

Direzione Territoriale Idrografica Lombardia Occidentale – U.O Pavia

**PV-E-1122/A**

REVISIONE DELL'ASSETTO IDRAULICO DEL TORRENTE CURONE E REALIZZAZIONE DI INTERVENTI URGENTI DI PROTEZIONE IDRAULICA IN COMUNE DI CASEI GEROLA (PV).

**PROGETTO ESECUTIVO**



**Importo finanziamento**

€ 1000.000,00

**CUP**

B52E20000040002

**CUI**

L92116650349202100042

**Codice AIPO**

PV-2021-011

**Perizia n.**

3353

**RELAZIONE GENERALE, ANALISI  
IDROGEOLOGICHE E IDRAULICHE**

**CODICE ELABORATO:**

**01**

Progettista coordinatore:

Arch. Luigi Caligiuri

Collaboratori:

Geom. Giovanni Esposito

Il Responsabile Unico di Progetto  
Ing. Marco La Vaglia

DATA:

VERSIONE:

REV.00

VISTO APPROVAZIONE:

## Sommario

1.	Inquadramento dell'area .....	3
2.	Descrizione intervento .....	4
3.	Geologia, geotecnica, sismica .....	5
4.	Analisi idrologiche e idrauliche.....	6
4.1	Costruzione del modello idrologico.....	10
4.1.1	Individuazione dei sottobacini .....	10
4.1.2	Pioggia netta sui sottobacini.....	13
4.1.3	Trasformazione afflussi-deflussi .....	16
4.1.4	Traslazione e laminazione delle onde di piena .....	17
4.1.5	Deflusso di base .....	18
4.2	Taratura del modello idrologico .....	19
4.3	Calcolo dell'onda di progetto .....	23
4.4	Analisi idrauliche .....	28
5.	Studio preliminare di inserimento urbanistico e vincoli .....	29
6.	Archeologia.....	30
7.	Censimento delle interferenze.....	30
8.	Piano di gestione delle materie con ipotesi di soluzione delle esigenze di cave e discariche .....	30
9.	Espropri.....	31
10.	Architettura e funzionalità dell'intervento .....	31
11.	Verifica di conformità tecnico-amministrativa della progettazione .....	31
12.	Documentazione amministrativa .....	31
13.	Piano di manutenzione .....	31
14.	Conclusioni.....	33

## Indice delle figure

Figura 1: Bacino del Curone pavese; pericolosità in ambito RP – Scenari H, M, L .....	7
Figura 2: Bacino del Curone pavese; pericolosità in ambito RSP – Scenari H, M.....	7
Figura 3: Bacino del Curone pavese; pericolosità complessiva (ambiti RP e RSP) – Scenari H, M, L .....	7
Figura 4: Bacino del Curone pavese; mappa di rischio.....	7
Figura 5: Bacino del Curone piemontese; pericolosità complessiva – Scenari H, M, L .....	8
Figura 6: Delimitazione del bacino del Curone.....	9
Figura 7: Reticolo principale e DTM ( <i>Digital Terrain Model</i> ) del bacino del Curone.....	9
Figura 8: schema idrologico all'interno del bacino di calcolo .....	11
Figura 9: schema idrologico all'interno del bacino di calcolo, con la delimitazione dei sottobacini e l'individuazione dei singoli tronchi del reticolo.....	11
Figura 10: delimitazioni dei sottobacini all'interno del bacino di calcolo .....	12
Figura 11: copertura del suolo desunta dal progetto corine Land Cover 2012 (livello 3).....	14
Figura 12: schema esemplificativo del modello del <i>deflusso di base</i> .....	18
Figura 13: pluviometri ricadenti nel bacino del Curone o nell'area immediatamente circostante. Si riporta il perimetro dei <i>poligoni di Thiessen</i> associati ai pluviometri. ....	19
Figura 14: valori di precipitazione osservati in corrispondenza degli 8 pluviometri considerati. Si riporta anche l'evoluzione temporale del valore medio di pioggia (linea rossa).....	20
Figura 15: altezza idrometrica osservata all'idrometro di Volpedo (AL).....	20
Figura 16: idrogramma dell'evento di piena del novembre 2014 all'idrometro di Volpedo (AL). ....	21
Figura 17: discretizzazione dei parametri delle <i>curve di possibilità pluviometrica</i> sul territorio lombardo ...	23
Figura 18: discretizzazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica sul territorio lombardo...	24



Figura 19: esempio di ietogramma di Chicago per una pioggia con 100 anni e 200 anni di tempo di ritorno, in un punto di griglia dell'alto bacino.....	25
Figura 20: scala di deflusso stimata nell'intorno dell'abitato di Volpedo, con l'indicazione della portata massima convogliabile.....	26
Figura 21: scala di deflusso stimata nell'intorno dell'abitato di Pontecurone, con l'indicazione della portata massima convogliabile.....	26
Figura 22: onde di portata calcolate con un <i>tempo di ritorno</i> di 100 anni.....	27
Figura 23: onde di portata calcolate con un <i>tempo di ritorno</i> di 200 anni.....	27



## 1. Inquadramento dell'area

Il torrente Curone nasce sul confine tra Piemonte e Lombardia, a circa 1500 m s.l.m., dal monte Garavé dalla catena degli Appennini. Si dirige verso Nord allargando il proprio letto ciottoloso e, percorsa un'ampia curva verso Ovest, tocca il comune di San Sebastiano Curone dove si immette il piccolo torrente Museglia, che trae origine dal monte Giarolo. Da qui in poi allarga ancora il proprio letto bagnando molti comuni, tra i quali anche Volpedo.

Giunto a valle dell'abitato di Pontecurone e poco oltre il confine tra Piemonte e Lombardia, riceve le acque del Rio Limbione (*17 km di lunghezza, con sorgente sul Poggio Brienzone, in comune di Pozzol Groppo*) e si immette nel tratto artificializzato, in cui, costretto fra argini in frodo, riduce la larghezza del suo letto e assume l'andamento più regolare imposto dalle sistemazioni antropiche.

Infine, attraversati i comuni di Casei Gerola e Cornale si getta da destra nel fiume Po, presso Ghiaie di Corana.

Il Curone è un corso d'acqua dal carattere torrentizio: la portata media è limitata (*media annua pari a 2,4 m<sup>3</sup>/s; fonte: ARPA Piemonte*), mentre nella stagione estiva rimane completamente asciutto per mesi.

In caso di forti piogge, invece, sul Curone si possono osservare piene fino a qualche centinaia di m<sup>3</sup>/s, che si presentano con onde rapide e con picchi pronunciati, le quali trascinano a valle forti quantità di detriti.

Ai sensi della DGR Lombardia X/4229 del 23/10/2015, il reticolo del Curone, a partire dal confine regionale Piemonte-Lombardia e fino alla confluenza in Po, è di competenza dell'A.I.Po.

Il tratto interessato dai lavori è quello Lombardo, ricadente nel territorio della Provincia di Pavia, che si snoda fra i Comuni di Casei Gerola, Bastida De' Dossi, Cornale e Silvano Pietra, fino alla confluenza in Po nel territorio comunale di Mezzana Bigli.



## 2. Descrizione intervento

I lavori in oggetto si configurano quale revisione dell'assetto idraulico e realizzazione di interventi urgenti di protezione idraulica.

Il progetto prevede un intervento generale di pulizia dell'alveo mediante disboscamento selettivo e decespugliamento della vegetazione spontanea cresciuta nel corso degli anni, rimozione delle piante crollate che costituiscono ostacolo al deflusso della piena e taglio delle piante infestanti anch'esse spuntate all'interno dell'alveo e sulle sponde adiacenti.

Si provvederà poi a colmare alcune bassure sulla sommità arginale, individuate dai rilievi LIDAR, raccordando le quote esistenti al fine di dare continuità all'arginatura. Dette bassure sono situate dal confine regionale fino al ponte nell'abitato di Casei. I rilievi hanno evidenziato delle altre bassure a valle di detto ponte che saranno oggetto di altro intervento in quanto i fondi non sono sufficienti a dare completezza a tutto il tratto.

Sono state individuate delle tane di animali fossori che verranno adeguatamente ispezionate mediante scavo, successivamente si procederà alla compattazione del rilevato stesso.

I tratti in questione erano stati realizzati dalla Regione Lombardia seguendo le indicazioni dello studio idraulico realizzato dal Prof. Ing. Luigi Natale.

Per completezza elenchiamo brevemente le principali voci del prezzario ufficiale di riferimento dei lavori previsti dal progetto:

- Asportazione del cotico erboso per preparazione sede del nuovo rilevato;
- Formazione di rilevato arginale per raccordo bassure;
- Misto granulare stabilizzato per ripresa buche e consolidamento rampe di accesso;
- Scavo di fondazione e ripristino buche di animali fossori.
- Disboscamento mediante taglio selettivo della vegetazione su tratti saltuari;
- Segnaletica stradale.



### 3. Geologia, geotecnica, sismica

Al fine di disporre di dati di maggior dettaglio per ridefinire l'assetto idraulico del torrente Curone in territorio pavese e realizzare interventi urgenti di protezione idraulica, A.I.Po ha provveduto a affidare incarichi per:

- **Esecuzione di indagini geognostiche** sulle strutture arginali del tratto pavese del torrente Curone (in situ e in laboratorio), al fine di definire i parametri caratteristici che descrivono il comportamento meccanico e idraulico dei terreni interessati. Alcune indagini sono finalizzate a ricostruire il comportamento del rilevato in caso di sisma.  
L'obiettivo è effettuare una caratterizzazione delle attuali opere idrauliche, individuando le strutture arginali più sensibili ai dissesti o ad eventuali cedimenti/rotture.  
La relazione è allegata al presente progetto (elaborato 2).
- **Esecuzione di rilievi LIDAR e costruzione di un modello digitale del terreno (DTM)** con formato compatibile con gli usuali software GIS: .img, GeoTIFF, ASCII grid o simili. I dati del rilievo saranno rielaborati assieme ai DTM già precedentemente effettuati, al fine di ottenere un unico file con la mosaicatura sull'area di interesse.  
L'obiettivo è la predisposizione del DTM dell'area, propedeutica alle analisi idrologiche e idrauliche. I rilievi LIDAR sono già nella disponibilità dello scrivente.



#### 4. Analisi idrologiche e idrauliche

Con la Direttiva 2007/60/CE, recepita nella legislazione nazionale con il D. Lgs 49/2010, si è dato avvio ad una nuova fase di gestione del rischio idraulico, già precedentemente avviata in Italia con la legge 183/1989 e attuata dai *Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico* (PAI).

Questa Direttiva ha previsto la redazione, a livello di distretto del fiume Po, di un *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGRA), che contiene una diagnosi della pericolosità e del rischio alluvionale, appropriati obiettivi per la salvaguardia della vita umana e dei beni esposti, e misure per la prevenzione e mitigazione del rischio.

Questa analisi ha portato alla redazione di mappe di pericolosità e di rischio, che permettono di verificare e completare quanto disposto dal PAI.

Le mappe di pericolosità sono state ottenute simulando il transito di onde di piena, con diversi tempi di ritorno (a seconda dell'ambito considerato), e perimetrando le aree alluvionate.

Nell'area di interesse di questo studio ricadono solo i due ambiti:

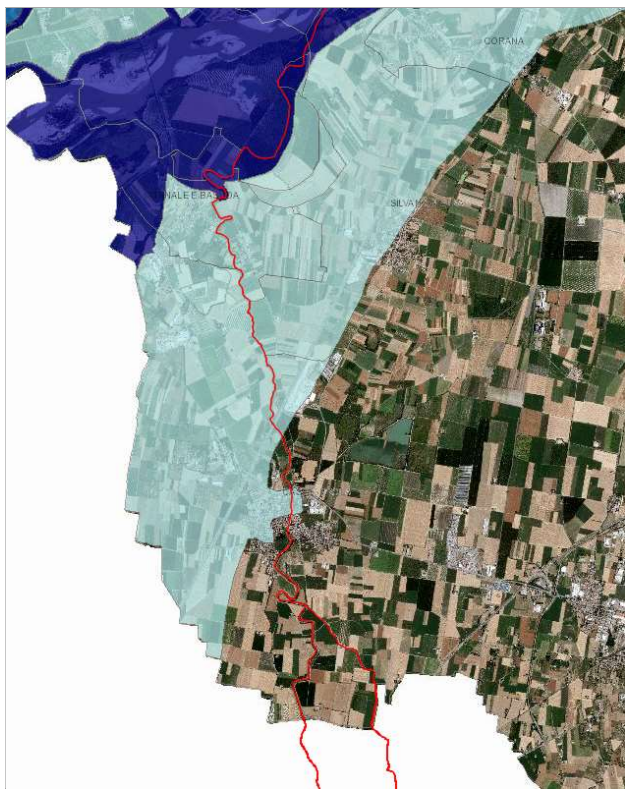
- *reticolo principale* (RP): attorno all'asta principale del Po. Le fasce coincidono con le precedenti fasce PAI, che rimangono tutt'oggi vigenti;
- *reticolo secondario di pianura* (RSP): lungo l'asta del Curone (che, nel precedente PAI, non era stata analizzata).

Per questi due ambiti, i *tempi di ritorno* [anni] considerati sono riportati nella tabella sottostante.

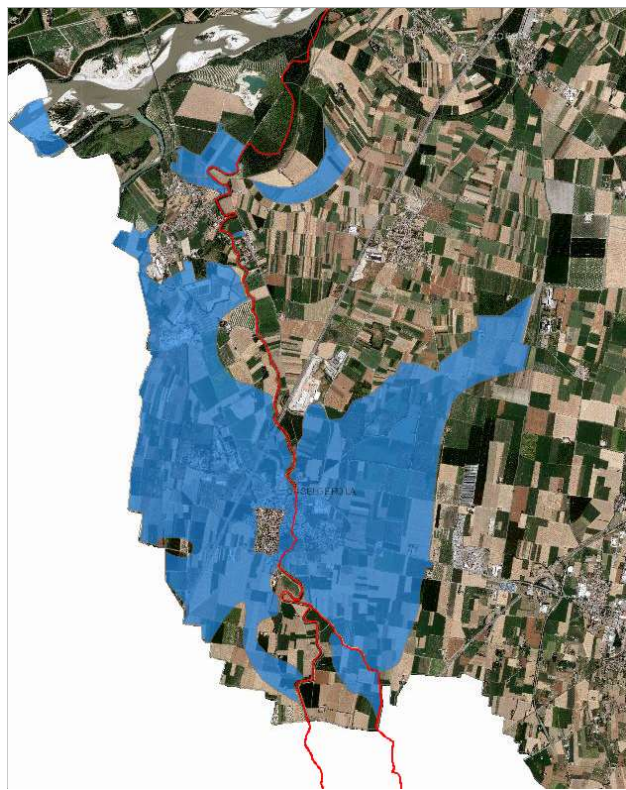
Scenario			Reticolo Principale <b>RP</b>	Reticolo Secondario di Pianura <b>RSP</b>
<b>H</b>	Frequente		10 - 20	< 50
<b>M</b>	Poco frequente		100 – 200	50 – 200
<b>L</b>	Raro		500	---

Le mappe di rischio sono state invece ottenute sovrapponendo le mappe di pericolosità agli elementi vulnerabili sul territorio (*elementi "poligonali" ovvero areali, "lineari" ovvero le linee infrastrutturali, e "puntuali"*).

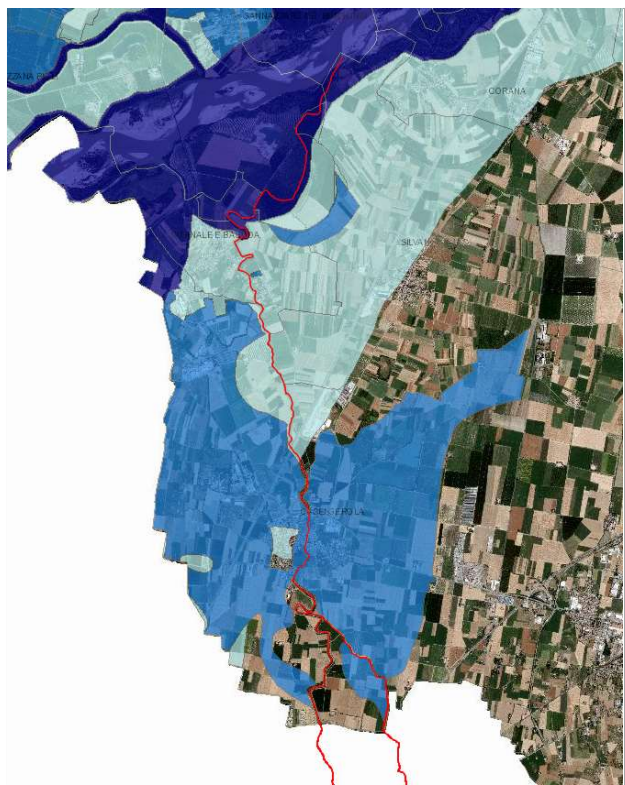




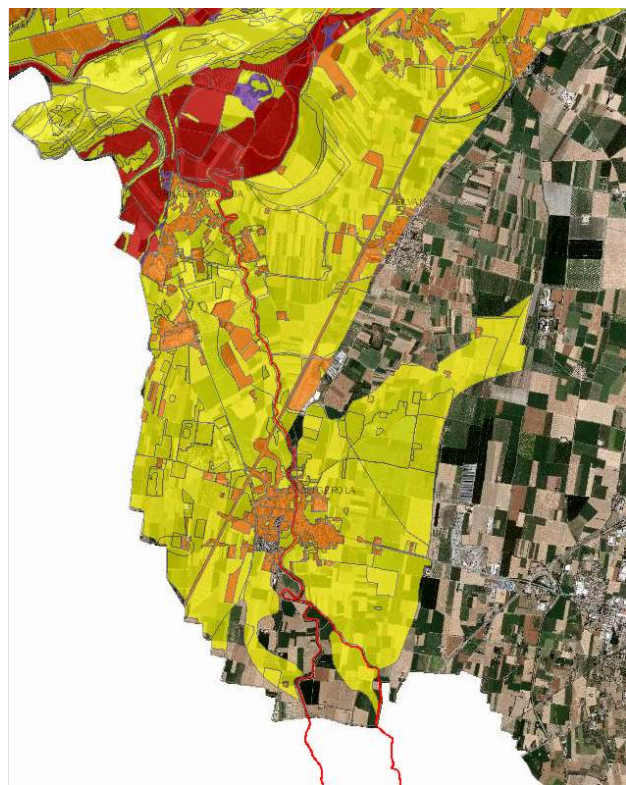
**Figura 1:** Bacino del Curone pavese; pericolosità in ambito RP – Scenari H, M, L



**Figura 2:** Bacino del Curone pavese; pericolosità in ambito RSP – Scenari H, M

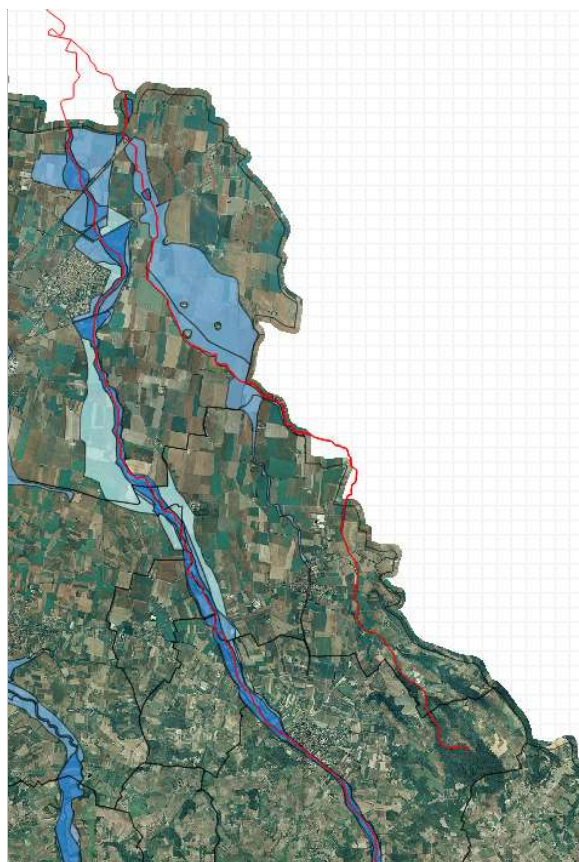


**Figura 3:** Bacino del Curone pavese; pericolosità complessiva (ambiti RP e RSP) – Scenari H, M, L



**Figura 4:** Bacino del Curone pavese; mappa di rischio

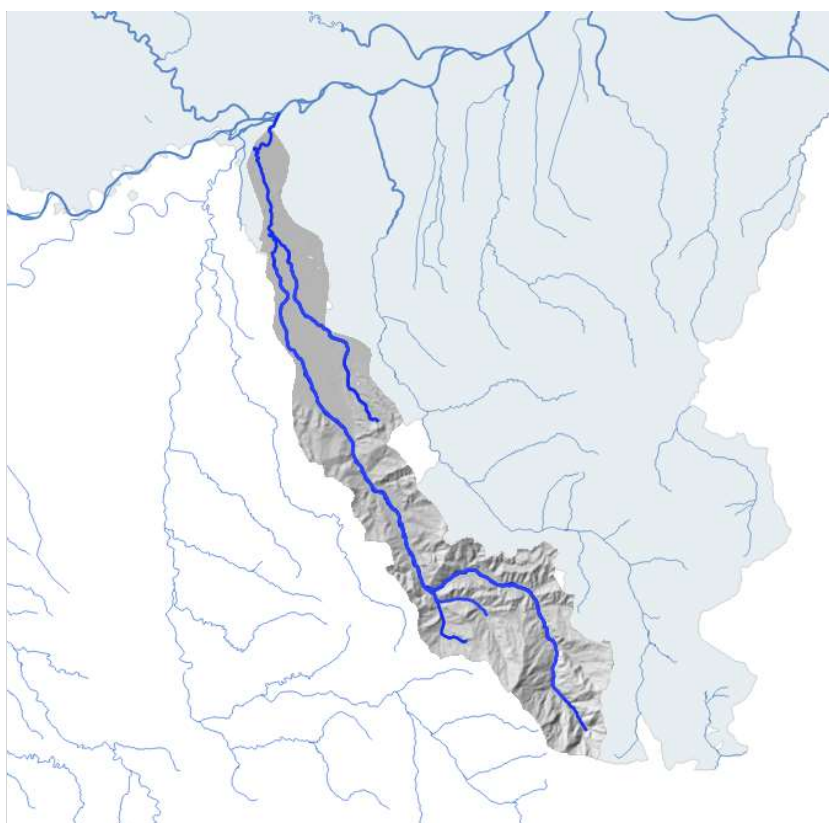




**Figura 5:** Bacino del Curone piemontese; **pericolosità complessiva – Scenari H, M, L**



**Figura 6:** Delimitazione del bacino del Curone



**Figura 7:** Reticolo principale e DTM (*Digital Terrain Model*) del bacino del Curone



## 4.1 Costruzione del modello idrologico

Per la costruzione del modello idrologico del bacino del Curone, si è fatto uso del software HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*), sviluppato dal *US Army Corps of Engineers*. Tale programma permette di simulare i processi di trasformazione pioggia-deflusso su diverse tipologie di bacino e, a partire da piogge storiche osservate o da ietogrammi di progetto, di calcolare le onde di portata attese in determinate sezioni del corso d'acqua.

Per le elaborazioni di seguito descritte si sono utilizzate le versioni HEC-HMS 4.6.1 e 4.7.1.

Le fasi successive per la simulazione sono le seguenti:

- Individuazione dei sottobacini e del reticolo idrografico;
- Individuazione della pioggia di ingresso al modello idrologico;
- Calcolo delle perdite idrologiche e della pioggia netta;
- Trasformazione afflussi-deflussi in ogni sottobacino;
- Traslazione/laminazione delle onde di piena all'interno del reticolo;
- Stima della portata di base;
- Calcolo dell'onda di portata in corrispondenza della sezione di chiusura e di diversi nodi del reticolo.

### 4.1.1 Individuazione dei sottobacini

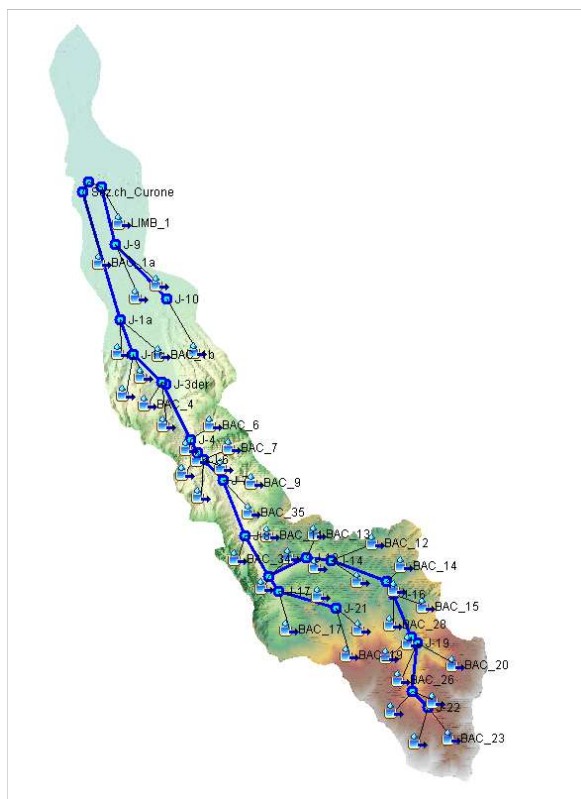
Per l'individuazione dei sottobacini, si sono sfruttate le caratteristiche di HEC-HMS, che attraverso elaborazioni del DTM (*Digital Terrain Model*), permette di determinare le caratteristiche idrologiche dell'area in questione.

Per l'area del bacino del Curone è stato necessario reperire il DTM della Regione Lombardia ( $\Delta x = 20\text{ m}$ ) e della Regione Piemonte ( $\Delta x = 5\text{ m}$ ) e procedere poi ad un'unione dei due file. Considerando che il DTM lombardo, nella zona sostanzialmente pianeggiante all'interno della provincia pavese, non consente di individuare con precisione le pendenze del terreno e quindi di delimitare i sottobacini, si è optato per limitare le elaborazioni al confine Lombardia-Piemonte (sfruttando quindi la migliore definizione del DTM piemontese).

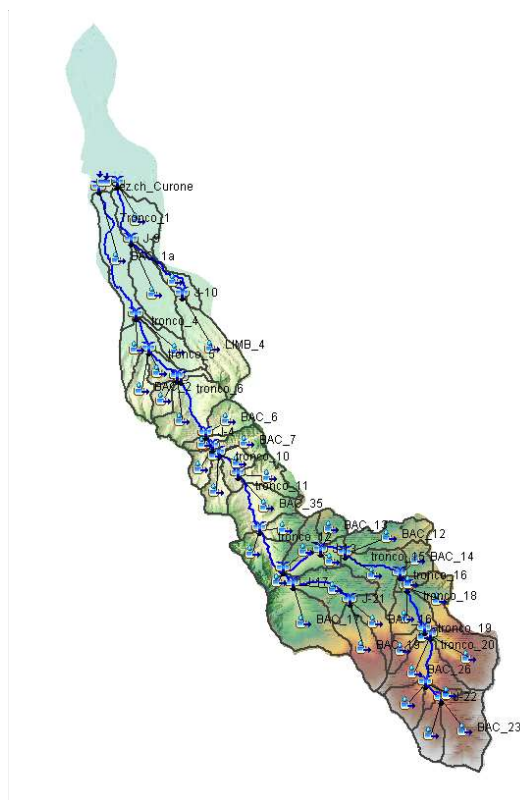
Una volta caricato il DTM con il relativo sistema di riferimento (UTM 32 N, WGS84) e specificato che si intende considerare la sezione di chiusura nei pressi del confine regionale, HEC-HMS permette di:

- Individuare le zone del DTM in cui tende ad accumularsi l'acqua;
- determinare le direzioni di scorrimento dell'acqua sui versanti;
- tracciare i corsi d'acqua principali, in corrispondenza dei fondivalle;
- Delimitare i sottobacini idrografici.

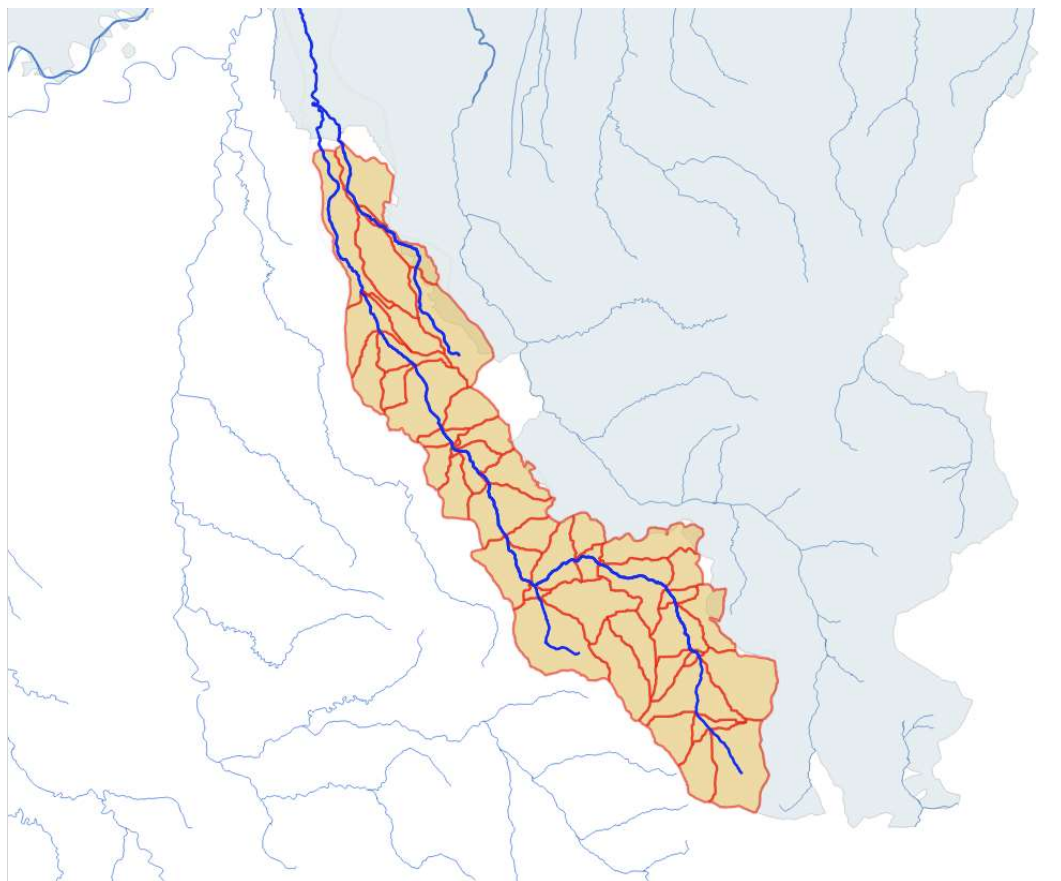
Le caratteristiche principali dei sottobacini (*area, pendenza media, altezza media sulla sezione di chiusura, lunghezza dell'asta fluviale principale, etc*) e dei tronchi fluviali (*lunghezza, pendenza media, etc*) vengono calcolate automaticamente dal programma, per poi essere utilizzate per specificare in dettaglio i parametri dei vari elementi del modello.



**Figura 8:** schema idrologico all'interno del bacino di calcolo



**Figura 9:** schema idrologico all'interno del bacino di calcolo, con la delimitazione dei sottobacini e l'individuazione dei singoli tronchi del reticolo



**Figura 10:** delimitazioni dei sottobacini all'interno del bacino di calcolo



### 4.1.2 Pioggia netta sui sottobacini

La stima delle perdite idrologiche, da sottrarre alla pioggia lorda in ingresso ai sottobacini, avviene tramite il metodo del *CN (Curve Number)*, messo a punto dal *Soil Conservation Service (SCS)*.

La pioggia netta  $P$  viene calcolata a partire dalla pioggia lorda  $P_{lorda}$ , attraverso la seguente formula:

$$P = \frac{(P_{lorda} - I_a)^2}{P_{lorda} - I_a + S}$$

Dove:

- $S$  è la *massima ritenzione potenziale* di acqua da parte del sottosuolo, che si può stimare a partire dal *numero di curva CN*:

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

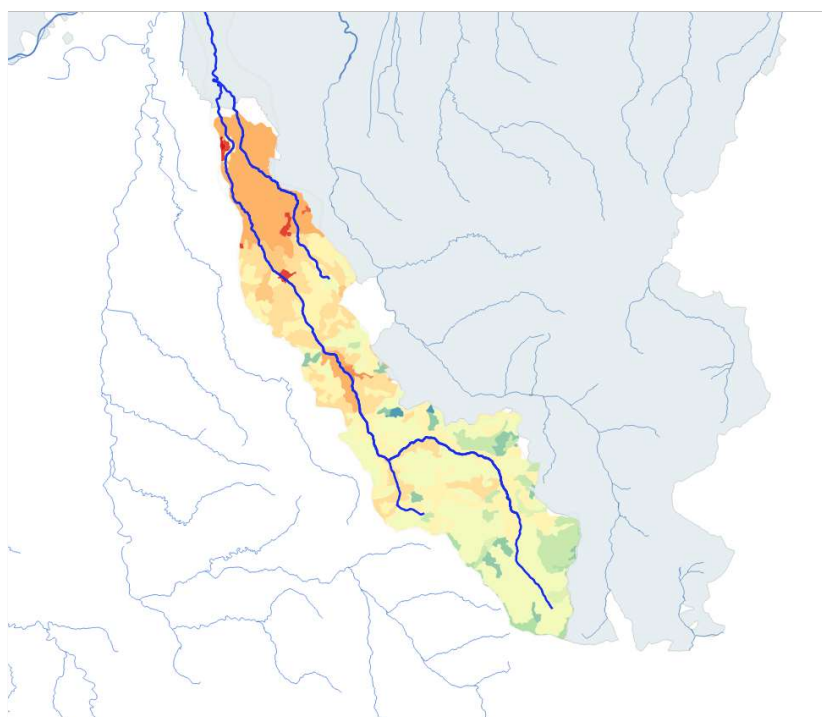
- $I_a$  è la *ritenzione iniziale*, ovvero la frazione di  $S$  che costituisce la perdita idrologica iniziale. Da osservazioni su piccoli bacini sperimentali, è stata ricavata la formula empirica:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

Il *numero di curva CN* varia da un minimo teorico di 0 (anche se i terreni più permeabili hanno un *CN* minimo intorno a 30) ad un massimo di 100, per i terreni completamente impermeabili.

Nello studio in oggetto, per stimare il *CN* dei suoli, si è fatto riferimento alla carta del *Corine Land Cover 2012*, un progetto europeo che (a partire dall'interpretazione dei dati satellitari) permette di dare una descrizione distribuita della copertura del suolo. La classificazione del *Livello 3* è stata considerata sufficientemente dettagliata per discriminare le caratteristiche principali dei suoli.





**Figura 11:** copertura del suolo desunta dal progetto corine Land Cover 2012 (livello 3)

CLC	Corine Land Cover 2012 Livello 3
111	Zone residenziali a tessuto continuo
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
142	Aree ricreative e sportive
211	Seminativi in aree non irrigue
222	Frutteti e frutti minori
242	Sistemi colturali e particellari complessi
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
311	Boschi di latifoglie
312	Boschi di conifere
313	Boschi misti di conifere e latifoglie
321	Aree a pascolo naturale e praterie
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
331	Spiagge, dune e sabbie
333	Aree con vegetazione rada



Valori ragionevoli del *CN*, per i diversi tipi di copertura del suolo, sono riportati nella tabella sottostante, per i quattro diversi *tipi idrologici di suolo* considerati dal metodo. Per considerare una tipologia media di suolo, si è calcolata la media dei valori di *CN*:

CLC		CN - Numero di curva				
		Tipo idrologico di suolo				Tipo medio
	111	89	92	94	95	92.5
	112	77	85	90	92	86
	121	81	88	91	93	88.25
	142	68	79	86	89	80.5
	211	61	73	81	84	74.75
	222	43	65	76	82	66.5
	242	61	73	81	84	74.75
	243	61	73	81	84	74.75
	311	36	60	73	79	62
	312	36	60	73	79	62
	313	36	60	73	79	62
	321	49	69	79	84	70.25
	324	35	56	70	77	59.5
	331	46	65	77	82	67.5
	333	63	77	85	88	78.25



### 4.1.3 Trasformazione afflussi-deflussi

La stima della trasformazione da pioggia netta a portata d'acqua  $q(t)$  in uscita da ogni sottobacino viene effettuata con la convoluzione tra pioggia netta  $p_{netta}(\tau)$  e *idrogramma unitario istantaneo (IUH)*.

$$q(t) = \int_0^t p_{netta}(\tau) \cdot IUH(t - \tau) d\tau$$

Viene utilizzato l'*IUH* sintetico di Clark, che considera il *tempo di corrivazione*  $t_c$  e i fenomeni di invaso (rappresentati dalla *costante di invaso*  $K$  e dalla morfologia altimetrica) nel sottobacino. L'espressione è la seguente:

$$IUH(t) = \begin{cases} \int_0^t \frac{a(\tau)}{A} \frac{1}{K} e^{-\frac{t-\tau}{K}} d\tau & t \leq t_c \\ \int_0^{t_c} \frac{a(\tau)}{A} \frac{1}{K} e^{-\frac{t-\tau}{K}} d\tau & t \geq t_c \end{cases}$$

dove il termine  $\frac{a(\tau)}{A}$ , che rappresenta la *curva area-tempi*, può essere approssimato con una relazione tipica:

$$\frac{a(t)}{A} = \begin{cases} 1.414 \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & t \leq \frac{t_c}{2} \\ 1 - 1.414 \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & t \geq \frac{t_c}{2} \end{cases}$$

I parametri del modello sono quindi:

- *tempo di corrivazione*  $t_c$  [ore], che viene per esempio stimato con la formula di Giandotti (in funzione dell'area  $A$  del sottobacino, della lunghezza  $L$  dell'asta fluviale principale e dell'altezza media  $z_m$  del sottobacino sulla sezione di chiusura):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{z_m}}$$

- *costante di invaso*  $K$  [ore], che aumenta all'aumentare della capacità di invaso del sottobacino. Di norma è uno dei parametri più versatili per la taratura.



#### 4.1.4 Traslazione e laminazione delle onde di piena

I corsi d'acqua tra due successive *sezioni di chiusura* dei sottobacini sono modellati come canali prismatici,

- a sezione trapezoidale e pendenza costante;
- oppure a sezione definita da "8 punti", che permettono di descrivere in modo semplificato la geometria dell'alveo inciso e delle due golene laterali, e pendenza costante;

all'interno dei quali le onde si spostano verso valle secondo il modello di Muskingum-Cunge e senza variazioni di volume (per infiltrazioni o ingressi laterali).

Il metodo è basato sulla combinazione della conservazione della massa e della quantità di moto ed utilizza due parametri. Discretizzando il corso d'acqua in sezioni, il volume  $S$  immagazzinato tra le due sezioni (a distanza  $L$ ) è dato dalla somma di due termini:

$$\begin{cases} S = KQ_{out} + Kx(Q_{in} - Q_{out}) \\ \frac{\Delta S}{\Delta t} = Q_{in} - Q_{out} \end{cases}$$

I due parametri sono:

- $K$ : *tempo di transito dell'onda* tra le due sezioni. Si può stimare attraverso il rapporto tra la distanza  $L$  e la *celerità* dell'onda  $C$ :  $K = L/C$ ;
- $x$ : parametro adimensionale (di norma tra 0 e 0,5, per garantire la stabilità del calcolo). È vicino a 0 per fiumi larghi, poco pendenti e con golene invase; è vicino a 0,5 per fiumi ripidi e contenuti nell'alveo inciso. Si può stimare in funzione di:  $L$ ,  $C$  (celerità) e caratteristiche della sezione (larghezza  $B$  del pelo libero, pendenza  $i$ ) e della portata  $Q$ .

Nella forma implementata in HEC-HMS, vengono determinate in modo automatico le distanze tra le sezioni (dell'ordine dei 100 metri) e la discretizzazione temporale (dell'ordine del minuto), in modo da garantire la stabilità numerica.

I parametri da inserire per ogni tronco sono quindi:

- lunghezza del tronco [m];
- larghezza di base [m] e pendenza [m/m] delle sponde della sezione; oppure funzione  $(X, Y)$  che descrive la sezione a "8 punti";
- pendenza del canale [m/m];
- *coefficiente di Manning* del canale [ $s/m^{1/3}$ ].

### 4.1.5 Deflusso di base

La portata alla *sezione di chiusura* di ogni bacino viene infine calcolata come somma della *portata netta*, conseguente alle precipitazioni, e di un *deflusso di base* che si suppone decresca esponenzialmente nel tempo secondo la formula:

$$Q(t) = Q(t_0)k^t$$

dove compaiono i due parametri:

- *deflusso di base* massimo  $Q(t_0)$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];
- coefficiente di diminuzione  $k$  [adimensionale].

Si introduce poi un terzo parametro:

- *deflusso di soglia (threshold)*, al di sotto della quale il *deflusso di base* (che altrimenti diminuirebbe sempre nel tempo) inverte tendenza e torna a salire verso il valore massimo  $Q(t_0)$ .

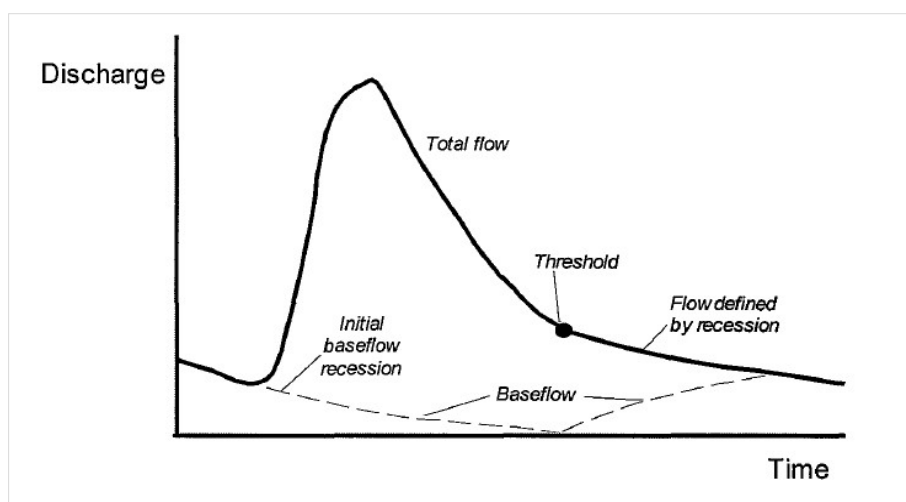
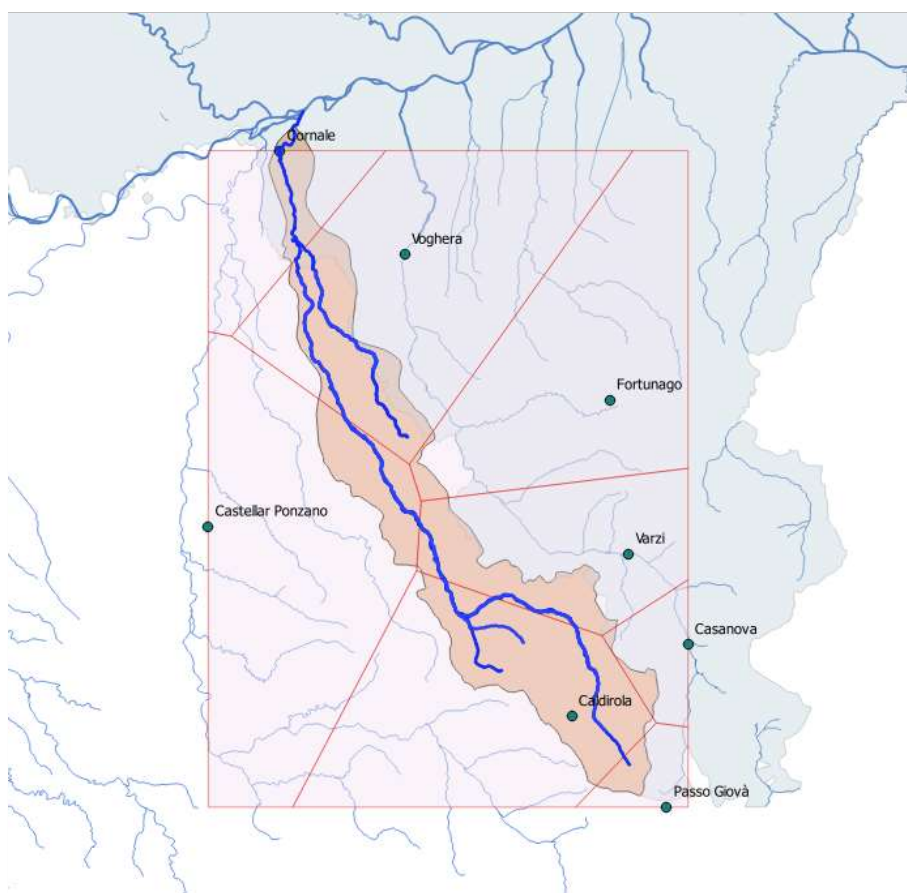


Figura 12: schema esemplificativo del modello del *deflusso di base*.

## 4.2 Taratura del modello idrologico

Il modello idrologico costruito è stato tarato con l'evento di piena del 2014, in corrispondenza del quale si sono registrate diverse segnalazioni di esondazione attorno all'abitato di Casei Gerola (PV).

Sono stati utilizzati i dati pluviometrici rilevati da 8 sensori, ricadenti nel bacino o nelle immediate vicinanze: Cornale, Voghera, Fortunago, Varzi, Casanova, Caldirola, Castellar Ponzano, Passo Giovà. La spazializzazione delle precipitazioni può essere effettuata in prima approssimazione attraverso l'algoritmo dei *poligoni di Thiessen*.

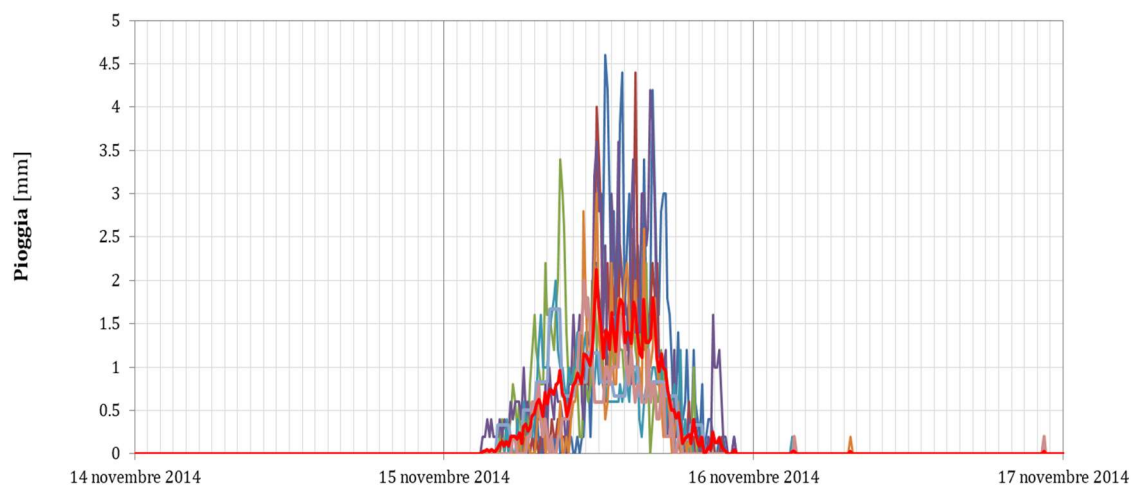


**Figura 13:** pluviometri ricadenti nel bacino del Curone o nell'area immediatamente circostante. Si riporta il perimetro dei *poligoni di Thiessen* associati ai pluviometri.

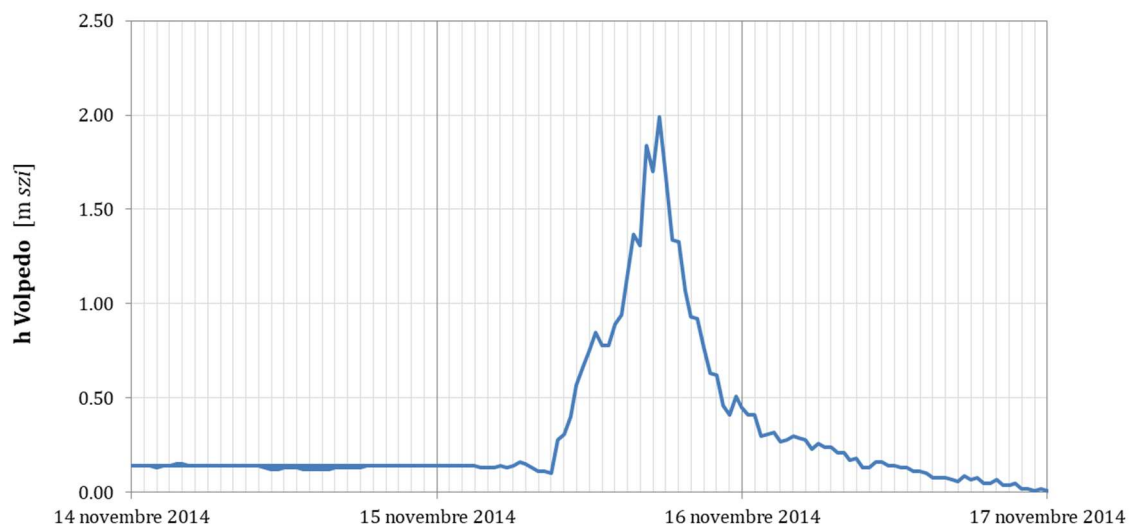
L'idrogramma di portata a Volpedo (AL) dell'evento del novembre 2014 è stato ottenuto combinando:

- La scala di deflusso elaborata a Volpedo da parte di ARPA Piemonte, valida per il periodo in questione, ma solo per altezze idrometriche inferiori a 0,16 m szi;
- L'informazione relativa alla portata al colmo stimata, pari a circa 230 m<sup>3</sup>/s (*"Eventi idrometeorologici dal 9 al 17 novembre 2014"*, redatta a cura del *Dipartimento Sistemi Previsionali* di ARPA Piemonte).

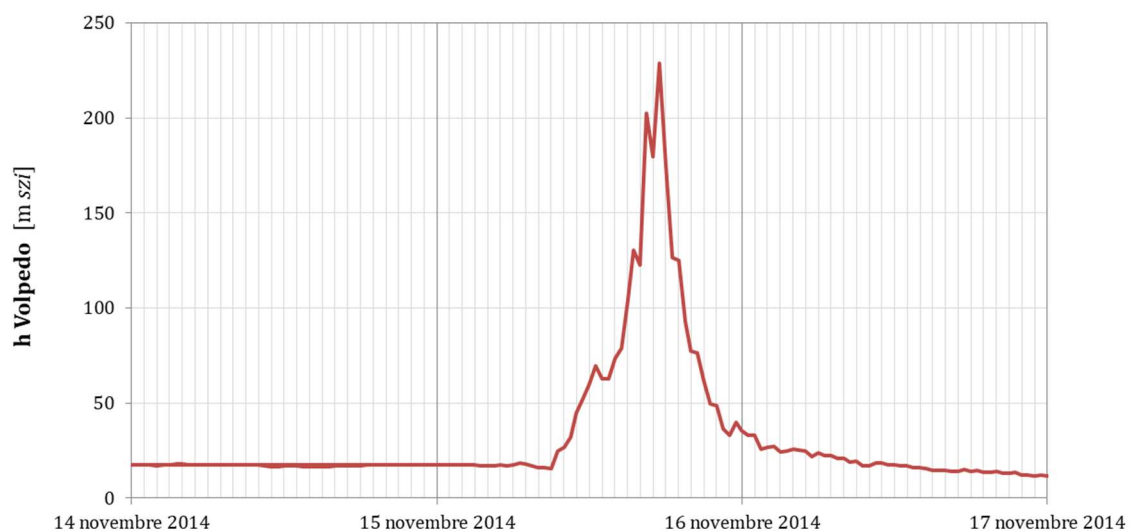




**Figura 14:** valori di precipitazione osservati in corrispondenza degli 8 pluviometri considerati. Si riporta anche l'evoluzione temporale del valore medio di pioggia (linea rossa).



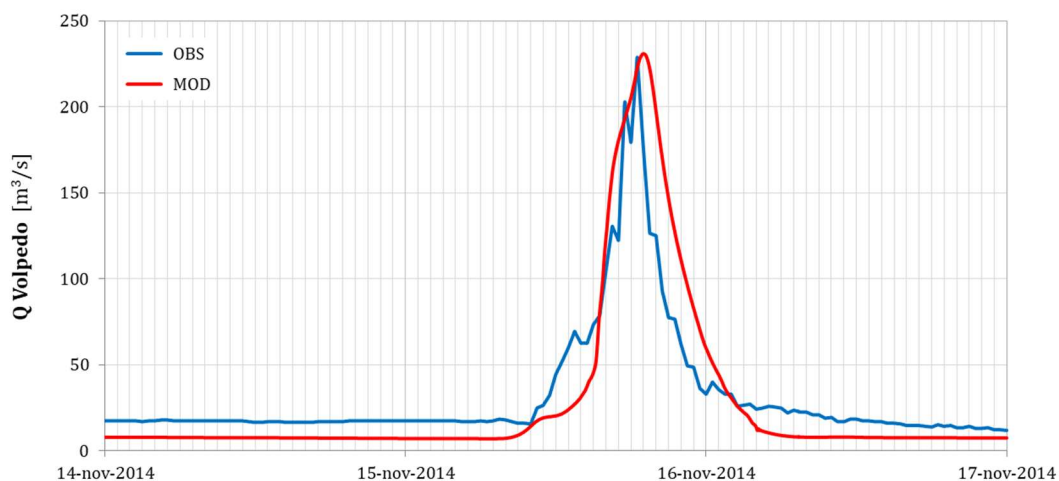
**Figura 15:** altezza idrometrica osservata all'idrometro di Volpedo (AL).



**Figura 16:** idrogramma dell'evento di piena del novembre 2014 all'idrometro di Volpedo (AL).

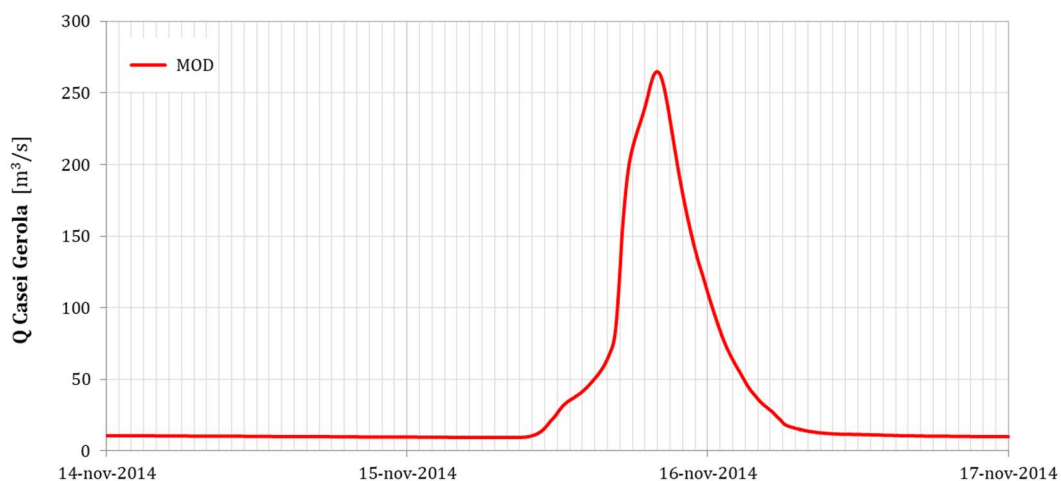
La taratura dei parametri del modello è avvenuta con l'obiettivo di ridurre al minimo lo scarto tra le portate osservate (stimate come riportato sopra) e le portate simulate dal modello. Dai grafici sottostanti si osserva che:

- In corrispondenza della sezione di **Volpedo** (AL): l'andamento delle portate simulate è ben sovrapposto all'andamento delle portate osservate; anche se si osserva uno scostamento nell'istante di picco, vi è una buona corrispondenza sia nel valore di picco sia nei volumi transitati.





- In corrispondenza della sezione di **Casei Gerola** (PV): l'andamento simulato non può essere confrontato con idrogrammi misurati (non essendo disponibile un idrometro in loco), ma il superamento della portata di  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  (che può essere considerato indicativamente come valore di portata compatibile al ponte di Casei Gerola) è avvenuto nel tardo pomeriggio/sera, che coincide in gran parte con quanto riportato dalla cronaca locale del periodo.



### 4.3 Calcolo dell'onda di progetto

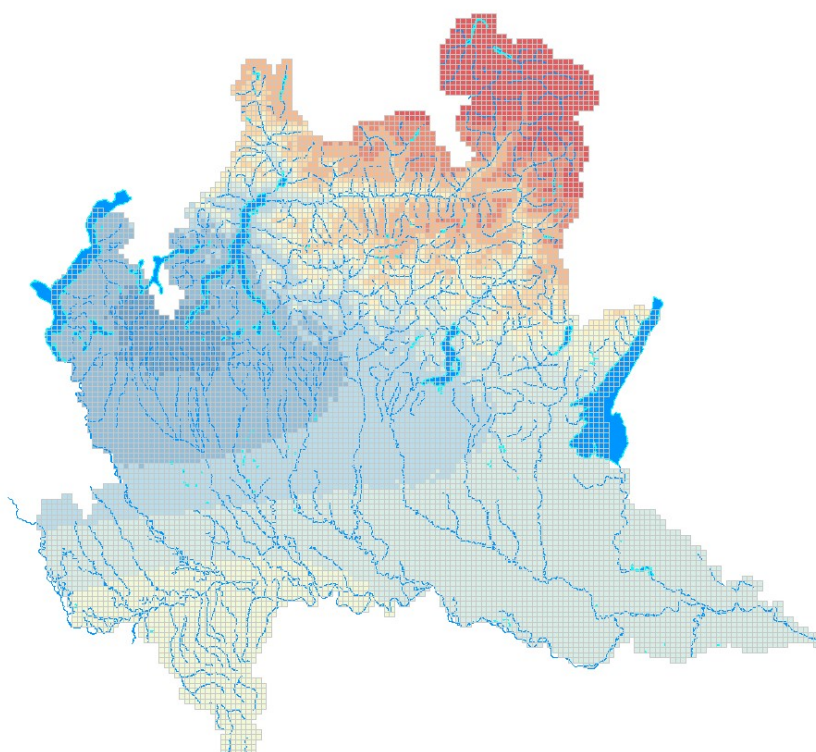
Una volta completata la taratura del modello idrologico, lo si è alimentato con una pioggia di progetto, in modo tale da ottenere un'idrogramma di progetto nelle sezioni di interesse.

Per i dati di pluviometria si è fatto riferimento al *Portale Idrologico Geografico* di ARPA Lombardia, dove (per ogni cella di lato pari a 1 km) vengono restituiti i parametri delle *curve* (o *linee segnalatrici*) di *possibilità pluviometrica* (LSPP):

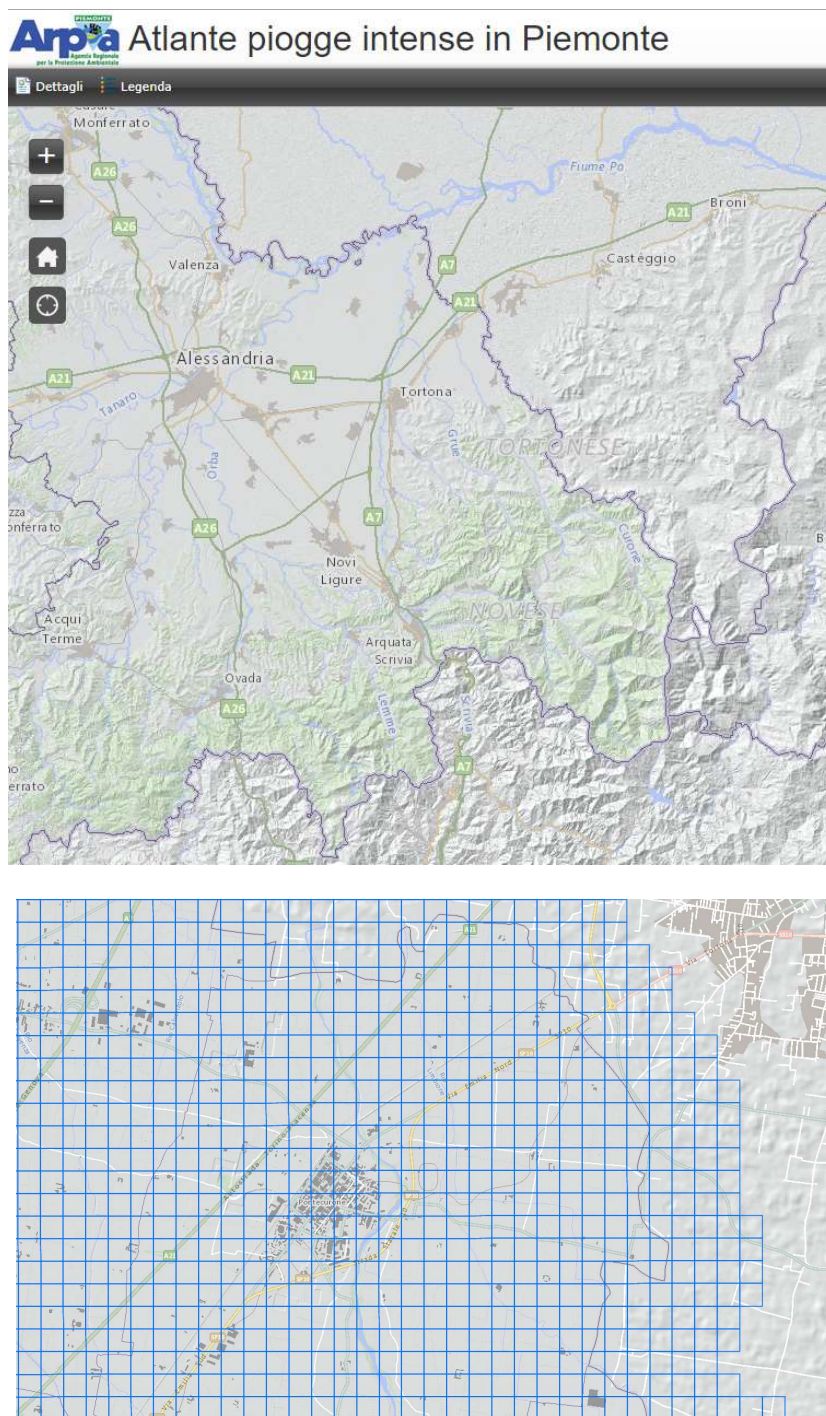
$$p = a(\alpha, \kappa, \varepsilon, T_{RIT}) \cdot t^{n(\alpha, \kappa, \varepsilon, T_{RIT})}$$

- $\alpha$ : coefficiente pluviometrico orario;
- $n$ : coefficiente di scala;
- $\alpha$ ,  $\kappa$  ed  $\varepsilon$ : parametri della distribuzione di probabilità GEV, con cui ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  per diversi *tempi di ritorno*  $T_{RIT}$ .

Analogamente, per il territorio piemontese, si è fatto riferimento all'*Atlante piogge intense in Piemonte*, dove i valori vengono restituiti su una griglia di 250 m.



**Figura 17:** discretizzazione dei parametri delle *curve di possibilità pluviometrica* sul territorio lombardo



**Figura 18:** discretizzazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica sul territorio lombardo





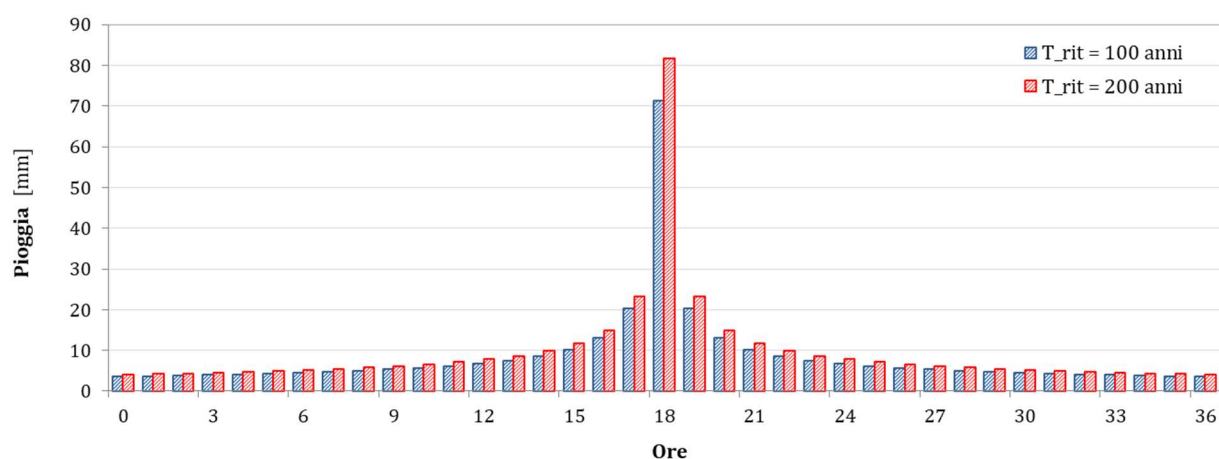
All'interno del presente studio si sono considerati i seguenti *tempi di ritorno*:

- 100 anni per il dimensionamento delle opere in progetto (Direttiva PAI);
- 200 anni per la verifica delle opere.

Le piogge sono state distribuite nel tempo con lo *ietogramma Chicago*.

Sviluppato da Keifer e Chu nel 1957, è indicato per gli eventi meteorici intensi e concentrati. Ha la caratteristica che, per ogni durata, l'intensità media della precipitazione è congruente con quella definita dalla *LSPP*: quindi, anche per una durata pari al *tempo di corrivazione* complessivo del bacino (attorno alle 5,6 ore), restituirà la cumulata massima della *LSPP*.

La durata complessiva dello ietogramma è stata posta pari a 36 ore: considerare una durata sensibilmente superiore al tempo di corrivazione, consente di avere una buona simulazione anche dei volumi.

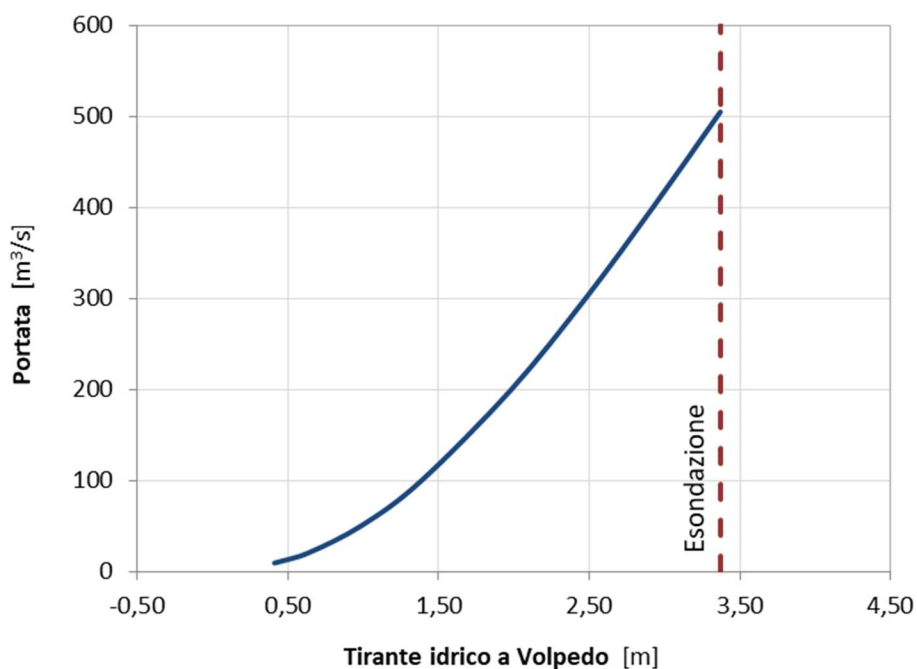


**Figura 19:** esempio di ietogramma di Chicago per una pioggia con 100 anni e 200 anni di tempo di ritorno, in un punto di griglia dell'alto bacino.

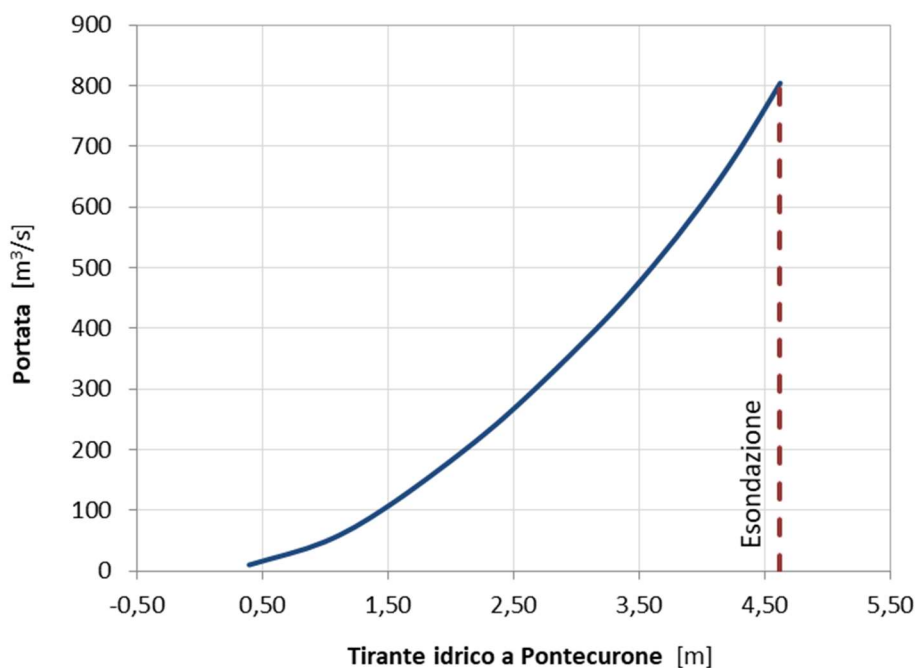
Al fine di realizzare un modello idrologico congruente, si è tenuto conto delle massime portate convogliabili nei tratti fluviali a monte della sezione di chiusura: si sono rilevate le sezioni medie nell'intorno degli abitati di Volpedo e Pontecurone e, tramite la stima della *scala di deflusso* (ipotizzando condizioni di moto permanente e uniforme), si sono valutati i seguenti valori:

Corso d'acqua	Sezione	Portata massima convogliabile [m <sup>3</sup> /s]
Curone	Volpedo	500
Curone	Pontecurone	800
Limbione	Pontecurone	50





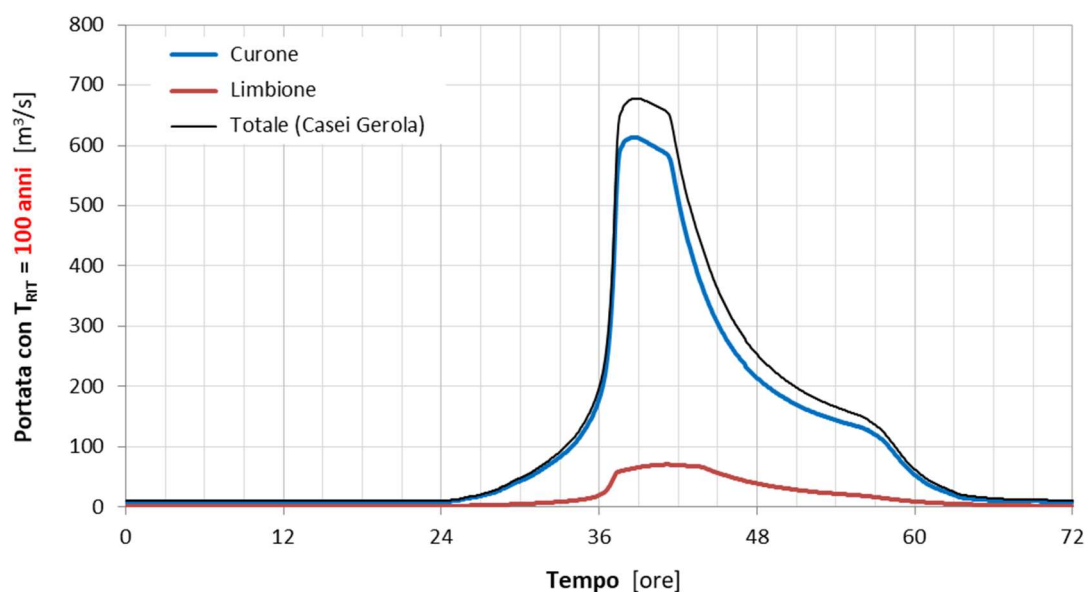
**Figura 20:** scala di deflusso stimata nell'intorno dell'abitato di Volpedo, con l'indicazione della portata massima convogliabile



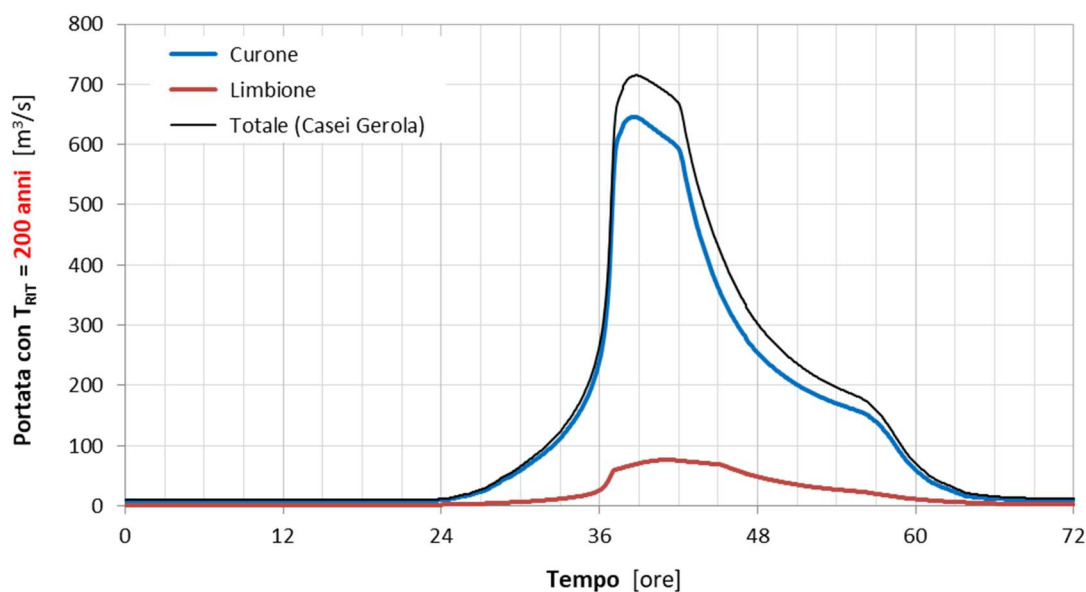
**Figura 21:** scala di deflusso stimata nell'intorno dell'abitato di Pontecurone, con l'indicazione della portata massima convogliabile

Dalle analisi idrologiche risultano i seguenti picchi di portata:

Corso d'acqua	Sezione	Portata al colmo con $T_{\text{rit}} = 100$ anni [m <sup>3</sup> /s]	Portata al colmo con $T_{\text{rit}} = 200$ anni [m <sup>3</sup> /s]
Curone	Casei Gerola	680	715
Curone	Ingresso in Lombardia	615	650
Limbone	Ingresso in Lombardia	70	75



**Figura 22:** onde di portata calcolate con un *tempo di ritorno* di 100 anni



**Figura 23:** onde di portata calcolate con un *tempo di ritorno* di 200 anni



#### 4.4 Analisi idrauliche

Al fine di disporre di dati di maggior dettaglio per ridefinire l'assetto idraulico del torrente Curone in territorio pavese e realizzare interventi urgenti di protezione idraulica, A.I.Po ha previsto l'affidamento di un incarico per:

- Modellazione idrologica-idraulica del bacino di interesse. Nel dettaglio:
  - revisione e calibrazione del modello idrologico distribuito oggi esistente (TOPKAPI), comprensiva della attività di affinamento degli *output* (attraverso analisi di tipo statistico su dati osservati) e della successiva reintegrazione nel sistema FEWS;
  - realizzazione di una modellazione idraulica dell'area di interesse, integrabile nel sistema FEWS:
    - relativa all'assetto attuale (1D+2D);
    - con gli scenari ipotetici della configurazione di assetto (1D+2D), successivamente raffinati verso gli obiettivi di protezione territoriale prefissati.

Le attività previste condurranno alla prima definizione dell'assetto idraulico di progetto del torrente Curone, adeguato allo stato insediativo ed infrastrutturale presente; esse verranno altresì utilizzate per verificare le opere previste nel Progetto di Fattibilità Tecnico-Economico redatto per l'utilizzo delle somme attualmente disponibili.

Lo studio *in via di completamento* consentirà di aumentare la conoscenza dei fenomeni esondativi allo stato attuale, definendo le zone di maggior rischio e potrà condurre alla realizzazione di un modello predittivo utile ai fini di protezione civile, ad uso dei competenti Uffici comunali, provinciali, regionali.

Attualmente sono state completate le indagini geognostiche, allegate al presente progetto, e i rilievi LIDAR che verranno utilizzati per definire il futuro assetto idraulico, in fase di completamento, del torrente Curone che consentirà di ottenere una visione globale delle problematiche per arrivare a definire una soluzione progettuale risolutiva delle varie tematiche ancora in essere.



## 5. Studio preliminare di inserimento urbanistico e vincoli

### INQUADRAMENTO PAESAGGISTICO

Durante la fase progettuale del PFTE si sono seguite le indicazioni del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), che determina gli indirizzi generali d'assetto e tutela del territorio, cui gli Enti e le Amministrazioni Pubbliche nell'esercizio delle rispettive competenze si devono conformare.

Il PTCP si articola in quattro sistemi d'analisi e valutazione per l'orientamento delle scelte e per il supporto alle decisioni:

- a) il sistema paesistico ambientale;
- b) il sistema insediativo;
- c) il sistema socio-economico;
- d) il sistema della logistica e delle infrastrutture per la mobilità.

Il primo punto è quello di nostro interesse e nella direttiva in merito (art. 14) si ricorda che gli interventi di sistemazione idraulica ed idrogeologica sono da considerarsi con particolare attenzione, assumendo come riferimento le indicazioni tecnico-operative contenute nel "Manuale d'ingegneria naturalistica" adottato dalla G.R. con delibera n. 50989 del 07/04/1994.

Vediamo ora come sono maturate le scelte progettuali adottate. Per prima cosa si è identificato l'ambito territoriale di interesse per valutare gli indirizzi in merito proposti dal PTCP. L'ambito territoriale è il numero 01, Ambito del Fiume Po; per tale territorio gli obiettivi e le finalità proposte sono:

- valorizzazione dell'ambito fluviale e dei suoi paesaggi naturali e seminaturali;
- valorizzazione del rapporto tra ambito fluviale e insediamenti urbani;
- recupero, ripristino e sistemazione ambientale, urbanistica e funzionale dei siti e degli insediamenti degradati di carattere antropico;
- valorizzazione delle caratteristiche dell'ambito fluviale legate allo sviluppo delle attività di tipo turistico, ricreativo e per il tempo libero, didattico-ambientale;
- valorizzazione e tutela degli spazi e delle attività agricole.

Nella Tavola 3 -Scenari di Piano allegata al PTCP, il torrente Curone è individuato come un ambito di consolidamento dei caratteri naturalistici e paesistici.

Si nota come la valorizzazione dell'ambito fluviale, insieme alla necessità di risolvere le attuali criticità presenti, sia alla base delle scelte progettuali adottate, in quanto è stata prevista una rinaturalizzazione del tratto del Curone oggetto dell'intervento.

Ulteriore riferimento è l'articolo 32, che da gli indirizzi specifici per la tutela degli elementi costitutivi del paesaggio, in particolare riguardo i corsi d'acqua, i bacini naturali, le zone umide e palustri, i boschi, la vegetazione, etc.

Per tutte le opere in progetto è stata prevista adeguata rinaturalizzazione; ad esempio, dove si sono adottate difese spondali in massi, si è provveduto ad un'adeguata mitigazione ambientale mediante copertura con terreno vegetale, semina e posa di talee legnose di salici arbustivi locali. Inoltre si è scelta una pezzatura ridotta per diminuire ulteriormente l'impatto di tali opere sull'ambiente circostante.

Inoltre al fine di potenziare il corridoio ecologico e applicare i principi della rinaturazione, verranno ripristinati i vecchi meandri modificati nei progetti precedenti e inglobati nel sistema fiume-golena.

Quanto espresso sopra si evince anche dagli elaborati grafici allegati al presente progetto, che inquadrano compiutamente l'intervento in oggetto.



Sci scenari previsti nel PFTE non sono stati presi in esame nel presente progetto in quanto le opere rivestono carattere di urgenza e non implicano variazioni di forma e dimensioni dell'attuale assetto. Resteranno validi per ulteriori progettazioni future.

## **6. Archeologia**

La verifica preventiva dell'interesse archeologico verrà effettuata in una fase successiva e solo dopo le risultanze dello studio idraulico in atto, che imporrà le scelte progettuali definitive in base alle eventuali criticità che saranno riscontrate.

Il modello idraulico, assieme ai risultati dei rilievi e delle indagini geognostiche, consentirà di operare le migliori scelte progettuali tese alla salvaguardia dei territori interessanti dal torrente Curone. In ogni caso, in questa fase non sono previsti interventi che comportino scavi a quote diverse rispetto ai manufatti esistenti.

Dall'analisi degli strumenti urbanistici vigente è emersa la presenza di aree di interesse archeologico a valle dell'abitato e a ridosso del rilevato dell'autostrada MI-GE che verrà attenzionata in caso di progettazioni future e conseguenti alle risultanze dello studio idraulico.

## **7. Censimento delle interferenze**

Dalla lettura del luogo sul territorio risultano diverse interferenze che aumentano le difficoltà progettuali. In particolar modo il territorio del comune di Casei Gerola è racchiuso da un lato dall'Autostrada MI-GE e dalla A21, nonché dal rilevato ferroviario verso Sud.

Nella zona verso Sud, al confine con la regione Piemonte, sono presenti diversi pozzi utilizzati per l'irrigazione dei campi, che risulta molto intensiva.

Ne tratto tra il confine con la regione Piemonte e il paese di Casei Gerola sono presenti due elettrodotti.

Nel tratto urbanizzato ricadente nel territorio di Casei Gerola si segnalano diversi casi di interferenze quali muretti, case a ridosso dei rilevati, recinzioni, alberi, fabbricati annessi alle abitazioni, garage ed elementi prefabbricati tipo box lamierati.

Nel tratto di valle, tra gli abitati di Casei Gerola e Cornale, è presente un oleodotto in subalveo.

Di primaria importanza sono la inadeguatezza idraulica dei due ponti ubicati rispettivamente in comune di Casei Gerola e Cornale, che risultano visibilmente più bassi dell'attuale sommità arginale: tali strutture provocano, inevitabilmente, problematiche di rigurgito e di notevole rallentamento della velocità di efflusso della piena.

## **8. Piano di gestione delle materie con ipotesi di soluzione delle esigenze di cave e discariche**

Non saranno previste cave e discariche.



## 9. Espropri

Nell'attuale fase non verranno previste procedure espropriative, in quanto gli interventi rivestiranno carattere manutentivo volto alla conservazione dell'attuale stato dei presidi idraulici e al miglioramento delle condizioni idrauliche del torrente stesso.

## 10. Architettura e funzionalità dell'intervento

Gli interventi saranno improntati principalmente a interventi di protezione idraulica, che saranno funzionali sia alla salvaguardia delle opere esistenti sia al miglioramento dell'assetto idraulico esistente.

## 11. Verifica di conformità tecnico-amministrativa della progettazione

Come previsto dall'art. 26 del D. Lgs. 50/2016 e s.m.i. e dalla direttiva A.I.Po prot. 1525 del 17/01/2011 e s.m.i. l'attività di verifica sarà svolta dal Responsabile del Procedimento considerato che non ha svolto le funzioni di progettista. I relativi verbali e l'atto di validazione sono allegati al presente progetto.

## 12. Documentazione amministrativa

L'elaborato 7 –documentazione di rito contiene tutta la documentazione amministrativa richiesta dalla normativa e dalle procedure interne dell'Agenzia:

- ✓ nomina RUP;
- ✓ nomina gruppo di progettazione;
- ✓ nomina Ufficio DDLL;
- ✓ verbali attività di verifica di conformità tecnico-amministrativa della progettazione;
- ✓ verbale di validazione del progetto;
- ✓ schema di contratto.

## 13. Piano di manutenzione

La redazione del piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti a corredo del progetto esecutivo è prevista dall'art. 93 del D. Lgs. 163/2006 e s.m.i. e dall'art. 38 del D.P.R. 207/2010 e s.m.i.

Il piano di manutenzione è costituito dai seguenti documenti:

1. manuale d'uso;
2. manuale di manutenzione;
3. programma di manutenzione.

Il manuale d'uso si riferisce in particolare agli impianti tecnologici e contiene l'insieme delle informazioni atte a permettere all'utente di conoscere le modalità per la migliore utilizzazione del bene. Nel nostro caso la componente tecnologica è pressoché assente (*sono previste delle forniture esterne che avranno i propri manuali d'uso forniti dal produttore*) e l'utente è rappresentato dal personale A.I.Po o in alternativa dai volontari della Protezione Civile, entrambi formati in merito all'utilizzo delle opere idrauliche





(si pensi ad esempio alle procedure di apertura e chiusura delle chiaviche). Per questi motivi il RUP non ha fatto predisporre il manuale d'uso.

Il comma 6 dell'art. 38 del D.P.R. 207/2010 e s.m.i. descrive le informazioni minime che il manuale di manutenzione deve contenere, che sono le seguenti:

- a) la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
- b) la rappresentazione grafica;
- c) la descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo;
- d) il livello minimo delle prestazioni;
- e) le anomalie riscontrabili;
- f) le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utente;
- g) le manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato.

Ulteriore riferimento utile può essere la norma UNI 10874/2000 che da un'indicazione di come dovrebbe essere strutturato un manuale di manutenzione nel caso di immobili e con riferimento alle componenti edilizie e tecnologiche (lista degli elementi, elaborati grafici, schede tecniche, istruzioni per l'uso, piano manutenzione, referenti tecnici).

Il comma 7 dell'art. 38 del D.P.R. 207/2010 e s.m.i. descrive le informazioni minime che il programma di manutenzione deve contenere, con particolare riferimento alle prestazioni, ai controlli e agli interventi di manutenzione da effettuare sul bene in oggetto.

Appare evidente che nel caso di opere fluviali alcuni aspetti non sono individuabili, ad esempio il soggetto utente o la frequenza degli eventi di piena o ancora il mantenimento nel tempo di determinati livelli idrici, etc. Le indicazioni riportate dal D.P.R. 207/2010 e s.m.i. trovano quindi difficile applicazione nel campo delle opere idrauliche e di difesa del suolo, in quanto espressamente formulate per gli impianti tecnologici. Ci sono tuttavia alcuni elementi minimi che possono essere individuati e che forniscono le informazioni necessarie a garantire un adeguato funzionamento delle opere in progetto attraverso una corretta manutenzione delle stesse. Di seguito verranno analizzati nel dettaglio suddividendoli per tipologia di opere.

#### OPERE SUL RILEVATO ARGINALE MAESTRO

Si tratta delle opere di manutenzione alla sommità carrabile dell'arginatura, il ripristino di un'erosione arginale sulla scarpata e lo scoscendimento longitudinale dell'arginatura.

Le principali anomalie riscontrabili su tali opere sono:

- danneggiamenti o alterazioni dello strato superficiale di coltivo a causa di cedimenti del rilevato o erosioni provocate dalle acque meteoriche;
- alterazioni del fondo delle piste di servizio provocate dalle acque meteoriche;
- cedimenti o alterazioni della sagoma arginale provocati dagli eventi di piena;
- crescita anomala della vegetazione sui rilevati arginali;
- sifonamenti o fontanazzi;
- depositi di rifiuti.

Si dovrà quindi provvedere ad un controllo periodico dello stato del rilevato arginale (*controllo a vista*) con frequenza mensile o comunque durante e dopo ogni evento di piena, per rilevare la presenza di anomalie e, nel caso, si dovrà provvedere al ripristino della sezione originaria. Si ricorda che il Programma



Triennale di Manutenzione A.I.Po, già allo stato attuale, prevede lo sfalcio di tutti i rilevati arginali ed opere connesse due volte l'anno e una periodica manutenzione delle piste di servizio.

#### TAGLIO VEGETAZIONE

Viene effettuato un taglio selettivo delle vegetazione su tutto il tratto dal confine regionale fino alla foce in Po.

Le principali anomalie riscontrabili su tale opera sono:

- danneggiamenti o alterazioni dello strato superficiale di coltivo a causa di erosioni provocate dalle acque meteoriche;
- cedimenti o variazioni della sagoma delle sponde o del fondo provocate da erosioni localizzate;
- depositi di materiale alluvionale e/o legnoso provocati dagli eventi di piena;
- depositi di rifiuti;
- crescita anomala della vegetazione sulle sponde o sul fondo.

Si dovrà quindi provvedere ad un controllo periodico dello stato del torrente (controllo a vista) con frequenza quadrimestrale o comunque durante e dopo ogni evento di piena, per rilevare la presenza di anomalie e, nel caso, si dovrà provvedere al ripristino della sezione originaria.

## 14. Conclusioni

Il finanziamento delle opere in progetto arriva dalla L.R. 9/2020 D.G.R. XI/3671 del 13 ottobre 2020. Programmi di interventi prioritari ed urgenti di difesa del suolo e per la mitigazione dei rischi idrogeologici, e con decreto n. 1936 del 16/02/2021 vengono stanziati € 1.000.000,00. Inserito nel Programma Triennale dei Lavori Pubblici di AIPo 2022-2024 Codice Interno PV-2021-11. Inoltre AIPo viene individuata quale ente attuatore dell'Intervento stesso.

Nella determinazione dei vari prezzi presenti nel computo si è tenuto conto di tutti gli oneri relativi all'appalto. Detti prezzi sono quelli relativi al "Prezzario delle Opere Pubbliche Regione Lombardia anno 2022 e Prezzario AIPo aggiornato a luglio 2022". Ai sensi dell'art. 42 del D.M. 29.05.85, le relative analisi possono essere omesse tranne che per la voce NP1 articolo 7 del computo metrico estimativo per la quale è stata redatta la relativa analisi prezzi.

Considerata la tipologia delle opere da eseguire e visto l'art. 90 del D. Lgs. 81/2008 e s.m.i. si procederà alla nomina del Coordinatore per la sicurezza sia per la fase progettuale che per la fase esecutiva.

Dall'analisi del cronoprogramma allegato alla presente perizia si evince inoltre che non ci sono sovrapposizioni tra le singole lavorazioni, ma verranno realizzate singolarmente in fasi diverse. Inoltre le varie tipologie di lavoro sono ubicati in località diverse e molto distanti tra di loro.

Ai sensi dell'articolo 149 lett. a) del Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 le opere di ordinaria manutenzione che non comportino un'alterazione dello stato dei luoghi non sono soggette ad autorizzazione paesaggistica. Nel nostro caso si ricade in tale fattispecie in quanto si tratta di un ripristino di un'opera esistente danneggiata nel corso degli anni dal succedersi di eventi di piena ordinaria. Non è stata quindi inoltrata alla Regione Lombardia alcuna richiesta in tal senso.

Ai fini del rispetto delle vigenti disposizioni in materia di qualificazione dei soggetti esecutori di lavori pubblici (D.P.R. 34/2000) si specifica che la categoria prevalente è:

- Categoria OG8, classifica II.