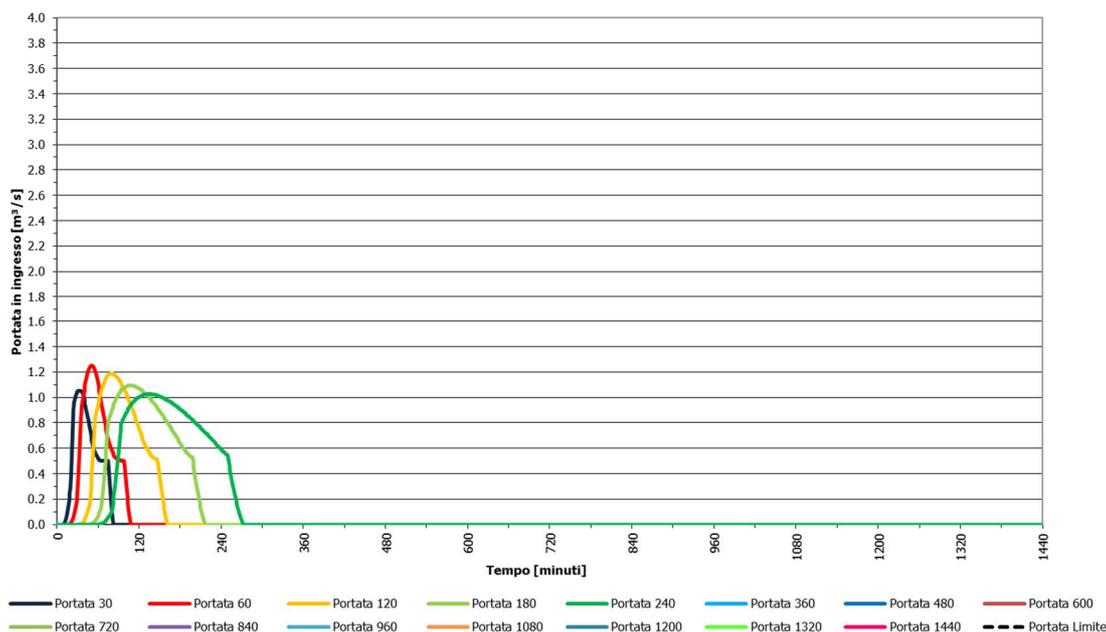
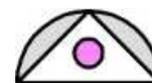


Figura 8.41 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'941.09	1.23	15.98
60	4'098.31	1.42	18.46
120	6'145.49	1.34	17.50
180	7'989.02	1.22	15.91
240	9'735.41	1.13	14.78
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.45 Portate massime in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01

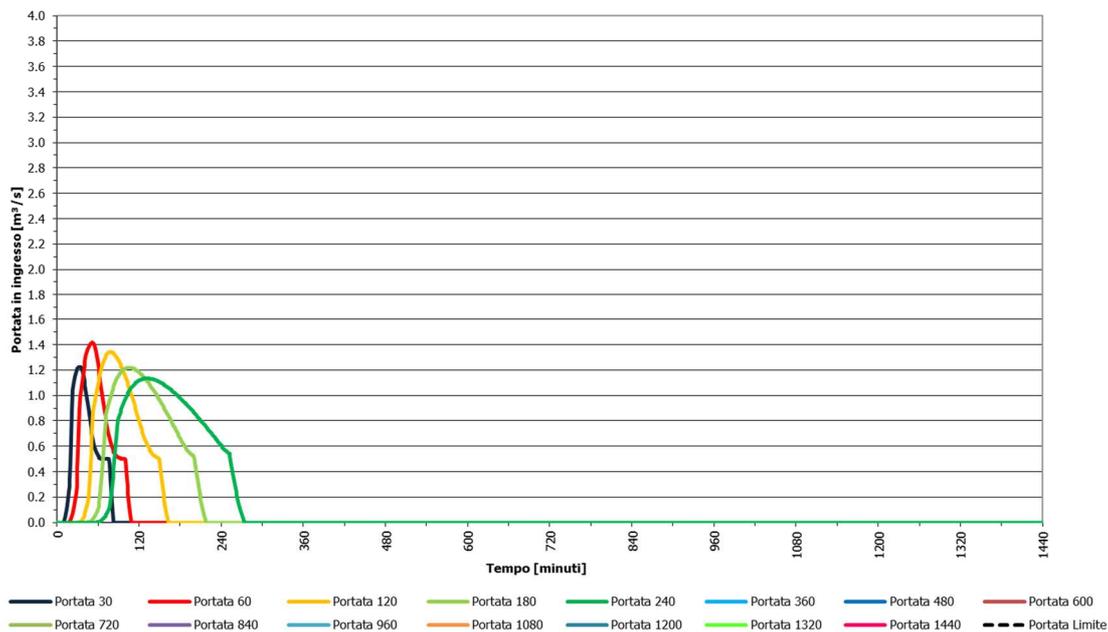
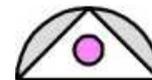
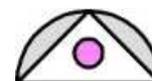


Figura 8.42 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C04 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01



8.3.1.3 Idrogrammi di piena al nodo C05

Le portate in arrivo al nodo C05 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C04, che nel modello PRO01 non sono tagliate;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_CENTRO_01, come "tagliate" dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C05).

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	2'591.95	1.06	12.37
60	3'769.82	1.35	15.84
120	5'830.02	1.37	15.97
180	7'701.97	1.27	14.81
240	9'468.94	1.19	13.88
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.46 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

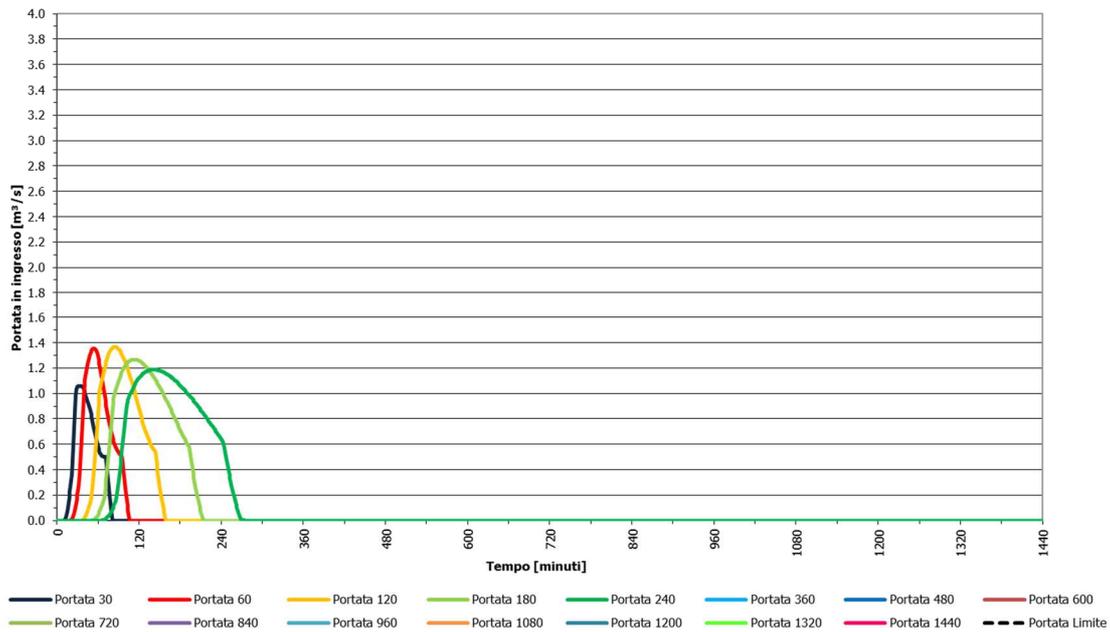
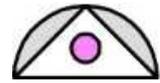


Figura 8.43 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'302.09	1.37	15.96
60	4'728.65	1.67	19.58
120	7'169.13	1.61	18.83
180	9'438.98	1.52	17.73
240	11'485.49	1.42	16.59
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.47 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

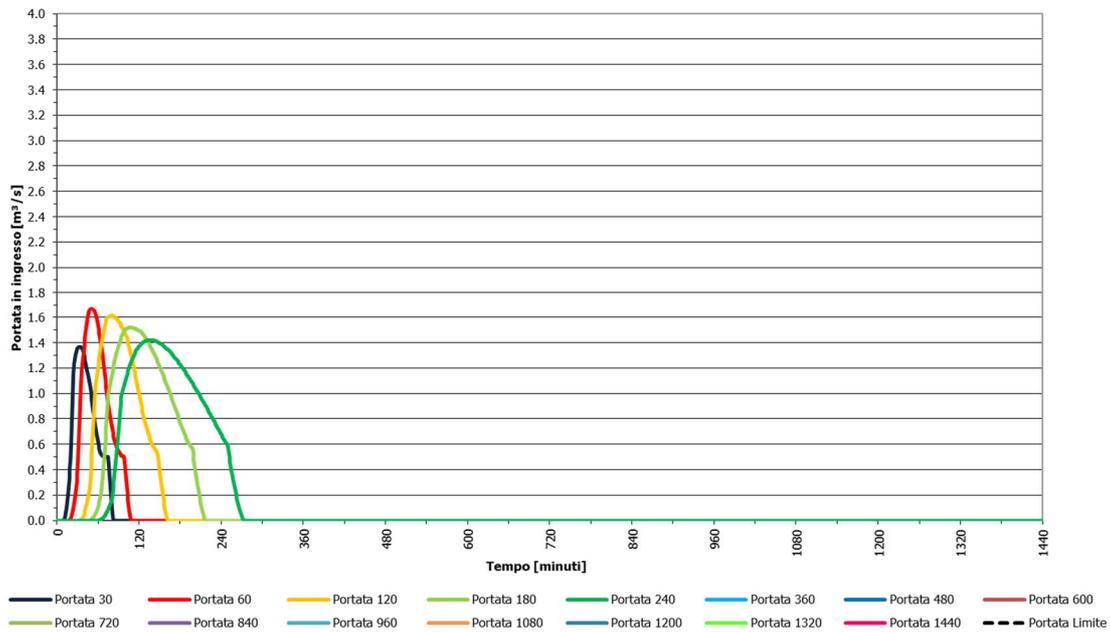
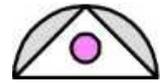


Figura 8.44 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'867.45	1.63	19.07
60	5'349.17	1.84	21.50
120	8'062.94	1.77	20.63
180	10'581.35	1.64	19.21
240	12'941.51	1.56	18.20
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.48 Portate massime in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01

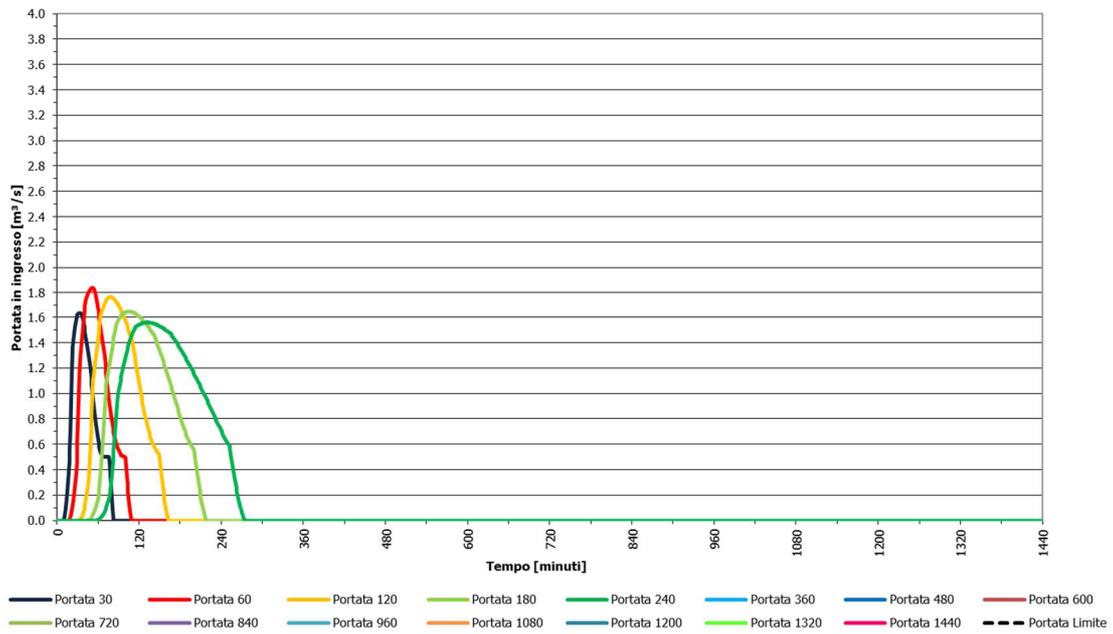
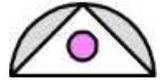


Figura 8.45 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C05 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01



8.3.1.4 Idrogrammi di piena al nodo C06

Le portate in arrivo al nodo C06 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C05, che nel modello PRO01 non vengono tagliate;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_CENTRO_02, come “tagliate” dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C06).

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'047.21	1.33	14.51
60	4'507.89	1.72	18.72
120	6'964.35	1.68	18.35
180	9'132.06	1.54	16.79
240	11'141.92	1.43	15.58
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.49 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

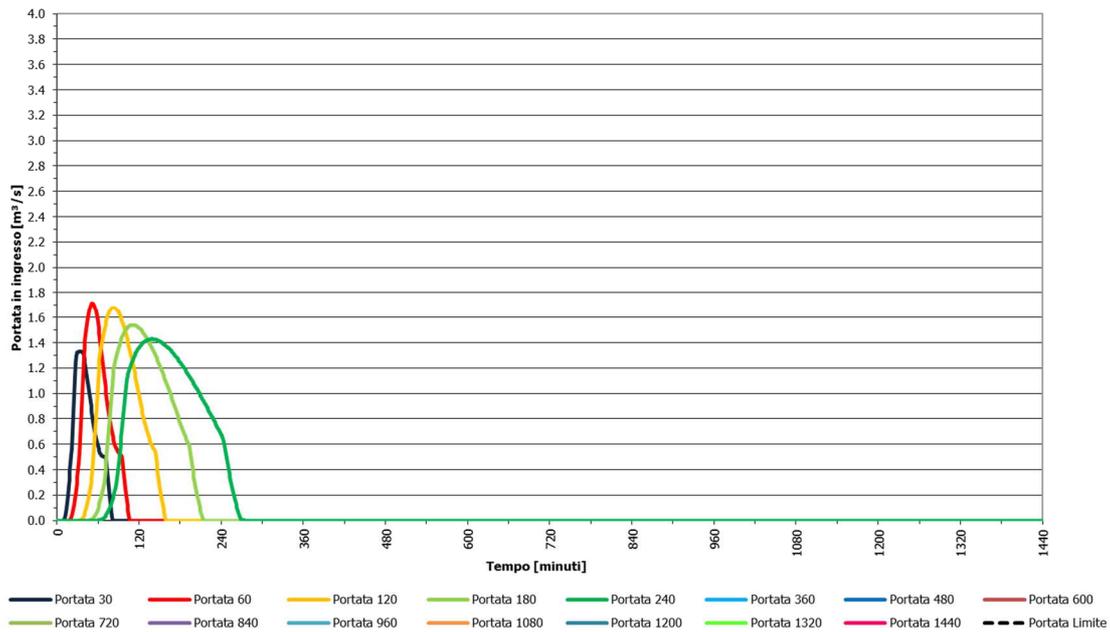
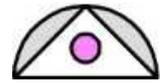


Figura 8.46 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	3'963.67	1.76	19.20
60	5'758.88	2.19	23.88
120	8'704.37	2.04	22.26
180	11'345.76	1.88	20.50
240	13'694.94	1.73	18.92
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.50 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

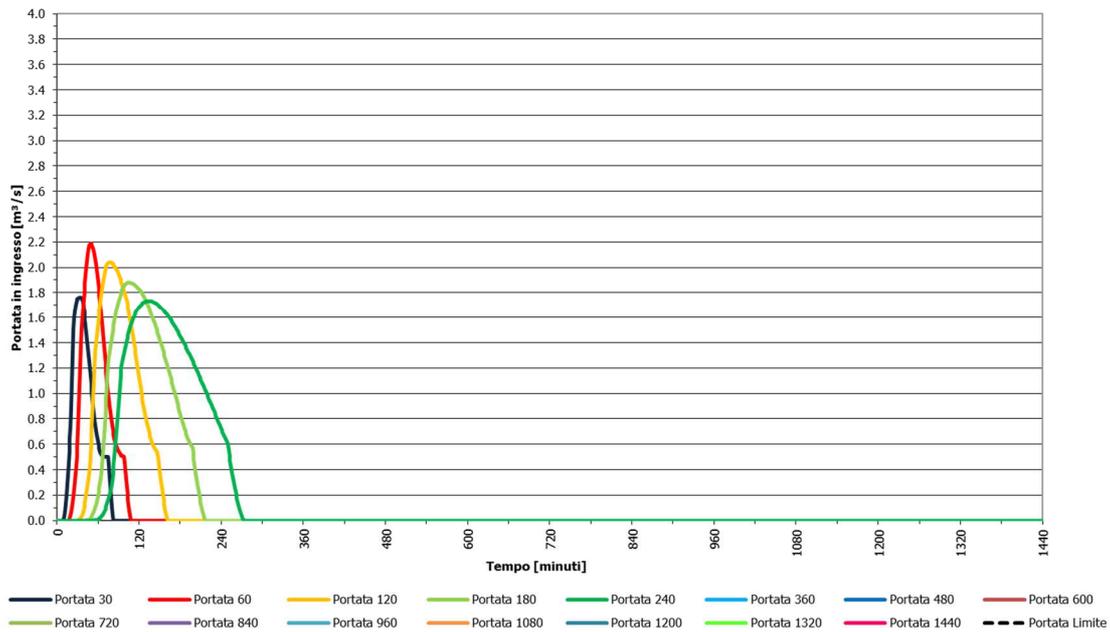
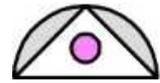


Figura 8.47 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	4'702.62	2.13	23.24
60	6'620.44	2.46	26.84
120	9'923.82	2.28	24.90
180	12'872.33	2.07	22.65
240	15'581.23	1.93	21.10
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.51 Portate massime in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01

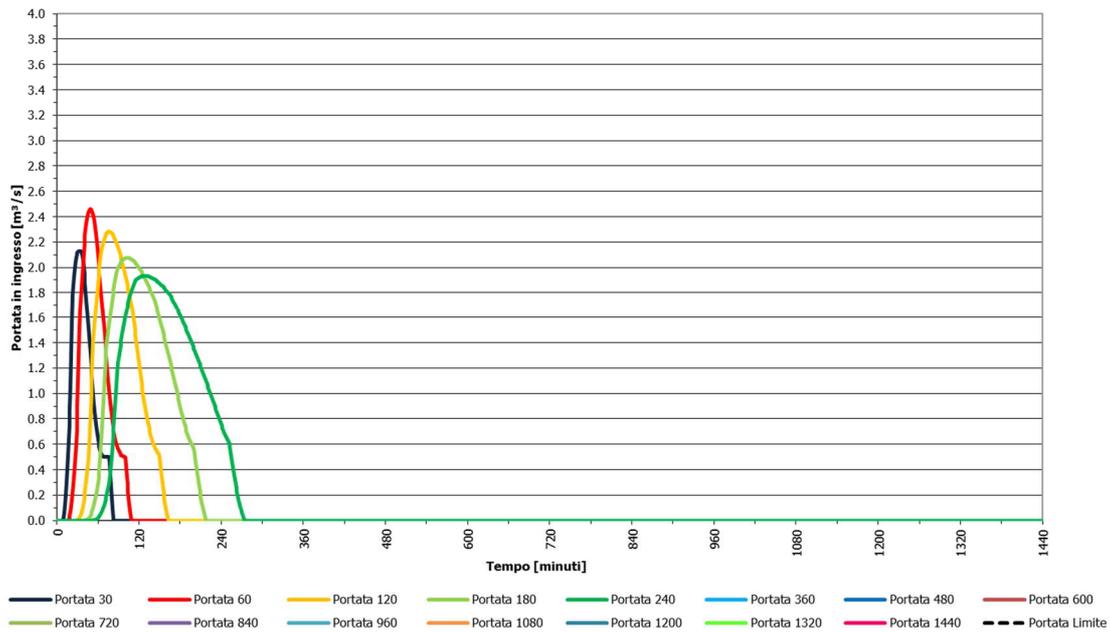
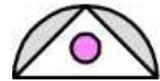


Figura 8.48 Rappresentazione grafica dell'andamento delle portate in arrivo al nodo C06 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01



8.3.1.5 Idrogrammi di piena al nodo C07

Le portate in arrivo al nodo C06 sono la somma di due apporti distinti:

- le portate provenienti dal nodo C06, che nel modello PRO01 non sono tagliate;
- le portate provenienti dal bacino B_SEGMENTO_EST, come "tagliate" dalle capacità di convogliamento della rete (descritte in maniera semplificata attraverso la capacità della tubazione terminale in arrivo al nodo C07).

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	4'378.11	1.98	18.93
60	6'354.49	2.43	23.20
120	9'742.32	2.39	22.84
180	12'533.57	2.14	20.40
240	15'050.11	1.95	18.61
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.52 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

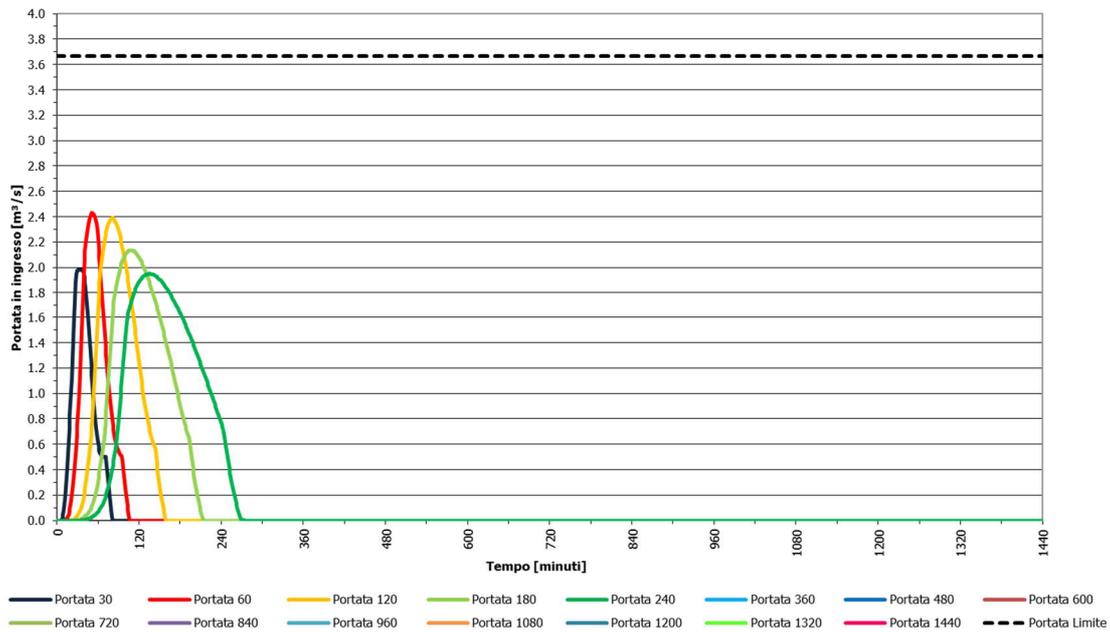
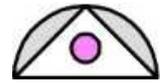


Figura 8.49 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento ventennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	5'564.64	2.47	23.62
60	7'872.80	2.90	27.72
120	11'965.57	2.75	26.30
180	15'639.29	2.59	24.76
240	18'720.08	2.41	22.98
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.53 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

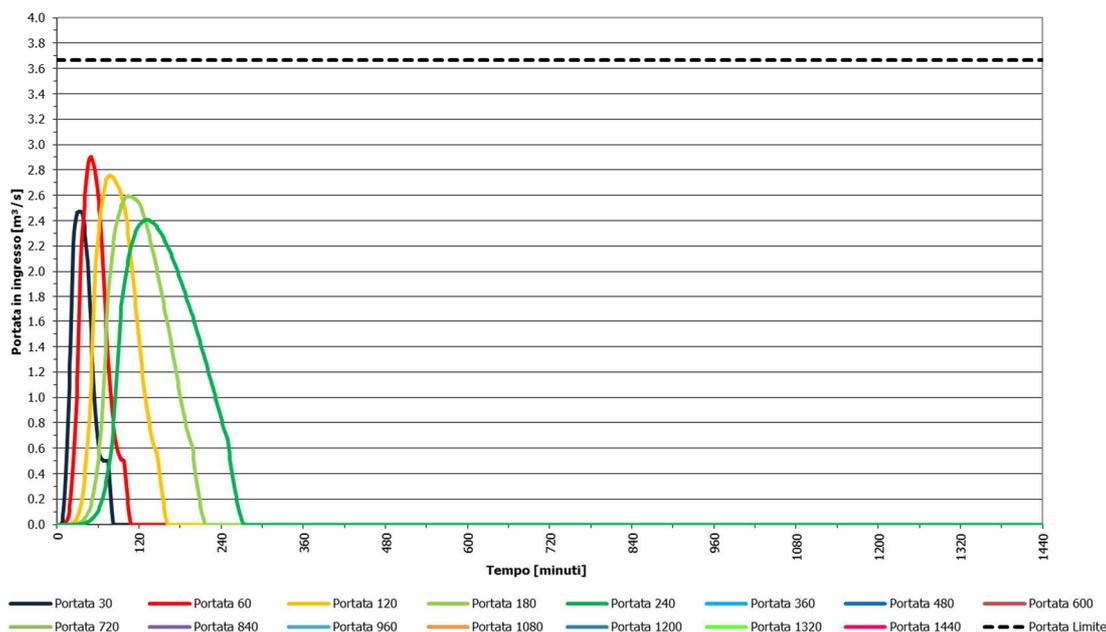


Figura 8.50 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento cinquantennale, modello PRO01

Durata evento [minuti]	Volume idrogramma [m³]	Portata al colmo [m³/s]	Coefficiente udometrico [l/(s*ha)]
30	6'406.60	2.84	27.15
60	8'879.35	3.17	30.31
120	13'428.83	2.99	28.61
180	17'574.99	2.79	26.64
240	21'317.87	2.65	25.28
360			
480			
600			
720			
840			
960			
1'080			
1'200			
1'320			
1'440			

Tabella 8.54 Portate massime in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01

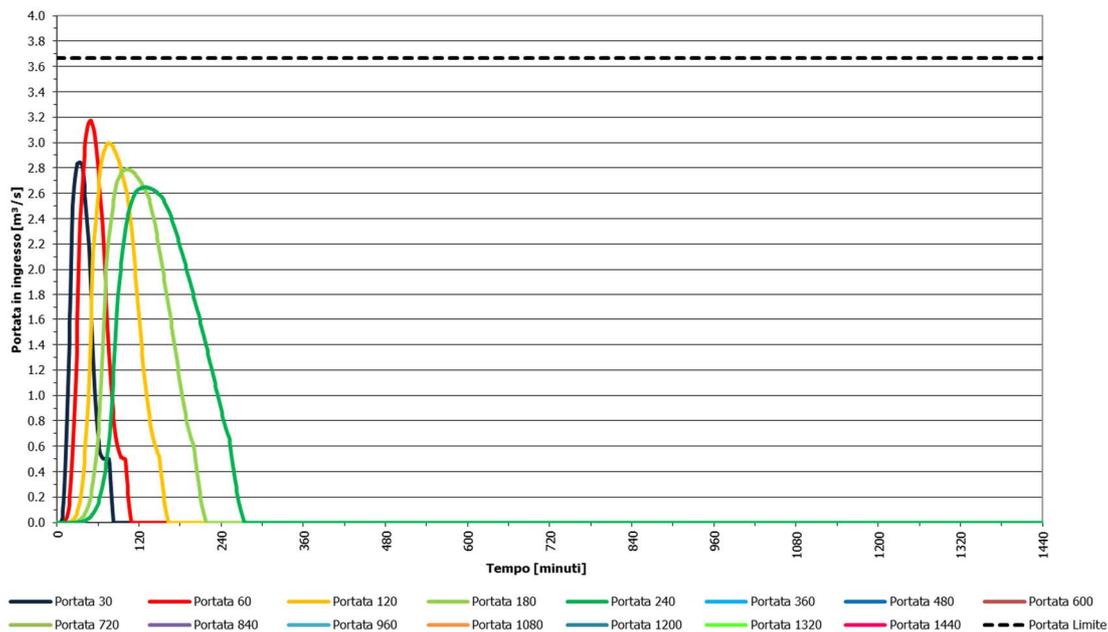
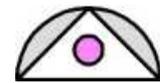


Figura 8.51 Rappresentazione grafica dell’andamento delle portate in arrivo al nodo C07 a fronte di eventi di differente durata, evento centennale, modello PRO01

8.3.2 Considerazioni conclusive

L’analisi delle condizioni di funzionamento del collettore principale della rete nel tratto compreso tra l’attraversamento del Naviglio Civico di Cremona 4.0.00 e la Roggia Calciana 6.0.00 a seguito di un intervento di risezionamento del collettore principale nel tratto compreso tra l’attraversamento del Naviglio Civico e l’imbocco del canale emissario in CLS DN 1’600 mm, evidenzia quanto segue.

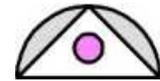
La prima, ovvia, considerazione è che l’intervento così proposto non è in invarianza, in quanto il suo effetto ultimo è quello di incrementare le portate convogliate al Fiume Oglio.

In merito a tale valutazione si formulano alcune riflessioni a commento:

- L’intervento non prevede un risezionamento della bocca di scarico né del collettore diretto al Fiume ma lo sfruttamento della capacità idraulica che esso già ha ma che oggi non viene utilizzata interamente per effetto delle limitazioni poste a monte;
- L’intervento così proposto potrebbe essere implementato per renderlo in invarianza mediante un intervento di laminazione dello scarico prima dell’immissione nel Fiume Oglio nelle aree poste al piede della S.P. 11.

Tale implementazione non viene prevista all’interno del presente Documento in relazione alle problematiche ambientali connesse con la laminazione di acque diluite provenienti da una rete fognaria mista e già descritte al §8.2.3: un intervento di laminazione che non fosse preceduto da un capillare intervento di separazione delle reti all’interno del bacino dominante e/o dalla realizzazione di comparti impiantistici di pretrattamento e di accumulo delle acque impermeabilizzati si configurerebbe come una criticità ambientale significativa.

Incidentalmente si pone in evidenza che la collocazione dei volumi di laminazione in coda alla rete, pur con le criticità sopra evidenziate, si configurerebbe come una collocazione sicuramente più efficace rispetto a quella nel nodo B02, per due ordini di motivi:



- In quanto consentirebbe di mettere in sicurezza non la sola zona di Via De Gasperi ma l'intero tratto di collettore in sofferenza;
- In quanto l'entità della laminazione richiesta è proporzionalmente più ridotta rispetto a quella prevista al nodo C02 (qui con una portata allo scarico di 1.49 m³/s a fronte di portate al colmo comprese tra 2.43 e 3.17 m³/s, là con valori ammessi allo scarico compresi tra 0.153 e 0.283 m³/s a fronte di portate al colmo comprese tra 0.70 e 0.90 m³/s).

Nel proporre questa misura strutturale si è ben consci del fatto che essa si configuri come una traslazione della pericolosità idrauliche da zone caratterizzate da un'elevata esposizione (aree residenziali) verso zone caratterizzate da una minore esposizione (aree golenali) con una riduzione del rischio conseguita non attraverso un intervento sulle cause del fenomeno bensì spostandolo verso aree meno problematiche, ma questa soluzione appare l'unica applicabile con tempistiche ragionevolmente celeri.

Va da sé che essa dovrebbe essere preceduta da una valutazione sull'incremento di pericolosità indotto sul Fiume Oglio per effetto dell'aumento delle portate scaricate; in merito si evidenzia come le portate di piena del Fiume a Calcio in base allo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza" redatto dall'Autorità di Bacino nell'anno 2005 sono le seguenti:

2 anni	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
167.24 m ³ /s	309.41 m ³ /s	363.74 m ³ /s	434.05 m ³ /s	486.75 m ³ /s	539.25 m ³ /s	608.52 m ³ /s

Tabella 8.55 Portate al colmo del Fiume Oglio alla sezione di Calcio per diversi tempi di ritorno in base a quanto riportato all'interno dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza" (AdBPo 2005)

E quindi che l'incremento delle portate al colmo indotto dall'aumento delle portate scaricate dal collettore di Calcio sia compreso tra lo 0.46% (evento ventennale) e lo 0.19% (evento centennale).

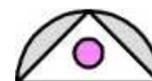
Per quanto concerne le portate convogliate lungo lo sviluppo del collettore esse sono esposte (e poste a confronto con le portate attuali) all'interno della Tabella 8.56.

L'entità del risezionamento che si rende necessario per il collettore principale è strettamente funzione del tempo di ritorno dell'evento che si intende controllare: poiché i fenomeni cui si fa riferimento sono generati da un bacino di tipo urbano potrebbe essere accettabile anche un'opera progettata per far fronte ad eventi con tempo di ritorno ventennale o cinquantennale.

Nel tratto di Via De Gasperi (tratto C02-C05) e nell'ipotesi di non modificare le pendenze del tubo attuale (ovvero pari a 0.12%) questo comporterebbe la sostituzione dell'attuale tubazione in CLS DN 800 mm con un condotto di sezione compresa tra DN 1'000 e DN 1'400 mm.

Il risezionamento appare meno problematico di quanto in prima ipotesi potrebbe sembrare nell'ipotesi di sostituire la tubazione attuale con quella più ampia, sfruttando il corridoio libero ove si colloca quella per la posa di questa: tenendo conto che una tubazione in CLS DN 800 mm ha un ingombro esterno pari a 1'000 mm e a 1'200 mm sul bicchiere, l'ingombro della nuova tubazione potrebbe essere paragonabile o pari a quello del tubo attuale nel caso vengano impiegati manufatti costituiti da materiali con pari o superiori performances idrauliche ma con spessori inferiori, quali il PRFV.

Nel tratto successivo (e sempre nell'ipotesi di non modificare le ipotizzate pendenze attuali) il risezionamento potrebbe portare a tubazioni di sezioni comprese tra 1'500 e 1'600 mm: sono manufatti di ingombro significativo che però avrebbero la facilitazione di essere posati in contesti extraurbani.



Va da sé che un intervento di risezionamento del collettore principale della rete / del canale emissario degli scaricatori di piena dovrebbe essere accompagnato da una riorganizzazione ed efficientamento dei manufatti esistenti (la cui configurazione non appare particolarmente razionale); un ulteriore intervento di ottimizzazione potrebbe essere quello di provvedere contestualmente alle opere di risezionamento del condotto alla separazione delle reti sulle strade interessate dai lavori, così da iniziare un'opera di riorganizzazione complessiva della rete che in prospettiva sarà comunque necessario eseguire.

Nodo	Portata massima 20 anni [m³/s]	Portata massima 50 anni [m³/s]	Portata massima 100 anni [m³/s]	Portata limite condotto di valle [m³/s]
C03	0.86 <i>(0.86)</i>	1.02 <i>(1.02)</i>	1.15 <i>(1.15)</i>	Da definire
C04	1.02 <i>(0.61)</i>	1.25 <i>(0.69)</i>	1.42 <i>(0.71)</i>	Da definire
C05	1.37 <i>(0.82)</i>	1.67 <i>(0.88)</i>	1.84 <i>(0.88)</i>	Da definire
C06	1.72 <i>(0.83)</i>	2.19 <i>(0.97)</i>	2.46 <i>(1.09)</i>	Da definire
C07	2.43 <i>(1.49)</i>	2.90 <i>(1.49)</i>	3.17 <i>(1.49)</i>	3.667

Tabella 8.56 Riassunto delle portate massime convogliate a ciascun nodo e della relativa capacità di convogliamento, modello PRO01. Tra parentesi in corsivo i valori corrispondenti al modello SDF.