

Comune di Seriate  
Provincia di Bergamo



# PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

## Studio idrologico idraulico del Fiume Serio

R.1 - Relazione Idrologico Idraulica

data elaborazione 11/2021

Adottato con DCC n° \_\_ del \_\_.\_\_.2021 | Approvato con DCC n° \_\_ del \_\_.\_\_.2021

### ***Raggruppamento Temporaneo di Professionisti Mandatario***



Geol. Paolo Castellani  
Geol. Stefano Nastasi  
Geol. Damiano Guarguaglini  
Geol. Annalisa Fontanelli  
Geol. Andrea Castellani

Collaboratori:  
Geol. Riccardo Cortigiani  
Geol. Aurora Martini

### ***Mandante***

Ing. Alessio Gabbrielli

## INDICE

<b>1. Premessa generale.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Analisi preliminare e approccio metodologico .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Analisi idrologica .....</b>	<b>10</b>
3.1 Calibrazione del modello a Ponte Cene .....	10
3.2 Stima degli idrogrammi per il bacino del Fiume Serio a Seriate .....	27
<b>4. Verifiche idrauliche .....</b>	<b>39</b>
4.1 Descrizione del modello idraulico del Fiume Serio .....	39
4.2 Risultati delle verifiche e determinazione delle aree allagabili.....	42
4.3 Zonazione della pericolosità ai sensi dell'Allegato 4.....	47
4.4 Zonazione del rischio da esondazione ai sensi dell'Allegato 4 .....	50
<b>5. Conclusioni .....</b>	<b>51</b>

## 1. PREMESSA GENERALE

Il presente studio è redatto per conto del Comune di Seriate (BG) nell'ambito dell'incarico di aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Gestione del Territorio del Comune di Seriate (BG) ai sensi della L.R. 12/2005 e s.m.i. affidato a Geologica Toscana (mandataria) e Ing. Alessio Gabbrielli (mandante).

Ai sensi della D.G.R. X/6738/2017 è redatto un nuovo studio sul Fiume Serio per l'aggiornamento delle aree allagabili e del rischio sulle aree edificate, i cui risultati sono poi confluiti anche nella Carta PAI-PGRA (punto 5 dell'Allegato A della D.G.R. anzidetta).

Il Comune di Seriate, come indicato dall'*Allegato 2 – Comuni lombardi con l'indicazione degli ambiti territoriali di riferimento, della presenza di aree allagabili e della loro tipologia/origine*, è caratterizzato da aree allagabili per Reticolo Principale (Fiume Serio) ed è inoltre dotato di Fasce Fluviali PAI vigenti.

Il punto 3.1.4 della D.G.R. X/6738/2017 recante *Disposizioni per i corsi d'acqua GIÀ interessati nella pianificazione di bacino vigente dalla delimitazione delle fasce fluviali* detta i criteri e le procedure di aggiornamento degli strumenti urbanistici comunali.

Esso in particolare prevede che:

(...)

2. *entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) i Comuni sono tenuti a verificare e, ove necessario, aggiornare le valutazioni dettagliate delle condizioni di pericolosità e rischio locali già svolte in passato.*

*In particolare:*

- a. *I Comuni con edificati esistenti ricadenti all'interno delle fasce A e B, che hanno già svolto una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, devono verificarla e, se necessario, aggiornarla sulla base dei nuovi dati (portate, livelli, topografia) utilizzati per la mappatura delle aree allagabili del PGRA, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla D.G.R. IX/2616/2011.*
- b. *per l'edificato esistente in precedenza non ricadente in fascia A o B ma che si trova ora a ricadere in P3/H e P2/M, il Comune competente è tenuto a valutare in dettaglio le condizioni di pericolosità e rischio locali attraverso una nuova analisi o un'estensione dell'analisi già svolta, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla D.G.R. IX/2616/2011.*
- c. *le valutazioni di cui ai punti a) e b) devono avere le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio". Tali valutazioni devono essere trasmesse a Regione Lombardia che le utilizzerà sia nell'ambito dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA sia ai fini del monitoraggio delle misure di prevenzione del rischio previste nel PGRA;*

(...)

4. *entro i territori compresi tra un limite B di progetto e un limite di fascia C delle fasce vigenti: se si è proceduto in passato a svolgere una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, questa valutazione deve essere verificata e, ove necessario, aggiornata tenendo conto dell'estensione dell'area allagabile contenuta nelle mappe di pericolosità del PGRA e dei relativi dati associati (portate, livelli, topografia).*

(...)

Il Comune di Seriate ricade in alcune delle fattispecie indicate nel precedente estratto normativo.

In particolare si rileva che:

- E' presente edificato esistente non ricadente nelle fasce A o B ma ricadente in classe P2/M, aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- In passato è stata sviluppata una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio entro i territori compresi tra il limite B di progetto ed il limite di fascia C, ma tale valutazione è da considerarsi vetusta e superata per l'entrata in vigore del P.G.R.A. e per la pubblicazione di nuovi dati (portate, dati pluviometrici, LIDAR).

Per questi motivi, ai sensi dell'Allegato IV della D.G.R. IX/2616/2011, è redatto un nuovo studio idrologico ed idraulico sul Fiume Serio a scala comunale, di cui è dato conto nel prosieguo della relazione.

## 2. ANALISI PRELIMINARE E APPROCCIO METODOLOGICO

Il Comune di Seriate è dotato di uno studio idrologico-idraulico finalizzato all'*individuazione delle aree cittadine soggette al rischio di esondazione del Fiume Serio* redatto nell'anno 2009 dalla società Etatec s.r.l. (di seguito denominato *studio Etatec*) che fa seguito ad un precedente lavoro, a cura della medesima società, di qualche anno prima.

Il presente studio aggiornamento riparte proprio dal lavoro di Etatec s.r.l., adattandone contenuti e criteri alle attuali condizioni e conoscenze sul corso d'acqua in esame.

Innanzitutto sono analizzate le attuali perimetrazioni di pericolosità da alluvione del P.G.R.A. sul territorio comunale, approvato nell'anno 2016.

Di seguito ne è mostrato un estratto.

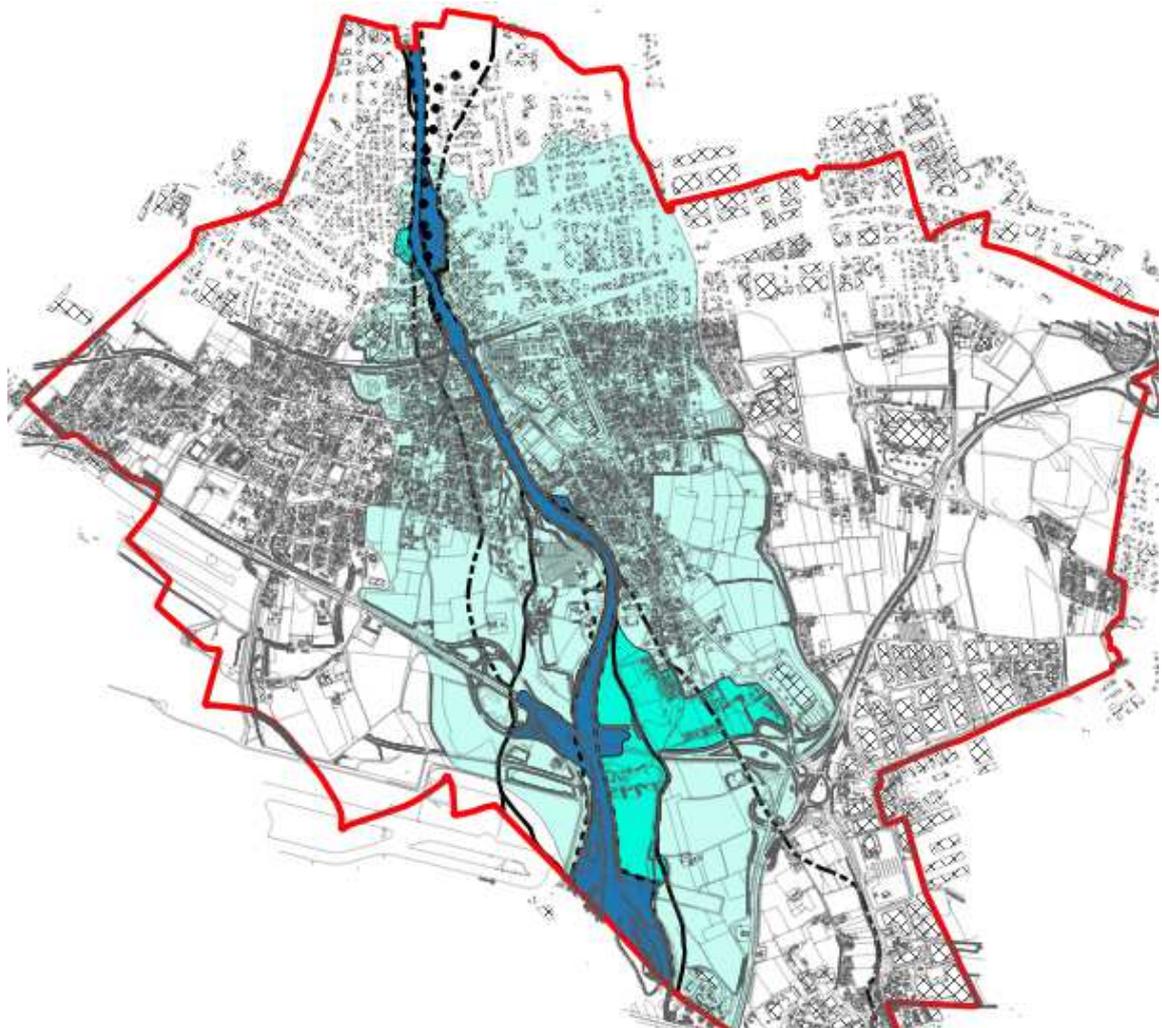


Fig. 1 – Aree allagate del P.G.R.A. sul territorio comunale di Seriate

Queste aree allagate sono state messe a confronto con i risultati dello *studio Etatec*, che è, come detto, antecedente al P.G.R.A.

La seguente figura mostra le aree allagate rispetto allo scenario di piena con tempo di ritorno duecentennale.

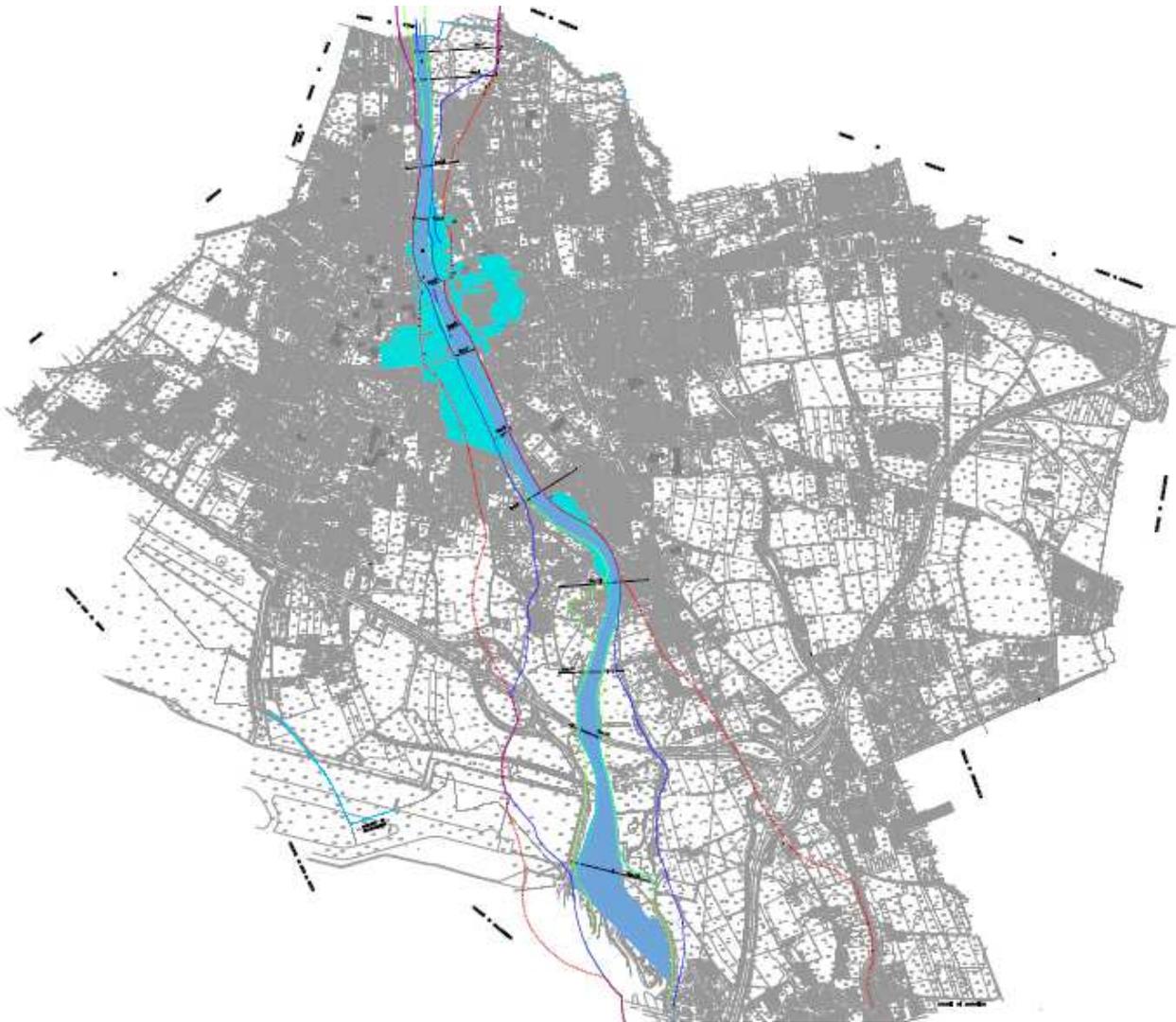


Fig. 2 – Aree allagate da *studio Etatec* (scenario di piena con tempo di ritorno duecentennale)

Dal confronto emergono alcune differenze.

Le aree allagabili del P.G.R.A. risultano di estensione inferiore rispetto a quelle dello *studio Etatec*; in particolare esse non interessano, se non marginalmente, l'area urbana di Seriate (solo per TR500), mentre nello *studio Etatec* l'area urbana risulta ampiamente coinvolta da esondazione sia in destra che in sinistra idraulica, soprattutto per effetto delle fuoriuscite che si manifestano a monte del ponte di Viale Italia, che determina un forte restringimento della sezione d'alveo.

Da qua gli allagamenti tendono a propagarsi verso valle (Sud), passando anche oltre il rilevato della linea ferroviaria attraverso i sottopassi presenti.

Nello *studio Etatec* le aree interessate da allagamento sono state mappate previa analisi della morfologia del terreno, nonostante lo studio sia stato condotto con modello idraulico in moto permanente.

Di seguito è mostrato un estratto di maggior dettaglio degli allagamenti della parte urbana (planimetria delle aree a rischio idraulico) che evidenzia le dinamiche appena descritte.

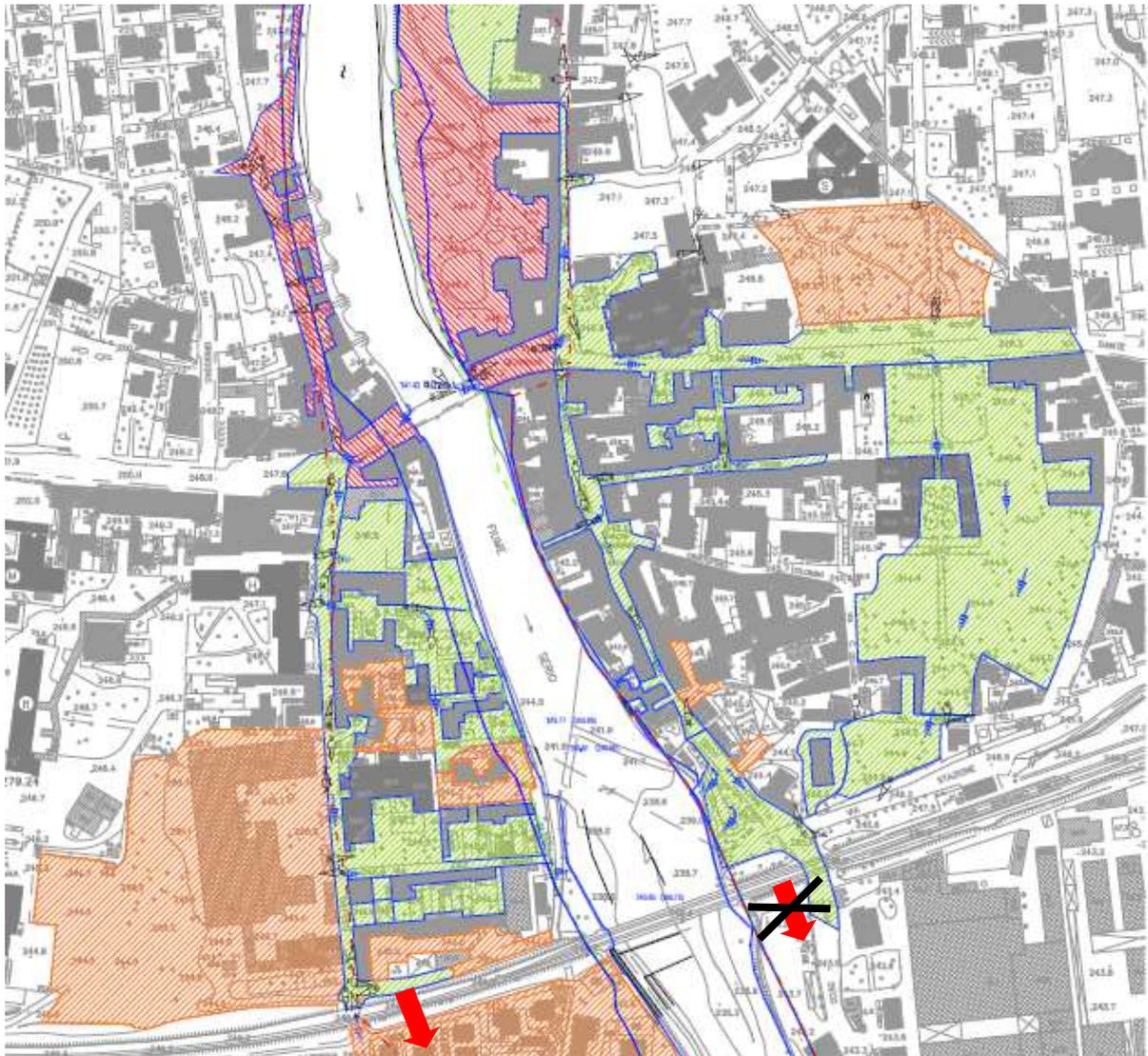


Fig. 3 – Estratto della carta del rischio per l'area urbana di Seriate da studio Etatec

Gli allagamenti extra alveo sono stati ricostruiti mediante analisi morfologica delle zone urbane.

Essi sono stati estesi oltre il rilevato ferroviario, in sinistra idraulica, a simulare la trasmissione attraverso il sottopasso ivi presente, mentre in destra, dove è presente un altro sottopasso, gli allagamenti sono stati interrotti.

Per quanto riguarda la mappatura delle aree inondabili del P.G.R.A. la fonte sono le Mappe di Soggiacenza derivate dai livelli di piena calcolati con lo Studio di Fattibilità degli interventi di sistemazione (2004), come riporta la scheda relativa al Fiume Serio nell'Allegato 1 - Schede descrittive delle mappe di pericolosità del reticolo principale (fonti, criteri, livelli di confidenza) del P.G.R.A., come di seguito mostrato.

Corso d'acqua	Serio	da	Parre
Bacino	Adda	a	confluenza Adda
Bacino secondario	Serio	Lunghezza Km	91

Dati disponibili e fonti		Scenari di alluvione		Tempo di ritorno	
Limiti delle aree inondabili	Alluvioni frequenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20
	Alluvioni poco frequenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	200
	Alluvioni rare	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	500
Portate e livelli di piena in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20
	Alluvioni poco frequenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	200
	Alluvioni rare	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	500
Velocità medie in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20
	Alluvioni poco frequenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	200
	Alluvioni rare	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	500

		Studi			
Limiti delle aree inondabili	Alluvioni frequenti	MS			
	Alluvioni poco frequenti	MS			
	Alluvioni rare	MS			
Portate e livelli di piena in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	SdF			
	Alluvioni poco frequenti	SdF			
	Alluvioni rare	SdF			
Velocità medie in corrispondenza delle sezioni del modello	Alluvioni frequenti	SdF			
	Alluvioni poco frequenti	SdF			
	Alluvioni rare	SdF			

**Note su fonti**

- SdF - Studio di fattibilità: Studio di fattibilità degli interventi di sistemazione (2004). Contiene analisi idrologica, analisi idraulica con modello monodimensionale di asta con sezioni topografiche appositamente rilevate e delimitazione delle aree inondabili per eventi con TR 20, 200 e 500.

- MS: Mappe di soggiacenza: rappresentano la soggiacenza del terreno rispetto ai livelli di piena e derivano dall'intersezione GIS fra il DEM liquido (superficie interpolante i livelli di piena dello SdF) e il DEM del terreno (DTM derivante da rilievo laser scanner effettuato dal MATTM nel 2008/2009).

**Criteri di rielaborazione dei dati e aggiornamento delle delimitazioni delle aree inondabili**

La disponibilità sull'intera asta fluviale del DTM e delle mappe di soggiacenza ha consentito la verifica e l'aggiornamento delle aree inondabili delimitate nell'ambito dello SdF.

Per lo scenario di piena poco frequente, laddove disponibili le necessarie informazioni, si sono caratterizzati i tratti dove il limite delle aree inondabili è contenuto da argini principali o da altri rilevati al fine di evidenziare le possibili situazioni di pericolosità residuale.

Per lo scenario di piena rara la delimitazione delle aree inondabili è stata effettuata tenendo conto, seppur con criteri speditivi, dei possibili fenomeni di rottura dei rilevati (arginali, stradali, ecc.) che contengono i livelli di piena e di fenomeni estremi e locali quali ad esempio la parzializzazione o ostruzione delle luci dei ponti, l'incidenza del trasporto solido, il mancato funzionamento di paratoie.

Fig. 4 – Scheda descrittiva P.G.R.A. Fiume Serio

Sul GEOportale regionale è disponibile un ampio numero di sezioni idrauliche del Fiume Serio lungo tutto il tratto da Parre alla confluenza con l'Adda.

Per alcune di esse sono forniti portate e livelli idrometrici.

In particolare, i valori al colmo delle portate sono disponibili in corrispondenza delle seguenti sezioni:

- SE. 148 – Ponte Cene – Q20 430 mc/s – Q200 730 mc/s;
- SE. 110 – Alzano Lombardo – Q20 450 mc/s – Q200 760 mc/s;
- SE. 97 – Seriate – Q20 460 mc/s – Q200 770 mc/s.

Per Seriate, la SE. 97 coincide con la sezione della traversa appena a valle del ponte di Viale Italia.

Come fonte di questi valori è indicato il P.G.R.A. 2016.

La topografia delle sezioni deriva invece dal rilievo eseguito nel 2004 dall'Autorità di Bacino del Po'.

Analizzando invece la relazione idraulica dello studio *Etatec* a supporto del P.G.T. comunale si rileva come allora siano stati adottati valori di portata differenti.

Innanzitutto nella relazione si cita uno studio ancora antecedente, redatto sempre da *Etatec* s.r.l., nell'anno 1995, poi aggiornato nel 2003, a corredo del quale sono state rilevate apposite sezioni d'alveo del Fiume Serio nel tratto urbano (trattasi infatti di studio precedente il rilievo ADBPO).

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici lo studio del 1995 si fondava sia su un adattamento alla sezione di Seriate con metodi statistici della serie storica a Ponte Cene (stazione di riferimento per l'asta del Serio), sia su un apposito modello afflussi-deflussi.

L'analisi statistica della serie storica di Ponte Cene condusse a stimare un valore di picco della portata TR200 pari a 598 mc/s a Ponte Cene, adattata a **644 mc/s** a Seriate.

Con il metodo afflussi-deflussi, che si basava sui dati pluviometrici delle stazioni di *Valmorta*, *Clusone* e *Gorno*, che adottava uno ietogramma di tipo *Chicago* e che depurava le piogge con il metodo del *Curve Number (Soil Conservation Service)*, furono poi stimate portate leggermente superiori, pari a 678 mc/s e **697 mc/s** rispettivamente a Ponte Cene e Seriate per TR200.

Per lo studio del 1995 veniva pertanto assunta, cautelativamente, la portata duecentennale pari a 700 mc/s risultante dal modello afflussi-deflussi.

Nello studio del 2009, in applicazione della Direttiva PAI allora vigente, il modello idraulico del Fiume Serio è stato aggiornato adottando non più le portate degli studi precedenti, bensì quelle indicate dal P.A.I., che per l'asta del Serio forniva i valori di portata ad Alzano Lombardo (570 mc/s per TR200) e Romano di Lombardia (620 mc/s per TR200).

Essendo Seriate non molto distante da Alzano Lombardo, come valore di portata duecentennale nello studio idraulico del 2009 sono stati assunti **580 mc/s** a Seriate.

Questi valori, se confrontati con quelli adottati nello studio del 1995, risultano molto inferiori (580 mc/s rispetto a 700 mc/s per TR200), come osserva anche la relazione idraulica di *Etatec*.

E lo sono ancor più se confrontati con quelli attualmente suggeriti dal P.G.R.A., che, come anticipato, stabiliscono una portata duecentennale pari a **770 mc/s** all'altezza di Seriate.

Tenuto conto di queste variazioni circa gli aspetti idrologici intervenute negli ultimi anni, e soprattutto volendo aggiornare lo studio del Fiume Serio su scala comunale anche sotto l'aspetto della modellistica idraulica mediante un modello idraulico bidimensionale in luogo di semplici modelli in moto permanente che rendono complesso il tracciamento delle aree inondabili, con il presente lavoro si è proceduto ad una completa revisione dello studio sia per quanto riguarda l'idrologia che per quanto riguarda l'idraulica.

Con la nuova analisi idrologica, di seguito illustrata, si è inteso non tanto rivalutare i valori al colmo delle portate di piena di progetto, essendo quelli del P.G.R.A. indicati come valori di riferimento da prendere in considerazione.

Piuttosto l'esigenza è stata quella di ricostruire, intorno a questi valori al colmo, idrogrammi affidabili, in modo da poter poi procedere con simulazioni in moto monodimensionale vario in alveo ed accoppiamento alla base bidimensionale per le aree contermini.

Il lavoro svolto è stato quindi quello di:

- Analizzare e ricavare gli idrogrammi di piena con apposita modellistica idrologica con taratura del modello al valore di **770 mc/s** di portata duecentennale all'altezza di Seriate;
- Modellare con nuova modellistica monodimensionale-bidimensionale accoppiata l'asta del Fiume Serio sul tratto comunale.

Come indicato al punto 3.3.2 - *Modalità seguite per l'individuazione delle aree allagabili nelle mappe del P.G.R.A. della D.G.R. X/6738/2017*, in via cautelativa, come scenario di riferimento per la pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2/M) è stato assunto lo scenario di piena con tempo di ritorno di 200 anni, mentre quale scenario di riferimento per pericolosità per alluvioni frequenti (P3/H) è stato assunto lo scenario di piena con tempo di ritorno di 50 anni, in linea con la seguente tabella valida per il *reticolo naturale*.

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	Pericolosità da associare
aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido	P3/H
aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche	P2/M
aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.	P2/M
aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali desunte dalla ricerca storica-bibliografica	P2/M o P3/H in base alle informazioni disponibili
aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa	P3/H
aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina-pianura	P3/H

Tab. 1 – Associazione tempi di ritorno – Pericolosità di P.G.R.A.

## 3. ANALISI IDROLOGICA

### 3.1 Calibrazione del modello a Ponte Cene

La nuova analisi idrologica finalizzata alla stima degli idrogrammi di piena del Fiume Serio presso Seriate è stata condotta in modo coerente con quanto indicato nell'Allegato 4 del D.G.R. 2616/2011, ma tiene conto anche degli approcci adottati negli studi precedenti<sup>3</sup>

Partendo dall'indicazione ricevuta di adottare le portate fornite dal GEOportale regionale (nel caso specifico **770 mc/s** a Seriate per TR200), si è inteso effettuare una sorta di calibrazione della metodologia del modello idrologico anche su eventi e precipitazioni reali.

Dal momento che lungo il Fiume Serio la stazione di riferimento risulta essere quella di Ponte Cene, l'analisi idrologica ha preliminarmente preso in considerazione il bacino sotteso alla sezione di Ponte Cene ove è situata la stazione di rilevamento idropluviometrico.

Per tarare il modello idrologico sul bacino a Ponte Cene sono stati acquisiti i dati di un evento di piena significativo; si è optato per un evento abbastanza recente, quello del 28-29 Ottobre 2018, in cui il Fiume Serio ha prodotto due importanti picchi a fronte di precipitazioni intense per una durata di oltre 48 ore.

Dal GEOportale regionale sono stati acquisiti i dati di precipitazione dei giorni a cavallo di questo evento di piena, dalle 0:00 del 25/10/2018 alle 24:00 del 31/10/2018. Le stazioni di cui sono stati prelevati i dati sono le seguenti:

- n. 1221 Casnigo campo sportivo
- n. 1212 Castione della Presolana
- n. 1360 Clusone SP671
- n. 1229 Gandellino Grabiasca
- n. 58 Carona Lago Fregaborgia
- n. 1077 Oltre il Colle Zambra
- n. 1235 Ponte Cene
- n. 1210 Ranzanico
- n. 1216 Valbondione
- n. 1218 Ardesio Valcanale

Alcune di queste stazioni sono ubicate esternamente al bacino del Fiume Serio, ma secondo il metodo dei topoieti possono avere influenza sul bacino medesimo.

Sono state escluse le stazioni (pochissime e "marginali") in cui non erano disponibili dati per l'Ottobre 2018.

Dal GEOportale regionale è stato estratto il bacino del Fiume Serio con chiusura a Ponte Cene, che risulta di superficie pari a 461 kmq.

Di seguito è mostrato il bacino a Ponte Cene con la suddivisione del territorio in poligoni di Thiessen (topoieti), e la sua ubicazione rispetto al Comune di Seriate.



Fig. 5 – Bacino del Fiume Serio con chiusura a Ponte Cene con poligoni di Thiessen calcolati rispetto alla rete di pluviometri disponibili

Pesando il contributo di ciascun pluviometro sulla relativa area all'interno del bacino idrografico del Serio è stato ricostruito il pluviogramma ponderato cumulato lordo "reale" dei giorni dal 25 al 31 Ottobre 2018, di seguito riportato.

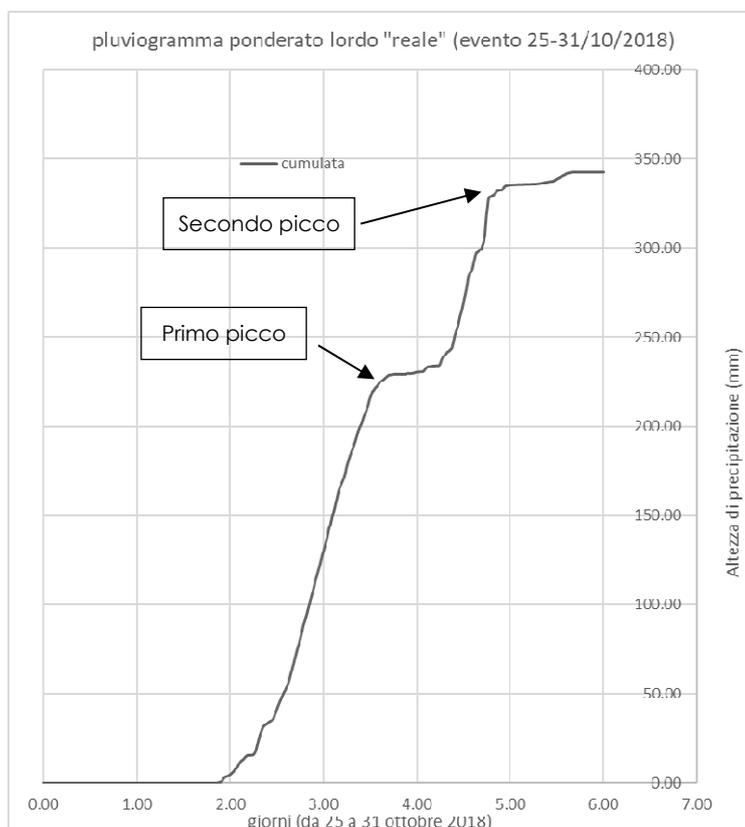


Fig. 6 – Pluviogramma cumulato ricostruito su evento 25-31 Ottobre 2018 con chiusura a Ponte Cene

Di seguito è mostrato anche il pluviogramma "reale" per intervalli di pioggia.

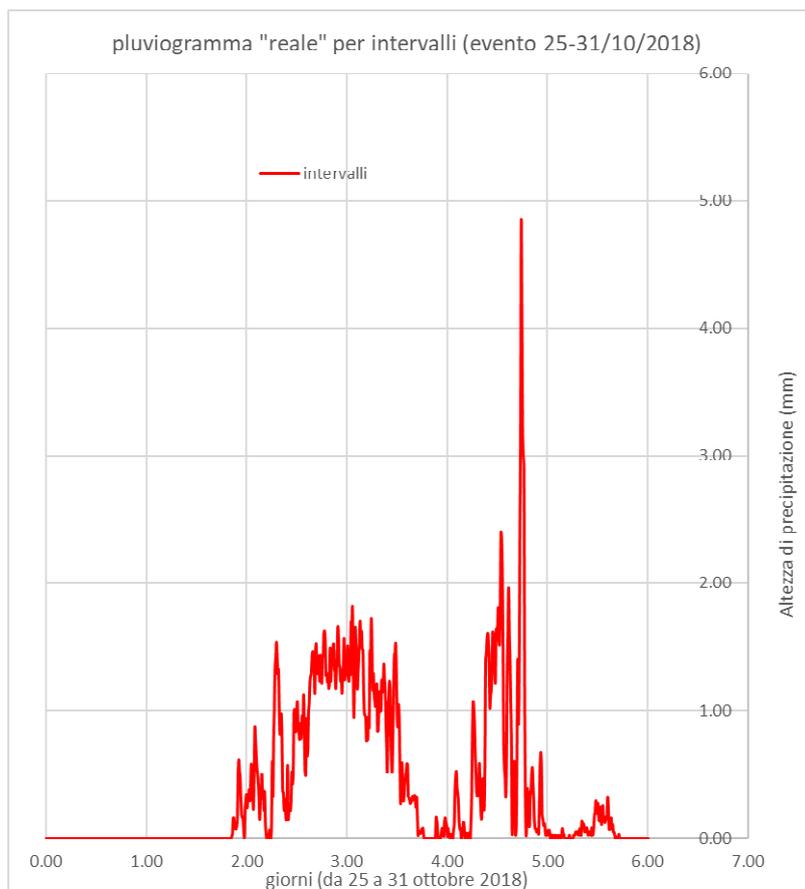


Fig. 7 – Pluviogramma "reale" per intervalli ricostruito su evento 25-31 Ottobre 2018 con chiusura a Ponte Cene

Si osserva come la precipitazione si sia concentrata dapprima in circa 36 ore (primo picco) e poi in altre 12 ore (secondo picco).

A fronte di queste precipitazioni la stazione idrometrica di Ponte Cene ha registrato il seguente idrogramma di livelli nel periodo di riferimento.

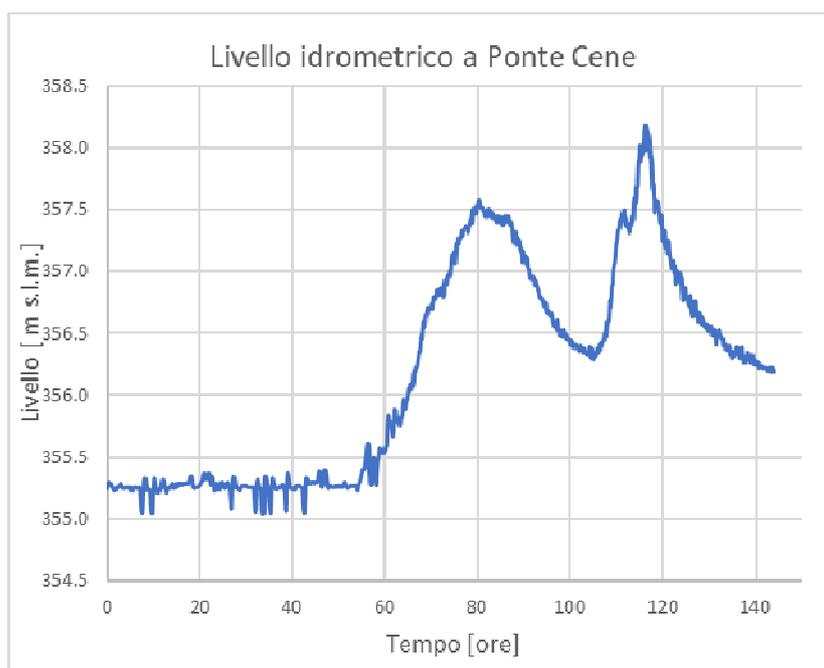


Fig. 8 – Idrogramma dei livelli per l'evento 25-31 Ottobre 2018 da idrometro di Ponte Cene

La stazione di rilevamento di Ponte Cene è posta, come detto, appena a valle del ponte.  
Lo zero idrometrico risulta a quota pari a 355.62 m s.l.m., come indicato nella monografia della stazione.



Fig. 9 – Monografia stazione idropluviometrica di Ponte Cene

Per procedere ad una calibrazione della metodologia di analisi idrologica sulla base del dato registrato a Ponte Cene durante l'evento del 2018 si è preliminarmente reso necessario ricostruire un modello idraulico semplificato del Fiume Serio a Ponte Cene.

Per fare ciò sono state estratte alcune sezioni idrauliche del Fiume Serio dal GEOportale regionale; in particolare sono state estratte le sezioni da SE\_150 a SE\_147, e grazie ad esse ricostruito un modello idraulico semplificato dell'asta mediante il software HEC RAS.

In realtà la modellazione del tratto d'asta a Ponte Cene finalizzata alla sola calibrazione del metodo di calcolo idrologico che meglio approssimasse i livelli raggiunti durante l'evento dell'Ottobre 2018 non costituisce essa stessa un passaggio semplice, in quanto questo tratto presenta una particolare complessità geometrica, per via della presenza di una traversa alla sezione immediatamente a valle del ponte presso cui si trova l'idrometro e di due importanti derivazioni.

Ciò ha reso necessario operare una “pre-taratura” del modello idraulico per poi utilizzarlo per calibrare anche il modello idrologico sul bacino del Serio a Ponte Cene, successivamente da estendere al bacino su Seriate.

Di seguito è mostrato un estratto planimetrico del modello idraulico ricostruito per Ponte Cene, con individuazione dell'esatta ubicazione dell'idrometro e delle altre peculiarità sopra citate.

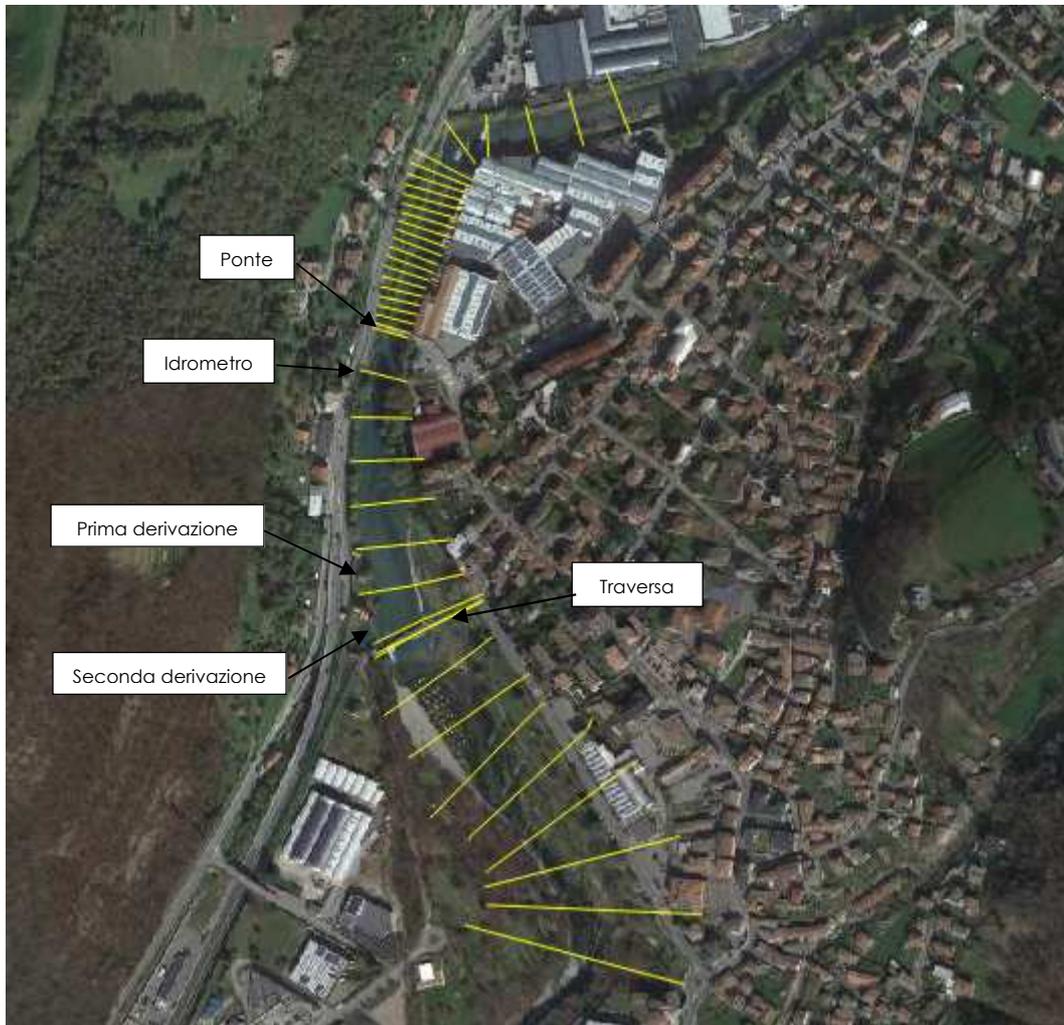


Fig. 10 – Schema del modello idraulico di Ponte Cene con elementi rappresentativi

Per verificare, dunque, l'affidabilità del modello idraulico di taratura a Ponte Cene, è stato preso in esame un secondo evento di precipitazione abbastanza intenso, molto recente, ovvero quello del 08/06/2020.

In questa occasione, come mostra la figura successiva, si è sviluppato un evento di piena “morbida” di cui la strumentazione di Ponte Cene ha registrato sia la portata che il livello idrometrico in alveo.

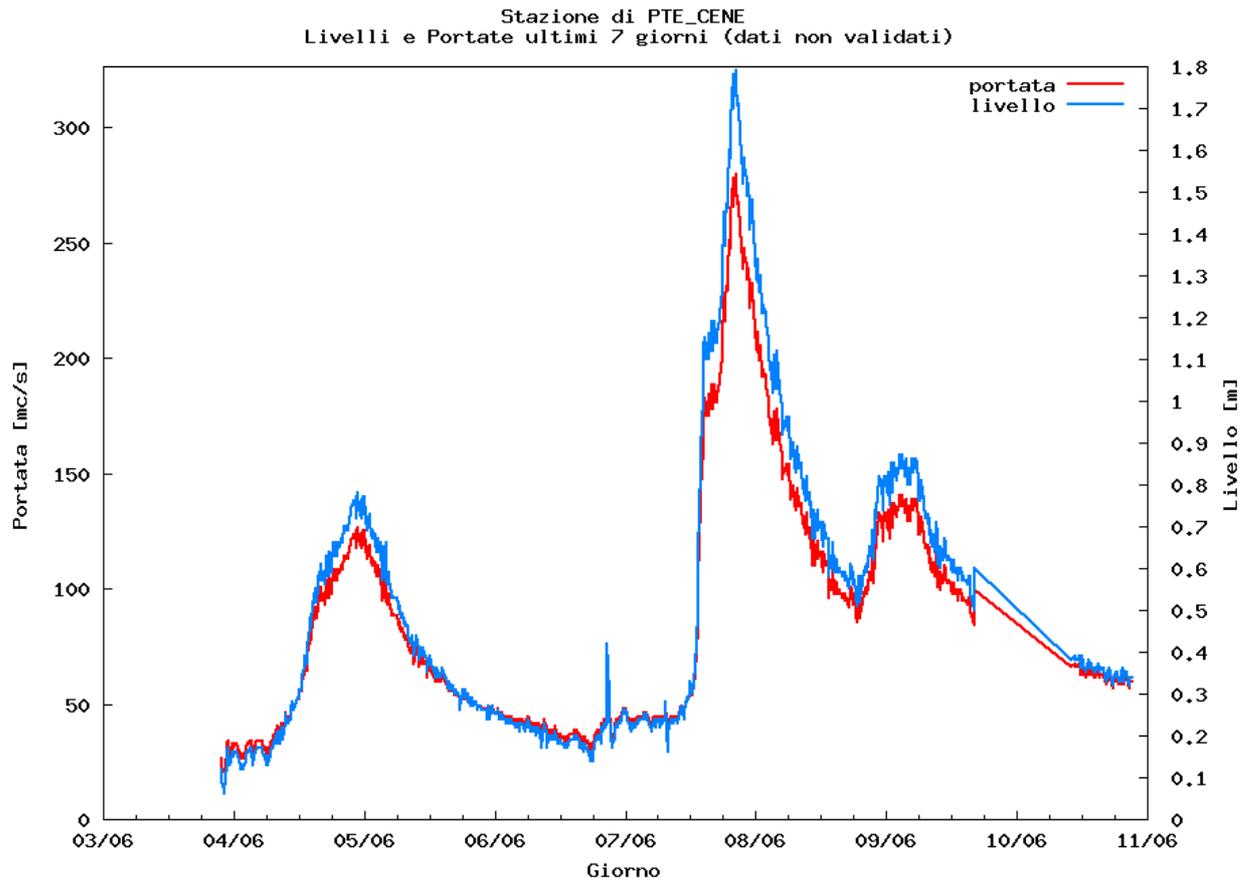


Fig. 11 – Idrogrammi di livelli e portata a Ponte Cene per l'evento del 08/06/2020

Il giorno 08/06/2020 a Ponte Cene è stato registrato un picco di portata pari a circa 280 mc/s ed un livello idrometrico pari a +1.80 m sullo zero idrometrico (357.42 m s.l.m.).

Implementando questo portata nel modello idraulico semplificato di Ponte Cene (moto vario) si è stati in grado di modificare gli elementi geometrici (in particolare quota e larghezza degli sfioratori che rappresentano le due derivazioni suddette) in modo da riprodurre il livello idrometrico di cui sopra.

Tali sfioratori sono stati schematizzati "a perdere", ovvero fissando le relative *Lateral Structure* in condizioni di *out of the system*.

Di seguito è mostrato un estratto della geometria del modello idraulico di Ponte Cene nella rappresentazione del software HecRas.

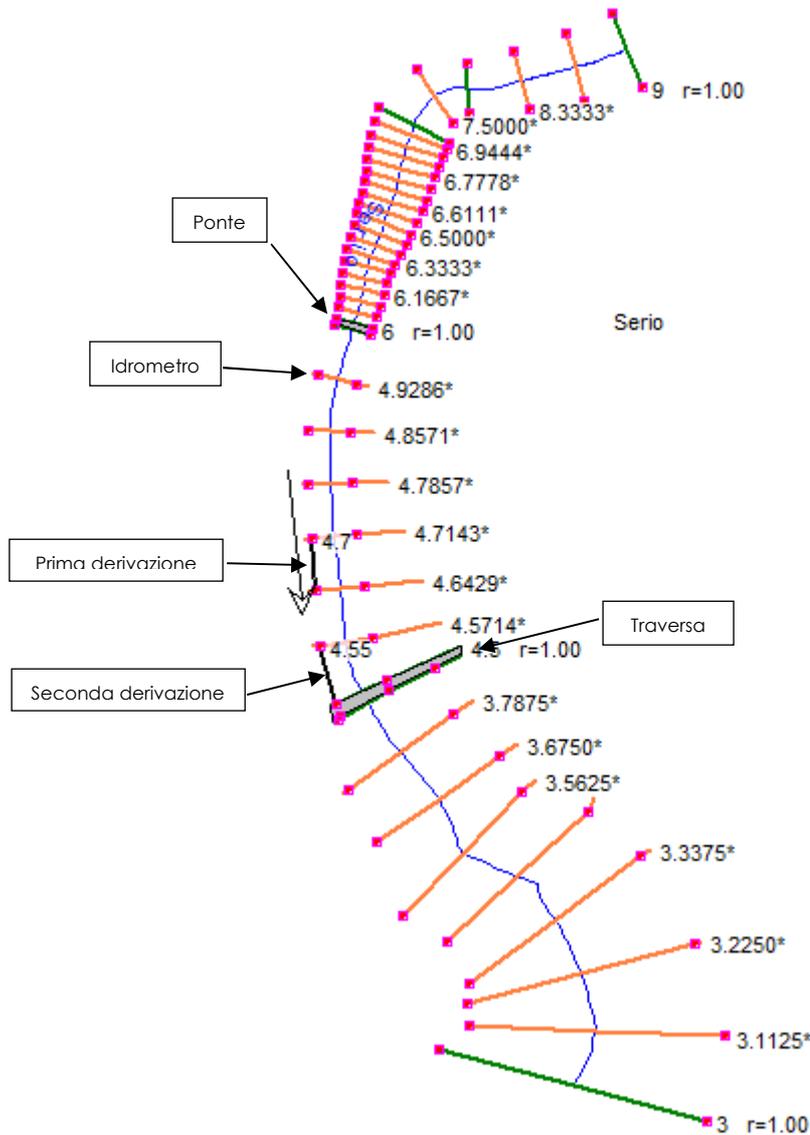


Fig. 12 – Schema della geometria del modello idraulico di Ponte Cene nella versione HecRas

Di questo modello, in cui il valore di scabrezza  $n$  di Manning del corso d'acqua è stato posto pari a  $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ , sono state iterativamente fatte girare numerose simulazioni al fine di definire una giusta congruenza geometrica ed ottenere, presso la sezione dell'idrometro (Sez. 4.9286\*) un livello analogo a quello registrato per l'evento di "pre-taratura" del Giugno 2020 (livello pari a 357.42 m s.l.m. a fronte di una portata al colmo pari a circa 280 mc/s).

Le simulazioni sono state condotte in moto vario, per poter rappresentare anche l'entità delle fuoriuscite dalle due derivazioni, ma con portata costante pari a 280 mc/s.

La seguente tabella mostra i risultati della simulazione finale, in cui si raggiunge un perfetto equilibrio tra il livello nella sezione di riferimento ed il livello registrato.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Serio	6.7222*	Max WS	279.98	354.69	358.28		358.72	0.002345	2.95	95.06	35.75	0.58
Serio	6.6667*	Max WS	279.98	354.65	358.25		358.70	0.002366	2.98	94.08	34.98	0.58
Serio	6.6111*	Max WS	279.98	354.62	358.22		358.69	0.002393	3.01	93.06	34.23	0.58
Serio	6.5556*	Max WS	279.98	354.58	358.19		358.66	0.002429	3.04	91.96	33.52	0.59
Serio	6.5000*	Max WS	279.98	354.54	358.16		358.65	0.002471	3.08	90.86	32.86	0.59
Serio	6.4444*	Max WS	279.97	354.51	358.13		358.62	0.002518	3.12	89.75	32.25	0.60
Serio	6.3889*	Max WS	279.98	354.47	358.10		358.60	0.002565	3.16	88.72	31.73	0.60
Serio	6.3333*	Max WS	279.98	354.43	358.07		358.58	0.002685	3.18	87.91	32.15	0.61
Serio	6.2778*	Max WS	279.97	354.39	358.04		358.55	0.002718	3.16	88.53	32.83	0.61
Serio	6.2222*	Max WS	279.97	354.36	358.02		358.53	0.002581	3.15	88.86	31.41	0.60
Serio	6.1667*	Max WS	279.96	354.32	358.00		358.50	0.002499	3.16	88.65	29.88	0.59
Serio	6.1111*	Max WS	279.96	354.28	357.96		358.48	0.002477	3.19	87.82	28.36	0.58
Serio	6.0556*	Max WS	279.96	354.25	357.93		358.46	0.002516	3.24	86.38	26.84	0.58
Serio	6	Max WS	279.96	354.21	357.88	356.87	358.45	0.002648	3.32	84.29	25.32	0.58
Serio	5.5		Bridge									
Serio	5	Max WS	280.01	354.21	357.53		358.23	0.003740	3.72	75.31	25.32	0.69
Serio	4.9286*	Max WS	280.00	354.11	357.42		358.03	0.003269	3.46	81.03	27.79	0.65
Serio	4.8571*	Max WS	280.01	354.02	357.33		357.86	0.002886	3.23	86.72	30.26	0.61
Serio	4.7857*	Max WS	280.01	353.92	357.25		357.72	0.002594	3.04	92.18	32.74	0.58
Serio	4.7143*	Max WS	280.00	353.82	357.19		357.59	0.002345	2.81	99.58	37.68	0.55
Serio	4.7		Lat Struct									
Serio	4.6429*	Max WS	279.50	353.72	357.14		357.49	0.001963	2.60	107.65	40.99	0.51
Serio	4.5714*	Max WS	279.50	353.63	357.24		357.38	0.000815	1.75	177.40	80.86	0.33
Serio	4.55		Lat Struct									
Serio	4.5	Max WS	182.55	353.53	357.37	355.54	357.39	0.000111	0.68	290.35	112.92	0.12
Serio	4.25		Bridge									
Serio	4	Max WS	182.54	353.53	355.02	355.55	356.92	0.061288	6.11	29.87	44.77	2.39
Serio	3.9	Max WS	182.54	353.53	354.98		355.26	0.005808	2.32	78.60	87.47	0.78
Serio	3.7875*	Max WS	182.54	352.90	354.65		354.94	0.007729	2.38	76.56	102.50	0.88
Serio	3.6750*	Max WS	182.53	352.28	354.27		354.60	0.008174	2.55	71.57	90.40	0.91
Serio	3.5625*	Max WS	182.55	351.65	353.52	353.75	354.26	0.023016	3.80	48.05	72.39	1.49
Serio	3.4500*	Max WS	182.54	351.02	352.59	353.04	353.78	0.015736	4.83	37.79	29.14	1.35
Serio	3.3375*	Max WS	182.54	350.39	351.83	352.09	352.88	0.014980	4.52	40.37	33.37	1.31
Serio	3.2250*	Max WS	182.54	349.77	351.11	351.31	352.04	0.014540	4.27	42.72	37.84	1.28
Serio	3.1125*	Max WS	182.54	349.14	350.40	350.58	351.24	0.014124	4.05	45.04	42.44	1.26
Serio	3	Max WS	182.54	348.51	349.74	349.87	350.46	0.012654	3.76	48.51	47.21	1.19

Fig. 13 – Tabulato dei risultati del modello di taratura di Ponte Cene, "pre-tarato" sull'evento del 2020

Nonostante le incertezze e le approssimazioni geometriche necessariamente compiute, si è constatato che questo modello idraulico riuscisse ad approssimare in modo piuttosto affidabile il comportamento del corso d'acqua in corrispondenza della sezione della stazione di Ponte Cene.

Una volta ottenuta la conferma di ciò, si è proseguito con le operazioni finalizzate alla calibrazione del modello idrologico, implementando le precipitazioni dell'evento dell'Ottobre 2018 (evento più significativo di quello di Giugno 2020) in apposito modello afflussi-deflussi con il software HechHms 4.6.1.

Per la depurazione delle piogge è stato adottato il metodo del *Curve Number (Soil Conservation Service)*, come consigliato anche nell'Allegato 4 alla D.G.R. IX/2616/2011.

A partire dai dati dell'*Uso del Suolo* della Regione Lombardia (agg. 2018) e della *Carta Idrologica con indicazione della Permeabilità* (agg. 2016) è stato calcolato il valore del CN medio sul bacino.

Le seguenti figure mostrano, in serie, estratti della carta di uso del suolo, della carta idrologica con indicazione delle permeabilità e della distribuzione del CN (CN II) sul bacino del Fiume Serio, con evidenziazione sia bacino chiuso a Ponte Cene (quello di interesse per la presente taratura) sia di quello chiuso a Seriate (di interesse per la successiva modellazione idraulica).

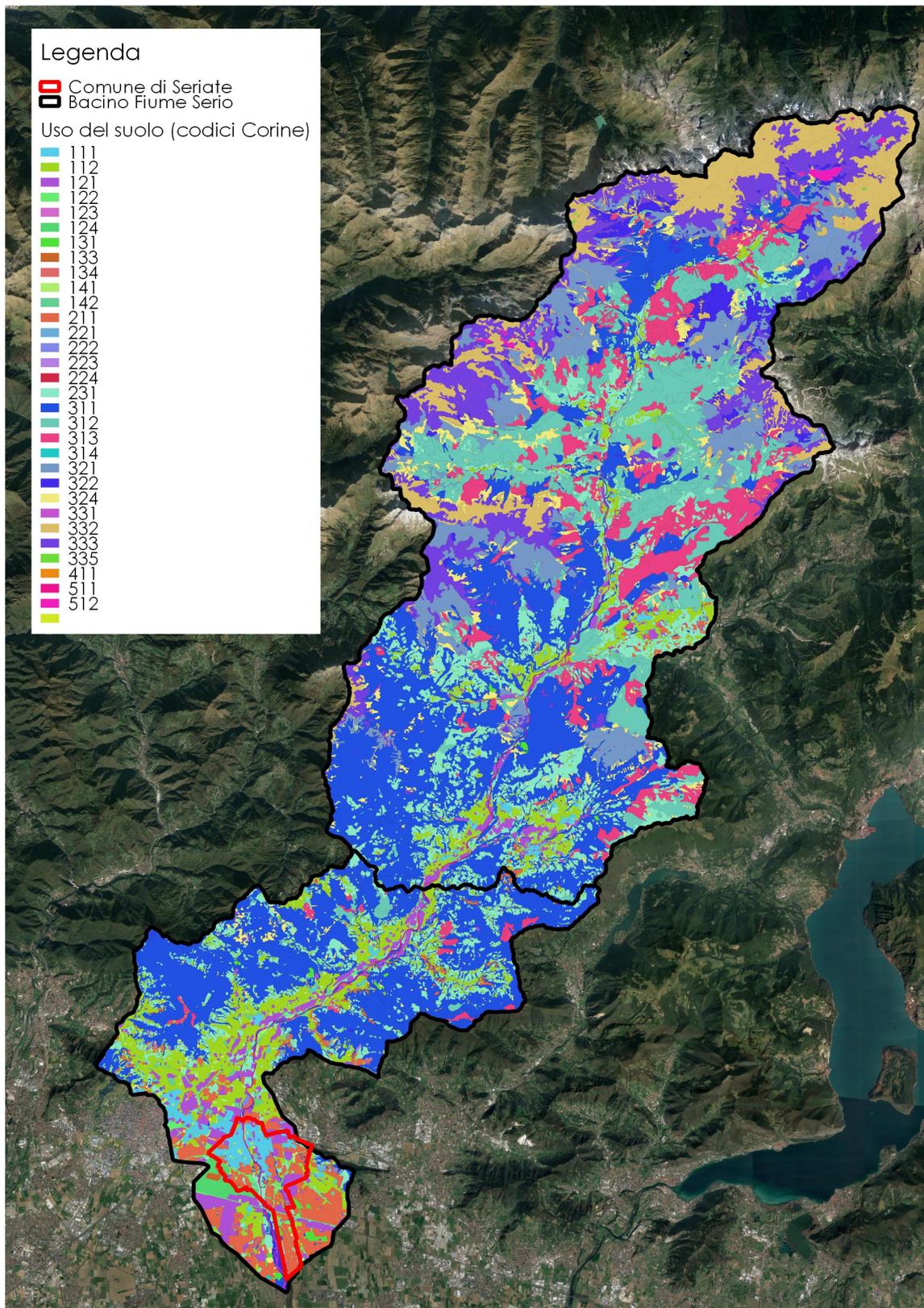


Fig. 14 – Uso del suolo sul bacino del Fiume Serio (RL2018)

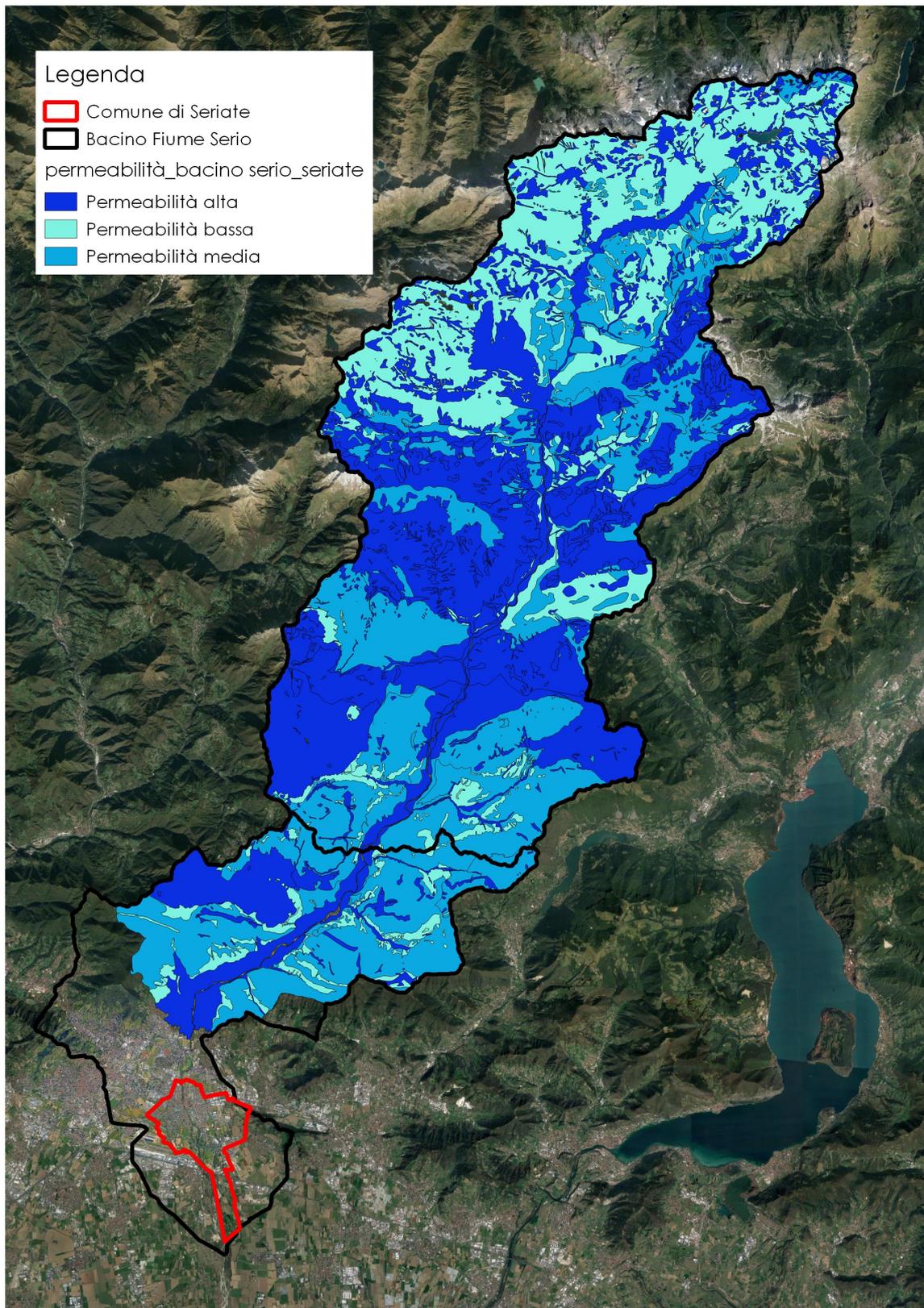


Fig. 15 – Permeabilità sul bacino del Fiume Serio (RL2016)

Si osserva che la Carta idrologica con indicazione della permeabilità della Regione Lombardia mappa solo il territorio collinare e montano pertanto la porzione di valle ed il territorio di Seriate non sono coperte da questo dato.

Alle 3 classi di permeabilità sono state rispettivamente assegnate le classi B, C e D dei suoli secondo il metodo SCS. Alla porzione mancante di cui sopra è stata assegnata la classe di suolo intermedia (C).

Incrociando, in ambiente GIS, i dati di uso del suolo e permeabilità si sono ricavati i corrispondenti valori di CN, utilizzando le consuete tabelle di associazione.

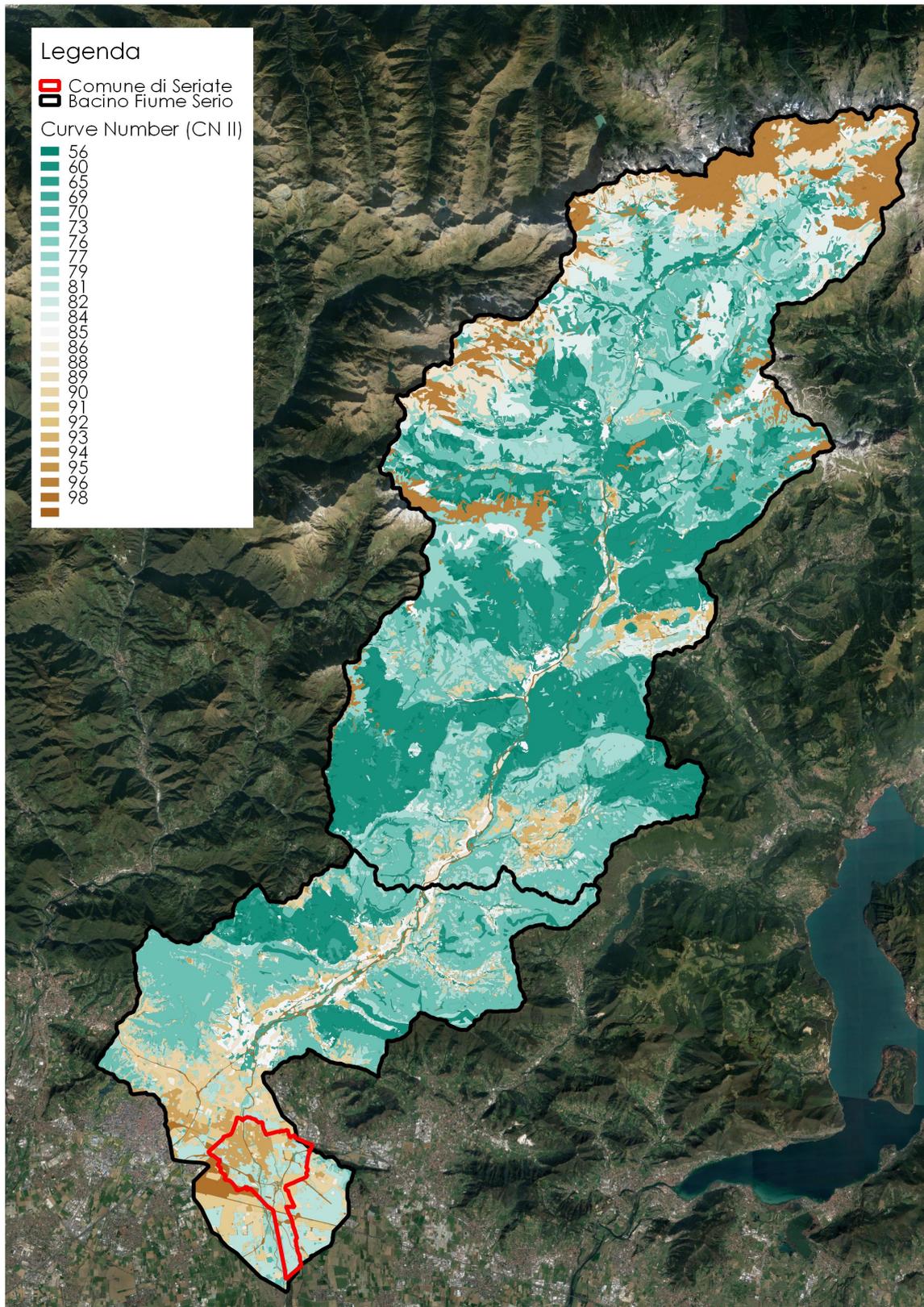


Fig. 16 – Distribuzione dei valori CN sul bacino del Fiume

Il valore di CN determinato sul bacino di monte del Fiume Serio con chiusura a Ponte Cene risulta pari a **75**.

Per la trasformazione afflussi-deflussi del modello idrologico sono stati posti a confronto due distinti metodi, tra quelli proposti dal software HecHms, ovvero il metodo dell'idrogramma unitario SCS e quello dell'idrogramma unitario di Clark.

Entrambi i metodi necessitano della stima del tempo di corrivazione  $T_c$  del bacino.

Per valutare il tempo di corrivazione si è fatto riferimento sia alla formulazione proposta dal metodo SCS stesso, sia alla formula di Giandotti, già adottata nello studio Etatec:

$$T_c = 0,095 \cdot L_{max}^{0,8} \cdot (1000/CN-9)^{0,7} \cdot i_{bac\%}^{-0,5}$$

$$T_c = (4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L_{max}) / (0,8 \cdot \Delta H_{mean0}^{0,5})$$

La formula SCS (la prima) richiede che, oltre al valore di CN precedentemente stimato, venga valutata anche la lunghezza del massimo percorso all'interno del bacino ( $L_{max}$ ), che nel caso specifico praticamente coincide con la lunghezza dell'asta principale, e la pendenza media del bacino ( $i_{bac\%}$ ).

La formula di Giandotti (la seconda) necessita anche della superficie del bacino ( $A$ ) e della differenza tra l'altitudine media e l'altitudine minima del bacino ( $\Delta H_{mean0}$ ), oltre al massimo percorso ( $L_{max}$ ) come la formula SCS.

Per l'analisi morfologica necessaria alla stima dei parametri appena descritti si è fatto riferimento al D.T.M. 5x5 anno 2015 e al reticolo idrografico della Provincia di Bergamo, entrambi disponibili sul GEOportale regionale.

La seguente tabella sintetizza le informazioni morfologiche caratteristiche del bacino del Fiume Serio chiuso a Ponte Cene:

Bacino	A (kmq)	CN	$L_{max}$ (km)	$i_{bac\%}$ (%)	$\Delta H_{mean0}$ (m)
Serio	462	75	48.9	0.59	970

Tab. 2 – Parametri morfologici caratteristici del bacino del Fiume Serio a Ponte Cene

Dall'applicazione di suddetti dati e formule si ottengono i seguenti tempi di corrivazione:

$T_c$ SCS (h)	$T_c$ Giandotti (h)
7.73	6.39

Tab. 3 – Tempi di corrivazione del bacino Fiume Serio a Ponte Cene

Con il modello idrologico HecHms è stata quindi ricostruita un'ampia serie di idrogrammi a partire dalle precipitazioni "reali" di cui sopra sia adottando il metodo di trasformazione dell'idrogramma unitario SCS che quello di Clark.

Gli elementi scelti come variabili del modello idrologico di seguito elencati.

### Tempo di corrivazione

Nonostante sia stato già calcolato con le formulazioni SCS e Giandotti si è ritenuto appropriato valutare un ventaglio di possibili tempi di corrivazione vicini ai valori di Tab. 3. L'analisi ha quindi preso in considerazione i seguenti tempi di corrivazione:

- $T_c = 6$  ore;
- $T_c = 7$  ore (quasi equivalente alla media di Tab. 3);
- $T_c = 8$  ore.

### **Coefficiente di ragguglio areale ( $K_r$ , o ARF)**

Il ragguglio areale delle precipitazioni rappresenta uno dei principali elementi di incertezza laddove si debba ricostruire, anche sulla base di precipitazioni reali, la distribuzione delle medesime su bacini di grandi superfici; l'argomento è trattato, ad esempio, anche nella pubblicazione *Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Regione Lombardia* (De Michele, Rosso, Rulli – Arpa Lombardia, 2005), in cui si propongono numerose formulazioni empiriche, prevalentemente applicabili a casi specifici di studio e difficilmente estendibili a realtà diverse.

Al di là di questo, nel processo di taratura del modello idrologico del bacino a Ponte Cene si è optato per variare gradualmente anche il valore del coefficiente di ragguglio, alla ricerca di quello che generasse un idrogramma che a sua volta restituisse, nel modello idraulico, un livello idrometrico comparabile con quello registrato in occasione dell'evento di piena dell'Ottobre 2018.

L'analisi ha quindi preso in considerazione i seguenti coefficienti di ragguglio areale:

- ARF = **0.5**;
- ARF = **0.55**;
- ARF = **0.6**.

### **Coefficienti specifici per i modelli di trasformazione adottati**

Dal momento che l'analisi idrologica ha preso in considerazione sia la trasformazione afflussi-deflussi con l'idrogramma unitario SCS che con quella con l'idrogramma unitario di Clark, si è inteso valutare anche la risposta rispetto a coefficienti specifici dei rispettivi metodi, ed in particolare:

#### Per il metodo SCS

Il fattore di picco (*Peak Rate Factor, PRF*) dell'idrogramma è stato fatto variare tra i seguenti valori:

- PRF = **400**;
- PRF = **484** (valore di *default* del software);
- PRF = **550**.

#### Per il metodo di Clark

Il coefficiente di invaso  $R$  di Clark è stato fatto variare tra i seguenti valori:

- $R = 0.5 T_c$ ;
- $R = 0.75 T_c$ ;
- $R = T_c$ .

Avendo individuato tutte queste variabili, il set di idrogrammi "reali" da stimare prima a livello e successivamente da verificare nel modello idraulico di Ponte Cene è risultato il seguente:

$$\begin{aligned} & 2 \times \text{Metodi di trasformazione} \\ & \quad \times \\ & 3 \times \text{Tempi di corivazione} \\ & \quad \times \\ & 3 \times \text{Coefficienti ragguglio areale} \\ & \quad \times \\ & 3 \times \text{Coefficienti specifici (PRF o R) del metodo di trasformazione} \\ & = \mathbf{54} \text{ idrogrammi} \end{aligned}$$

Per alleggerire un po' questo carico è stata fatta una verifica preliminare su un metodo campione (metodo SCS, tempo di corrivazione pari a 7 ore e PRF di default, 484) al variare dei coefficienti di ragguglio areale di cui sopra.

I relativi idrogrammi sono stati poi inseriti nel modello idraulico di Ponte Cene.

Il risultato di questa operazione è riassunto nel seguente grafico.

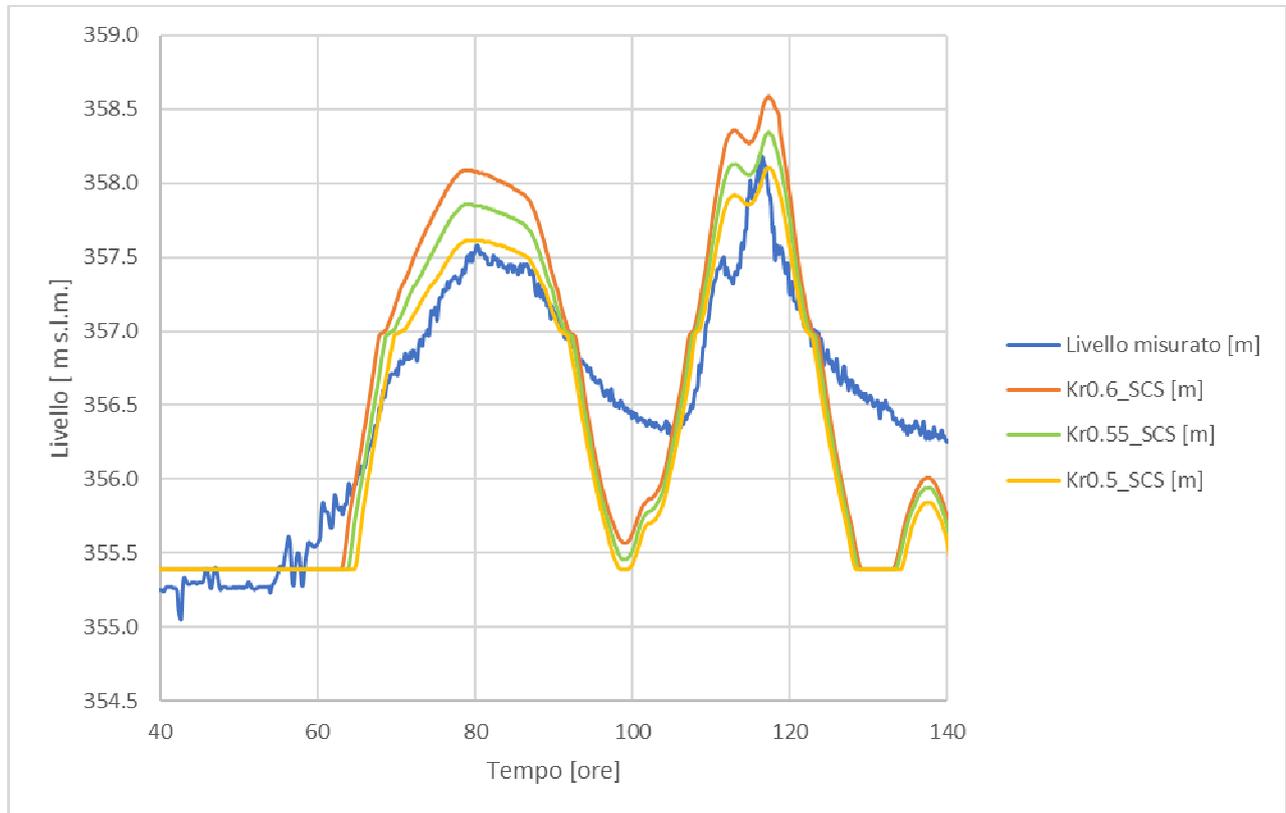


Fig. 17 – Confronto tra idrogrammi ricostruiti al variare di ARF (o Kr) e l'idrogramma dei livelli misurati per l'evento del 2018 a Ponte Cene

E' apparso fin da subito evidente come l'idrogramma stimato con ARF = 0.5 approssimasse meglio i misurati nel modello idraulico.

Per questo motivo il valore ARF = 0.5 è stato assunto come coefficiente di ragguglio di riferimento per le operazioni di taratura.

Tutti gli altri calcoli sono stati quindi condotti adottando tale valore di ARF; trattasi quindi **non più di n. 54 scenari, bensì n. 18.**

Di seguito sono riportati tutti gli idrogrammi così ottenuti.

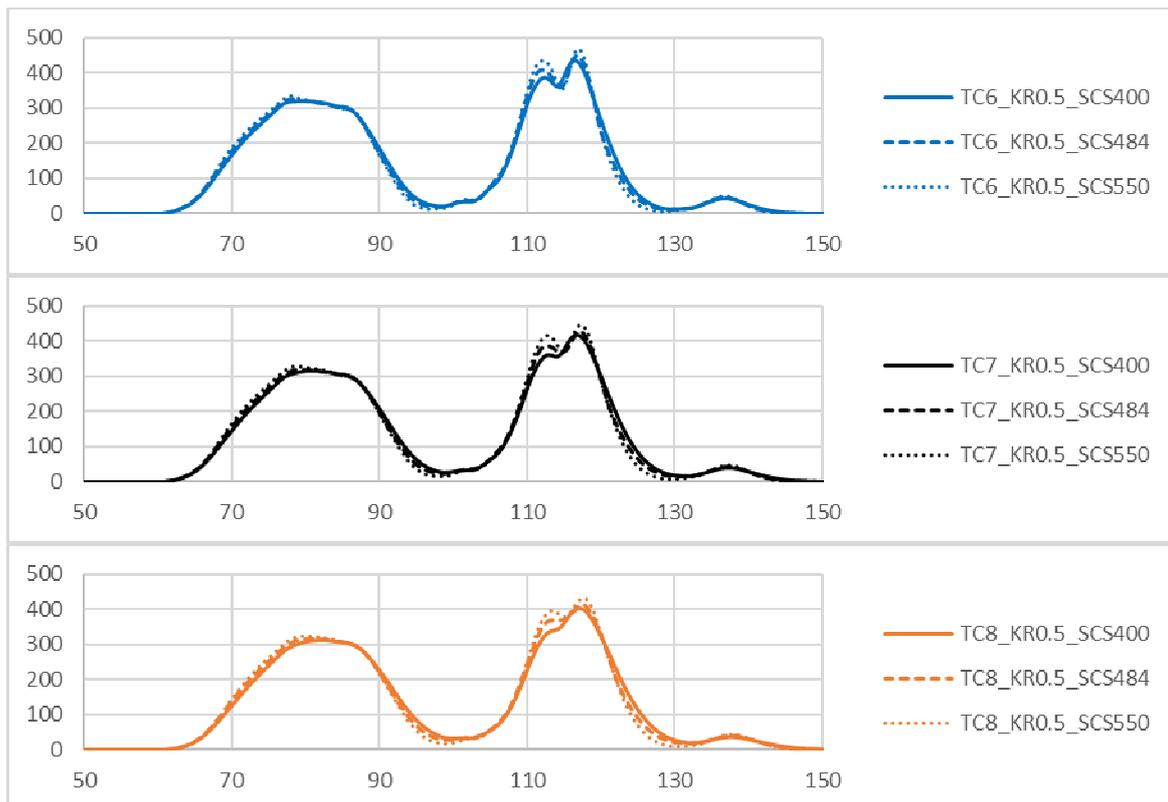


Fig. 18 – Idrogrammi dell'evento del 2018 a Ponte Cene ricostruiti con metodo SCS

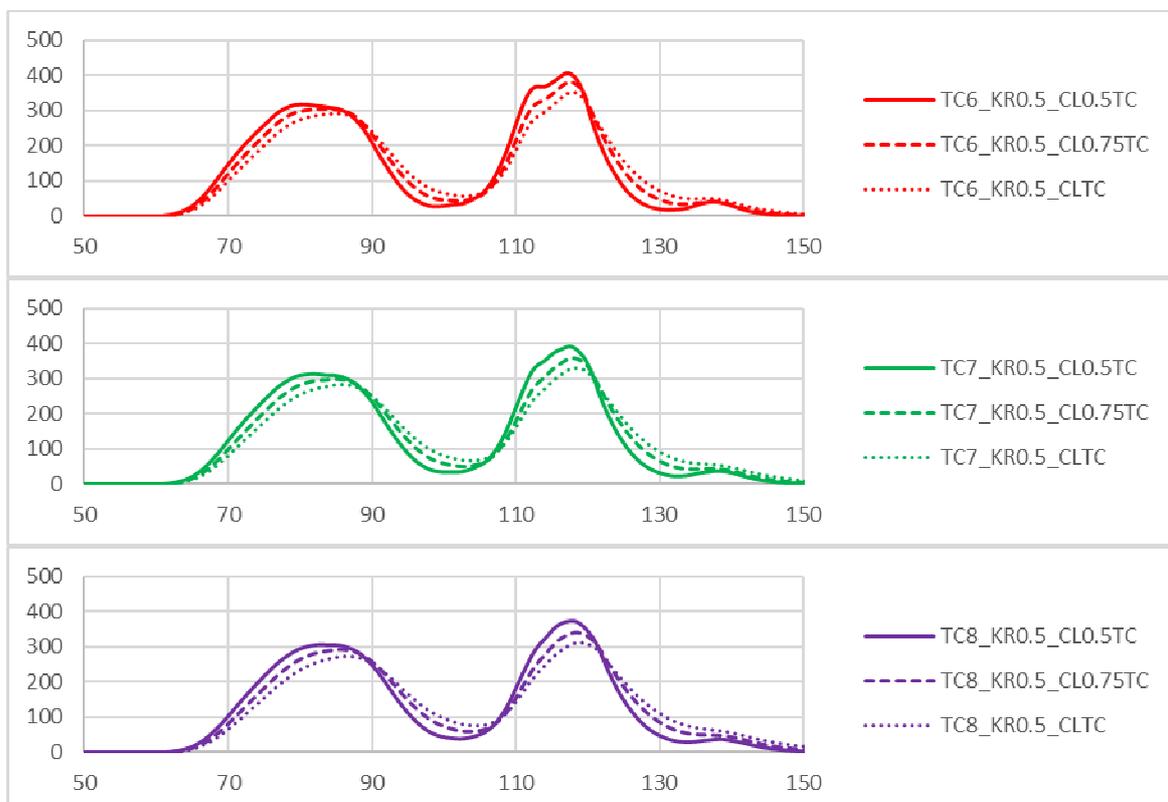


Fig. 19 – Idrogrammi dell'evento del 2018 a Ponte Cene ricostruiti con metodo di Clark

Tutti questi idrogrammi sono stati implementati nel modello idraulico di taratura di cui sopra.  
Di seguito sono mostrati i confronti rispetto all'idrogramma registrato in corrispondenza della sezione

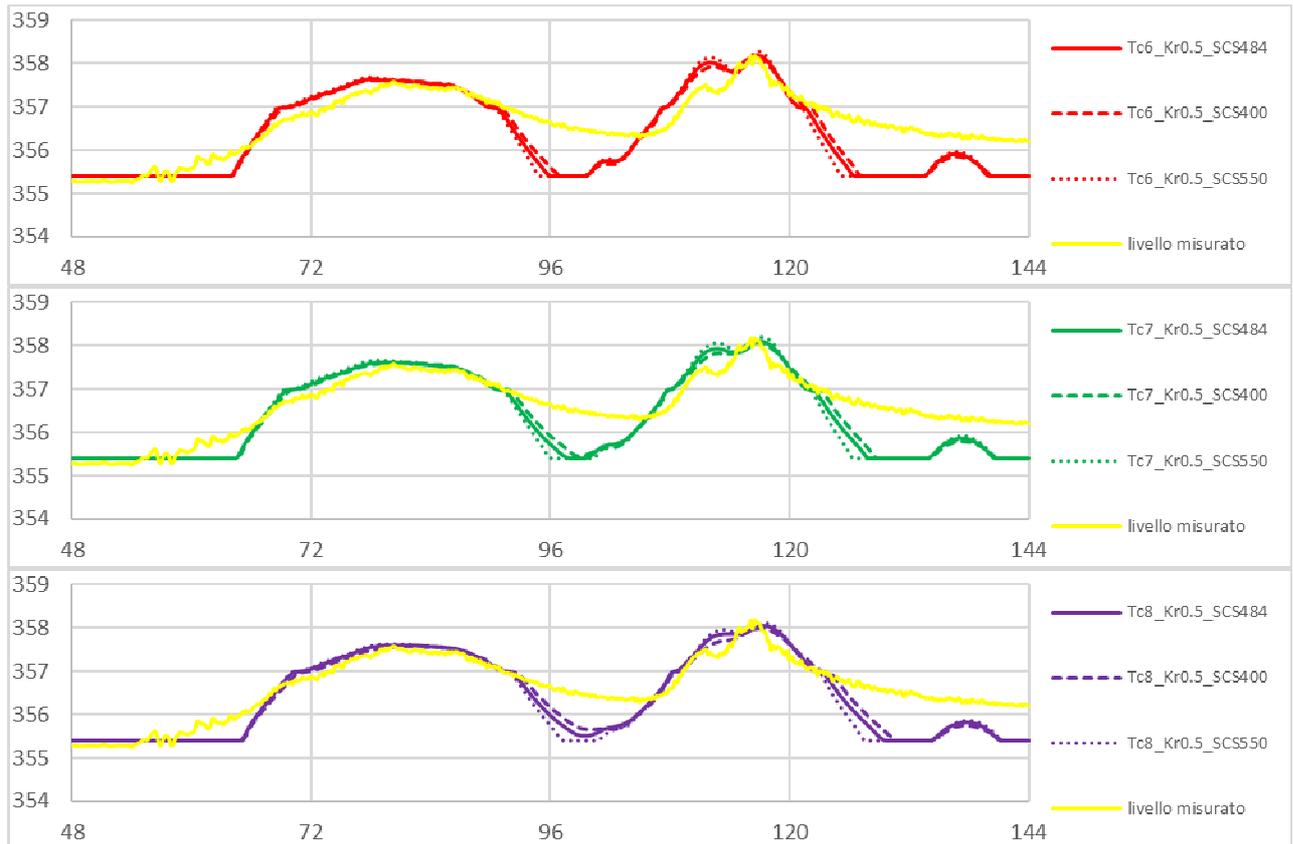


Fig. 20 – Confronto tra livelli misurati alla sezione dell'idrometro e livelli da modello idraulico con idrogrammi ricostruiti con metodo SCS (NB: colori invertiti rispetto a Fig. 18)

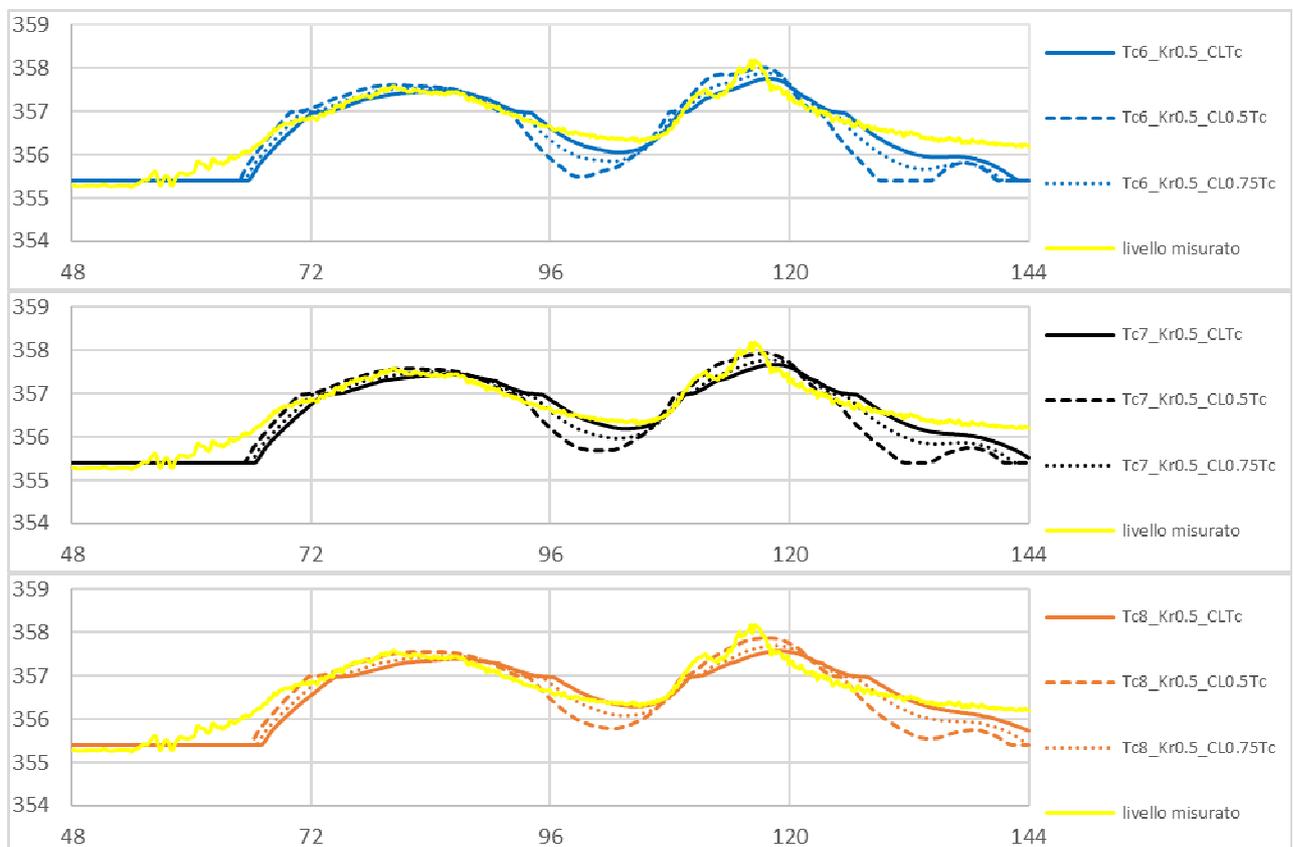


Fig. 21 – Confronto tra livelli misurati alla sezione dell'idrometro e livelli da modello idraulico con idrogrammi ricostruiti con metodo di Clark (NB: colori invertiti rispetto a Fig. 19)

Dall'analisi di questi risultati si può osservare che:

- La taratura con idrogrammi da metodo SCS non mostra grandi variazioni rispetto agli scenari indagati.  
Si ritiene che la versione con  $PRF = 484$  (quella con valori "intermedi") possa essere preferibile.  
Non emergono invece lampanti differenze di risultati rispetto al set di tempi di corrivazione verificati; forse una leggera preferenza per  $T_c = 8$  ore,
- La taratura con idrogrammi da metodo di Clark mostra un po' più di variabilità di risultati.  
La versione con  $R = 0.5 T_c$  appare preferibile per una maggiore simultaneità dei picchi.  
Il tempo di corrivazione  $T_c = 6$  ore sembra rappresentare meglio l'andamento e la simultaneità, soprattutto sul secondo picco.
- Confrontando i due metodi, si rileva che i risultati con il metodo SCS sembrano marcare meglio nei dettagli la forma in corrispondenza dei picchi (ad esempio, la doppia cuspide sul secondo picco), ma assai peggio riproducono le fasi intermedie tra i due picchi. Con gli idrogrammi da metodo di Clark l'andamento dei livelli appare leggermente più "appiattito" e, in linea generale, più coerente con quello reale, anche in termini di superficie sottesa.

Nonostante una leggera preferenza per gli idrogrammi ricostruiti con metodo SCS,  $T_c = 8$  ore e  $PRF=484$  e con metodo di Clark,  $T_c = 6$  ore e  $R = 0.5 T_c$ , ciò che sostanzialmente emerge è la buona coerenza della risposta idrologica in termini di "depurazione" e valore di  $CN$ .

### 3.2 Stima degli idrogrammi per il bacino del Fiume Serio a Seriate

Alla luce dei risultati e delle considerazioni di cui al paragrafo precedente si è passati ad estendere il modello idrologico per l'individuazione degli idrogrammi di piena *sintetici* di interesse all'intero bacino del Fiume Serio chiuso a Seriate.

Le persistenti incertezze nella scelta di un'unica versione di parametrizzazione e metodologia per la stima degli idrogrammi *sintetici* ha reso necessario che anche per la ricerca dell'idrogramma di progetto per il modello idraulico di Seriate si proseguisse adottando tutte le n. 18 *versioni idrologiche* di cui sopra.

Appare opportuno ricordare nuovamente che la finalità di questa analisi idrologica è quella di individuare gli idrogrammi del Fiume Serio in ingresso a Seriate con tempo di ritorno pari a 50 e 200 anni che meglio approssimino i valori di portata al colmo indicati dal P.G.R.A., ed in particolare il valore di **770 mc/s** per la portata duecentennale, da introdurre poi nelle modellazioni idrauliche.

Rispetto al calcolo idrologico su precipitazioni reali, per la ricostruzione degli idrogrammi di piena *sintetici* si è fatto riferimento alle Linee Segnalatrici 1-24 ore del *Progetto STRADA*, così come consultabili e calcolabili attraverso il *Portale Idrologico Geografico* di ARPA Lombardia, anche mediante l'apposito foglio di calcolo linea segnalatrice.

La formulazione analitica delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica adottata in Regione Lombardia è la seguente:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

in cui

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Sul *Portale Idrologico* di ARPA Lombardia sono messi a disposizioni i *raster* dei parametri  $a_1$ ,  $n$ ,  $\alpha$ ,  $k$ ,  $\varepsilon$  necessari per il calcolo delle altezze di pioggia.

Questi dati sono stati acquisiti, ritagliati sul bacino idrografico del Fiume Serio sotteso a Seriate Ponte Cene e mediati; dopodiché sono stati inseriti nel foglio di calcolo, che ha restituito i valori di cui alla seguente tabella.

Durata [ore]	h [mm] TR 2 anni	h [mm] TR 5 anni	h [mm] TR 10 anni	h [mm] TR 20 anni	h [mm] TR 30 anni	h [mm] TR 50 anni	h [mm] TR 100 anni	h [mm] TR 200 anni
1	22.70	31.84	38.18	44.49	48.23	53.01	59.65	66.51
2	29.54	41.44	49.69	57.90	62.76	68.98	77.63	86.55
3	34.46	48.34	57.97	67.55	73.22	80.47	90.56	100.97
4	38.45	53.92	64.66	75.35	81.67	89.77	101.02	112.63
5	41.85	58.69	70.38	82.02	88.90	97.71	109.96	122.60
6	44.85	62.90	75.43	87.90	95.28	104.72	117.85	131.39
7	47.56	66.70	79.98	93.20	101.03	111.04	124.96	139.32
8	50.03	70.17	84.15	98.06	106.29	116.82	131.46	146.57
9	52.32	73.38	88.00	102.54	111.15	122.16	137.48	153.28
10	54.46	76.38	91.59	106.73	115.69	127.16	143.09	159.54
11	56.47	79.20	94.97	110.67	119.96	131.84	148.37	165.42
12	58.37	81.86	98.16	114.39	123.99	136.28	153.36	170.98
13	60.17	84.39	101.20	117.92	127.82	140.49	158.10	176.27
14	61.89	86.80	104.09	121.29	131.47	144.50	162.61	181.30
15	63.53	89.10	106.85	124.51	134.96	148.34	166.93	186.12
16	65.11	91.32	109.50	127.60	138.31	152.02	171.08	190.74
17	66.62	93.44	112.06	130.58	141.54	155.56	175.06	195.18
18	68.09	95.50	114.52	133.44	144.65	158.98	178.91	199.47
19	69.50	97.48	116.89	136.21	147.65	162.28	182.62	203.61
20	70.87	99.40	119.19	138.90	150.55	165.47	186.22	207.62
21	72.20	101.26	121.42	141.49	153.37	168.57	189.70	211.50
22	73.48	103.06	123.59	144.02	156.11	171.58	193.08	215.27
23	74.73	104.82	125.70	146.47	158.77	174.50	196.37	218.94
24	75.95	106.53	127.75	148.86	161.35	177.34	199.57	222.51
25	77.14	108.19	129.74	151.19	163.88	180.12	202.69	225.99
26	78.30	109.82	131.69	153.46	166.34	182.82	205.74	229.38
27	79.43	111.40	133.59	155.67	168.74	185.46	208.71	232.69
28	80.53	112.95	135.45	157.84	171.09	188.04	211.61	235.93
29	81.62	114.47	137.27	159.96	173.39	190.57	214.45	239.10
30	82.67	115.95	139.05	162.03	175.63	193.04	217.24	242.20
31	83.71	117.41	140.79	164.06	177.84	195.46	219.96	245.24
32	84.73	118.83	142.50	166.06	179.99	197.83	222.63	248.21
33	85.72	120.23	144.18	168.01	182.11	200.16	225.25	251.13
34	86.70	121.60	145.82	169.93	184.19	202.44	227.82	254.00
35	87.66	122.95	147.44	171.81	186.23	204.68	230.34	256.81
36	88.61	124.27	149.02	173.66	188.23	206.88	232.82	259.58
37	89.53	125.57	150.58	175.47	190.20	209.05	235.26	262.29
38	90.44	126.85	152.12	177.26	192.14	211.18	237.65	264.96
39	91.34	128.11	153.63	179.02	194.05	213.27	240.01	267.59
40	92.22	129.35	155.11	180.75	195.92	215.34	242.33	270.18
41	93.09	130.57	156.57	182.45	197.77	217.37	244.61	272.73
42	93.95	131.77	158.02	184.13	199.59	219.37	246.86	275.23
43	94.79	132.95	159.43	185.79	201.38	221.34	249.08	277.71
44	95.63	134.12	160.83	187.42	203.15	223.28	251.27	280.14
45	96.45	135.27	162.21	189.02	204.89	225.19	253.42	282.55
46	97.26	136.40	163.57	190.61	206.61	227.08	255.55	284.92
47	98.05	137.52	164.92	192.17	208.30	228.94	257.64	287.25
48	98.84	138.63	166.24	193.72	209.98	230.78	259.71	289.56

Tab. 4 – Altezze di pioggia sul bacino del Fiume Serie chiuso a Seriate per durate e tempi di ritorno variabili

Come si può vedere, il calcolo è stato esteso anche a durate di pioggia superiori a 24 ore, mediante il foglio di calcolo LSPP 1-5 giorni.

A questo punto, note altezze lorde di pioggia, si è reso necessario, a differenza della precedente analisi sull'evento reale dell'Ottobre 2018 a Ponte Cene, definire la modalità di distribuzione dell'altezza di precipitazione durante l'evento, ovvero lo ietogramma, o pluviogramma, di progetto.

Il modello afflussi-deflussi utilizzato nello *Studio Etatec* per il Fiume Serio del 1995 era fondato su uno ietogramma di tipo *Chicago* (con picco centrale).

Nel presente caso l'utilizzo dello ietogramma tipo *Chicago* è stata presto esclusa, in quanto ritenuta non adeguata al bacino in esame.

Infatti verifiche preliminari sul bacino di Ponte Cene con alcune delle *versioni idrologiche* di cui al paragrafo precedente avevano mostrato come i valori al colmo degli idrogrammi stimati a partire da ietogramma di tipo *Chicago* tendessero progressivamente ad aumentare al crescere della durata di precipitazione, raggiungendo valori molto elevati, ben oltre i valori suggeriti dal P.G.R.A.

Per questo motivo la stima degli idrogrammi sintetici è stata eseguita solo a partire da **ietogrammi rettangolari** (costanti) e **ietogrammi triangolari**.

Oltre alla scelta dello ietogramma di progetto, la stima di idrogrammi *sintetici* per durate di precipitazione variabili comporta necessariamente l'esigenza di scegliere una relazione affidabile per il ragguglio areale delle precipitazioni.

Nel modello *tarato* sull'evento reale è stato assunto un valore di  $ARF = 0.5$ , ma a fronte di una precipitazione reale (quindi non direttamente riconducibile ad alcuno ietogramma di cui sopra) di durata pari a circa 36 ore.

In questo caso, invece, non conoscendo la durata di precipitazione che massimizza l'evento di piena del Fiume Serio (l'unico riferimento è dato da quanto riportato nella relazione idraulica del 2009 di *Etatec* in cui si fa riferimento ad un evento di durata pari a 19 ore), è necessario disporre di una relazione che leghi il ragguglio areale alla durata e alla superficie del bacino.

Per il ragguglio areale è stata utilizzata una delle formulazioni proposte nella pubblicazione sul *Regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia* citata in precedenza, ovvero la seguente:

$$ARF(D, A + A_0) = \left[ 1 + \omega \left( \frac{A^z}{D} \right)^b \right]^{\frac{v}{b}}$$

in cui  $\omega = 0.09$ ,  $b = 0.540$ ,  $z = 1$  e  $v = 0.484$ .

La seguente tabella mostra i valori dei coefficienti di ragguglio ricavati con la formulazione di cui sopra per il bacino del Fiume Serio ( $A=566$  kmq).

<b>durata evento</b> [ore]	<b>ARF</b> [-]
1	0.305
2	0.385
3	0.436
4	0.473
5	0.502
6	0.526
7	0.546
8	0.563
9	0.578
10	0.592
11	0.604
12	0.615
13	0.625
14	0.634
15	0.642
16	0.650
17	0.657
18	0.664
19	0.670
20	0.676
21	0.682
22	0.687
23	0.692
24	0.697
25	0.701
26	0.706
27	0.710
28	0.714
29	0.718
30	0.721
31	0.724
32	0.727
33	0.730

Tab. 5 – Coefficienti di ragguaglio areale delle precipitazioni per il bacino del Fiume Serio a Seriate

Le piogge di cui alla Tab. 4 sono state quindi ragguagliate all'area del bacino, ottenendo i seguenti ietogrammi, nelle versioni rettangolare e triangolare.

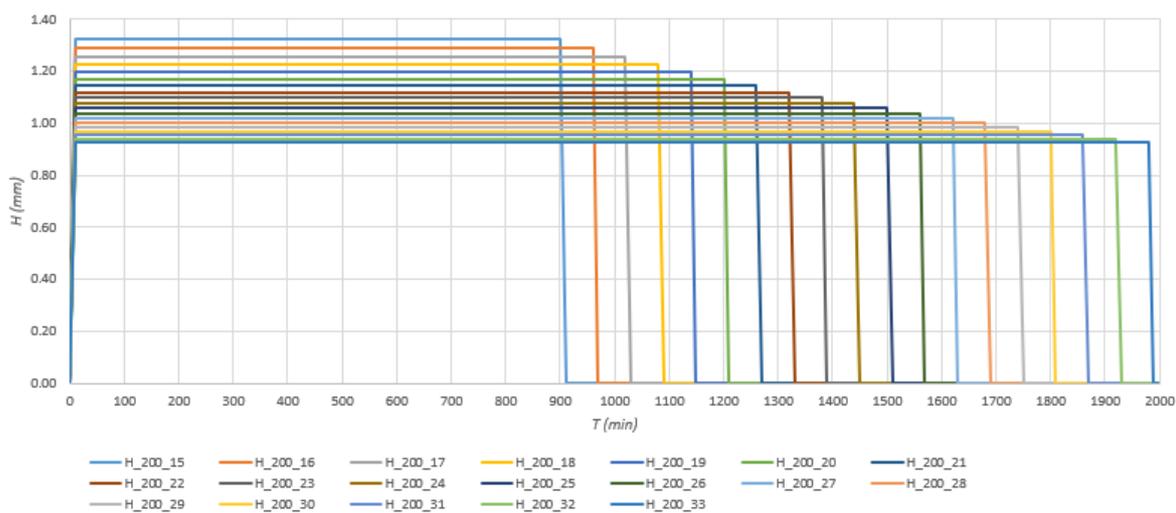


Fig. 22 – Ietogrammi rettangolari ragguagliati sul bacino Fiume del Serio a Seriate per TR200

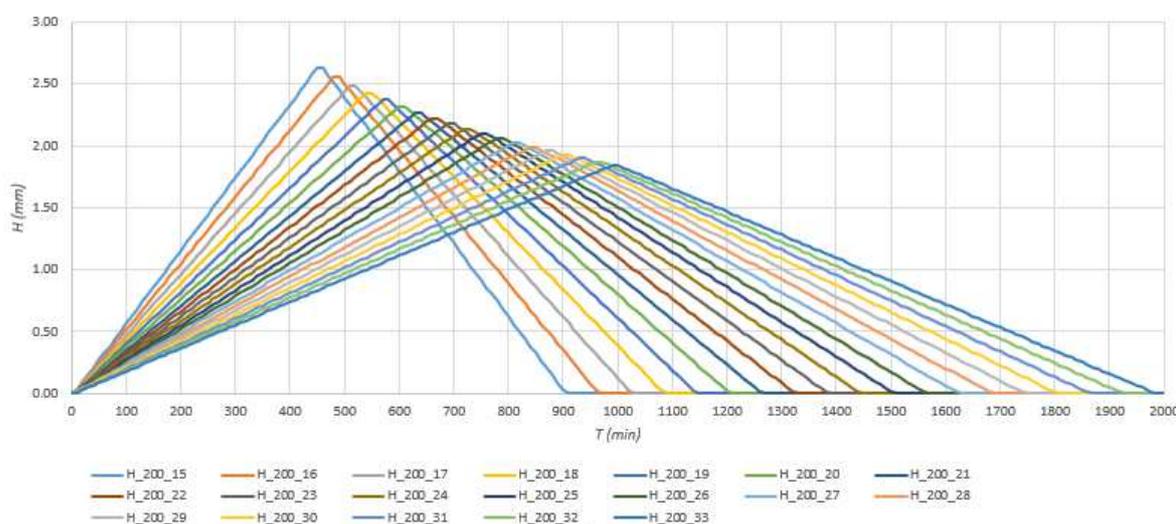


Fig. 23 – Ietogrammi triangolari ragguagliati sul bacino Fiume del Serio a Seriate per TR200

Una volta definito l'input meteorico del modello idrologico per il bacino di Seriate, si è proceduto implementando un nuovo modello col software HechHms 4.6.1.

Per la stima degli idrogrammi, come già per il bacino del Fiume Serio chiuso a Ponte Cene, necessitano tutti i parametri morfologici e di infiltrazione di cui al paragrafo precedente.

Come anticipato, anche per le valutazioni idrologiche del bacino a Seriate si è inteso predisporre un'analisi rispetto a diversi scenari idrologici, i medesimi indagati per il bacino a Ponte Cene.

La seguente tabella sintetizza, analogamente al caso di Ponte Cene, le informazioni morfologiche caratteristiche del bacino del Fiume Serio chiuso a Seriate, necessarie per la stima dei tempi di corrvazione con la formulazione proposta dal metodo SCS e da Giandotti:

Bacino	A (kmq)	CN	L <sub>max</sub> (km)	i <sub>bac</sub> % (%)	ΔH <sub>mean0</sub> (m)
Serio	566	76	63.5	0.56	940

Tab. 6 – Parametri morfologici caratteristici del bacino del Fiume Serio a Seriate

Relativamente alla precedente tabella si specifica che:

- Il perimetro del bacino, come per quello di Ponte Cene, è stato ricostruito a partire dai dati reperiti sul GEOportale della Regione Lombardia;
- Il valore di  $CN$  è stato calcolato analogamente a quanto fatto per Ponte Cene a partire dai dati delle Figg. 14 e 15.

Dall'applicazione di suddetti dati si ottengono i seguenti tempi di corrivazione:

<b><math>T_c</math> SCS (h)</b>	<b><math>T_c</math> Giandotti (h)</b>
9.84	7.76

Tab. 7 – Tempi di corrivazione del bacino Fiume Serio a Seriate

Si è quindi proceduto specularmente a quanto fatto per il bacino di monte.

Con il modello idrologico HeCHms è stata ricostruita la precedente serie di idrogrammi sia adottando il metodo di trasformazione dell'idrogramma unitario SCS che quello di Clark.

A differenza di prima, però, trattando adesso con ietogrammi *sintetici*, è stata analizzata anche un'ampia gamma di durate di precipitazione.

Gli elementi scelti come variabili del modello idrologico di seguito elencati.

#### **Durate di precipitazione**

- Da 15 ore a 33 ore, con passo orario.

#### **Tempo di corrivazione**

- $T_c = 8$  ore;
- $T_c = 9$  ore (quasi equivalente alla media di Tab. 7);
- $T_c = 10$  ore.

#### **Coefficiente di ragguglio areale ( $K_r$ , o ARF)**

- Calcolato secondo dati di Tab. 5.

#### **Coefficienti specifici per i modelli di trasformazione adottati**

##### Per il metodo SCS

- $PRF = 400$ ;
- $PRF = 484$  (valore di *default* del software);
- $PRF = 550$ .

##### Per il metodo di Clark

- $R = 0.5 T_c$ ;
- $R = 0.75 T_c$ ;
- $R = T_c$ .

Questi calcoli sono stati dapprima sviluppati per l'evento con tempo di ritorno duecentennale, al fine di valutare la coerenza con il dato indicato dal P.G.R.A di **770 mc/s** di portata duecentennale a Seriate.

A differenza del caso di Ponte Cene, il numero di idrogrammi risulta ulteriormente raddoppiato in quanto l'analisi è compiuta sia rispetto ad un pluviogramma rettangolare che rispetto a quello triangolare.

Complessivamente sono stati stimati:

$$\begin{aligned} & 2 \times \text{Metodi di trasformazione} \\ & \quad \times \\ & 3 \times \text{Tempi di corrivazione} \\ & \quad \times \\ & 3 \times \text{Coefficienti specifici (PRF o R) del metodo di trasformazione} \\ & \quad \times \\ & 19 \times \text{Durate di precipitazione (da 15 ore a 33 ore di pioggia)} \\ & \quad \times \\ & 2 \times \text{Tipologie di ietogramma (rettangolare e triangolare)} \\ & \\ & = \mathbf{684} \text{ idrogrammi} \end{aligned}$$

Per la scelta dell'idrogramma di progetto si è lavorato, come detto, sull'evento duecentennale; successivamente la valutazione è stata estesa anche al tempo di ritorno cinquantennale, ma solo limitatamente agli *scenari idrologici* prescelti.

Si omette, ovviamente, la riproduzione di tutti gli idrogrammi calcolati.

Vengono mostrati, invece, i confronti effettuati tra i valori al colmo di tali idrogrammi e il valore di riferimento di **770 mc/s**.

Di seguito, dunque, sono riportati, in forma di istogrammi, i valori al colmo per ciascuno dei n. 18 scenari idrologici ed il ventaglio di durate di precipitazione di cui sopra, sia nel caso di forzante pluviometrica rettangolare che triangolare.



Fig. 24 – Confronto tra i valori al colmo del set di idrogrammi duecentennali di diversi scenari idrologici da idrogrammi rettangolari con il valore di 770 mc/s



Fig. 25 – Confronto tra i valori al colmo del set di idrogrammi duecentennali di diversi scenari idrologici da ietogrammi triangolari con il valore di 770 mc/s

Grazie a questa comparazione si è potuto escludere un ampio numero di idrogrammi non idonei alla rappresentazione dell'evento di piena del Fiume Serio a Seriate con portate prossime, se non uguali, a quella indicata dal P.G.R.A.

I set di idrogrammi da prendere in considerazione sono quelli il cui valore massimo tra i colmi di picco (durata critica di precipitazione) meglio approssima il valore di 770 mc/s.

Tutti i set di idrogrammi aventi durata critica di precipitazione molto superiore o molto inferiore a questo valore sono necessariamente da scartare.

La maggiore aderenza a questo criterio si osserva per gli scenari idrologici evidenziati con il riquadro verde in Fig. 24, riferiti a idrogrammi rettangolari.

Trattasi degli scenari modellati con:

- Metodo di trasformazione SCS,  $T_c = 10$  ore,  $PRF = 484$ , con durata critica pari a **21 ore** di precipitazione;
- Metodo di trasformazione SCS,  $T_c = 9$  ore,  $PRF = 400$ , con durata critica pari a **22 ore** di precipitazione;
- Metodo di trasformazione Clark,  $T_c = 8$  ore,  $R = 0.5 T_c$ , con durata critica pari a **23 ore** di precipitazione.

Per quanto riguarda gli idrogrammi da idrogramma triangolare si osserva, invece, un quasi costante superamento di 770 mc/s di portata da parte del massimo dei colmi.

Soltanto per gli scenari idrologici con metodo di trasformazione Clark e  $R = T_c$  o  $0.75 T_c$  si hanno set di idrogrammi con picchi massimi che approssimano il valore di riferimento; però questo accade sempre in corrispondenza di durate di precipitazione piuttosto lungo, tra 25 e 30 ore.

Queste durate paiono eccessive, anche in relazione alle durate critiche attese e/o individuate negli studi precedenti (lo Studio Etatec, ad esempio, indicava come critica la durata di 19 ore di pioggia).

Alla luce di queste considerazioni si è ritenuto non considerare idrogrammi da idrogrammi triangolari, limitandoci a scenari con forzanti meteoriche uniformi sul bacino.

In ultima analisi, e per ulteriore conferma e controllo, le operazioni fin qui descritte per il calcolo degli idrogrammi sul bacino chiuso a Seriate sono state riprodotte anche sul bacino a Ponte Cene, ove già era stato calibrato il modello idrologico per gli aspetti geometrici e di infiltrazione.

Il controllo è stato effettuato sulla portata di riferimento suggerita dal P.G.R.A. all'altezza di Ponte Cene, ovvero pari a **730 mc/s**.

Evitando di mostrare anche in questo caso la carrellata di idrogrammi di cui sopra, ci si limita a riportare quelli che hanno evidenziato la migliore aderenza.

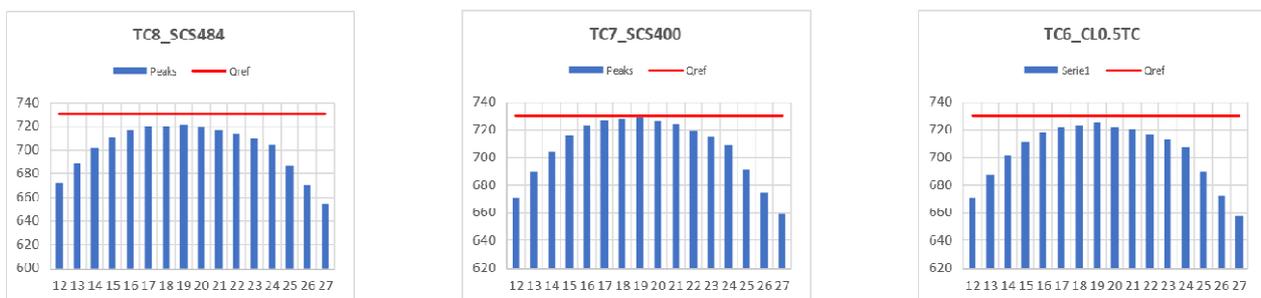


Fig. 26 – Confronto tra i valori al colmo del set di idrogrammi duecentennali di diversi scenari idrologici da idrogrammi rettangolari con il valore di 730 mc/s per il bacino del Fiume Serio chiuso a Ponte Cene

Gli idrogrammi che meglio approssimano il valore di riferimento a Ponte Cene sono esattamente gli omologhi di quelli individuati per Seriate, ma con durate di precipitazione inferiori di 2 ore.

Essi, come metodo di calcolo, corrispondono anche quelli che, nel modello di taratura di cui al paragrafo precedente, mostravano la migliore aderenza ai livelli registrati a Ponte Cene per l'evento di piena del 2018.

La differenza di 2 ore rappresenta, indicativamente, il *ritardo idrologico* tra il bacino del Fiume Serio a Ponte Cene e quello a Seriate.

Quanto finora illustrato conferma la validità dei calcoli idrologici sviluppati.

Gli idrogrammi finali prescelti per le verifiche idrauliche sono quindi quelli richiamati in precedenza.

Escludendo uno dei 2 scenari relativi al metodo SCS (del resto, risultano pressoché identici), si è scelto di elaborare i modelli idraulici con i restanti due, ovvero uno scenario da metodo SCS (quello di durata 10 ore) e lo scenario da metodo di Clark (con durata 8 ore).

Di seguito sono mostrati i relativi idrogrammi.

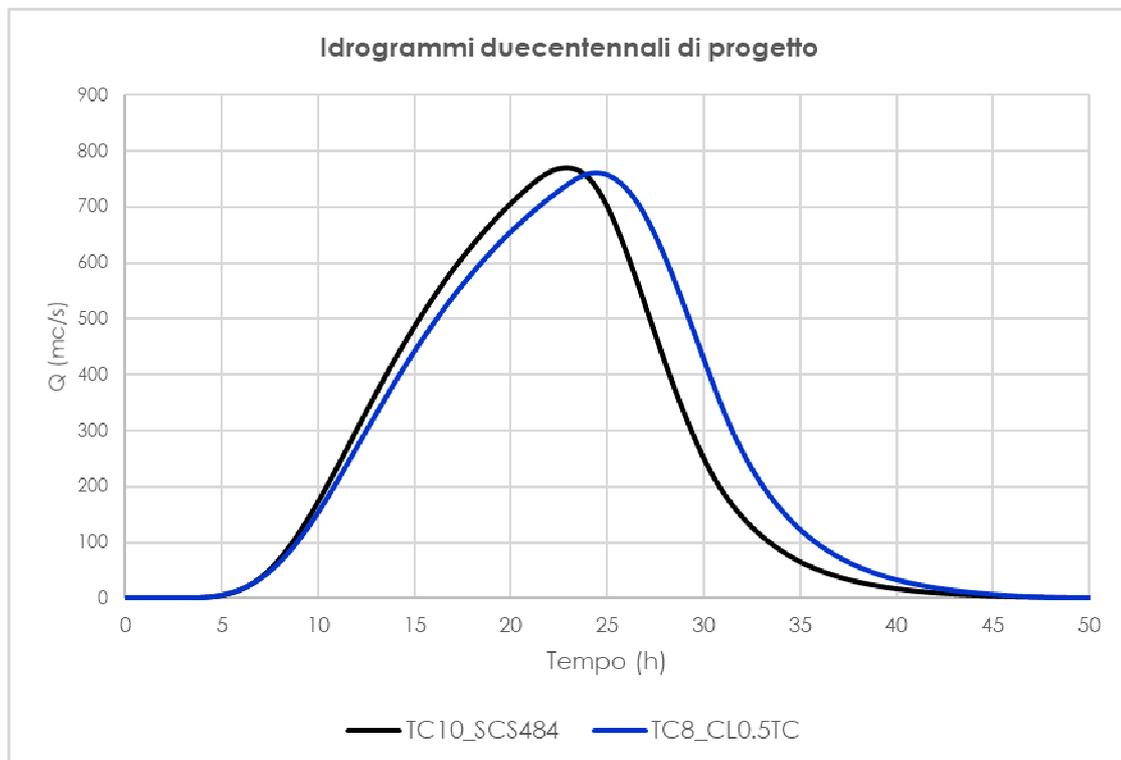


Fig. 27 – Idrogrammi duecentennali di progetto

Le valutazioni idrologiche fin qui esposte, che hanno avuto ad oggetto la ricerca degli idrogrammi duecentennali che meglio approssimassero il valore al colmo di 770 mc/s a Seriate sono state poi estese all'evento con tempo di ritorno di 50 anni, assunto come evento di riferimento per le alluvioni frequenti (P3/H).

Non disponendo, come nel caso duecentennale, di una portata al colmo di riferimento, si è proceduto semplicemente replicando il calcolo effettuato per l'evento duecentennale.

I valori massimi di portata nei due *scenari idrologici* prescelti (TC10\_SCS484 e TC8\_CL0.5TC) si manifestano per durate rispettivamente pari a 25 ore e 27 ore, e si attestano tra 550 mc/s e 560 mc/s.

E' comune, soprattutto per bacini di grandi dimensioni, che la *durata critica di precipitazione* possa essere maggiore per eventi più frequenti.

La seguente figura mostra, quindi, anche gli idrogrammi cinquantennali di progetto.

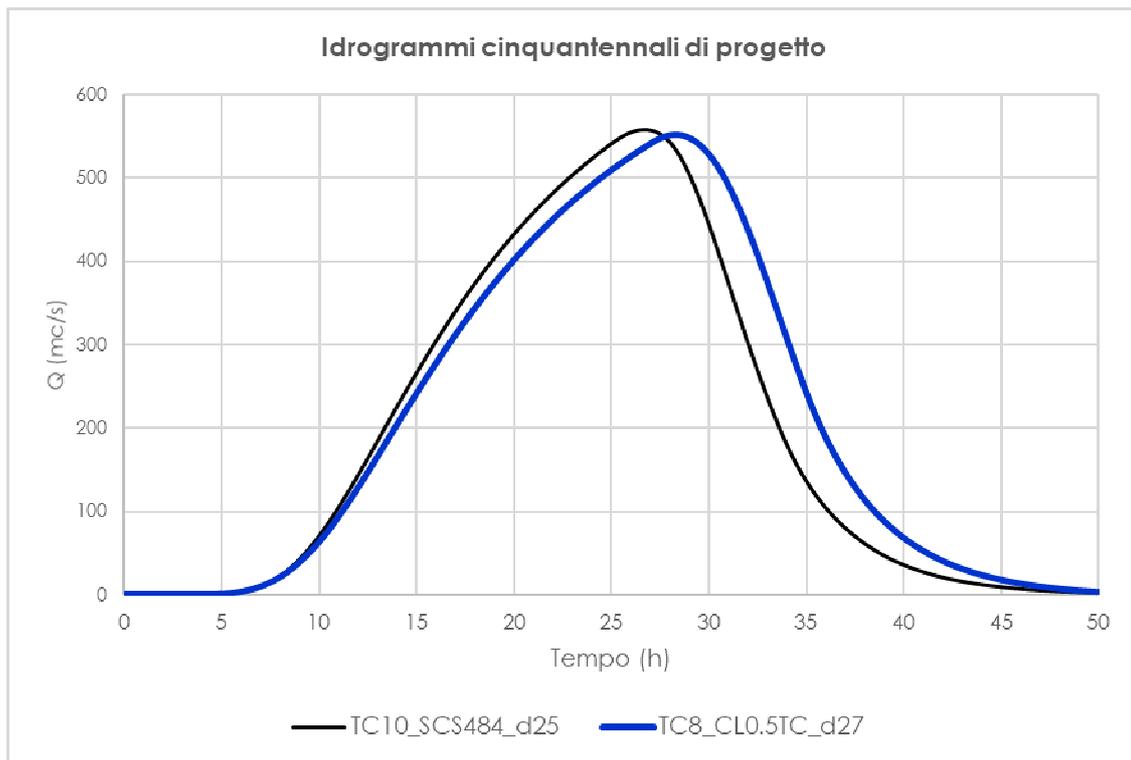


Fig. 28 – Idrogrammi cinquantennali di progetto

## 4. VERIFICHE IDRAULICHE

### 4.1 Descrizione del modello idraulico del Fiume Serio

Come anticipato, la complessa trattazione idrologica appena conclusa ha avuto il semplice scopo di definire, sulla base di considerazioni possibilmente fondate, gli idrogrammi di piena da inserire nel nuovo modello idraulico del Fiume Serio su scala comunale, di cui, peraltro, era già indicato un valore al colmo a cui riferirsi.

Le verifiche idrauliche sono state eseguite per i 4 scenari idrologici (2 per TR200 e 2 per TR50) di cui alle Figg. 27 e 28.

La verifica idraulica del Fiume Serio è stata condotta mediante un modello idraulico accoppiato monodimensionale-bidimensionale con l'ausilio del software HecRas 5.0.7.

L'asta del Fiume Serio è stata rappresentata tramite n. 53 sezioni idrauliche, estratte dal GEOportale regionale ed integrate con alcune sezioni adottate nei precedenti studi redatti per conto del Comune di Seriate.

Per consolidare il modello e ridurre eventuali alterazioni alle estremità, sono state introdotte anche 3 sezioni a monte e 4 sezioni a valle che eccedono il territorio comunale.

La prima e l'ultima sezione risultano esterne anche alla base Lidar messa a disposizione, attraverso il Comune di Seriate, dalla Regione Lombardia.

Lungo questa asta, di lunghezza pari a circa 10 km, sono stati ricostruiti anche tutti i manufatti di attraversamento, così come schematizzati nelle sezioni idrauliche del GEOportale.

Alle sezioni è stato cautelativamente assegnato il valore di scabrezza  $n$  di Manning pari a  $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ ; soltanto alle sezioni poste a valle degli attraversamenti è stato assegnato il valore di  $0.02 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Il valore di  $n$  pari a  $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$  per il tratto urbano può essere ritenuto leggermente elevato (e superiore alle scabrezze adottate negli studi precedenti), ma segnala che esso è stato applicato in quanto calibrato rispetto ad una preliminare modellazione in moto permanente relativa ad un evento reale del 1995, come effettuato anche nello *Studio Etatec*, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Come condizioni di valle del modello è stata utilizzata la condizione di moto uniforme (*normal depth*), che può essere ritenuta accettabile in quanto il modello è stato esteso, come detto, oltre l'area di specifico interesse.

Per la base bidimensionale è stata adottata la copertura del LIDAR, messo a disposizione dalla Regione Lombardia a seguito di formale richiesta da parte del Comune di Seriate (prot. Z1.2020.2839 del 28.1.2020).

Alla griglia di calcolo (*2DFlowArea*) è stata imposta una cella di superficie pari a  $5 \times 5 \text{ mt}$ ; per la predisposizione della *mesh* sono state adottate anche alcune linee di interruzione (*breakline*).

Inoltre tutti i fabbricati sono stati rappresentati come volumi chiusi nel modello, attraverso una preliminare modifica della base LIDAR; si è inteso in questo modo favorire la propagazione dei volumi eventualmente esondati in area urbana lungo le strade e secondo le pendenze del piano campagna.

Per i collegamenti idraulici 1D/2D (*Lateral Structure*) sono state disegnate apposite polilinee lungo la traccia delle sponde/muri di sponda, oltre le quali si attivano le celle del modello bidimensionale.

Come quote di "sfioro" sono state assunte quelle del LIDAR intersecanti le polilinee di cui sopra.

Nonostante si possa trattare di un'assunzione geometrica non propriamente esatta, si è preferito adottare questa soluzione piuttosto che affidarsi all'interpolazione tra le estremità delle sezioni (*bank station*) essendo queste piuttosto distanti una dall'altra, ed anche piuttosto diverse come geometria.

Infine, per quanto riguarda la scabrezza della base bidimensionale, è stato assunto un valore uniforme di  $n$  di Manning pari a  $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$  su tutto il territorio modellato; anche questa assunzione, alle stregua di altre fatte in precedenza, è da considerarsi cautelativa trattandosi di modello bidimensionale che si sviluppa prevalentemente in area urbana.

La seguente figura mostra l'area interessata dal modello, con indicazione delle sezioni e dell'asta modellata, oltre che del confine comunale.

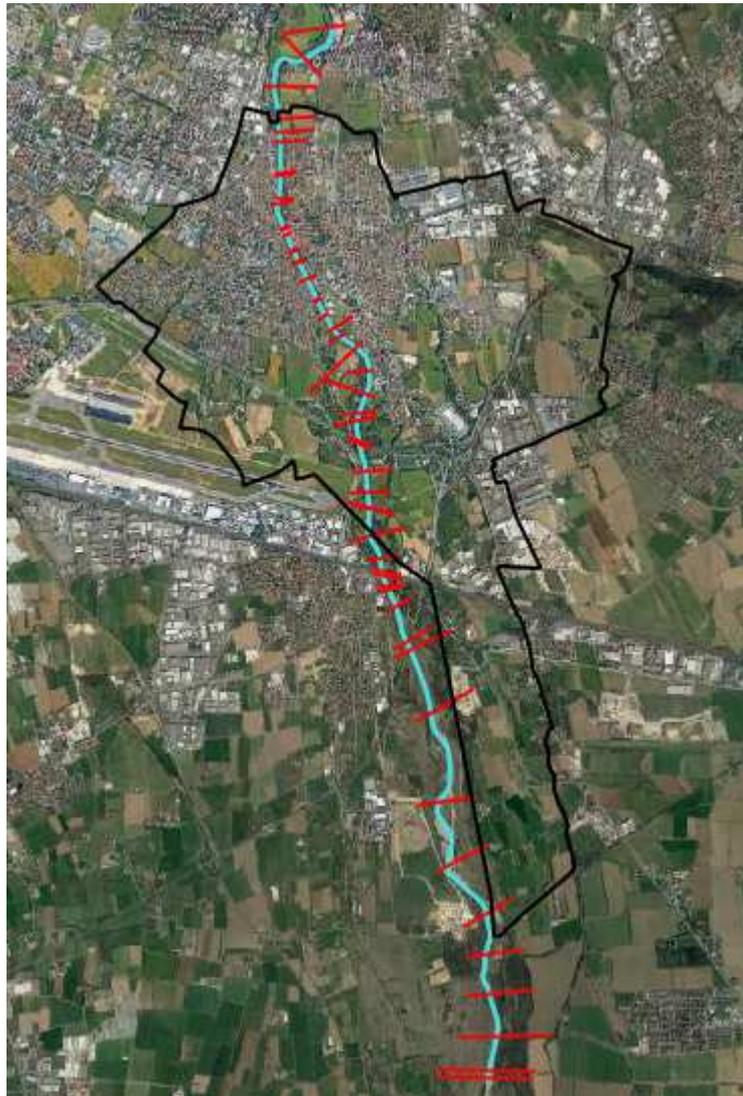


Fig. 29 – Tratto modellato del Fiume Serio in Comune di Seriate ed aree limitrofe

Di seguito è mostrato anche lo schema del modello idraulico secondo la rappresentazione del software HecRas, Ras Mapper.

Il modello, vista l'estensione lungo l'asse N-S, è stato spezzato in due tronchi.

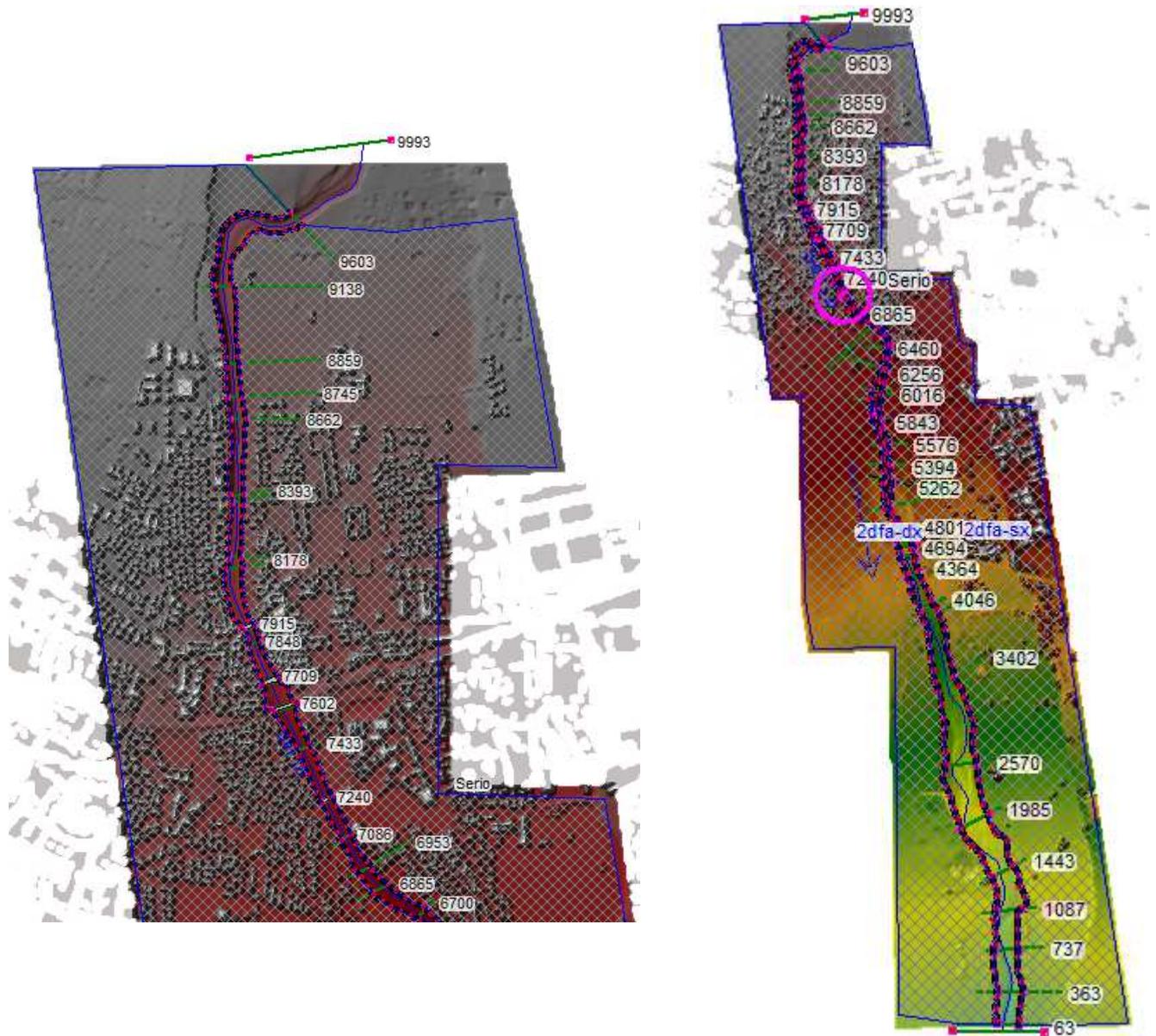


Fig. 30 – Schema del modello idraulico bidimensionale del Fiume Serio nel Comune di Seriate

## 4.2 Risultati delle verifiche e determinazione delle aree allagabili

Le nuove verifiche idrauliche del Fiume Serio sull'area urbana di Seriate, redatte secondo le indicazioni modellistiche di cui al paragrafo precedente, per quanto attiene la geometria del modello, e del capitolo precedente per quanto attiene gli aspetti idrologici, hanno consentito di aggiornare lo scenario di alluvionabilità del territorio.

Le verifiche, come detto, sono state effettuate rispetto a due scenari per alluvioni frequenti e due scenari per alluvioni poco frequenti, riconducibili, rispettivamente, ad una coppia di idrogrammi di eventi con TR50 e TR200 derivanti da applicazione di metodi diversi, ma coerenti, e ciascuno recante portate al colmo affini a quelle indicate dal P.G.R.A. per il bacino idrografico in esame.

Rispetto agli studi precedenti, redatti con modellistica in moto permanente, il nuovo modello bidimensionale ha consentito di ricostruire le dinamiche di esondazione in modo più dettagliato, andando a definire tiranti e velocità di esondazione sul territorio e quindi consentendo una riproduzione più precisa anche della pericolosità e del rischio.

Le aree allagabili finali dello studio sono state tracciate come segue.

Innanzitutto sono stati acquisiti gli *output* del modello nella versione di *raster* dei massimi tiranti idrici (*depth*).

Questi 4 *raster*, 2 per TR50 e 2 per TR200, sono stati poi involuppati per definire le aree complessivamente interessate dai fenomeni esondativi, in caso di sovrapposizione degli eventi.

Questo passaggio è stato fatto differenziando lo scenario per alluvioni frequenti da quello per alluvioni meno frequenti.

L'involuppo lordo (anche sui comuni adiacenti) dei tiranti idrici per TR50 e TR200 è mostrato nelle due successive figure.

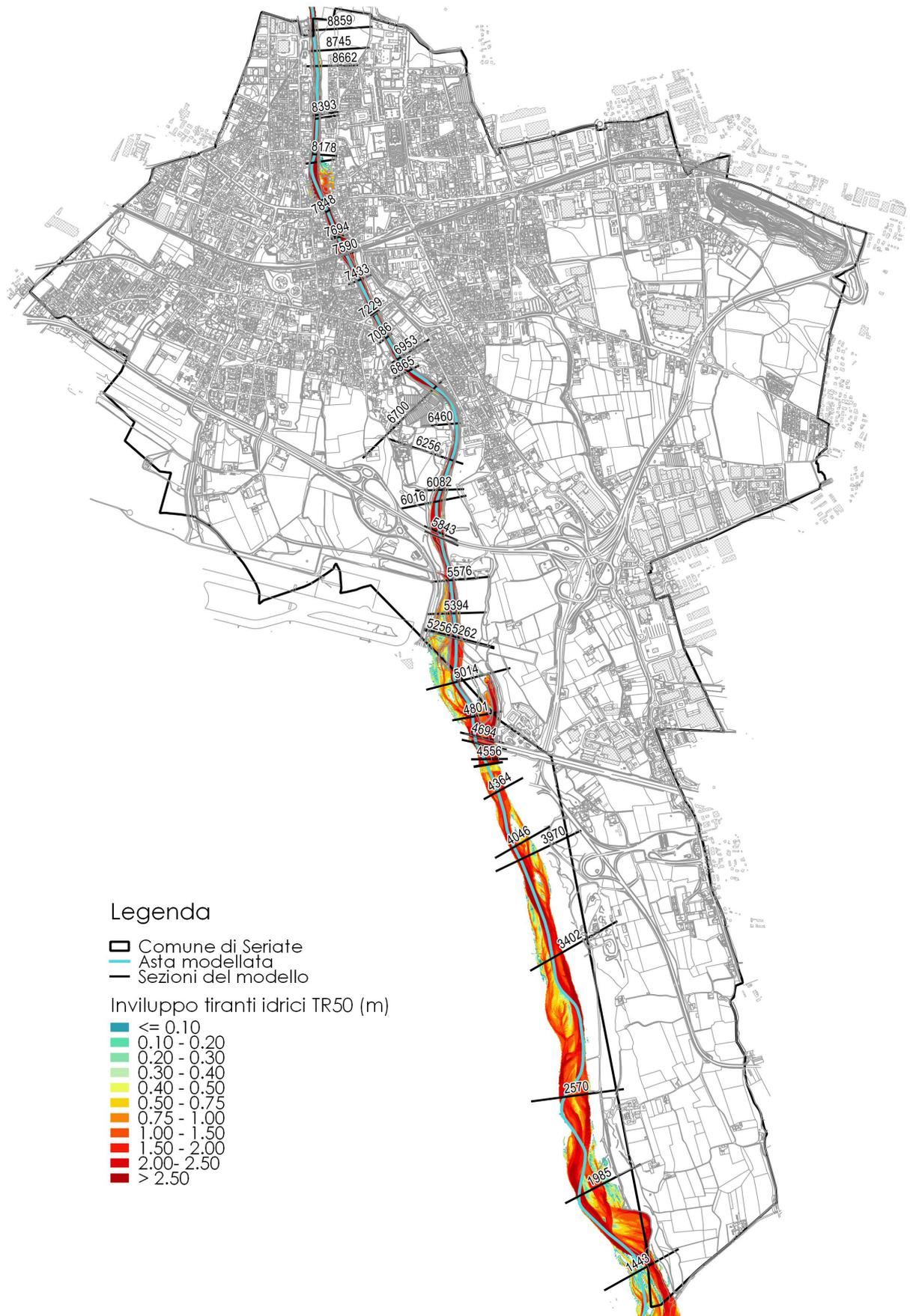


Fig. 31 – Inviluppo lordo tiranti idrici per TR50

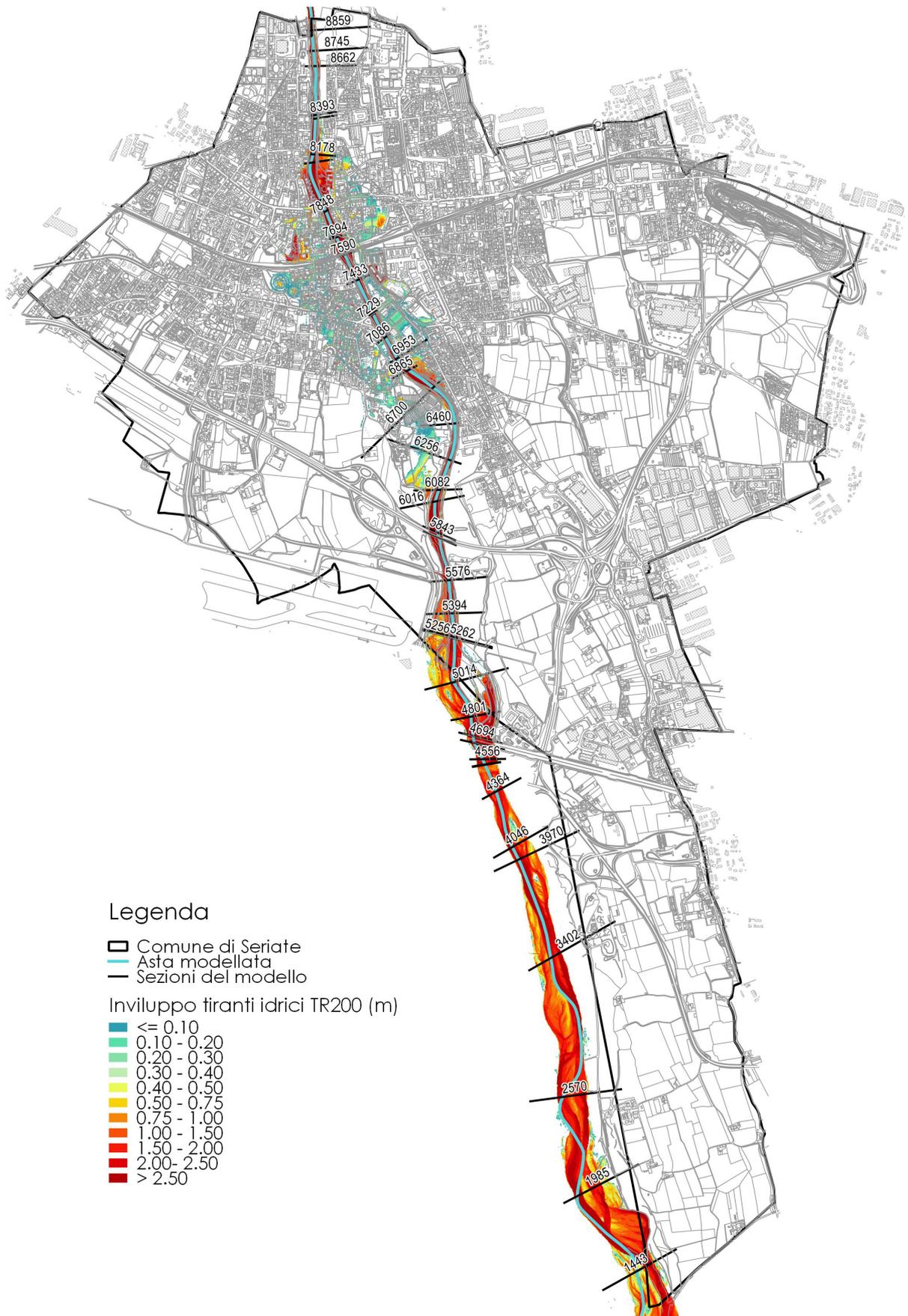


Fig. 32 – Inviluppo lordo tiranti idrici per TR200

Per una migliore comprensione dei contenuti della figura precedente è di seguito proposto uno zoom dei tiranti in area urbana.

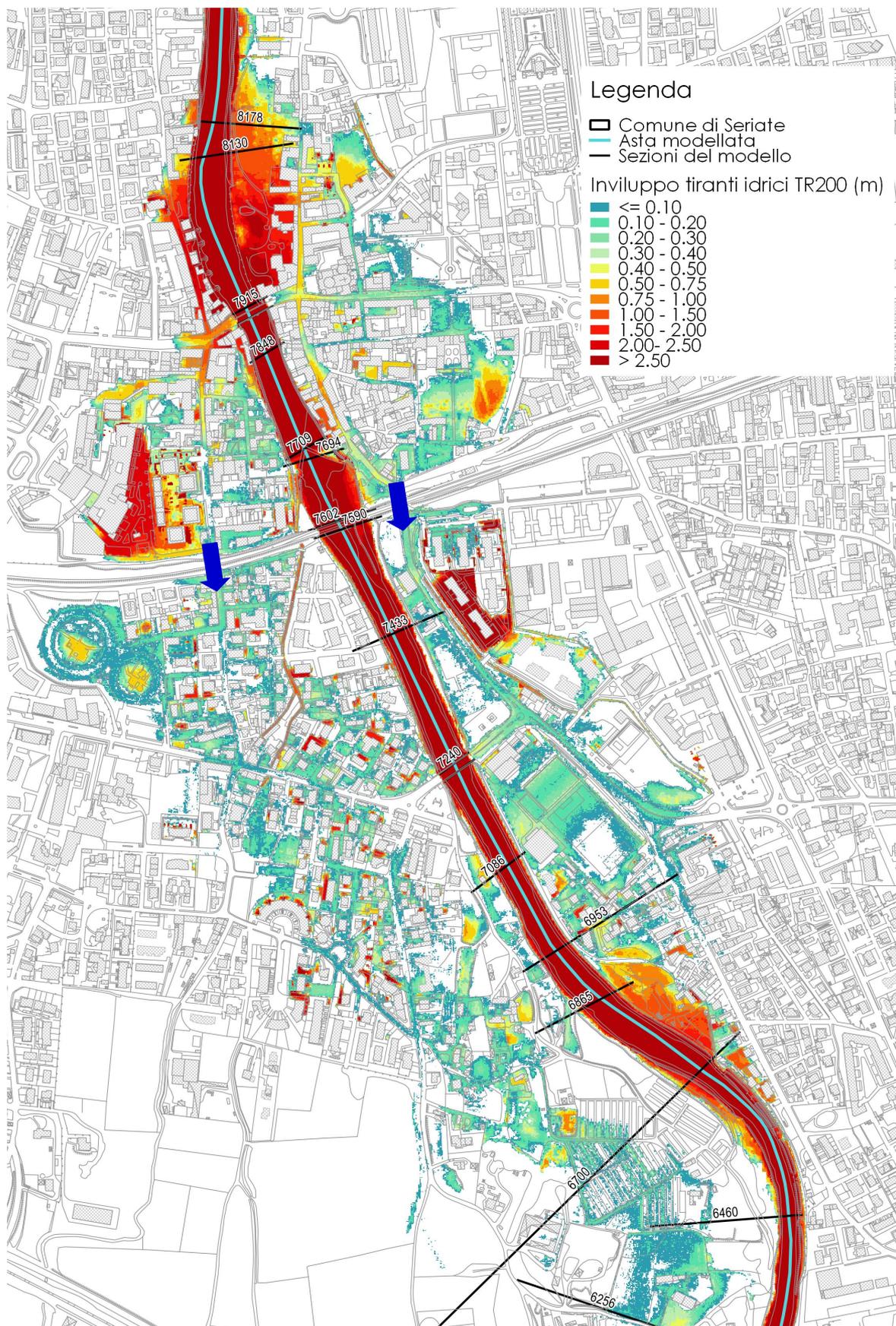


Fig. 33 – Zoom in area urbana dei tiranti idrici di Fig. 32

Nella precedente figura si possono osservare bene le aree caratterizzate da maggiore propensione all'allagamento. Le "macchie" di colore disseminate un po' ovunque sul territorio stanno ad indicare la presenza di vani interrati, in particolare di autorimesse interrate o garage.

Sulla precedente figura sono poste anche due frecce azzurre ad indicare il passaggio attraverso di due sottopassi della ferrovia.

La dinamica di esondazione, per quanto amplificata e perfezionata in termini di mappatura, è esattamente la medesima rilevata negli studi precedenti, con fuoriuscite all'altezza del ponte di Viale Italia e propagazione verso valle in aree urbana, anche oltre la linea ferroviaria.

A partire dall'involuppo delle distribuzioni dei tiranti per TR50 e TR200 le aree allagabili sono state ricostruite in formato *shp* con tracciamento manuale lungo il confine delle aree bagnate, rispettando fedelmente gli elementi della C.T.R.

Da questa attenta operazione scaturiscono i perimetri delle aree allagabili di cui agli elaborati **T.1 - Carta delle aree allagabili Nord** e **T.2 - Carta delle aree allagabili Sud**.

Questi perimetri di aree allagabili sono stati poi trasmessi al Geologo per la predisposizione della Carta PAI-PGRA previsto dalla D.G.R. X/6738/2017.

I risultati analitici delle simulazioni idrauliche effettuate sono riportati anche nell'elaborato **A.1 - Allegato Idraulico - Tabulati, sezioni e profili delle modellazioni idrauliche**.

### 4.3 Zonazione della pericolosità ai sensi dell'Allegato 4

Come previsto dal punto 3.4 dell'Allegato 4 della D.G.R. IX/2616/2011, sono state delimitate le zone a diverso livello di pericolosità idraulica in base alla loro combinazione di tiranti idrici e velocità di scorrimento.

Per la classificazione dei diversi livelli di pericolosità si è fatto riferimento al sottostante grafico.

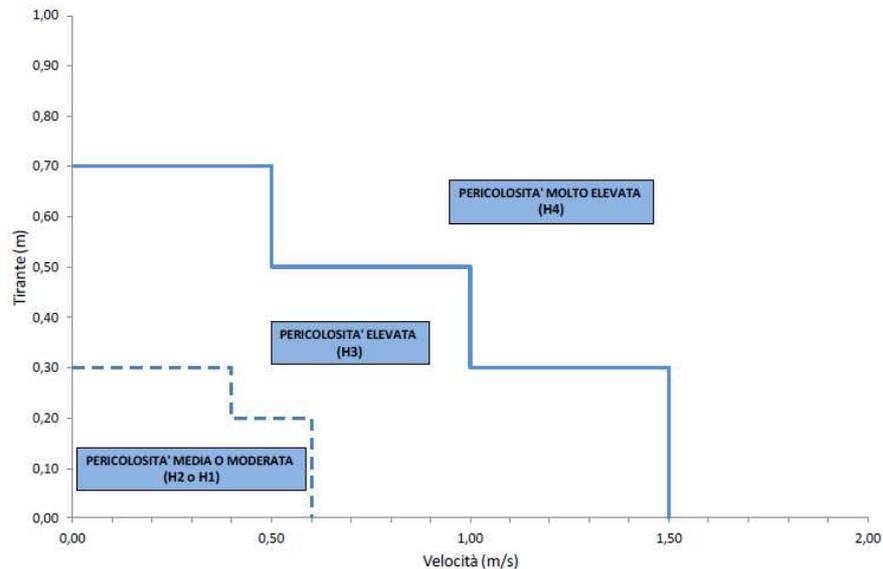


Fig. 34 – Criteri di classificazione della pericolosità

I criteri di cui alla precedente tabella sono stati applicati ai risultati delle modellazioni idrauliche, con riferimento a tiranti e velocità per l'evento di piena duecentennale.

Innanzitutto sono stati acquisiti dai risultati delle modellazioni anche i *raster* delle velocità di scorrimento, ed involuppati a dare lo scenario dei massimi, in modo analogo a quanto fatto per i tiranti idrici.

Successivamente, sempre in ambiente *Gis*, ed in particolare attraverso il calcolatore *raster*, sono state create, incrociando tiranti e velocità, le classificazioni di cui al grafico precedente; le indicazioni di tale grafico producono 20 combinazioni diverse di tiranti e velocità.

L'esito di questa ricostruzione è ben mostra dalla figura che segue.

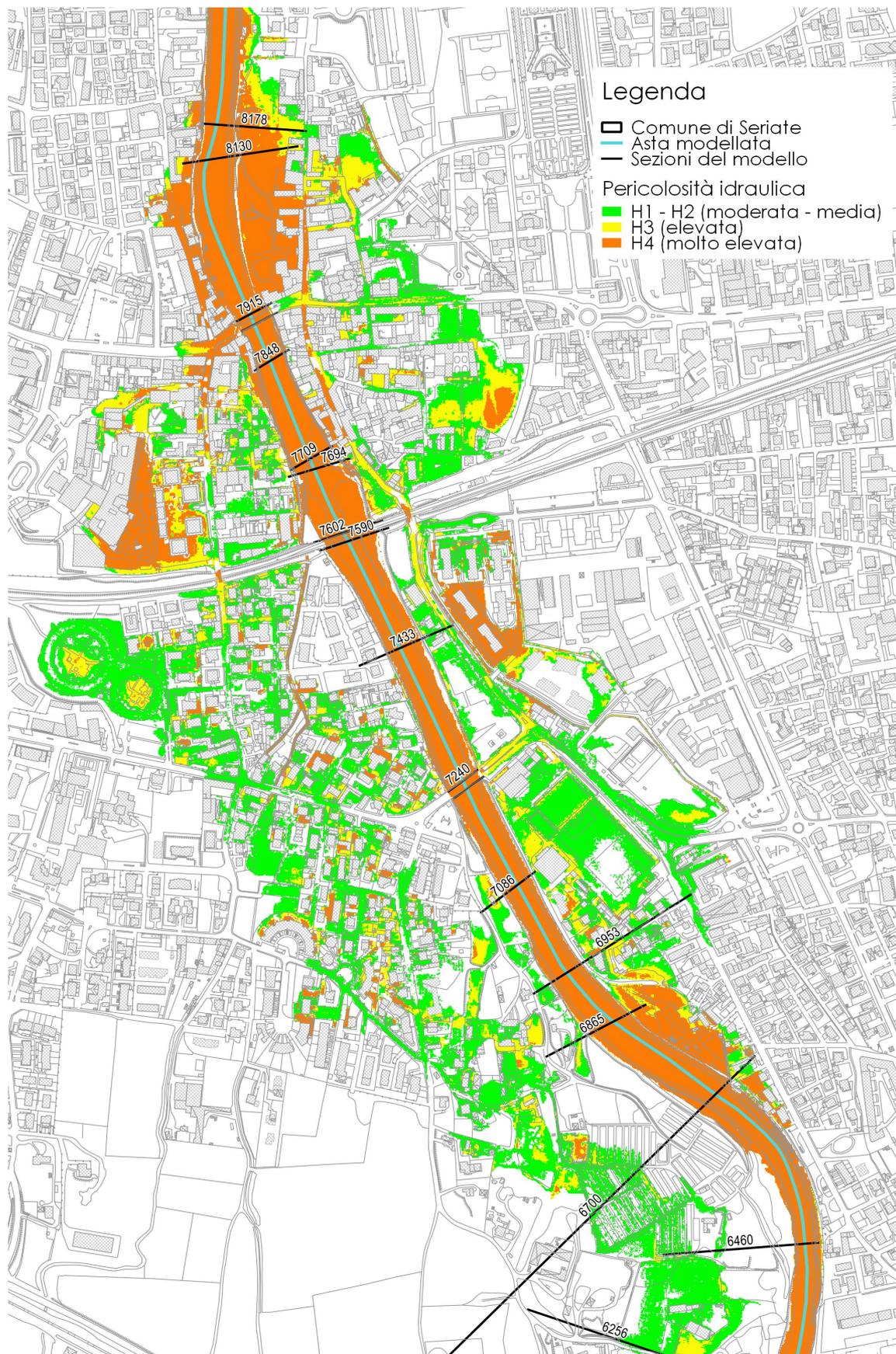


Fig. 35 – Raster “grezzo” della pericolosità sull'area urbana di Seriate

Da questo *raster*, in modo del tutto analogo a quanto fatto per il tracciamento delle aree allagabili, e rispettando quei perimetri (tavv. **T.1** e **T.2** allegate), sono stati definiti i diversi livelli di pericolosità sul territorio.

Necessariamente è stata compiuta una semplificazione rispetto al dettaglio del *raster*; in particolare, non sono state inserite in pericolosità molto elevata le “macchie” isolate che individuano la presenza di vani interrati, piuttosto in queste circostanze è stata assegnata la pericolosità al contorno.

La zonazione della pericolosità idraulica sul territorio comunale è riportata negli elaborati **T.3 - Carta della zonazione della pericolosità da esondazione Nord** e **T.4 - Carta della zonazione della pericolosità da esondazione Sud**.

#### 4.4 Zonazione del rischio da esondazione ai sensi dell'Allegato 4

Sempre come richiesto dall'Allegato 4, è stata poi mappata la nuova zonazione del rischio di esondazione, basata sulla formulazione:

$$R = H \times E \times V$$

In cui la Vulnerabilità (V) viene posta cautelativamente pari ad 1.

Pertanto, le classi di rischio sono definite in base alla seguente tabella (specchietto di destra).

DANNO POTENZIALE	ELEMENTI A RISCHIO		H4	H3	H2	H1
Grave (E4)	Centri urbani, beni architettonici, storici, artistici, insediamenti produttivi, principali infrastrutture viarie, servizi di elevato valore sociale	E4	R4	R4	R2	R2
Medio (E3)	Aree a vincolo ambientale e paesaggistico, aree attrezzate di interesse comune, infrastrutture viarie secondarie	E3	R3	R3	R2	R1
Moderato (E2)	Aree agricole di elevato pregio (vigneti, frutteti)	E2	R2	R2	R1	R1
Basso (E1)	Seminativi	E1	R1	R1	R1	R1

Tab. 8 – Criteri di assegnazione delle classi di rischio

Per la definizione del Danno (E) secondo la precedente tabella (specchietto di sinistra) il territorio è stato suddiviso nei diversi elementi a rischio.

Questa suddivisione è stata compiuta rispetto alle categorie di rischio degli elementi esposti del P.G.R.A., che dividono il territorio in numerose categorie, ovvero:

- Aree boscate
- Aree naturali
- Aree sportive e ricreative
- Cantieri e aree degradate
- Coltive orticole e vivai
- Insediamenti industriali, artigianali, commerciali
- Parchi e giardini
- Reti ferroviarie e stradali primarie
- Reti per la distribuzione di servizi
- Seminativi non irrigui e seminativi semplici irrigui
- Tessuto residenziale

Ciascuna di queste categorie è stata associata agli elementi a rischio, e quindi al potenziale danno, di cui alla tabella precedente.

Da qui, intersecando questa suddivisione del territorio con le pericolosità di cui al paragrafo precedente, si è ottenuta la nuova zonazione del rischio di esondazione.

Essa è riportata negli elaborati **T.5 - Carta della zonazione del rischio da esondazione Nord** e **T.6 - Carta della zonazione del rischio da esondazione Sud**.

## 5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha consentito di aggiornare le verifiche idrologico-idrauliche sul Fiume Serio e quindi produrre nuove mappature di aree allagabili, pericolosità idraulica e del rischio di esondazione.

Le nuove perimetrazioni di aree allagabili sono confluite nella nuova Carta PAI-PGRA del Piano di Governo del Territorio.

Allo stesso tempo, i risultati di questo studio sono stati utilizzati per la definizione della fattibilità delle nuove previsioni del P.G.T.

E' opportuno ribadire che lo studio fin qui illustrato, oltre a permettere l'aggiornamento delle mappature, costituisce anche un passo avanti in termini tecnico-modellistici nella rappresentazione dei fenomeni esondativi e delle criticità.

L'approccio adottato, benché probabilmente più "spinto" a livello di modellistica idraulica rispetto a quanto l'Allegato 4 stesso richieda, è stato condotto in modo estremamente cautelativo; si segnalano tutta una serie di assunzioni parametriche a favore di sicurezza, sia per la parte idrologica che per la parte idraulica.

Ma soprattutto si sottolinea che per la determinazione dello scenario per alluvioni frequenti sono state utilizzate le portate riferite all'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni, e ciò costituisce senza dubbio un elemento di cautela.

Lo studio, come anticipato, conferma la tipologia di criticità già evidenziate nello *Studio Etatec*.

Per questo motivo sono confermate anche le indicazioni circa le possibili risoluzioni delle problematiche per l'area urbana di Seriate, ed in particolare la necessità di adeguamento dell'attraversamento su Viale Italia, che rappresenta, insieme alla traversa posta immediatamente a valle di esso, il nodo più critico lungo l'asta del Fiume Serio nel tratto comunale.