



Provincia di  
Brescia



Regione  
Lombardia



Comune di  
Cazzago San  
Martino

*OGGETTO: Opere di manutenzione ordinaria,  
straordinaria e di mitigazione del rischio idraulico  
lungo l'asta del Longherone nel territorio del  
Comune di Cazzago San Martino*

## PROGETTO ESECUTIVO

CIG: Z6B1B77F28

DOCUMENTO:

**Doc\_17**

DATA:

Ottobre 2019

Relazione idrologica-idraulica

IL R.U.P.:

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Luca Campana  
via Achille Papa, 36  
25128 Brescia (BS)  
tel. 030/2005886  
e-mail: campana@studiocrb.it

## **PREMESSA**

Il presente progetto si pone l'obiettivo di migliorare le problematiche che affliggono il territorio comunale di Cazzago San Martino lungo il tracciato del torrente Longherone, soggetto a periodici fenomeni di allagamento in particolare nella zona della frazione di Bornato e Calino ed in prossimità della stazione ferroviaria.

La progressiva estensione delle superfici urbanizzate è la principale causa del disordine idraulico della zona e dell'aumento delle zone "impermeabili" che hanno sensibilmente ridotto il grado di permeabilità naturale con incrementi dei volumi e delle portate di piena che sovraccarica in modo eccessivo la capacità di collettamento e di deflusso della rete idrografica naturale rendendola, in certe situazioni critiche, non più sostenibile.

Il reticolo di drenaggio infatti, modellato dalla natura, non è più idoneo ad accogliere gli aumentati deflussi, specie di origine pluviale.

In aggiunta, a partire dagli anni '80, si è verificata un'importante trasformazione dell'uso agroforestale che ha visto una diminuzione dei tradizionali seminativi a favore della più pregiata coltura vitivinicola.

Tali coltivazioni, oltre ad incrementare la propensione alla produzione di deflusso superficiale, sono soggette a fenomeni di erosione e di depauperamento dei suoli con sedimenti dilavati dalle pendici delle colline moreniche che giungono sino ai canali irrigui, addirittura tombinati, con conseguenti riduzioni di sezioni idrauliche di deflusso dei C.I.S., rigurgiti ed allagamenti di sedimi residuali e qualche volta di infrastrutture ed abitazioni.

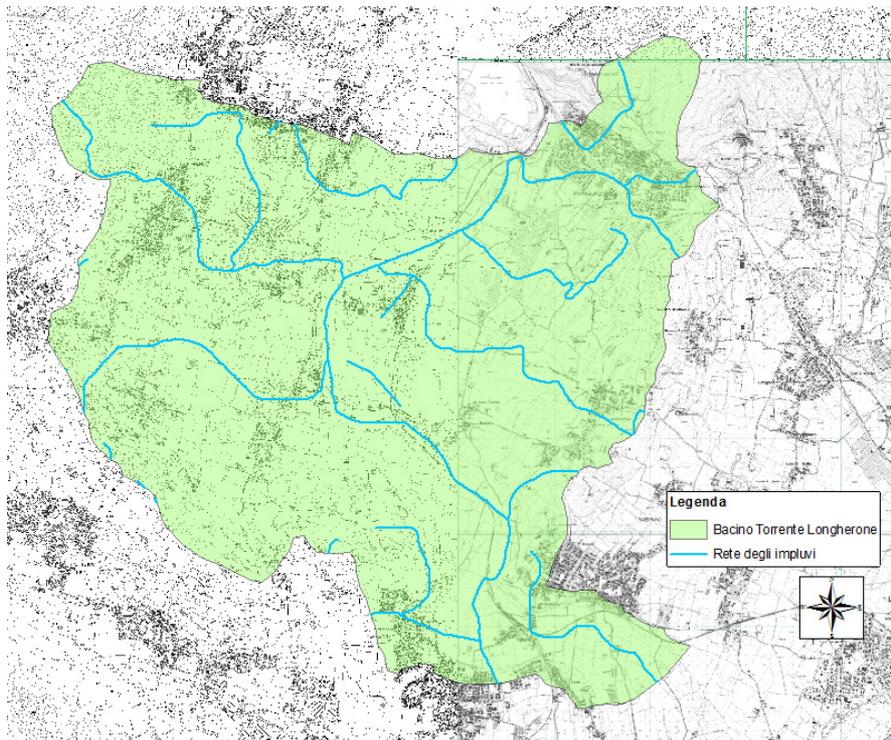
Possiamo ritenere il presente studio anche in sintonia con il recente R.R. n°7 del 23/11/2017 in tema di gestione del rischio idraulico ovvero nei termini ove si devono prevedere idonee soluzioni di raccolta acque meteoriche come per esempio volumi di laminazione e/o aree di spaglio .

La presente proposta progettuale individua le principali criticità del torrente Longherone sul solo territorio comunale di Cazzago S/M e propone le opere di difesa necessarie per la messa in sicurezza di alcuni isolati o nuclei abitati e delle principali infrastrutture su gomma e rotaia.

Lo studio, ovviamente, alla luce del tema di incarico previsto, non approfondisce la situazione in essere nei comuni confinanti ed interessanti, dal punto di vista geomorfologico e di bacino idrografico, l'asta del torrente Longherone. In futuro, si ritiene corretto evidenziare, sarà utile studiare nella sua più ampia estensione ed area di influenza, tutto il percorso del CIS Longherone indagando tutti quegli aspetti idraulici, idrologici e di criticità presenti anche nei territori amministrativi confinanti con Cazzago S/M che possono influenzare immediatamente a valle, nella sua parte finale ricadente su Cazzago, il Longherone stesso.

## **INQUADRAMENTO**

Il bacino del Torrente Longherone si sviluppa partendo dall'abitato di Colombaro fino a quello di Costa. Le estremità a Nord-Est e Nord-Ovest del bacino sono le uniche caratterizzate da versanti che partono dalla quota di circa 650 mt s.l.m. Nella cartografia tecnica regionale CTR la zona è individuabile nel Foglio C5-D5, alla scala 1:50.000, ed in maggior dettaglio nelle Sezioni D5a3- D5a4- D5a5 e C5a3- C5a4- C5a5 alla scala 1:10.000. Il bacino idrografico del Torrente Longherone risulta essere prevalentemente caratterizzato dalla presenza di aree adibite alla coltivazione, nello specifico area a vigneto.



*Inquadramento bacino afferente il torrente Longherone*

## **IDROLOGIA E IDRAULICA**

### **PREMESSA**

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata massima di piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno  $T_r$  che indica il numero di anni in cui tale indice viene raggiunto e/o superato in media almeno una volta. Il  $T_r$  deve essere scelto sulla base delle normative vigenti ed in funzione al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. Altro parametro fondamentale è la stima della magnitudo, cioè la stima del volume di materiale mobilizzabile durante un evento di piena. La successiva analisi idrologica e idraulica si concentra sulla definizione delle caratteristiche del bacino del Longherone.

### **ANALISI MORFOLOGICA DEL BACINO**

L'analisi morfometrica e le caratteristiche intrinseche del bacino è stata effettuata sulla base del modello digitale del terreno (DTM) della Regione Lombardia mediante l'applicativo geoHMS della U.S. Army Corps of Engineers. Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura. La sezione di chiusura del bacino di studio viene considerata alla quota di 195 m slm. Assume particolare importanza nelle analisi l'individuazione della curva ipsografica che è la rappresentazione altimetrica di un bacino. Essa si ottiene riportando in un diagramma i punti le cui ordinate ed ascisse rappresentano la quota e la superficie delle porzioni di bacino che si trovano a quote superiori di questa, perciò a quota massima abbiamo superficie nulla e viceversa a quota minima coinciderà l'intera superficie del bacino.

Le caratteristiche morfometriche del bacino sono state derivate dall'analisi del DTM effettuata mediante il software geoHMS per la sola porzione delimitata dallo spartiacque del bacino oggetto di studio.

Di seguito si riportano i dati di maggior rilevanza al fine dei calcoli idrologici:

<b>Superficie del Bacino</b>	31,30	kmq
<b>Lunghezza asta principale</b>	10,1	km
<b>Altezza media del bacino</b>	240	m slm
<b>Quota sezione di chiusura</b>	180	m slm

## CALCOLO DELLE PORTATE

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata di massima piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno  $Tr$  che indica il numero di anni in cui la portata è raggiunta o superata in media una sola volta. Il  $Tr$  va scelto in base alle normative vigenti, al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. In questo studio si tengono in considerazione tempi di ritorno di 100 e 200 anni. I metodi adottati per la stima della portata al colmo sono i seguenti:

- Metodo razionale;
- Metodo SCS-CN;
- Metodo afflussi deflussi accoppiato al software HEC-HMS.

### METODO RAZIONALE

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'Autorità di Bacino del Po (Legge 18 maggio 1989 n. 183), è condotto utilizzando la seguente formula di calcolo della portata critica  $Q_c$  (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno):

$$Q_c = \phi \cdot S \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

$\phi$  indica il coefficiente di deflusso,  $S$  l'area del bacino in kmq,  $i$  è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica  $d_c$ , del tempo di ritorno  $T_r$  e del coefficiente di ragguaglio  $r$ , infine  $\varepsilon$  è il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione  $T_c$  viene determinato con la formula proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

$S$  indica la superficie del bacino in kmq,  $L$  la lunghezza dell'asta principale,  $h_m$  l'altezza media del bacino in m slm e  $h_0$  la quota della sezione di chiusura in m slm.

Le altezze di pioggia vengono calcolate in funzione della linea segnalatrice di possibilità climatica ( $h_d = ad^n$ ) relativa alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense (cfr. All. 3 della Direttiva n. 2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po).

Cella	Tr = 20 anni		Tr = 100 anni	
	a	n	a	n
	46,71	0,252	59,35	0,246

La portata di massima piena viene quindi definita secondo:

$$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$$

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
20	21,2
100	26,6

### METODO RAZIONALE MODIFICATO

L'analisi viene condotta con riferimento alle indicazioni dello studio di Ranzi, Mariani, Rossini, Armanelli e Bacchi sull'Analisi e sintesi delle piogge intense nel territorio bresciano (1999). L'altezza di pioggia viene qui ipotizzata appartenente ad una popolazione la cui funzione di probabilità è la distribuzione asintotica del massimo valore, nota come distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule che hanno portato alla stima della portata.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia si utilizza la seguente relazione:

$$h = a_T T_c^{m_1}$$

Posto:

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[ \varepsilon + \text{Ln} \left( \text{Ln} \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

( $T$  è il tempo di ritorno e  $\varepsilon$  il numero di Eulero)

$$T_c = \frac{3,3\sqrt{S + 3,2L}}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

( $S$  è l'area del bacino  $L$  è la lunghezza dell'asta principale)

Per il calcolo della portata al colmo si utilizza quindi la seguente formula:

$$Q_c = \frac{1}{3,6} \phi \cdot r \cdot S \cdot a_T \cdot T_c^{m_1-1}$$

Dove  $\phi$  indica il coefficiente di afflusso locale, ed  $r$  è un coefficiente che dipende dall'area del bacino e dal tempo di corrivazione.

Le elaborazioni svolte hanno portato ai seguenti risultati:

METODO RAZIONALE MODIFICATO	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
20	21,3
100	24,7



Per stimare la portata è necessario calcolare il tempo di corrivazione  $T_c$  ed il tempo di ritardo  $T_l$ . L'US del Soil Conservation Service propone queste formule:

$$T_c = \frac{100L^{0.8} \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900s^{0.5}}$$

$$T_l = 0.342 \cdot \left( \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \right) \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

$L$  indica la lunghezza dell'asta principale e  $s$  la pendenza media dei versanti. Con questi due parametri è possibile calcolare il tempo di accumulo  $T_a$  pari a

$$T_a = 0.5T_c + T_l$$

Il calcolo finale della portata è effettuato utilizzando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{T_a}$$

$A$  indica la superficie del bacino e  $V$  il volume di deflusso e si calcola come:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

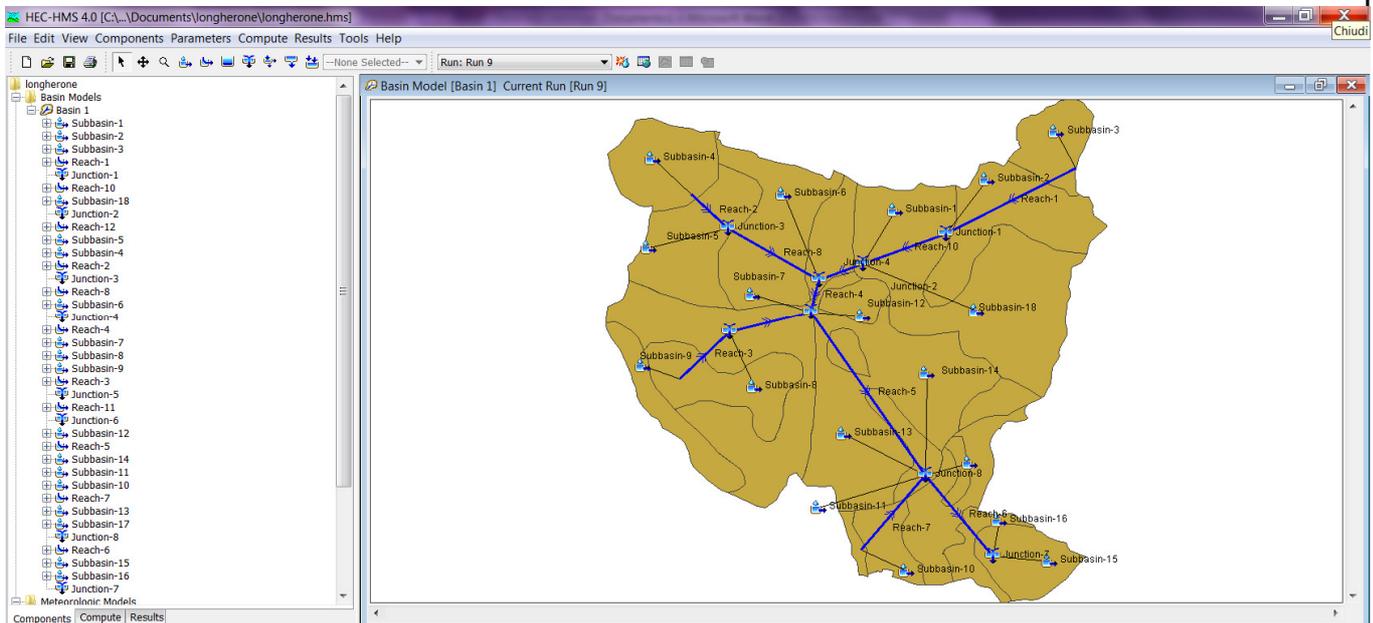
$P$  indica la precipitazione critica calcolata per assegnati valori di tempo di ritorno. Le elaborazioni svolte sono riportate in allegato (Allegato B). Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO SCS-CN	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
20	10,4
100	21,9

#### METODO AFFLUSSI DEFLUSSI

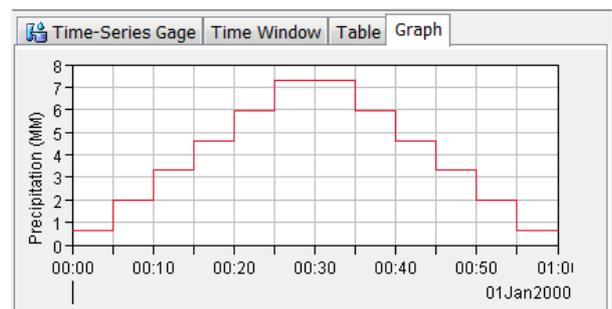
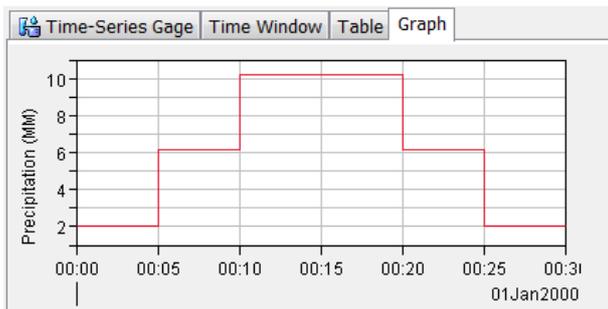
Per avere una panoramica più completa dei valori stimati di portata è stato impiegato l'apposito software HEC-HMS, elaborato dell'U.S. Army Corps of Engineers. Tale software è in grado di simulare processi relativi alla trasformazione afflussi deflussi di bacini idrografici, fornendo al sistema i parametri morfologici del bacino e quelli specifici del tipo di modello scelto per la trasformazione, stimando la portata al colmo di piena alla sezione di chiusura. Per quanto concerne il metodo di calcolo delle perdite superficiali si è utilizzato il metodo SCS-CN, secondo il quale le perdite vengono rappresentate mediante un fattore di assorbimento iniziale (Initial Loss). Naturalmente non si ha precipitazione efficace fino a che non viene raggiunto il valore di Initial Loss.

Per stimare i parametri richiesti dal modello e per discretizzare al meglio il bacino, lo stesso è stato suddiviso in 18 sottobacini in base alle differenti tipologie di suolo così come riportato di seguito:

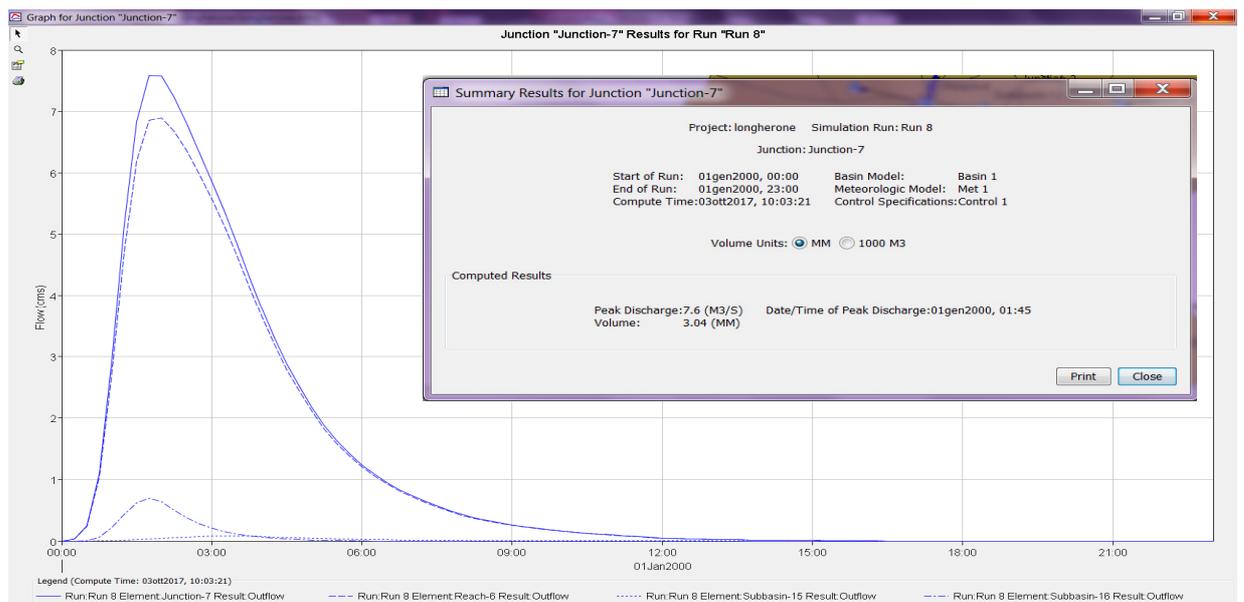
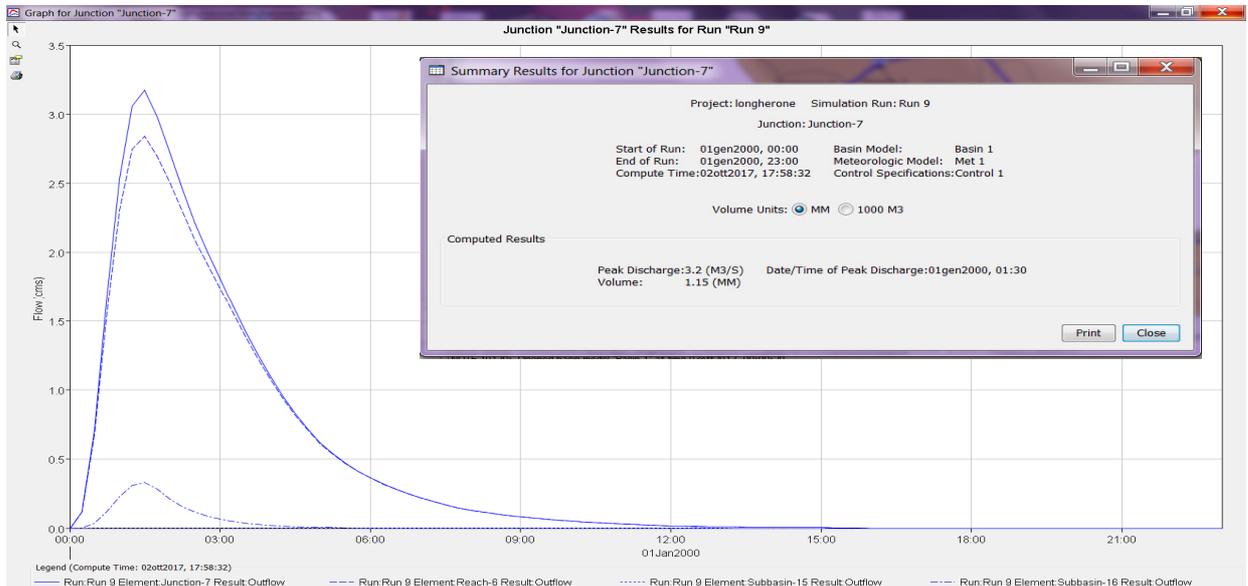


Essendo un bacino molto vasto e con diverse tipologie di suolo la suddivisione in 18 sottobacini si è resa necessaria in quanto le varie aree hanno comportamenti differenti.

Sono stati analizzati i dati relativi alla tipologia ed all'utilizzo del suolo, ricavando un valore di CN medio per ogni sottobacino dal quale si è poi definito il valore delle perdite iniziali. Sempre attraverso l'utilizzo di questo software sono stati elaborati, a parità di tempo di ritorno e durata di pioggia, svariati ietogrammi a ciascuno dei quali compete una diversa onda di piena. In particolare sono stati utilizzati ietogrammi triangolari di durate variabili (mezz'ora, un'ora) e con tempo di ritorno 100 anni, ricostruiti sulla base delle relative LSPP suggerite dall'Autorità di Bacino del Po per la cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense.



A seguire vengono riportati gli idrogrammi di piana calcolati in funzione delle diverse durate di pioggia (0,5 ore e 1 ora) per il tempo di ritorno di 100 anni. Tali idrogrammi si riferiscono alla junction 7 che rappresenta il punto di chiusura del bacino considerato.

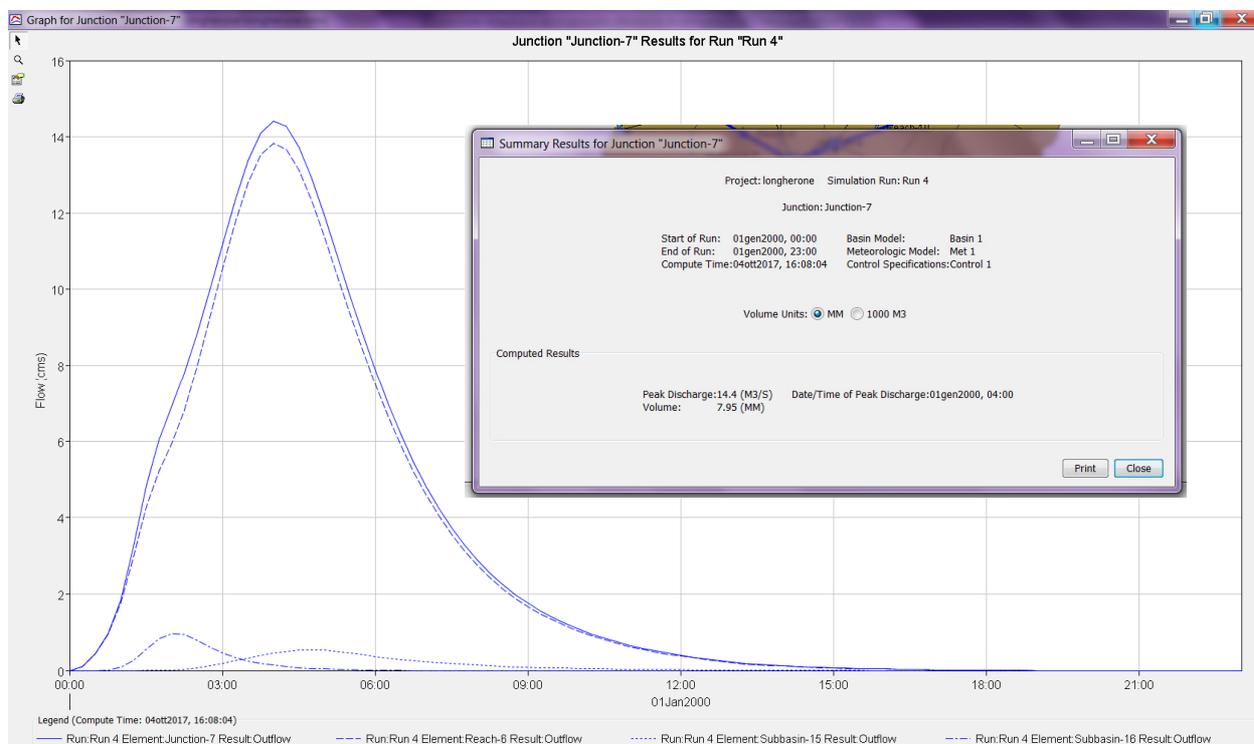


Questi sono i primi risultati considerando 18 sottobacini e ietogrammi di pioggia uguali per tutti i sottobacini esaminati.

I risultati ottenuti evidenziano una portata di 3,2 mc/sec per una pioggia simulata di 0,5 ore mentre una portata di 7,6 mc/sec per una pioggia simulata di 1 ora.

Essendo il bacino formato da 18 sottobacini con un comportamento di afflussi-deflussi differente si è pensato di procedere andando a considerare il tempo di corrivazione di ciascun sottobacino. In questo modo si sono creati differenti ietogrammi in funzione del Tc di ciascun sottobacino. Ad ogni sottobacino è stato associato uno ietogramma pari al tempo di corrivazione.

I risultati evidenziano una portata di picco di 14,4 mc/sec che si sviluppa dopo 4 ore avendo inserito come input una pioggia stimata calibrata per ogni sottobacino in funzione del tempo di corrivazione del bacino stesso.



## CONSIDERAZIONI FINALI SULLE PORTATE LIQUIDE E SUI LIMITI DEL MODELLO

In questo paragrafo vengono confrontati i valori di portata di massima piena ottenuti utilizzando i diversi metodi.

Il Metodo razionale, quello razionale modificato ed il metodo SCS-CN considerano un solo bacino avente un'estensione areale di circa 31 kmq e valutano un'area molto vasta e poco omogenea. Per questo motivo i valori di portata ottenuti sono molto elevati e poco veritieri.

Il modello afflussi deflussi invece, avendo suddiviso il bacino in 18 sottobacini, va a rappresentare in maniera più attendibile l'intera area del bacino. Anche questo metodo presenta dei limiti:

-per avere una situazione più fedele possibile alla realtà, nel modello, andrebbe inserito un vero evento di pioggia;

-per ogni sottobacino è stato introdotto un valore medio di CN che risulta essere una semplificazione dell'area analizzata.

METODO RAZIONALE	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	26,6

METODO RAZIONALE MODIFICATO	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	24,7

METODO SCS-CN	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	21,9

METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100 ANNI E PIOGGIA PER 0,5 ORE	3,2
100 ANNI E PIOGGIA PER 1 ORE	7,6
100 ANNI E PIOGGIA PARI AL TC DEI BACINI	14,4

Come si può notare la modellazione effettuata mediante il metodo afflussi-deflussi definisce un colmo di portata piuttosto inferiore rispetto a quanto ottenuto mediante gli altri metodi.

## SCelta PROGETTUALE

A seguito dei sopralluoghi e dei rilievi effettuati lungo il tratto di torrente Longherone oggetto di studio e considerando gli eventi di allagamento verificatisi nel recente passato (documentati anche a livello di precedenti studi effettuati sul medesimo torrente) è stato possibile verificare i seguenti importanti aspetti:

- lungo il tratto del torrente sono presenti zone/aree di allagamento ben delimitate e costituite da terreni di tipo agricolo che fungono da laminazione naturale del torrente, oltre al già noto laghetto del Paì che costituisce l'unico sistema idraulicamente concepito per assolvere tale funzione;
- la zona di maggiore criticità in termini di impatto sul territorio è costituita dall'isolato ubicato in prossimità della stazione ferroviaria Bornato-Calino (identificata anche a livello PAI), in passato interessata da fenomeni di allagamento dovuti anche alla morfologia di quel tratto ferroviario che tende a convogliare le acque di deflusso superficiale verso la stazione e le abitazioni limitrofe.

*Pertanto, a fronte delle considerazioni fino ad ora riportate, ed alla luce anche della recente realizzazione di un idoneo recapito finale del torrente (vasca artificiale di accumulo/infiltrazione idrica eseguita in conformità a quanto indicato nello studio di fattibilità 2013 di Riqualificazione Idraulica ed Ambientale della Franciacorta a cura di Cogeme-AOB2 e redatto in collaborazione con l'Università degli studi di Brescia), si è ritenuto opportuno non prendere in considerazione l'ipotesi di realizzare nuove aree di spaglio e laminazione idraulicamente regimate, che avrebbero comportato costi di esproprio e realizzativi ingenti, bensì di prevedere opere a difesa del citato nucleo abitato suscettibile di fenomeni di allagamento oltre ad opere finalizzate alla sistemazione generale dell'alveo del torrente nonché di alcuni tratti di attraversamento tombinato affinché potesse essere ripristinata la regolare funzionalità del torrente stesso.*

In particolare si è previsto la realizzazione di un piccolo rilevato arginale a difesa della stazione di Bornato-Calino e del centro abitato limitrofo, lungo il tratto in cui il tracciato ferroviario si sviluppa al di sotto della quota dei terreni circostanti diventando quindi una via preferenziale per le acque di scolo superficiale.

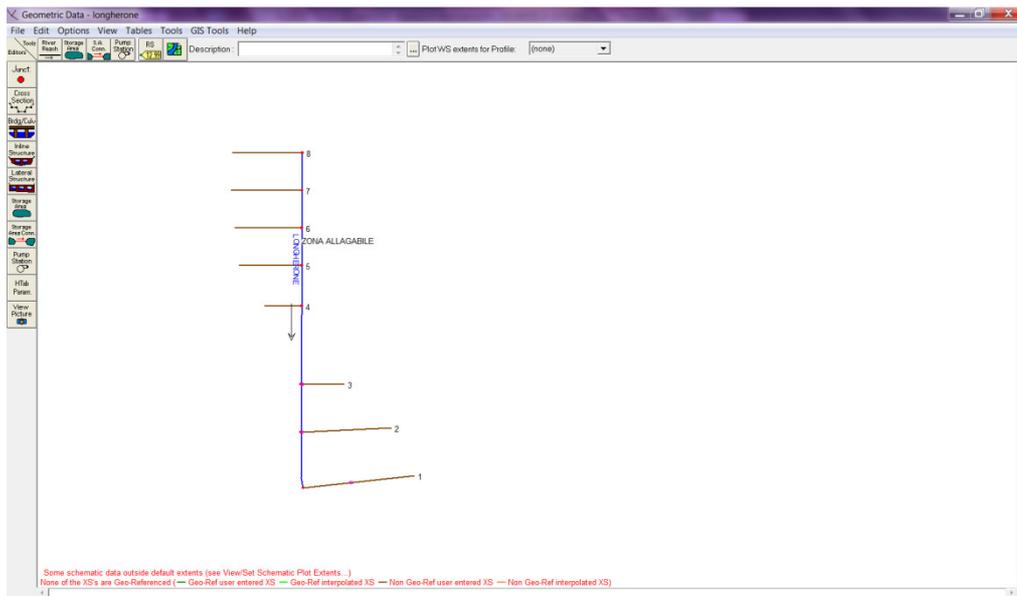
A conferma dell'ipotesi progettuale viene di seguito riportato lo studio di analisi idraulica effettuato nel tratto di maggiore criticità del torrente (individuato nelle aree di dissesto PAI) che consente di effettuare un opportuno confronto tra lo stato di fatto e lo stato di progetto e di mettere in evidenza gli effetti benefici della soluzione proposta.

## MODELLAZIONE IDRAULICA

Per la modellazione del torrente è stato utilizzato il software americano HEC-RAS.

I passi seguiti per la corretta modellazione sono stati i seguenti:

- Inserimento delle sezioni di stato di fatto per l'andamento morfologico del torrente (in questo caso non avendo un rilievo di dettaglio si ha un andamento semplificato). Si è deciso di rappresentare la porzione di torrente in cui è individuata la perimetrazione di esondazione PAI e Direttiva Alluvioni;



- ad ogni sezione sono stati attribuiti particolari valori di scabrezza in funzione delle caratteristiche del fondo dell'alveo;
- è stato scelto di lavorare in una situazione di corrente lenta viste le pendenze limitate che caratterizzano il tratto studiato;
- sono state inserite le condizioni al contorno richieste dal programma;
- il modello è stato implementato utilizzando differenti portate.

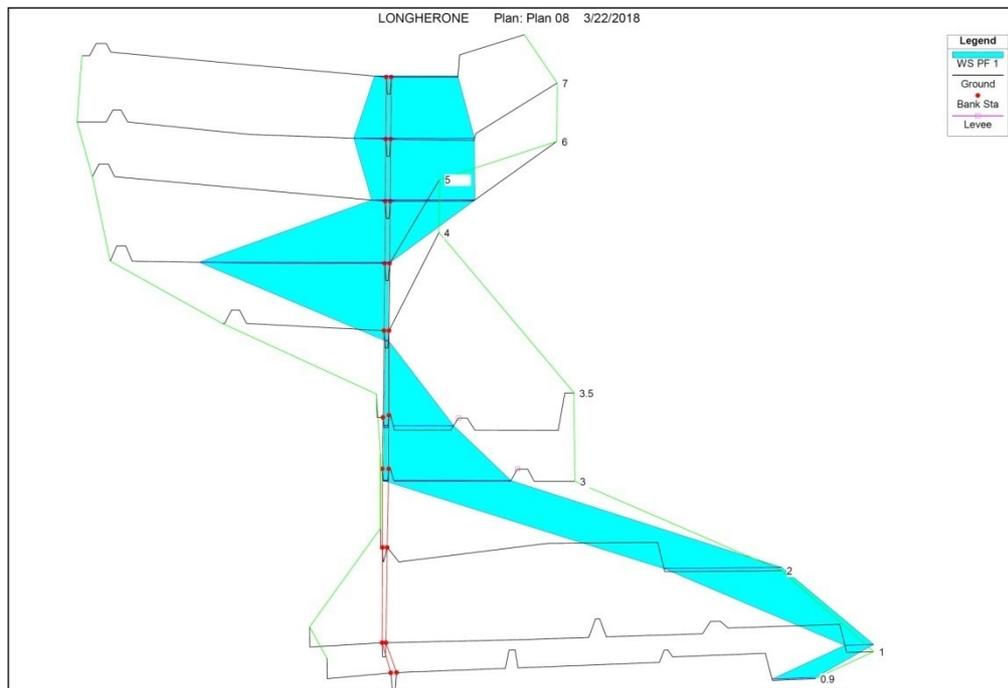
I risultati ottenuti mediante la modellazione evidenziano come le problematiche siano presenti nel tratto analizzato già con portate basse.

Sono stati simulati i 3 eventi descritti in precedenza, cioè la modellazione è stata condotta inserendo 3 differenti portate:

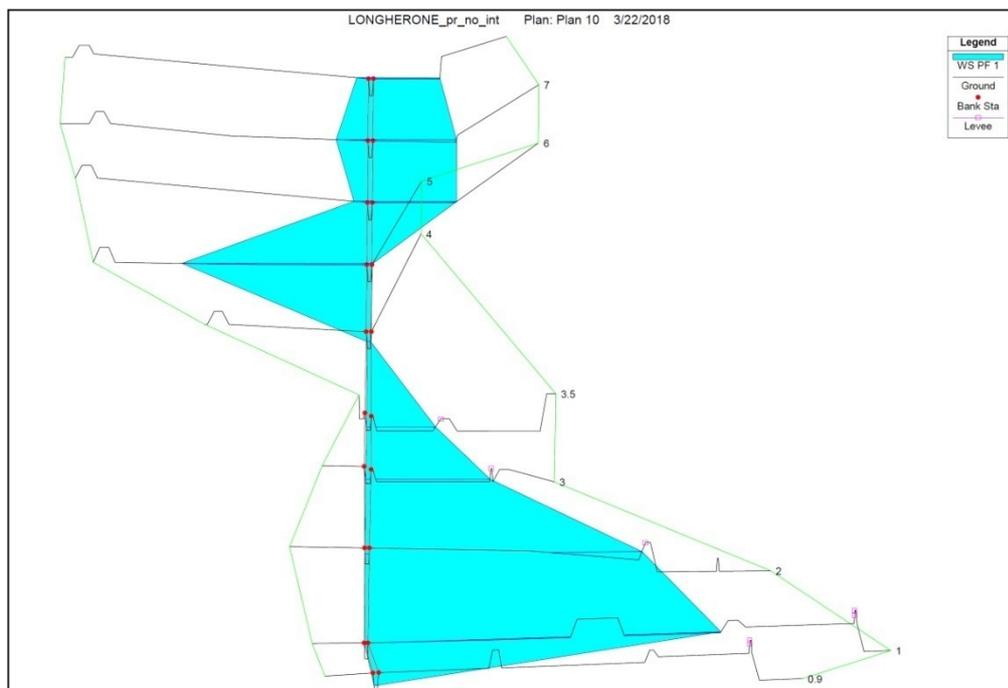
- 3,2 mc/sec;
- 7,6 mc/sec;
- 14,4 mc/sec.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Con una portata in ingresso pari a **3,2 mc/sec**:

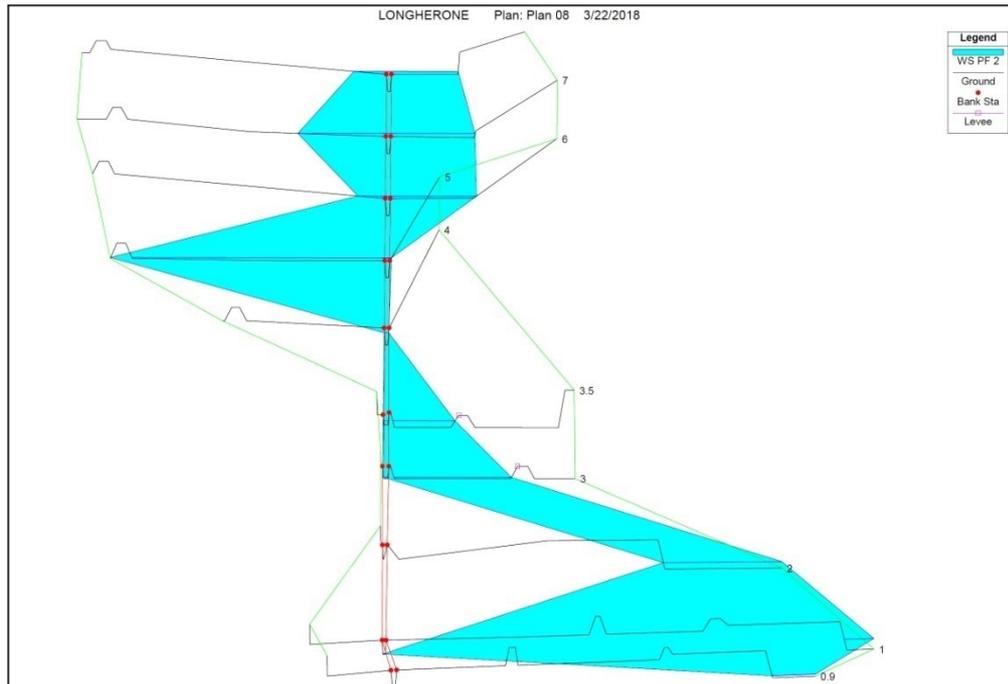


Vista planivolumetrica delle tratto di maggiore criticità (sezioni 13-14-14bis) – Stato di fatto

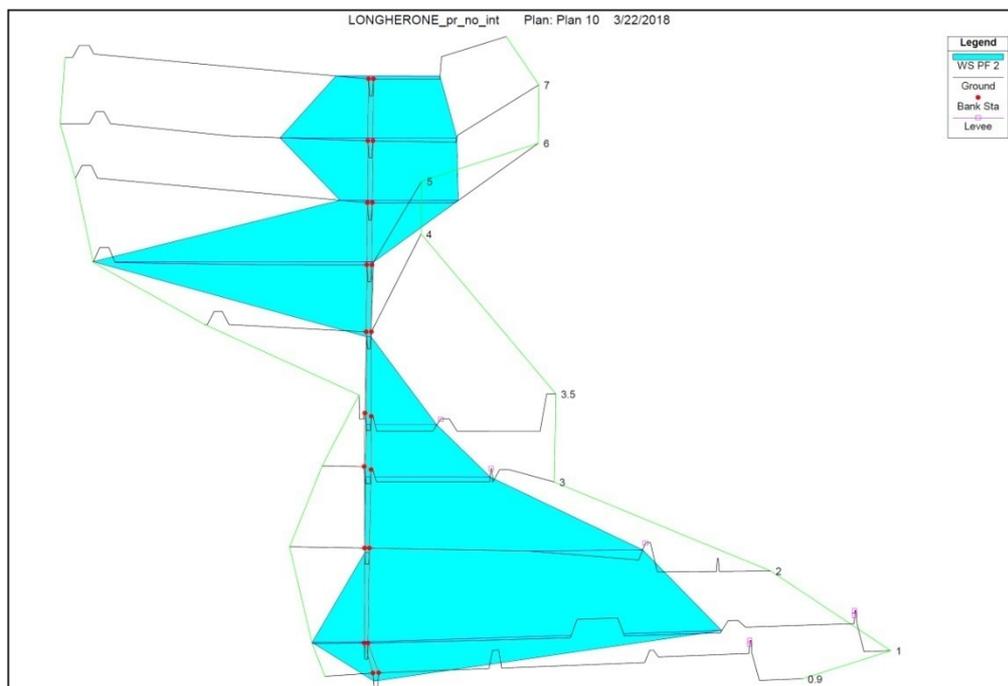


Vista planivolumetrica delle tratto di maggiore criticità (sezioni 13-14-14bis) – Stato di progetto

Con una portata in ingresso pari a **7,6 mc/sec**:

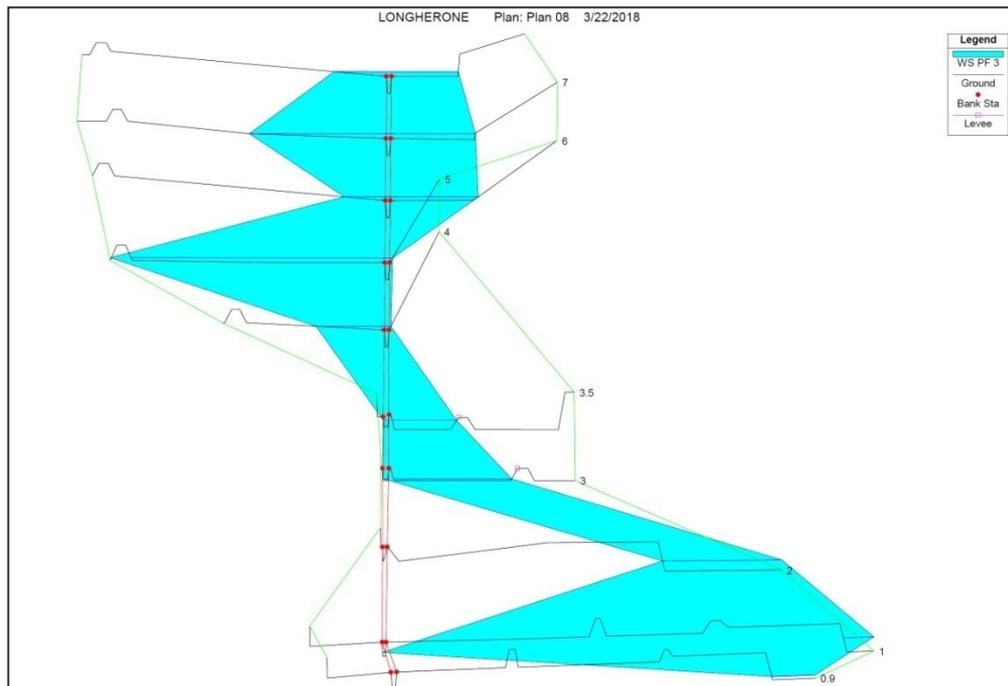


Vista planivolumetrica delle tratto di maggiore criticità (sezioni 13-14-14bis) – Stato di fatto

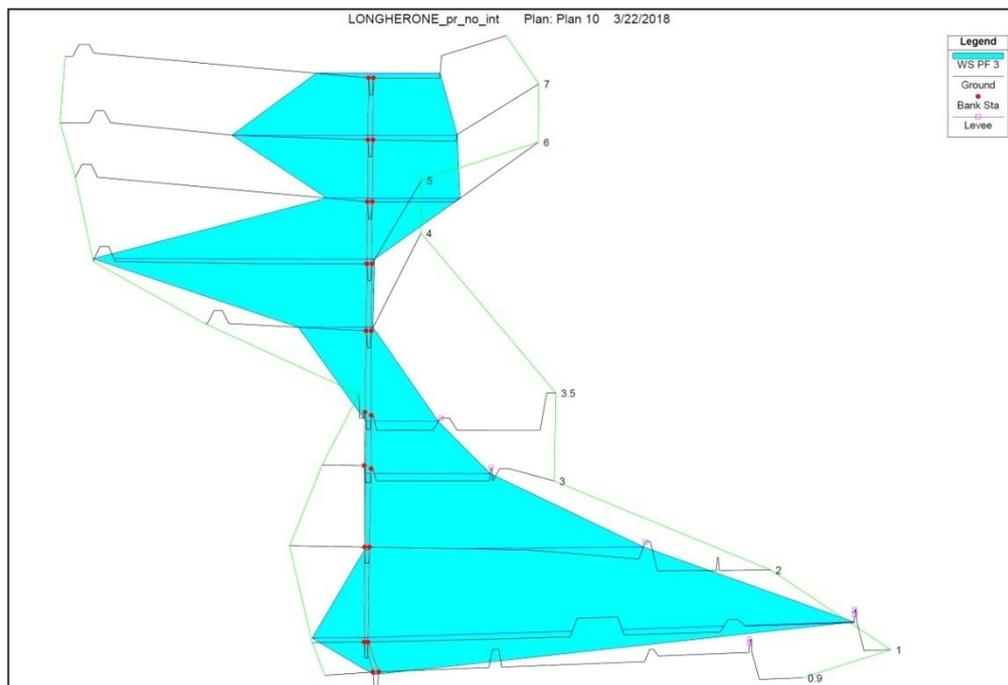


Vista planivolumetrica delle tratto di maggiore criticità (sezioni 13-14-14bis) – Stato di progetto

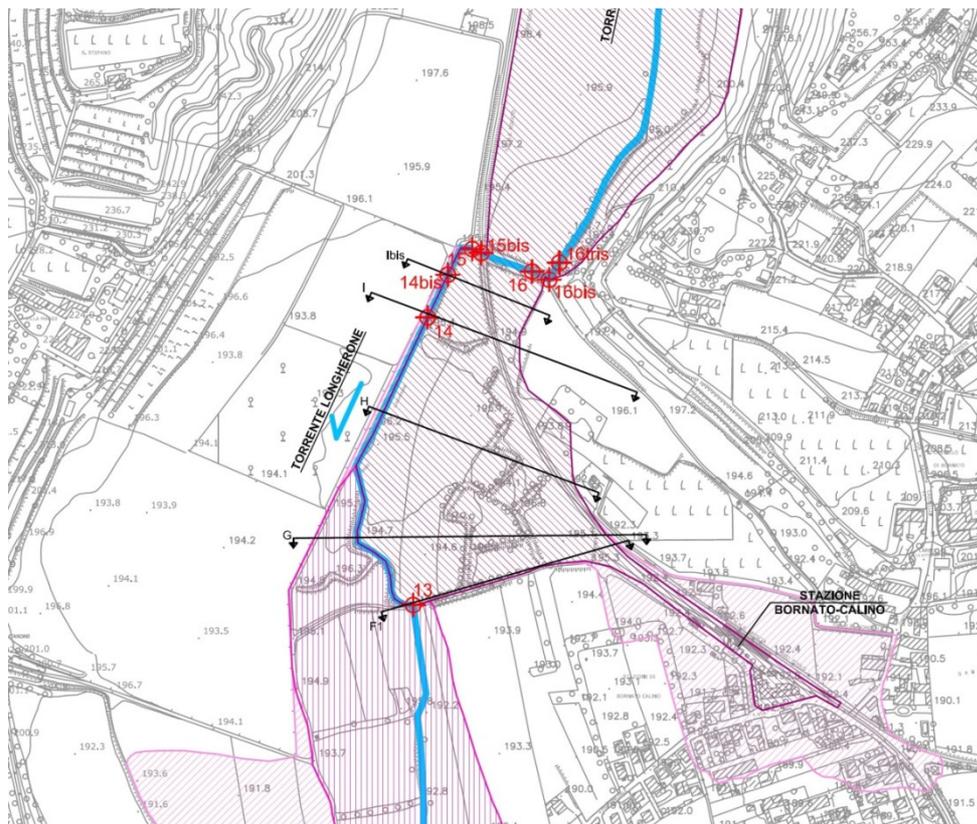
Con una portata in ingresso pari a **14,4 mc/sec**:



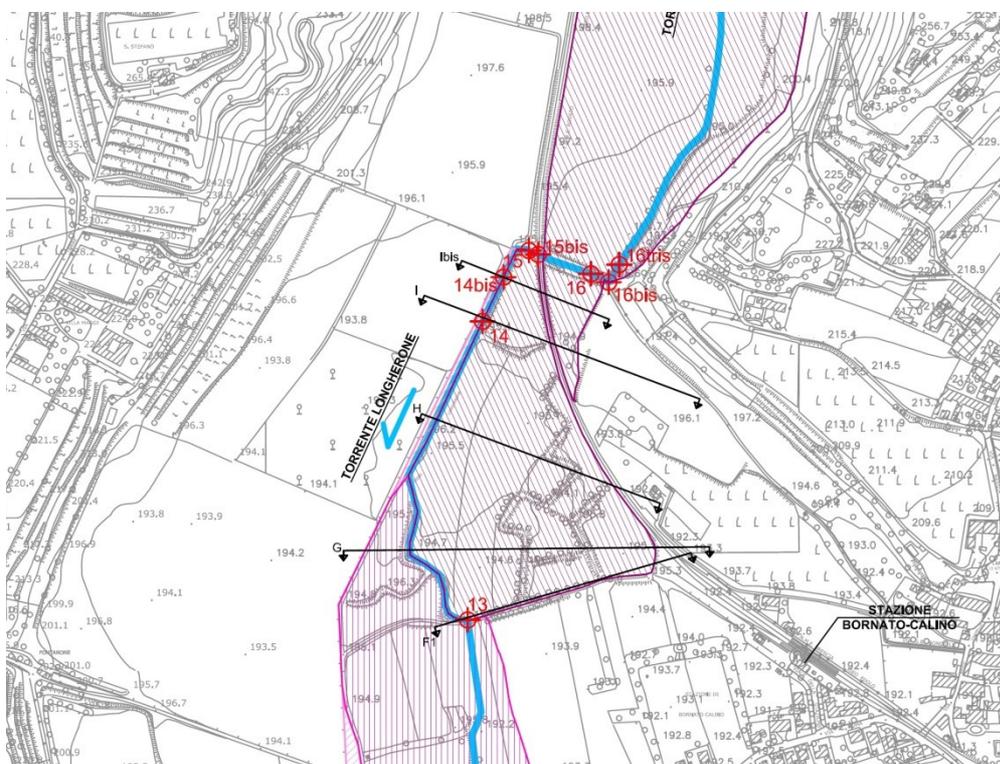
Vista planivolumetrica delle tratto di maggiore criticità (sezioni 13-14-14bis) – Stato di fatto



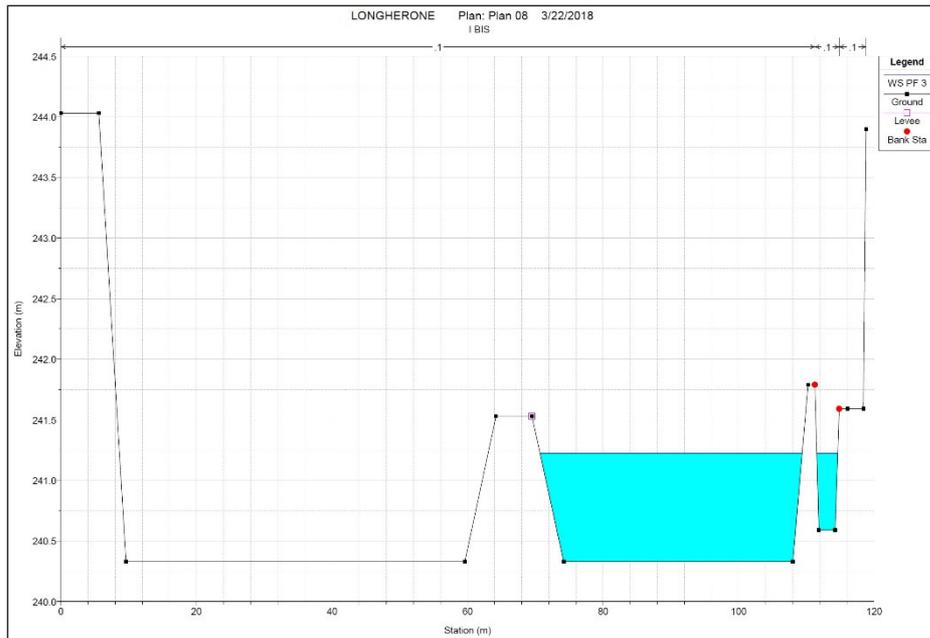
Vista planivolumetrica delle tratto di maggiore criticità (sezioni 13-14-14bis) – Stato di progetto



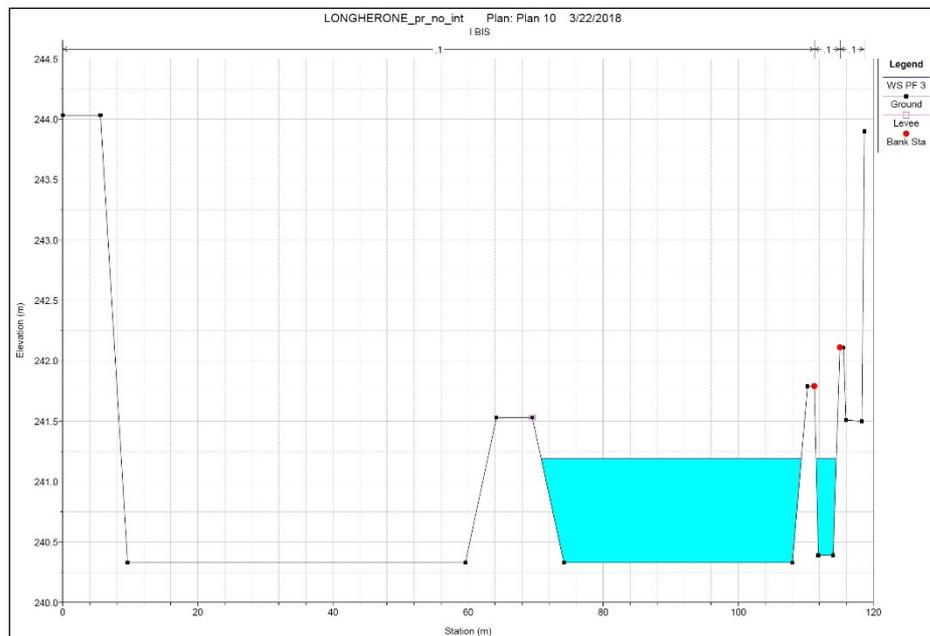
Estratto Tav. 04 Planimetria di rilievo criticità – Stato di fatto



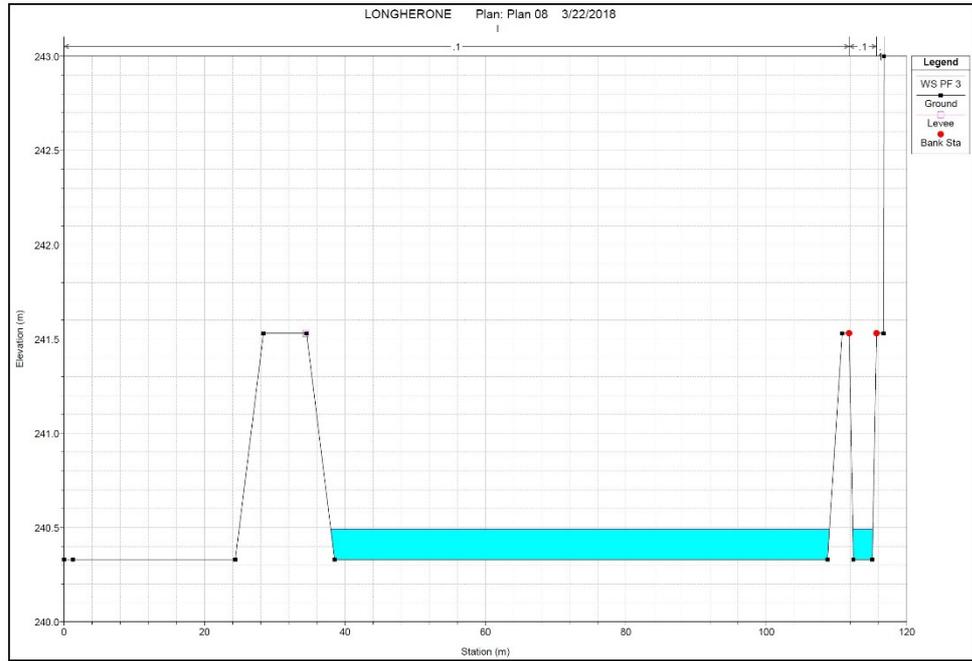
Estratto Tav. 04 Planimetria di rilievo criticità – Stato di progetto



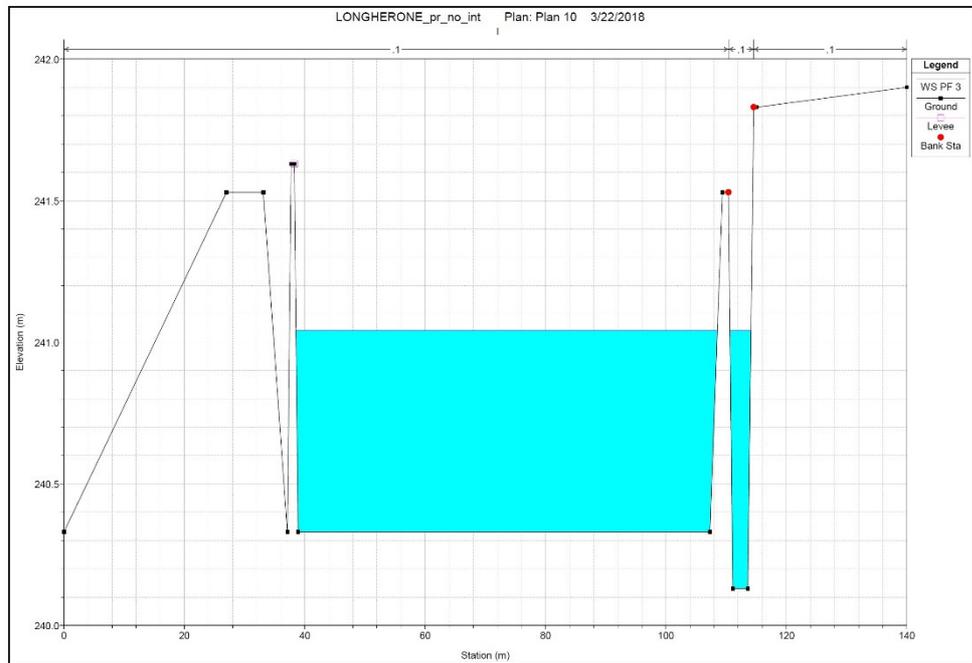
Sezione Ibis (n°3.5 modello HEC RAS) – Stato di fatto



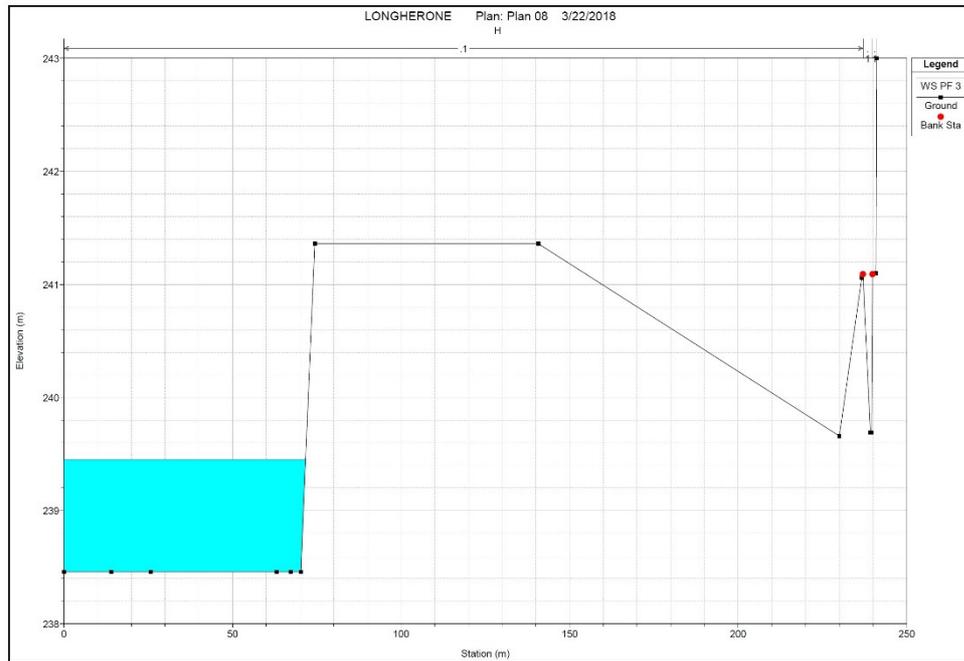
Sezione Ibis (n°3.5 modello HEC RAS) – Stato di progetto



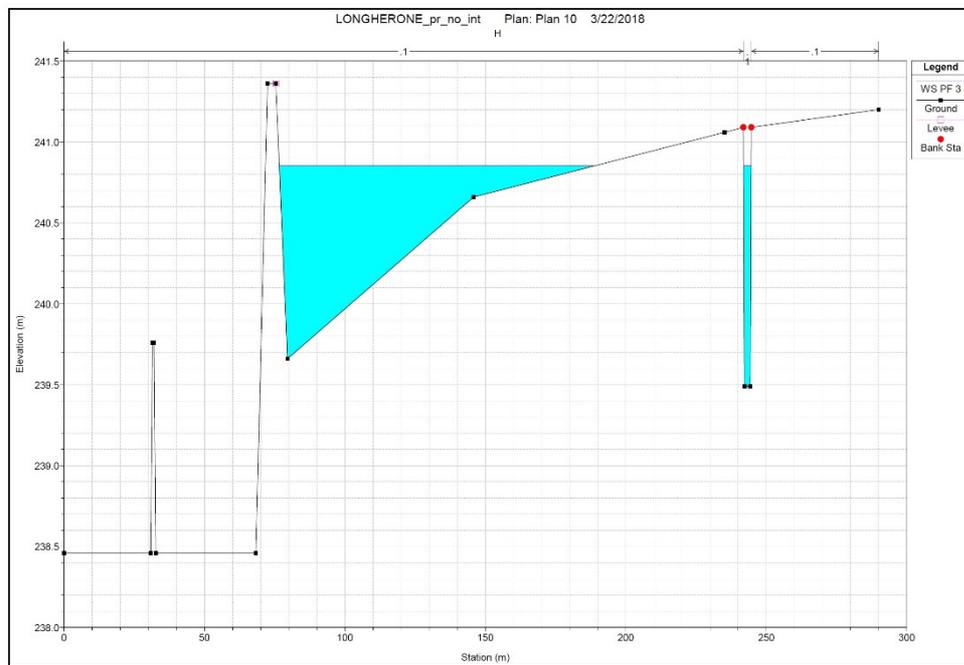
Sezione I (n°3 modello HEC RAS) – Stato di fatto



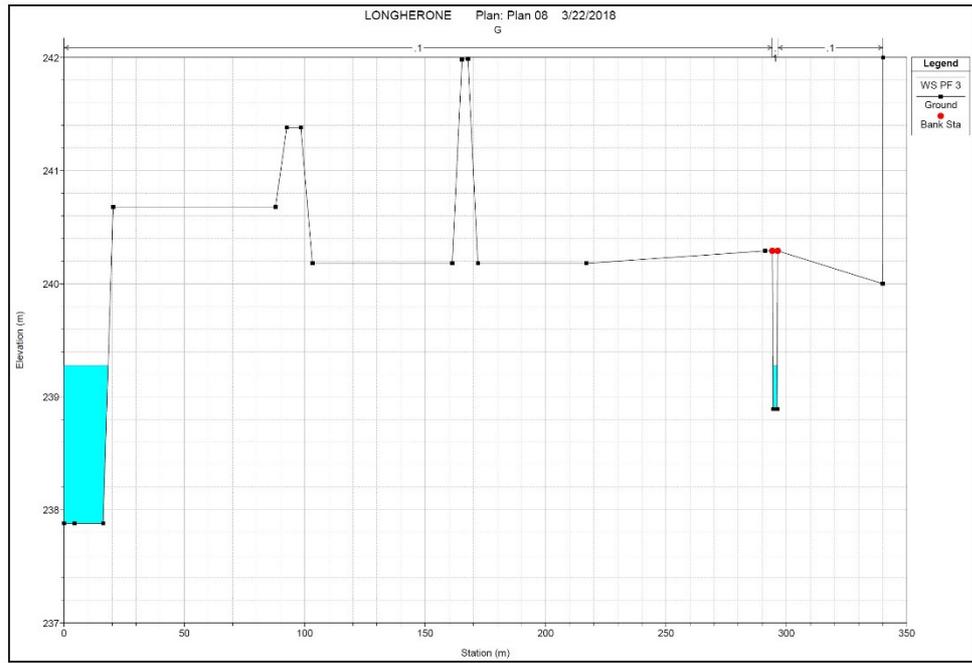
Sezione I (n°3 modello HEC RAS) – Stato di progetto



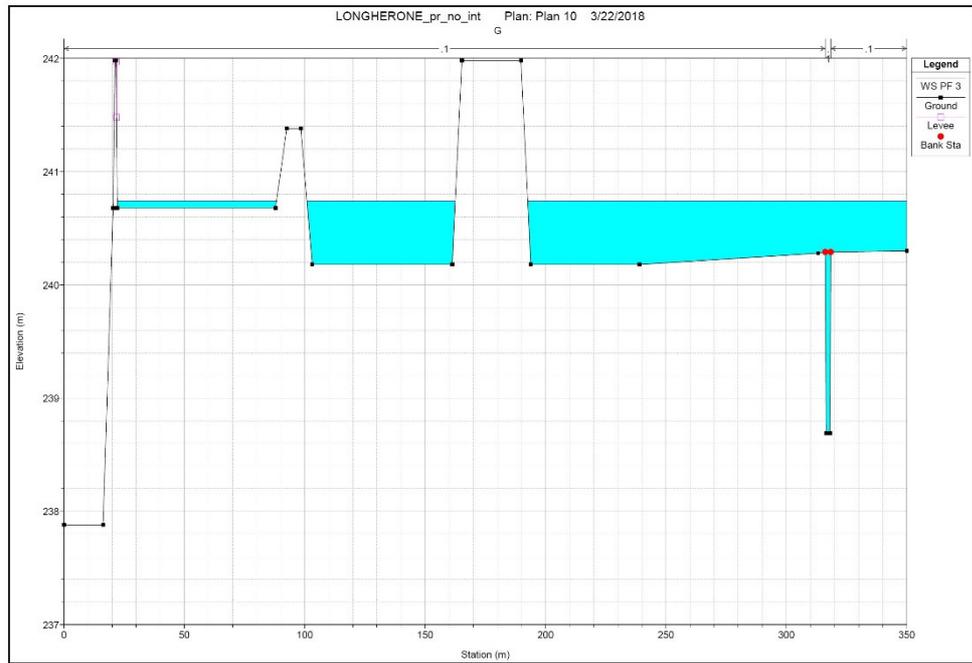
Sezione H (n°2 modello HEC RAS) – Stato di fatto



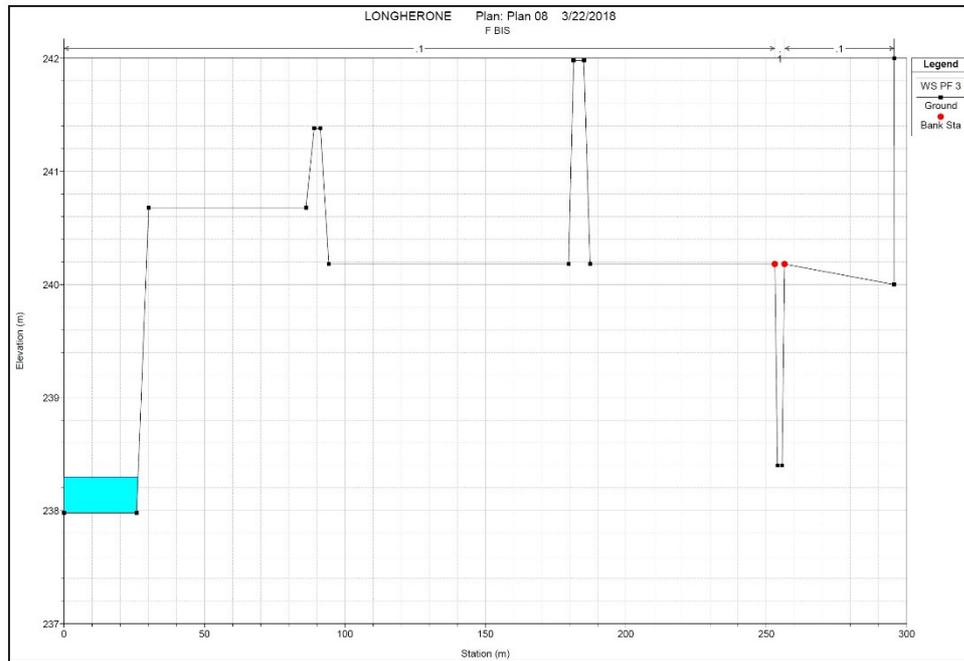
Sezione H (n°2 modello HEC RAS) – Stato di progetto



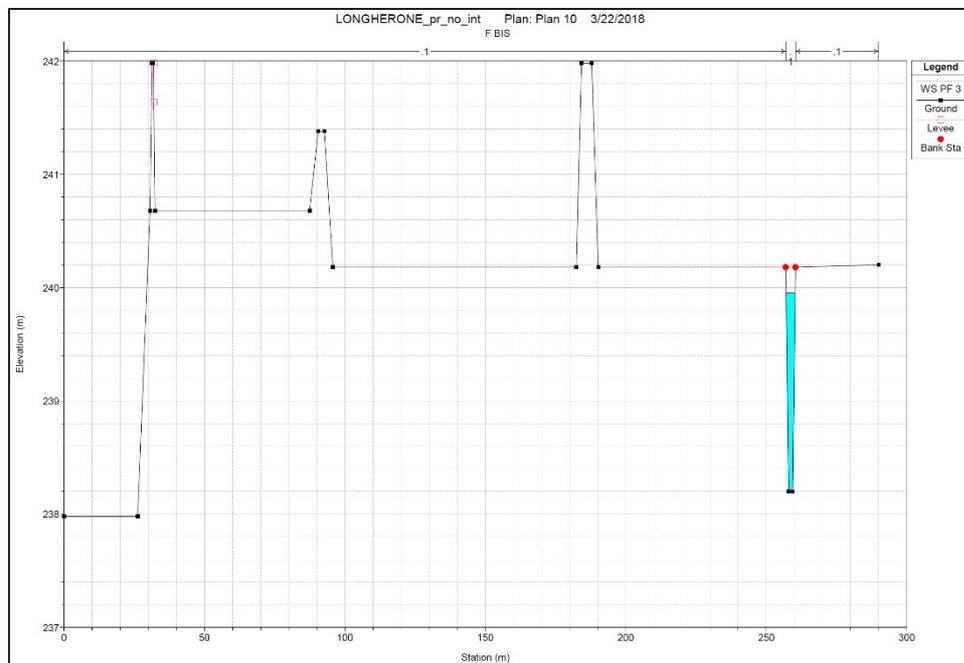
Sezione G (n°1 modello HEC RAS) – Stato di fatto



Sezione G (n°1 modello HEC RAS) – Stato di progetto



Sezione F (n°0.9 modello HEC RAS) – Stato di fatto



Sezione F (n°0.9 modello HEC RAS) – Stato di progetto

## CONCLUSIONI

Negli stralci riportati è ben visibile come - nel primo tratto di alveo e già con portate dell'ordine di 3,2 mc/sec -sia soggetta ad allagamento anche la porzione in sinistra idrografica e non solo quella in destra, come indicato nella perimetrazione PAI e DA.

Dalle simulazioni svolte e come si evince negli estratti di confronto emerge che lo **stato di fatto** del torrente – nei tre scenari di portata considerati – determina la fuoriuscita del medesimo in corrispondenza del punto critico individuato con conseguente allagamento dei terreni circostanti, fino poi a raggiungere il tracciato ferroviario negli scenari peggiori.

Nello **stato di progetto** invece, in presenza del rilevato previsto, viene contenuta la superficie di esondazione con l'obiettivo di limitare e scongiurare i fenomeni di allagamento sopra citati che hanno coinvolto nel recente passato le zone abitate ubicate in prossimità della stazione di Bornato-Calino.