



## Comune di Cogorno

STUDIO TECNICO ASSOCIATO

ING. SERGIO BRIZZOLARA & ING. STEFANO STURLA

via Cap. Renato Orsi, 31/20

16043 Chiavari (GE)

P.I.V.A. e C.F.: 01455710994

☎ +39 0185 370127

☎ +39 0185 368280

✉ b3s@b3s.it – b3s@pec.b3s.it

dott. ing. Sergio Brizzolara – sergio@b3s.it

dott. ing. Stefano Sturla – stefano@b3s.it

coll.: dott. ing. Riccardo Fugazzi – richi@b3s.it

coll.: dott. ing. Luca Taddei – b3s@b3s.it



**interventi di mitigazione del rischio idraulico e messa in sicurezza  
del centro abitato di San Salvatore in comune di Cogorno  
tratti terminali fossato di San Salvatore e rio Pessa**

(Piano di Bacino stralcio – D.L. 180/98 e ss.mm.ii. – ambito 16 fiume Entella)

**STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

(D.Lgs. n° 50/2016 – art. 23 – c. 6)

– RELAZIONE IDRAULICA

TAV. **16-B**

SCALA

STABS 0613

B	settembre 2017	aggiornamento/integrazioni	<u>il Responsabile del Procedimento</u>
A	febbraio 2016	aggiornamento per nota Regione Liguria prot. n° PG/2015/149922 del 26/08/2015	
	ottobre 2014	revisione n° 01	
REV.	data	motivazione	

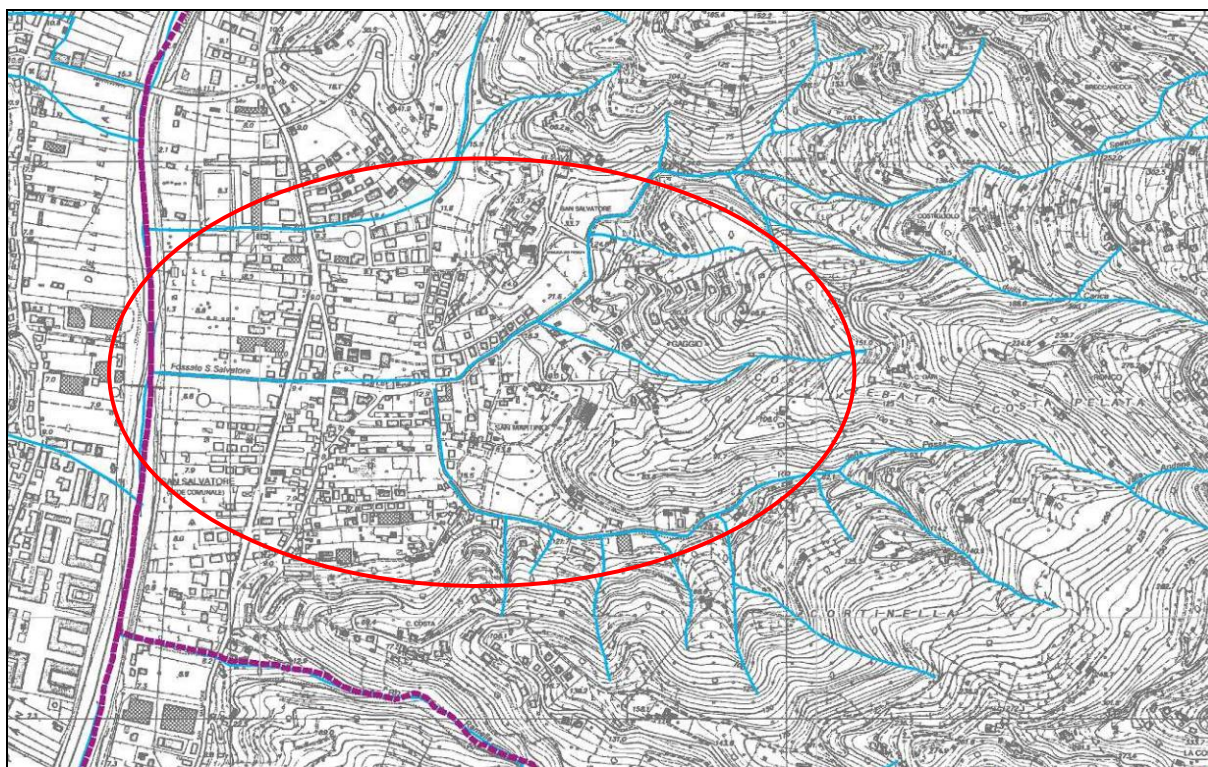
## INDICE

<i>Premessa</i>	<i>pag 3</i>
<i>Software utilizzato</i>	<i>pag 7</i>
<i>Portate, coefficienti di scabrezza e condizioni al contorno</i>	<i>pag 8</i>
<i>Modello idraulico di stato pre-alluvione 2014</i>	<i>pag 13</i>
<i>Modello idraulico di stato attuale</i>	<i>pag 18</i>
<i>Modello idraulico di stato di progetto - mitigazione del rischio</i>	<i>pag 22</i>
<i>Scenario progettuale per definitiva messa in sicurezza</i>	<i>pag 26</i>
<i>Ulteriori considerazioni idrauliche</i>	<i>pag 30</i>
<i>Valutazioni preliminari sul trasporto solido</i>	<i>pag 43</i>
<i>Stima aree messe in sicurezza a seguito degli interventi</i>	<i>pag 51</i>

## Premessa

Il presente elaborato (tavola 16-B) è da intendersi come parte integrante del progetto di fattibilità tecnica ed economica (nella sua versione originaria progetto preliminare) inerente gli "interventi di mitigazione del rischio idraulico e di messa in sicurezza del centro abitato di San Salvatore in comune di Cogorno - tratti terminali fossato di San Salvatore e rio Pessa - ambito 16 fiume Entella - Piano Bacino Stralcio D.L. 180/98 e ss.mm.ii."

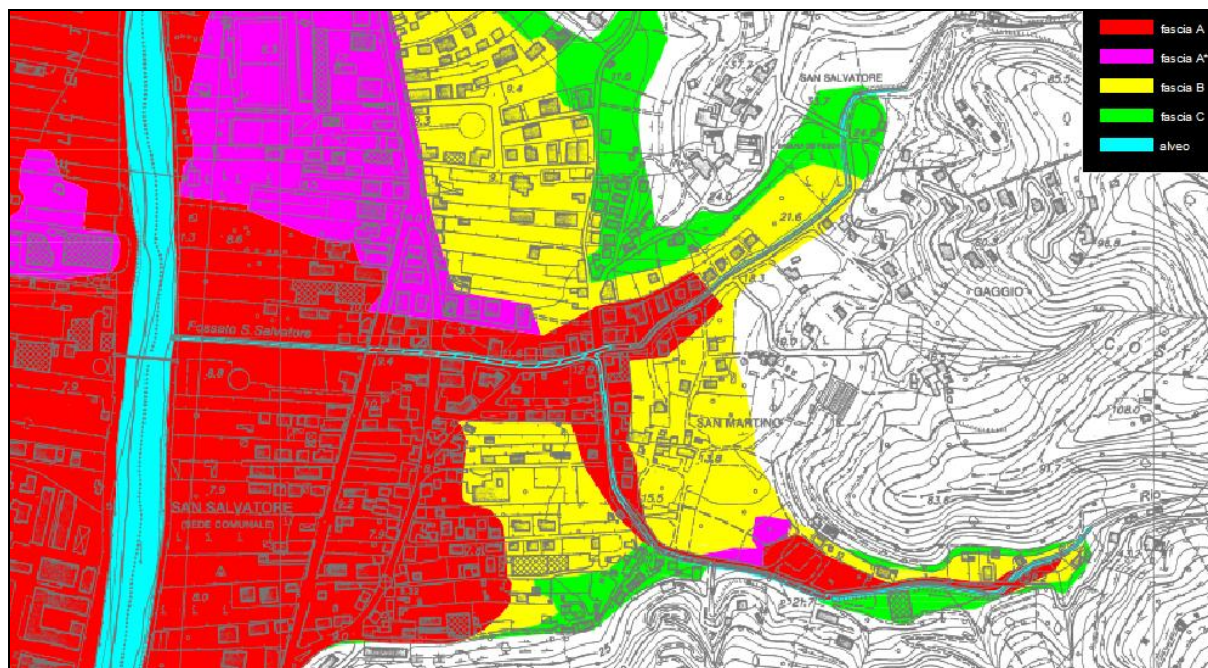
Il presente progetto di fattibilità tecnica ed economica è redatto al fine di verificare le condizioni di deflusso idraulico dei tratti terminali del fossato San Salvatore (circa 475 ml a valle della confluenza con il rio Pessa sino allo sfocio nel fiume Entella e circa 715 ml a monte della stessa confluenza) e del rio Pessa (circa 750 ml a monte della confluenza con il fossato San Salvatore).



**figura 1:** carta del reticolo idrografico regionale - D.G.R. n° 1449 del 30 novembre 2012 - fuori scala

Il fossato San Salvatore è dunque un affluente in sponda sinistra del fiume Entella ed è indagato nell'ambito del Piano di Bacino - ambito 16; di seguito si riporta la carta fasce allegata al suddetto Piano di Bacino.





**figura 2:** carta delle fasce di inondabilità - Piano Bacino Stralcio ambito 16 - fiume Entella  
D.L. 180/98 e ss.mm.ii. - fuori scala

Come noto le fasce di inondabilità relative al fiume Entella sono il risultato di una modellazione bidimensionale, mentre rio Pessa e fossato San Salvatore sono stati studiati con modellazione monodimensionale. Come si può già dedurre da una prima analisi visiva, nella carta fasce sopra riportata avviene una sorta di "fusione" tra le esondazioni dovute al fiume Entella e quelle dovute ai rivi qui oggetto di studio.

In particolare, analizzando la mesh di calcolo del modello bidimensionale del fiume Entella e poi le tabelle riassuntive dei risultati per  $Tr = 50$  e  $200$  anni si può dedurre come indicativamente la fascia B ( $Tr = 200$  anni) del fiume Entella risulta estesa sino circa a via San Martino (via al di sotto della quale scorre il rio Pessa), mentre la fascia A ( $Tr = 50$  anni) risulta estesa sino a circa via Divisione Coduri. Le restanti fasce fluviali risultano dunque essere da attribuire esclusivamente alle fuoriuscite del rio Pessa e del fossato San Salvatore.

Così come indicato nell'ambito della relazione illustrativa (tavola 15-B), il presente progetto di fattibilità tecnica ed economica risulta essere il risultato di un percorso progettuale iniziato nel 2014 con la prima versione del progetto preliminare.

Nel 2014 e in particolare antecedentemente all'evento alluvionale del novembre dello stesso anno, al fine di rappresentare al meglio lo stato di fatto dei luoghi, è stato realizzato un nuovo rilievo topografico, "agganciando" le quote a quelle della C.T.R., con particolare riferimento alle quote della S.P. n° 33 e all'area della confluenza tra il rio Pessa e il fossato San Salvatore, in via alla Basilica dei Fieschi.

A seguito del rilievo topografico di cui sopra sono state costruite oltre 100 sezioni idrauliche, inserite all'interno del modellizzatore idraulico utilizzato, costruendo un modello idraulico rappresentativo dello stato antecedente all'evento alluvionale precedentemente citato.

Nei mesi successivi al novembre 2014 e in ragione dei finanziamenti regionali ricevuti, il comune di Cogorno ha provveduto ad adeguare la sezione di imbocco del rio Pessa, ritenuta già dai calcoli idraulici una delle maggiori criticità per il deflusso delle piene, fatto del tutto confermato dall'evento alluvionale, con notevoli fuoriuscite proprio in quel tratto.

Sempre in regime di somma urgenza si sono poi adeguati alcuni attraversamenti di affluenti in sinistra del rio Pessa nel suo tratto di monte, limitando anche, laddove possibile, gli apporti di materiale detritico-alluvionale nel tratto di valle.

A lavori terminati si era proceduto ad un primo rilievo delle opere realizzate, rilievo poi rivisto nell'agosto 2017, anche a seguito della recente esecuzione di lavori di svuotamento/pulizia della vasca di sedimentazione esistente immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura, intervento cofinanziato dalla Regione Liguria come da nota PG/2016/224672 del 10/01/2016 con la quale si comunicava che con D.G.R. n° 886/2016 era stato approvato il Programma annuale di interventi di manutenzione ordinaria relativo alla difesa del suolo.

I restanti tratti dei corsi d'acqua in oggetto, invece, non hanno subito variazioni significative rispetto all'anno 2014: in buona parte si tratta peraltro di sezioni tombinate con modesta presenza a tratti di materiale solido e comunque in quantità tali da non pregiudicare in misura rilevante la funzionalità idraulica attuale delle tombinature stesse; dunque si confermano i dati rilevati in precedenza.

A seguito del nuovo rilievo del tratto interessato dalla somma urgenza si è proceduto a costruire una nuova modellazione definita di "stato attuale" in quanto rappresentativa dell'effettiva condizione dei luoghi riscontrabile ad oggi (settembre 2017).

Così come indicato nell'ambito della relazione illustrativa (tavola 15-B), nonché come si descriverà di seguito nella presente relazione, il progetto di fattibilità tecnica ed economica, stante l'elevatissima urbanizzazione del tratto e dunque impossibilità di fornire una soluzione "strutturale" che con costi ragionevoli porti ad una definitiva messa in sicurezza con rispetto dei franchi idraulici di legge, prevede in prima fase una fortissima mitigazione del rischio con interventi nei tratti maggiormente critici: tali interventi contemplano la sistemazione del tratto del rio Pessa a cielo aperto sino all'imbocco del tratto in copertura nonché soprattutto del fossato San Salvatore nel suo tratto a valle della confluenza con il rio Pessa medesimo, sino allo sfocio nel fiume Entella.

Tali opere sono ritenute come quelle maggiormente urgenti al fine di mitigare fortemente il rischio connesso al deflusso del fossato San Salvatore e del rio Pessa e permetterebbero il contenimento negli argini della portata duecentennale propria dei rii San Salvatore e Pessa stessi, seppur senza il rispetto dei franchi idraulici di legge in alcuni tratti.

Si ritiene dunque che le opere proposte (in particolare nel tratto del fossato San Salvatore a valle della confluenza con il rio Pessa) siano da ritenersi il "massimo" possibile stante l'elevatissima urbanizzazione del tratto: ulteriori allargamenti delle sezioni risulterebbero di fatto impossibili a meno di stravolgere l'assetto urbanistico del tratto stesso, rendendosi indispensabile demolire vari edifici che ad oggi fiancheggiano il tracciato della copertura in destra e sinistra idraulica.

In ragione di quanto detto sopra, si è poi realizzato un ulteriore modello idraulico finalizzato a verificare quali fossero le opere ulteriori necessarie al raggiungimento dei franchi idraulici di legge. Tali interventi, **inseriti a livello di scenario progettuale**, comprendono il rifacimento del tratto di fossato San Salvatore a monte della confluenza con il rio Pessa e lo scolmo/deviazione dell'intero contributo del rio Pessa medesimo.

## *Software utilizzato*

Il calcolo dei profili di rigurgito in regime di moto permanente, gradualmente variato è stato effettuato mediante l'ausilio dell'applicativo HEC-RAS versione 5.0.3, dell'Hydrology Engineering Centre dell'US Army Corps of Engineers. Il software consente di calcolare i profili di rigurgito per sezioni qualsiasi, in alvei naturali o artificiali caratterizzati da un valore medio - nell'alveo inciso - di coefficiente di scabrezza, e permette la modellazione delle aree eventualmente inondabili in caso di piena come aree golenali, alle quali sono assegnati specifici coefficienti di deflusso. Il profilo teorico della corrente viene calcolato risolvendo in modo iterativo l'equazione monodimensionale dell'energia

$$H_2 = H_1 + h_e$$

dove  $H_1$ ,  $H_2$  sono rispettivamente i carichi totali delle sezioni di valle e di monte del tratto considerato e  $h_e$  sono le perdite di carico suddivisibili in perdite dovute all'attrito del fondo e perdite dovute alla non cilindricità della corrente.

Il codice consente la modellazione di strutture trasversali alla corrente, quali ponti, briglie e soglie laterali, quali ad esempio argini sfioranti. Possono altresì essere modellati scatolari e coperture in cui transiti la corrente, sia a pelo libero che in pressione (sebbene quest'ultimo tipo di condizioni di deflusso presenti delle limitazioni). In particolare, il deflusso attraverso un ponte, a seconda del livello idrico rispetto all'impalcato, può essere modellato come deflusso a pelo libero, in pressione e a stramazzo. Per ogni modello idraulico sono stati calcolati i profili relativi a diverse portate: nelle simulazioni con modello di stato attuale e di progetto sono stati utilizzati i valori dei colmi di piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale. Il software consente inoltre di selezionare in quale modalità calcolare i profili: si è scelto di far girare i modelli in regime misto, in maniera da modellare correttamente il comportamento della corrente.

### *Portate, coefficienti di scabrezza e condizioni al contorno*

Per quanto concerne le portate utilizzate nel suddetto modello si è ritenuto corretto confermare quanto presente nel Piano di Bacino, aggiornato recentemente sulla base dei "criteri ed indirizzi tecnici per la verifica e valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena attraverso studi idrologici di dettaglio nei bacini idrografici liguri" forniti dalla regione Liguria nell'anno 2008.

Il bacino idrografico del fossato San Salvatore al suo sbocco nell'Entella risulta essere pari a circa 2.65 kmq, con una suddivisione nell'area della confluenza tra i due rivi pari a circa 1.33 kmq per il fossato San Salvatore e 1.25 kmq per il rio Pessa.

Si procede di seguito a schematizzare i valori di portata di colmo:

	Q 50 anni [mc/s]	Q 200 anni [mc/s]	Q 500 anni [mc/s]
rio Pessa	17.70	27.90	37.00
fossato San Salvatore monte	18.70	29.40	39.10
fossato San Salvatore valle	37.60	59.10	78.50

Per quanto concerne i coefficienti di scabrezza di Gauckler - Strickler, stante la conformazione dei luoghi nonché le indicazioni del recente Regolamento regionale n° 1 del 16/03/2016, si è deciso (in accordo con il modello idraulico del vigente Piano di Bacino) di utilizzare:

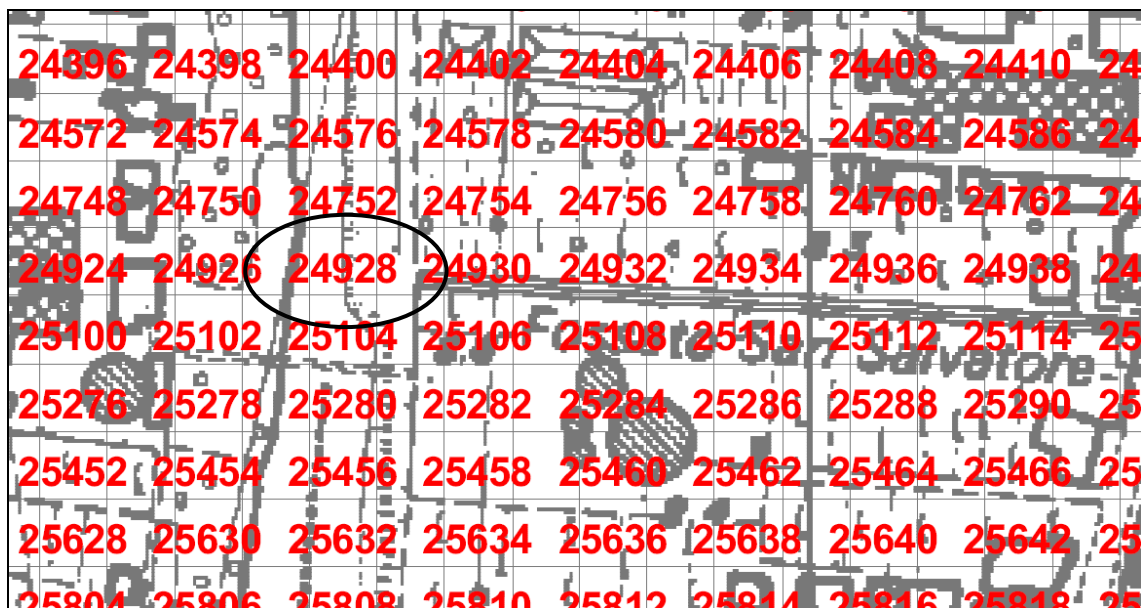
	Ks stato attuale [m <sup>1/3</sup> /s]	Ks stato di progetto [m <sup>1/3</sup> /s]
alveo tratto a cielo aperto	33	35
alveo tratto in copertura	40	45
golene	20	20

Per quanto attiene la condizione al contorno di monte si è scelto di utilizzare la profondità critica: al fine comunque di rendere pressoché ininfluyente la scelta si è deciso di prolungare il modello idraulico diverse decine di metri a monte dei tratti di interesse.



Per quanto attiene invece la condizione al contorno di valle, si sono effettuate alcune considerazioni (riportate in seguito) in merito alla presenza del fiume Entella.

Come si può notare dalla carta delle fasce fluviali ad oggi vigente e già riportata in precedenza, le fasce A, B e C del fossato San Salvatore e del rio Pessa si "fondono" con le fasce A, B e C del fiume Entella, fasce queste ultime ad oggi derivanti da una modellazione 2D di cui si riporta in seguito la mesh di calcolo.



*figura 3: carta mesh di calcolo utilizzata per la modellistica bidimensionale  
Piano Bacino Stralcio ambito 16 - fiume Entella D.L. 180/98 e ss.mm.ii.*

In prima istanza si è dunque proceduto a valutare il livello idrico del fiume Entella in piena in corrispondenza delle celle prossime allo sfocio del fossato San Salvatore e più precisamente si sono analizzate le celle numero 24928 e 24929.

Le quote del rilievo topografico eseguito (peraltro agganciato come già detto alla C.T.R.) risultano inferiori di circa 15 - 20 cm rispetto alle quote del modello a celle (mesh di calcolo fiume Entella).

Ipotizzando in prima istanza la contemporaneità delle piene tra il fossato San Salvatore e il fiume Entella (eventualità peraltro ampiamente a favore di sicurezza in quanto, viste le dimensioni dei bacini notevolmente differenti fra loro, sarà probabile che, al momento del transito della massima piena del fiume Entella, il fossato San Salvatore abbia già fatto defluire gran parte del suo idrogramma di piena) si ottengono i seguenti valori di altezza nota imposti nel modello idraulico, valori derivanti dalle suddette celle 24928 e 24929 senza apportare alcuna correzione stante la estrema modestia (15 - 20 cm) della differenza altimetrica riscontrata.

	Q 50 anni	Q 200 anni	Q 500 anni
livello idrico [ml]	9.29	10.28	11.01

Considerando che la quota della viabilità della S.P. n° 33 in corrispondenza dell'attraversamento del rio oggetto di intervento è pari a circa 9.40 ml, risulta immediato notare che, almeno con riferimento alla portata duecentennale, il modello idraulico fornirà un livello idrico sostanzialmente indipendente dal deflusso del fossato San Salvatore.

Inoltre, a seguito della nota della Regione Liguria - Dipartimento Ambiente - Settore Assetto del Territorio prot. n° PG/2015/149922 del 26/08/2015 e successive riunioni, la Regione Liguria medesima ha fornito, con nota prot n° PG/2015/196539 del 10/11/2015, il più recente "*studio di fattibilità per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario - infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate*": tale studio non risultava (e presumibilmente non risulta tutt'ora) ancora validato né tantomeno approvato, ma rappresenta certamente uno sviluppo rispetto a quanto tutt'ora vigente, con una modellazione bidimensionale maggiormente sofisticata.

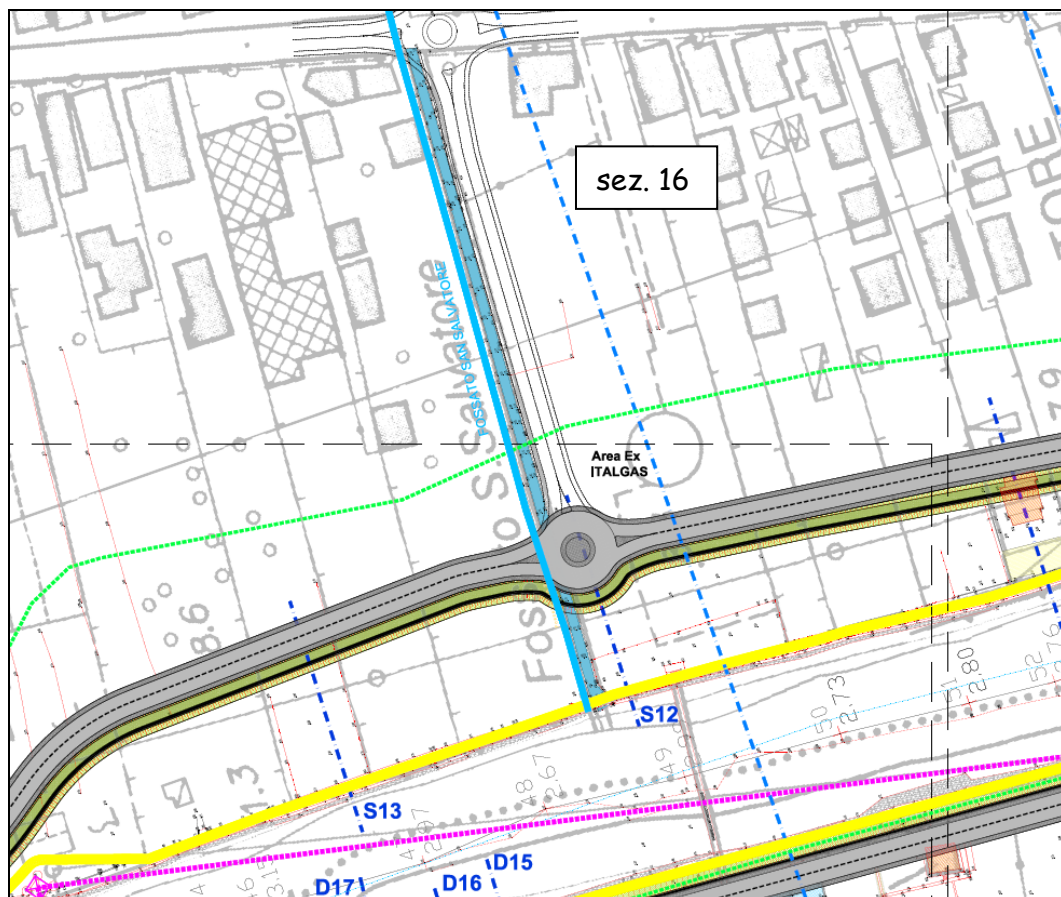
Nell'ambito degli elaborati a noi forniti sono indicati i livelli idraulici relativi alla sola portata di tempo di ritorno duecentennale sia nella condizione attuale che a seguito delle opere a progetto per il contenimento della piena del fiume Entella.

Immediatamente a valle dello sfocio del fossato San Salvatore risulta presente la sezione 16 del fiume Entella, per la quale si sono identificati i seguenti livelli:

livello attuale (Q Tr = 200 anni) = 9.66 m

livello di progetto (Q Tr = 200 anni) = 10.39 m

Dal confronto tra le quote lungo la viabilità provinciale (S.P. n°33) dello studio di fattibilità sopra citato e quelle rilevate dagli scriventi, si è potuto desumere come analogamente a quanto analizzato in precedenza, il sistema di riferimento sia assai simile (differenze nell'ordine dei 20 cm): si è dunque anche qui scelto di inserire nei modelli idraulici i livelli assoluti ricavati dallo studio di fattibilità, il tutto a favore di sicurezza.



**figura 4:** stralcio elaborato PL 05 studio di fattibilità per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario - infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate in **azzurro tratteggiato** la sezione 16

Come si può osservare, il livello duecentennale di stato attuale definito nella modellazione più recente risulta inferiore rispetto a quanto calcolato in precedenza e ad oggi vigente.

Nell'ambito del capitolo della presente relazione "*ulteriori considerazioni idrauliche*" verranno forniti i risultati delle modellazioni idrauliche considerando la contemporaneità della piena del fiume Entella.

Al fine di valutare però la sufficienza idraulica propria del tratto terminale del fossato San Salvatore, si ritiene fondamentale implementare anche un modello idraulico dei soli rivi San Salvatore e Pessa, come se essi fossero totalmente indipendenti dal fiume Entella. Stante le presenza di un salto immediatamente a valle del ponticello di attraversamento della pista ciclabile esistente lungo la sponda sinistra del fiume Entella, si impone anche come condizione al contorno di valle la profondità critica.

Si sottolinea inoltre che tale condizione appare essere anche più realistica di quanto riportato sopra: stante infatti il bacino idrografico di dimensione limitata e l'elevata acclività dei versanti, il tempo di raggiungimento del picco di piena per il fossato San Salvatore risulta pari a circa 10 minuti dall'inizio delle precipitazioni, tempo in cui (ovviamente a meno di un lungo periodo di perturbazioni su tutto il suo bacino) l'Entella risulta essere sostanzialmente ancora in condizioni magra, o quanto meno difficilmente presenterà un livello idrico superiore a 3 metri, livello a partire dal quale si inizia a registrare una forte interazione tra le due piene.

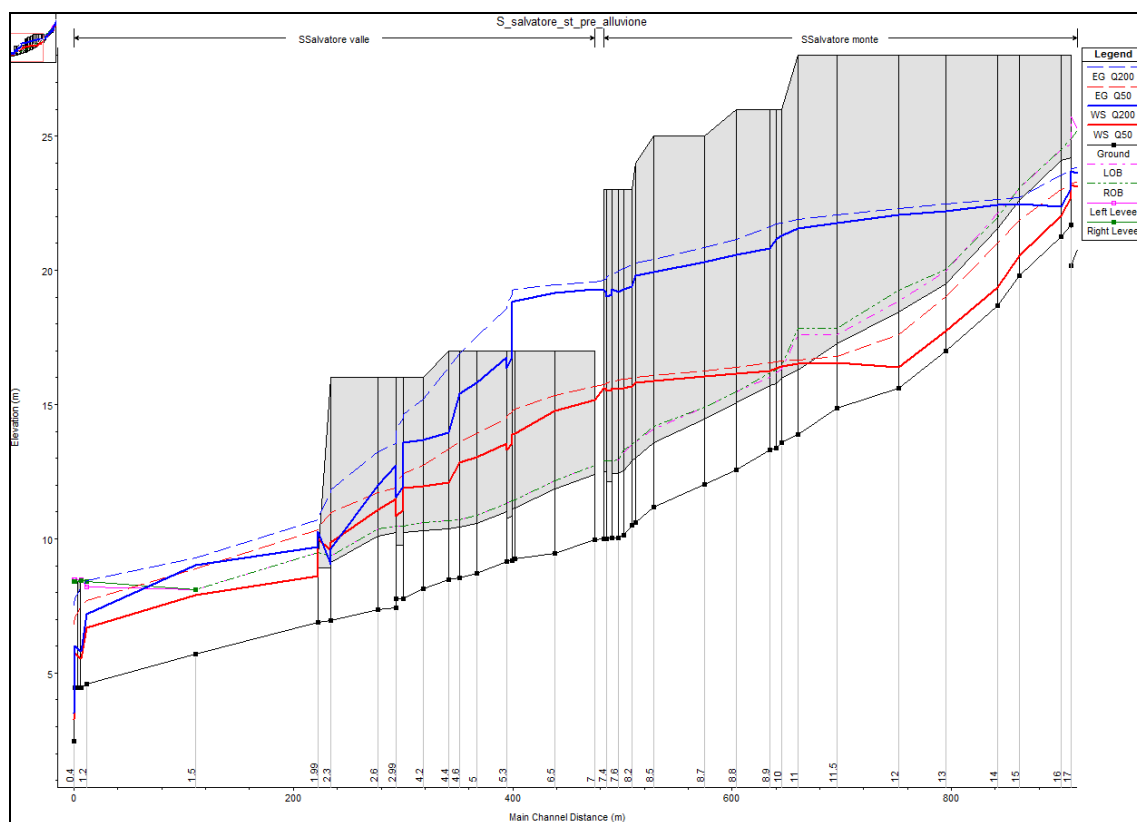
In conclusione i modelli allegati al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica sono stati costruiti con la profondità critica come condizione al contorno di valle, così da valutare la sufficienza idraulica anche del tratto terminale del fossato San Salvatore. Anche tutti i livelli idrici riportati nell'ambito degli elaborati grafici allegati al progetto medesimo saranno dunque quelli ricavati con tale condizione al contorno.

Nell'ambito della presente relazione si riporteranno però per completezza anche i profili idraulici con la condizione al contorno di valle relativa al livello di piena del fiume Entella.

## Modello idraulico di stato pre-alluvione 2014

L'analisi del modello idraulico di stato antecedente all'evento alluvionale del novembre 2014 mostra come (anche non considerando la contemporaneità delle piene con il fiume Entella) le sezioni del fossato San Salvatore a valle della confluenza con il rio Pessa siano in gran parte insufficienti al deflusso delle portate di piena anche per tempo di ritorno cinquantennale o inferiore. Come riportato nell'ambito della relazione illustrativa, le misurazioni effettuate in situ hanno permesso di verificare che nel tratto a valle della confluenza tra il rio Pessa e il fossato San Salvatore non si registra alcun incremento della sezione disponibile al deflusso, a fronte di una portata quasi raddoppiata in raffronto alle portate dei due singoli rivi (di bacino raffrontabile).

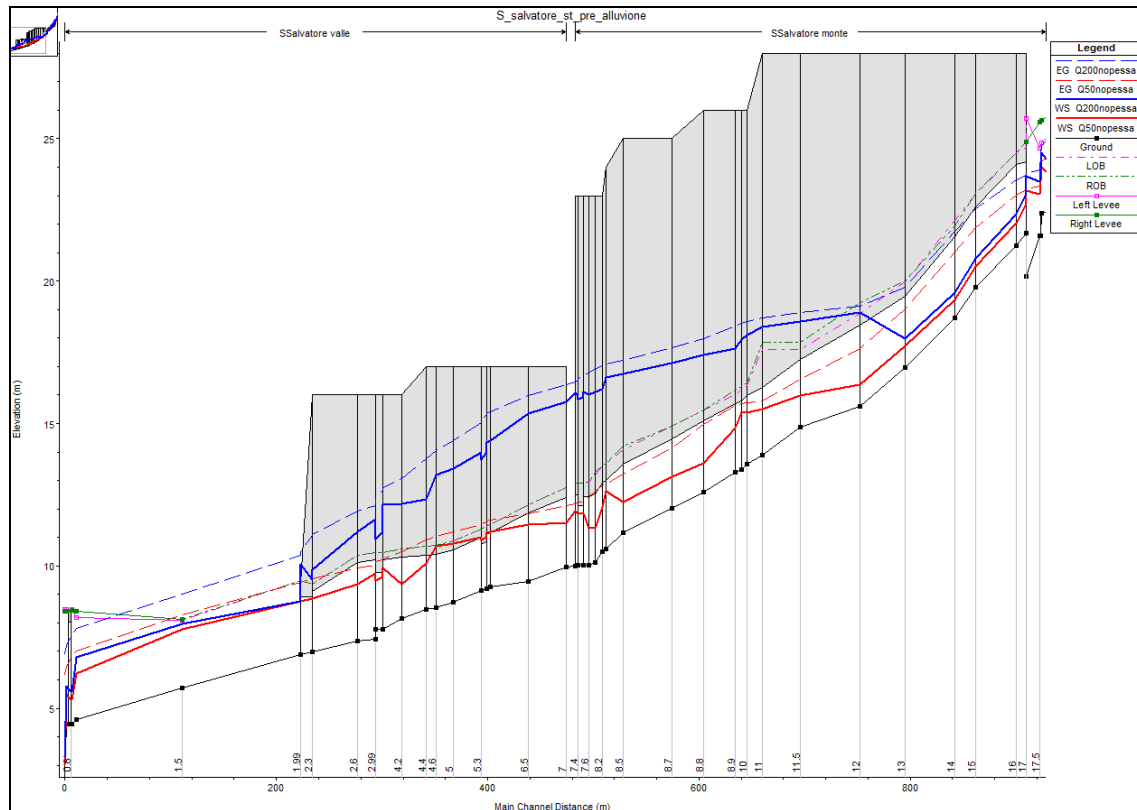
Inoltre in detto tratto del fossato San Salvatore si possono riscontrare alcune criticità "locali" dovute a cambiamenti di sezione, in particolare in corrispondenza degli attraversamenti delle viabilità, con altezze disponibili al deflusso anche pari a solo 1.60 ml.



**figura 5:** profilo idraulico fossato San Salvatore - stato pre-alluvione - fuori scala



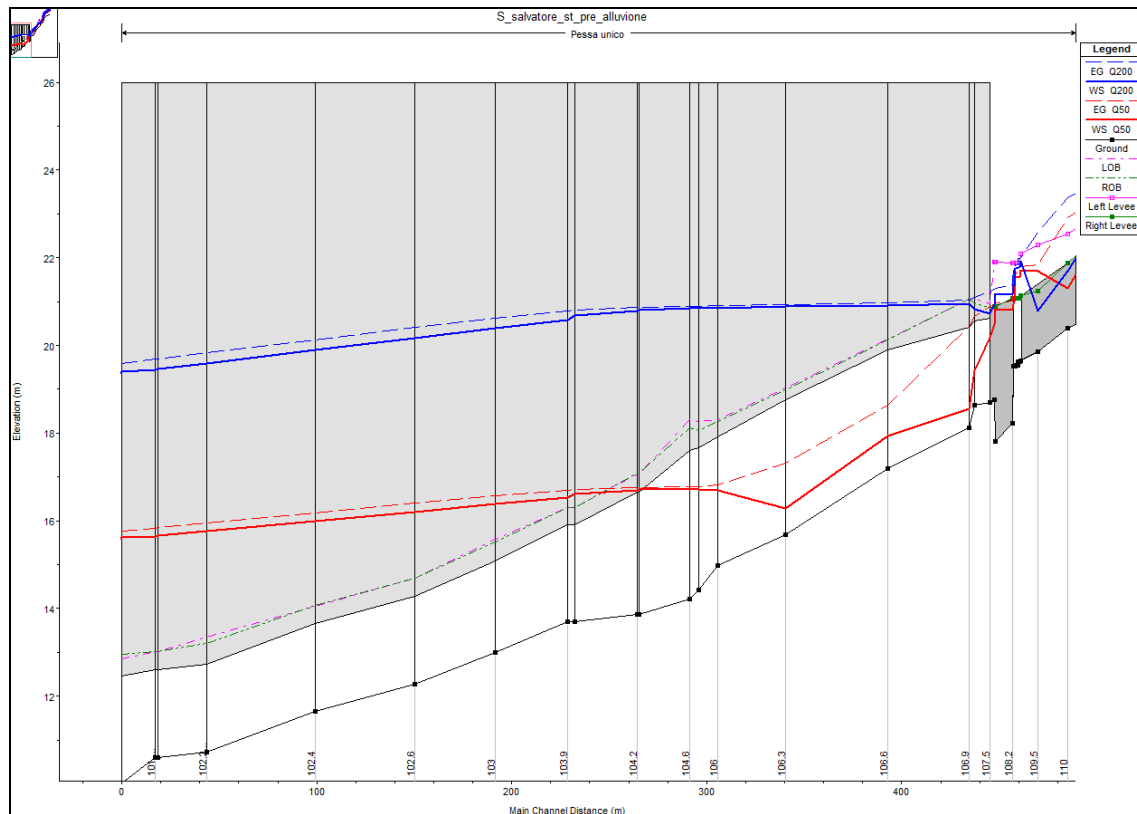
Al fine di verificare se la criticità fosse dovuta esclusivamente al tratto a valle della confluenza, si è implementato un modello di stato attuale escludendo l'apporto del rio Pessa: tale prova ha permesso di verificare che, con la sola esclusione del rio Pessa, la configurazione attuale del fossato San Salvatore di valle non è comunque sufficiente al contenimento di piene duecentennali del solo fossato San Salvatore.



**figura 6:** profilo idraulico fossato San Salvatore - stato pre-alluvione  
 con esclusione contributo rio Pessa - fuori scala

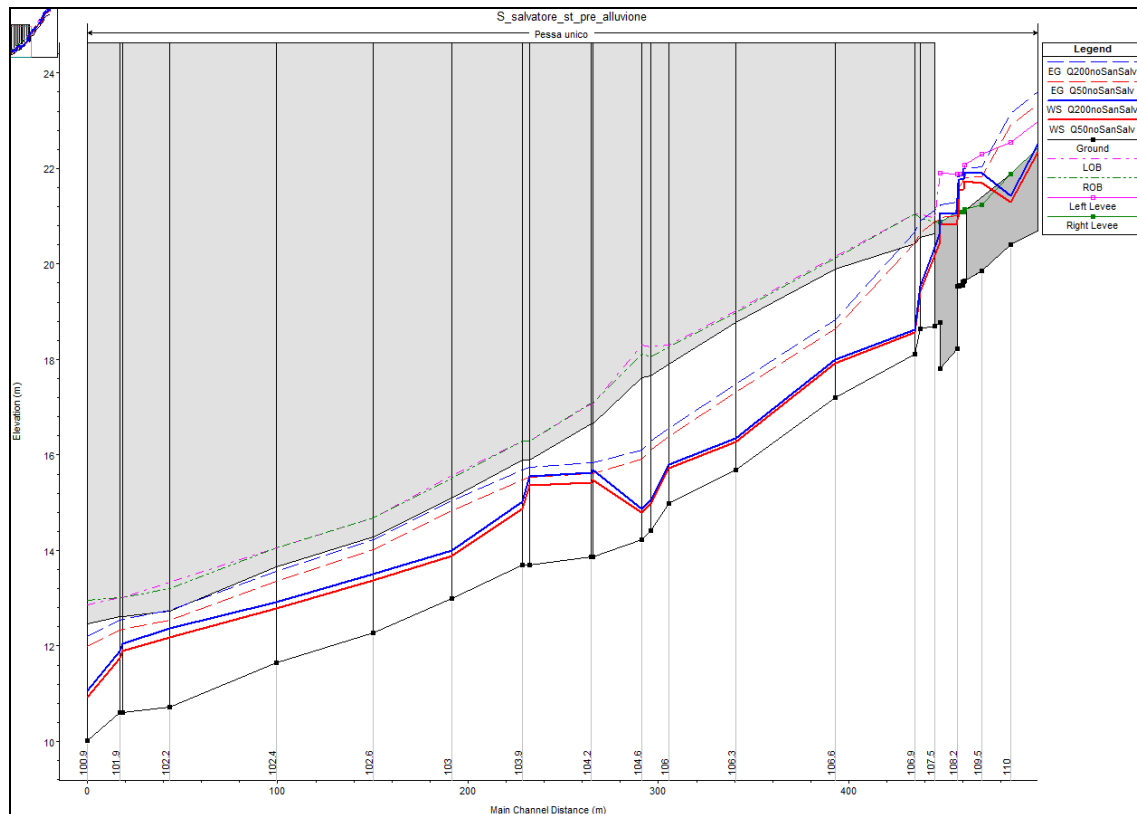
Al fine di garantire una significativa mitigazione del rischio del tratto "urbano" del fossato San Salvatore appare dunque assolutamente imprescindibile l'adeguamento strutturale del tratto medesimo.

Per quanto attiene invece il rio Pessa, il tratto coperto presentava fondamentalmente due criticità: l'imbocco che era costituito da un vero e proprio imbuto (sezione disponibile inferiore ai 5 mq contro gli oltre 12 mq esistenti appena una dozzina di metri più avanti) e il rigurgito dovuto dalla confluenza con il fossato San Salvatore, come già riportato in precedenza nettamente insufficiente anche per portate assolutamente limitate.



*figura 7: profilo idraulico rio Pessa - stato pre-alluvione - fuori scala*

Anche in questo caso si è proceduto a verificare se la criticità evidenziata sia totalmente da attribuirsi al tratto a valle della confluenza e per questo si è implementato un modello non considerando l'apporto del fossato San Salvatore a monte della confluenza. Tale modello mostra che anche le sezioni del rio Pessa sono generalmente sufficienti a contenere le portate di progetto, ad esclusione dell'imbocco della copertura, in corrispondenza del quale come detto era evidente un netto restringimento della sezione disponibile al deflusso (da circa 5.00 ml di larghezza a monte e valle a circa 3.20 ml nei primi 10 metri di copertura).



**figura 8:** profilo idraulico rio Pessa - stato pre-alluvione con esclusione contributo fossato San Salvatore tratto di monte - fuori scala

Riassumendo, si può verificare come, ad esclusione dell'imbocco del rio Pessa (come noto già ad oggi adeguato - intervento in somma urgenza) sia il rio Pessa sia il fossato di San Salvatore nel tratto a monte e a valle della confluenza siano in grado di far defluire (sebbene senza alcun franco idraulico) circa 25 mc/s (di fatto appena inferiore alla piena duecentennale dei due rami di monte confluenza e poco meno della metà della piena duecentennale del tratto di fossato San Salvatore a valle confluenza).

Per quanto attiene invece i tratti a cielo aperto, il fossato San Salvatore a monte della copertura risulta sufficiente al contenimento della portata duecentennale, mentre nel tratto compreso tra lo sbocco della copertura e il fiume Entella le sezioni risultano essere generalmente insufficienti al deflusso delle portate di piena; il rio Pessa presenta invece alcune criticità legate principalmente a due attraversamenti (uno carrabile e uno pedonale) attualmente insufficienti.

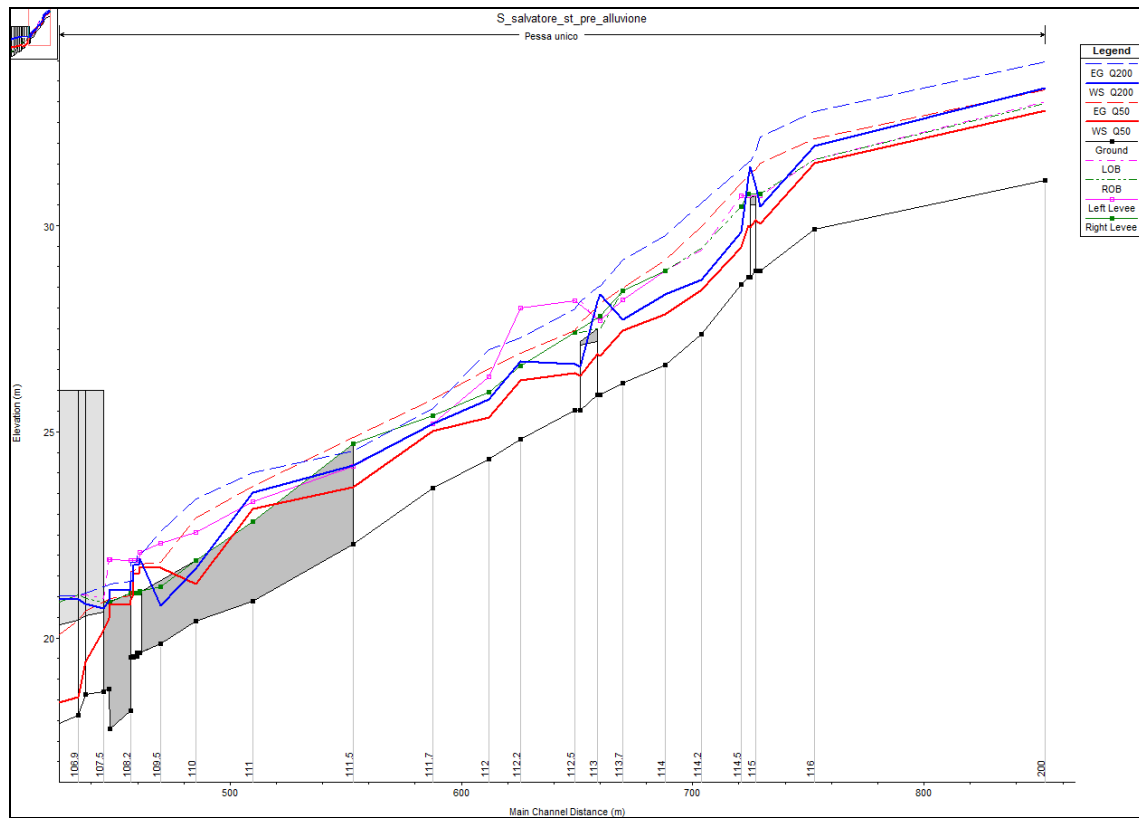


figura 9: profilo idraulico tratto a cielo aperto rio Pessa - stato pre-alluvione - fuori scala

## *Modello idraulico di stato attuale*

Alla luce di quanto riportato in precedenza, il modello idraulico di stato attuale, differisce dal modello di stato pre-alluvione "unicamente" per le opere realizzate lungo il rio Pessa in regime di somma urgenza a seguito dell'evento alluvionale del novembre 2014, che, al di là di una pulizia - tratto terminale coperto del ramo San Salvatore di valle - dal materiale solido accumulato durante l'evento di piena, sono consistite in:

- demolizione e ricostruzione con miglioramento idraulico del tratto di imbocco della copertura esistente mediante fornitura e posa in opera di scatolari prefabbricati in cls e breve tratto gettato in opera a raccordo con la tombinatura esistente a valle;
- ricostruzione di murature arginali in c.a. ubicate immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura esistente lungo il corso del rio Pessa per raccordo alle arginature di monte, con ampliamento vasca di sedimentazione e mantenimento della briglia selettiva a pettine esistente;
- opere di ripristino della funzionalità della viabilità esistente, quali predisposizione di barriere di sicurezza, pozzetti per sottoservizi, etc.

A seguito di quanto sopra ad oggi la sezione di imbocco della tombinatura risulta più che doppia rispetto a quanto preesistente (12 mq attuali contro 4,80 mq preesistenti) e si va a raccordare con quanto già esistente a valle, di dimensioni del tutto simili a quanto realizzato (medesima larghezza e scalino di 20 cm sulla soletta superiore).

Inoltre il notevole allargamento anche del tratto immediatamente a monte dell'imbocco, con larghezza sostanzialmente raddoppiata (da circa 2,50 ml a 5,00 ml) permette un deflusso delle piene più regolare, con estrema riduzione del rigurgito idraulico in corrispondenza dell'imbocco della tombinatura.

Per quanto attiene invece la vasca di sedimentazione ubicata immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura, il rilievo topografico effettuato ad agosto 2017 (eseguito anche a seguito della recente realizzazione di lavori di svuotamento/pulizia della vasca di sedimentazione esistente immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura, intervento cofinanziato dalla Regione Liguria come da nota PG/2016/224672 del 10/01/2016 con la quale si comunicava che con D.G.R. n° 886/2016 era stato approvato il Programma annuale di interventi di manutenzione ordinaria relativo alla difesa del suolo), ha permesso di verificarne l'effettiva volumetria attualmente disponibile per sedimentazione del materiale detritico-alluvionale.



I limiti di monte e valle della vasca sono rimasti del tutto inalterati tra lo stato pre-alluvione e quello attuale; ciò che è cambiato sono: le quote di fondo della vasca, la quota dello scalino di valle della stessa a imbocco tombinatura e la sua larghezza.

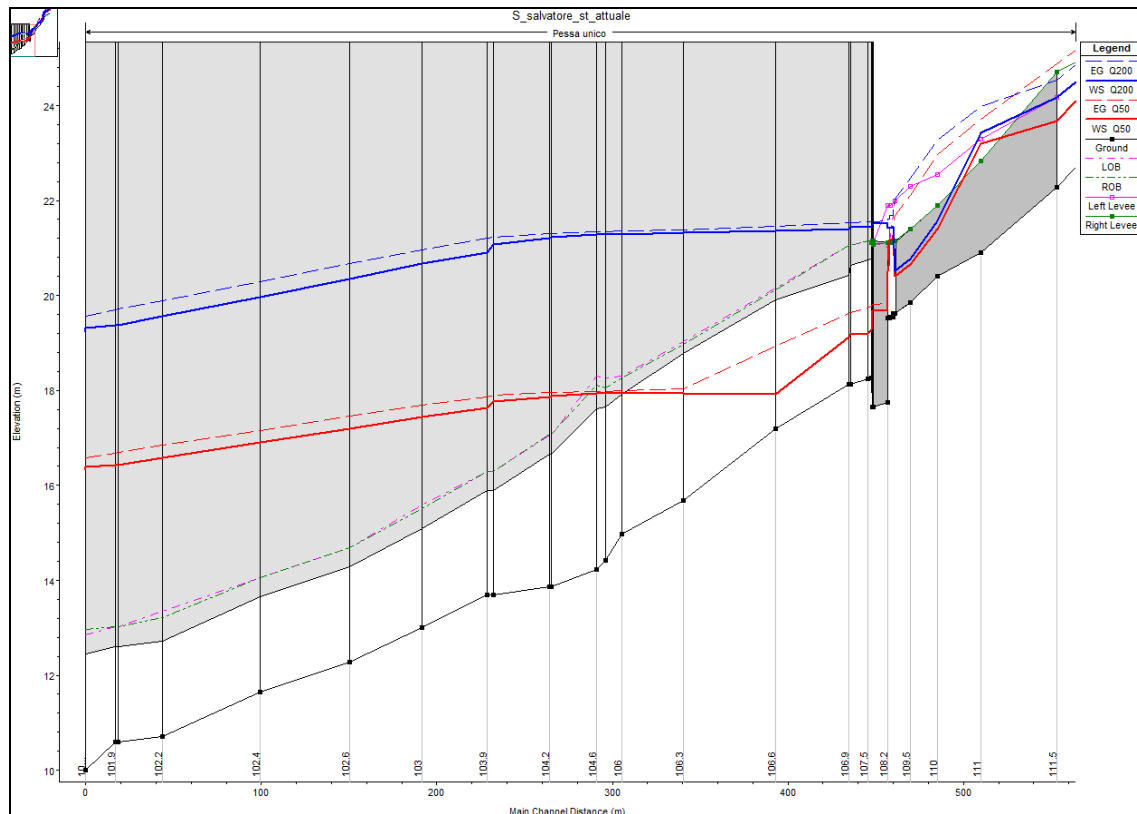
Considerando che il materiale possa riempire la vasca dal fondo sino allo scalino di imbocco della tombinatura e che questo livello si mantenga orizzontale sino al limite di monte della vasca, il volume nella configurazione pre-alluvione risultava essere pari a circa:

$$21,00 \text{ mq} \times 0,95 \text{ m} = 19.95 \text{ mc}$$

Nella configurazione attuale, l'altezza dello scalino di imbocco della tombinatura risulta essere lievemente inferiore, stante l'abbassamento del fondo alveo in imbocco copertura, resosi necessario per garantire al deflusso la massima sezione possibile. Di contro però il notevole allargamento dell'alveo ha portato ad una superficie della vasca ben superiore. Di conseguenza si può oggettivamente riscontrare ad oggi un volume di accumulo superiore rispetto a quanto preesistente:

$$45,00 \text{ mq} \times 0,60 \text{ m} = 27.00 \text{ mc}$$

A seguito dell'intervento di cui sopra la modellazione idraulica mostra un netto miglioramento rispetto alla configurazione precedente per piene di tempo di ritorno cinquantennale (abbassamento nell'ordine dei 90 cm), mentre per la piena duecentennale non si apprezza visivamente una riduzione per due motivi: il rigurgito di valle per l'insufficienza del tratto di valle del fossato San Salvatore e la presenza nel modello di una "lateral structure" immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura, con una portata entrante in copertura maggiore nello stato attuale rispetto allo stato pre-alluvione e di conseguenza un livello che sembra a prima vista pari o lievemente superiore.

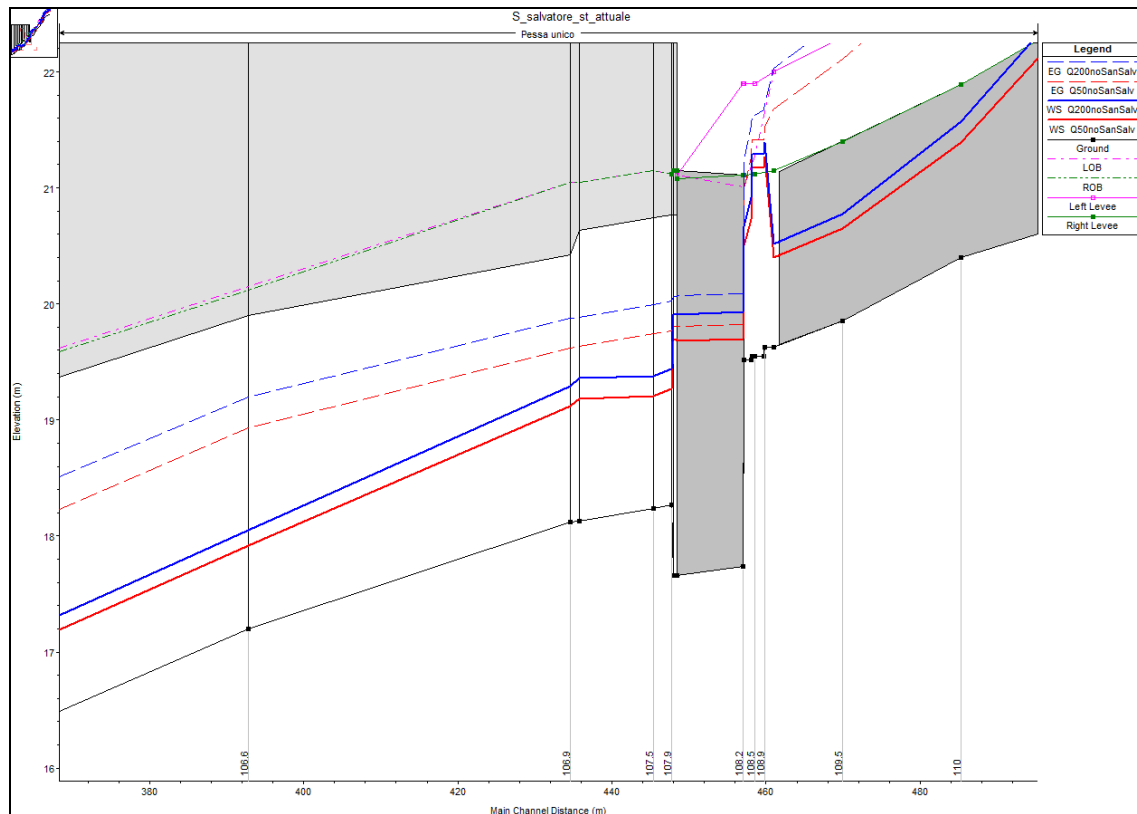


**figura 10:** profilo idraulico tratto tombinato rio Pessa - stato attuale - fuori scala

Il miglioramento sotto il profilo idraulico si apprezza maggiormente escludendo il contributo del fossato di San Salvatore nel tratto a monte della confluenza; eliminando infatti il rigurgito dovuto all'insufficienza del tratto di valle si può osservare come la copertura del rio Pessa sia già nella condizione attuale sufficiente a garantire il transito della piena duecentennale.

In particolare in corrispondenza dell'imbocco della tombinatura il franco idraulico risulta prossimo al metro lineare, con il pieno contenimento anche del carico cinetico associato alle piene (70 cm di margine tra livello energia totale e intradosso copertura).

Il rigurgito immediatamente a monte della vasca risulta dovuto alla briglia selettiva a pettine esistente (briglia non toccata in regime di somma urgenza, ma per la quale si prevede l'arretramento nella configurazione a progetto proprio per allontanare tale rigurgito dal delicato nodo dell'imbocco della copertura).



**figura 11:** profilo idraulico imbocco copertura rio Pessa - stato attuale con esclusione contributo fossato San Salvatore tratto di monte - fuori scala

Dunque la completa pulizia della vasca eseguita nella primavera 2017 ha permesso di verificare come l'intervento in somma urgenza, oltre a comportare l'eliminazione del punto maggiormente critico per il deflusso del rio Pessa, abbia permesso un significativo aumento della volumetria disponibile nella vasca di sedimentazione esistente.

## *Modello idraulico di stato di progetto - mitigazione del rischio*

Alla luce delle criticità ancora esistenti, nonché di fatto della difficoltà di intervenire con opere "strutturali" stante l'elevata urbanizzazione delle aree, si è in prima istanza verificato se fossero disponibili aree disponibili per la laminazione delle piene, al fine di attenuare il picco di portata durante eventi con tempi di ritorno elevati. Osservata però la conformazione dei bacini appare alquanto difficoltoso individuare aree adatte a tale scopo. Le uniche zone pianeggianti e non urbanizzate sono individuabili in destra idraulica nelle sezioni corrispondenza dell'imbocco delle copertura del fossato San Salvatore (aree attualmente occupate da vigneti). Come riportato in precedenza però in tale tratto il fossato San Salvatore non fuoriesce attualmente dall'alveo: andrebbe dunque innanzitutto creata una finestra di sfioro nell'attuale arginatura e soprattutto risulterebbe estremamente difficoltoso studiare come far rientrare la piena nell'alveo del fossato San Salvatore, in quanto tali vigneti confinano senza barriere altimetriche con il tessuto urbanizzato della zona e in tale tratto il fossato San Salvatore risulta coperto. Quanto sopra, unitamente al fatto che i volumi disponibili non risulterebbero comunque sufficienti a garantire il necessario abbassamento dei picchi di piena ha portato a scartare la possibilità di laminazione della piena.

Si è quindi proceduto ad allargare la copertura nel tratto a valle della confluenza tra il fossato San Salvatore e il rio Pessa, sfruttando lo spazio ancora disponibile al di sotto delle viabilità esistenti. Il tratto maggiormente critico risulta essere quello lungo via Antonio Gramsci, compreso tra via Divisione Coduri e la S.P. n°33, ove il rio risulta essere limitato tra alcune abitazioni e interrati.

Dunque, in funzione degli spazi disponibili, si sono ipotizzate sezioni di larghezza compresa tra circa 8 e 9 metri; l'allargamento delle sezioni permette anche la regolarizzazione del tratto, con l'eliminazione di alcune criticità, come descritto in precedenza, presenti in particolare in corrispondenza dell'attraversamento delle viabilità. In aggiunta all'intervento di cui sopra si propone una riprofilatura del fondale, abbassando il salto attualmente presente in corrispondenza della pista ciclabile esistente in sponda sinistra del fiume Entella e riportandosi alle quote di stato attuale nel nodo della confluenza. Si impongono sostanzialmente tre livellette: la prima dalla confluenza verso valle per circa 200 metri con pendenza media pari a circa 1.5 %, la seconda per ulteriori 50 metri circa, sino allo sbocco della copertura con pendenza media di circa 1.8 % (necessaria a sopperire alla minore larghezza disponibile per l'allargamento), la terza per il tratto terminale sino alla pista ciclabile con una pendenza intorno all'1.0%.

Tali interventi risultano sufficienti allo smaltimento della portata di tempo di ritorno duecentennale, con una notevolissima mitigazione del rischio, seppure ovviamente senza i franchi idraulici di legge in diverse sezioni (l'altezza netta disponibile al deflusso in diverse sezioni risulta limitata a meno di interventi particolarmente onerosi quali ulteriori abbassamenti del fondo alveo, ecc.).

Si è inoltre prevista l'eliminazione di un paio di criticità puntuali lungo la copertura del fossato San Salvatore nel tratto a monte della confluenza, con il rifacimento di brevi tratti di copertura.

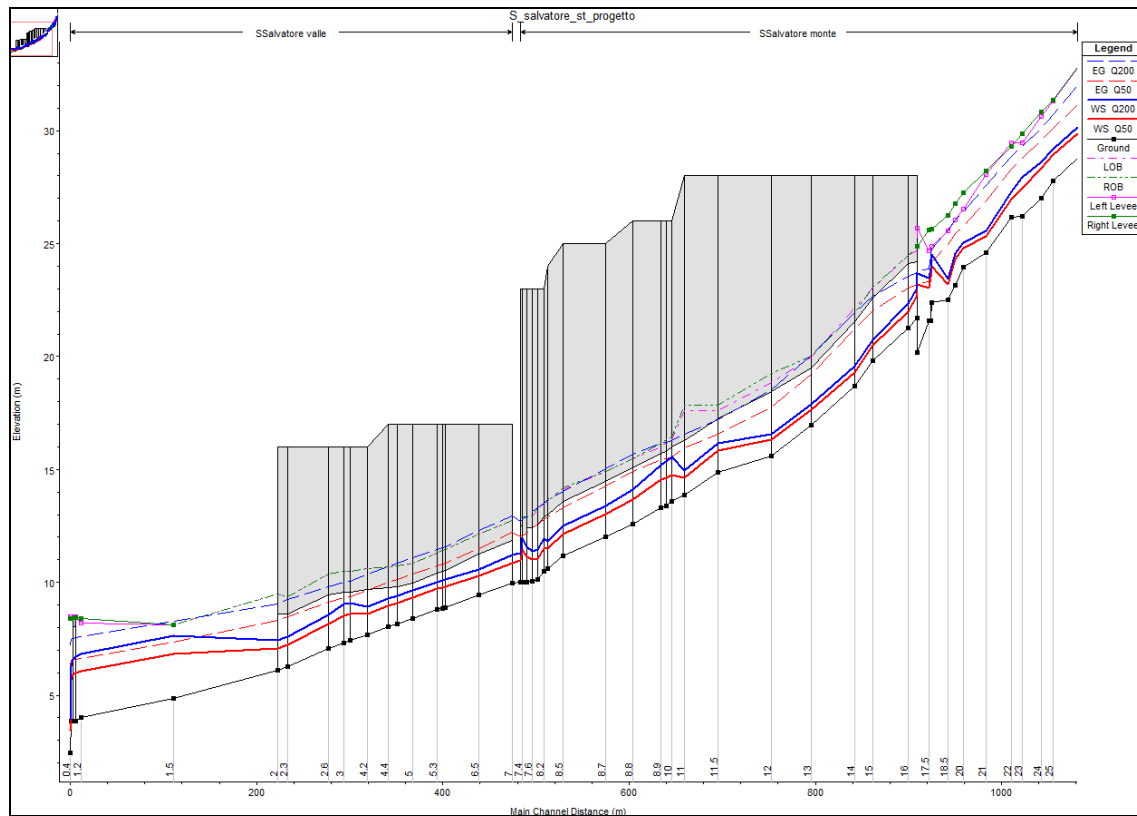
Per quanto attiene i tratti a cielo aperto del fossato San Salvatore, come riportato in precedenza il tratto a monte della copertura risulta sufficiente al contenimento della portata duecentennale, mentre nel tratto compreso tra lo sbocco della copertura e l'immissione nel fiume Entella si deve prevedere un allargamento delle sezioni compreso tra 8 e 6 metri unito al limitato abbassamento del fondale di cui si è detto sopra.

Per quanto attiene invece il rio Pessa, al di là di una generalizzata pulizia dell'alveo da valutare al momento dell'intervento, al fine di fornire adeguato sostegno alla viabilità carrabile parallela al rio (via San Martino) si prevede la predisposizione di un nuovo muro arginale in c.a., non modificando comunque l'ubicazione dell'attuale testa dell'argine esistente, ad eccezione di un limitato allargamento delle sezioni nell'intorno della sezione idraulica numero 111, per un tratto di circa 50 metri oggi caratterizzato da un restringimento e per il quale si potrà sfruttare una sorta di banchina sterrata presente ai margini di detta viabilità.

Infine si è proceduto ad arretrare il pettine di ritenuta del materiale detritico al fine di evitare che l'inevitabile rigurgito possa in qualche modo interferire con l'imbocco della copertura esistente.

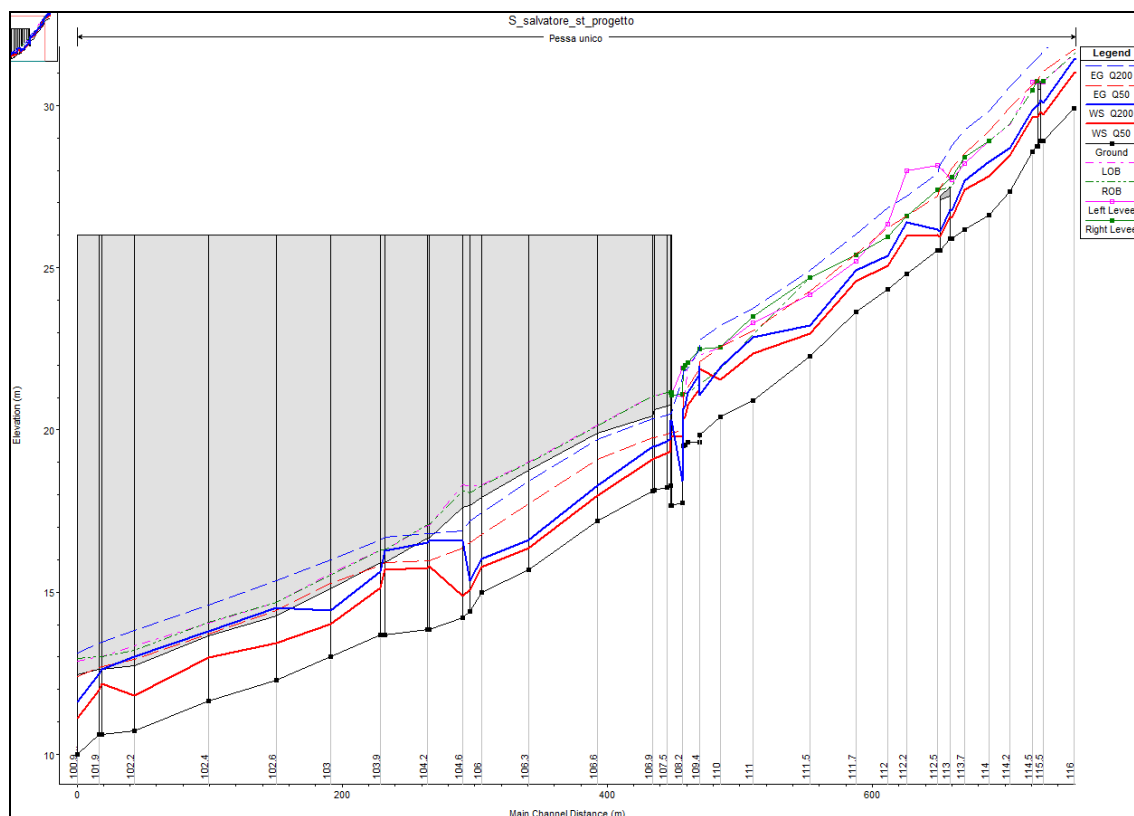
Gli interventi di cui sopra permettono, per quanto attiene il fossato San Salvatore, il contenimento della portata di tempo di ritorno duecentennale, dunque con una notevolissima diminuzione del rischio idraulico attualmente insistente sull'area.





**figura 12:** profilo idraulico tratto fossato San Salvatore - stato di progetto - fuori scala

Per quanto concerne il rio Pessa, in un paio di tratti si riscontra, per la portata di tempo di ritorno duecentennale, un possibile limitato funzionamento in lieve pressione, mentre per la portata di tempo di ritorno cinquantennale non si registrano particolari problematiche.



**figura 13:** profilo idraulico tratto rio Pessa - stato di progetto - fuori scala

Riassumendo quanto sopra descritto, si può dunque sostenere che gli interventi proposti consentano il contenimento della portata di tempo di ritorno duecentennale e dunque - una volta realizzati - portino ad una diminuzione di rischio oltremodo significativa.

Stante però l'impossibilità di raggiungere i franchi idraulici di legge soprattutto in considerazione degli spazi attualmente disponibili (ricordiamo: aree densamente urbanizzate), potrà essere presa in considerazione l'eventualità di riclassificare parte della zona in esame come area a "minor pericolosità relativa" (c.d. ambito B0), mappatura finalizzata a segnalare comunque il permanere di un qual certo grado di rischio peraltro insito nel "sistema idraulico" oggi esistente e caratterizzato dalla presenza di lunghi tratti di copertura.

A tal proposito si sottolinea inoltre che, con riferimento alla portata di tempo di ritorno cinquantennale, le sezioni di progetto risultano sostanzialmente sufficienti anche al contenimento del carico totale dell'energia, stante le velocità non estremamente elevate della corrente (generalmente comprese tra 3.00 e 5.00 m/s).

## *Scenario progettuale per definitiva messa in sicurezza*

### **Scolmo/deviazione rio Pessa**

Così come si è verificato in precedenza, qualora si volesse raggiungere il contenimento della piena duecentennale con il pieno rispetto dei franchi idraulici di legge, gli interventi strutturali lungo il corso del fossato San Salvatore nel tratto a valle della confluenza con il rio Pessa non risultano più sufficienti e vista l'impossibilità di procedere ad ulteriori allargamenti stante la presenza di numerosi edifici in destra e sinistra idraulica, risulta imprescindibile provvedere allo scolmo di una quota parte di portata al fine di alleggerire la copertura terminale del rio medesimo.

Così come già indicato in precedenza, il solo scolmo del rio Pessa non risulterebbe sufficiente a garantire il passaggio della piena nelle sezioni attuali del fossato San Salvatore a valle della confluenza; la presente opera risulta pertanto non alternativa, ma complementare agli altri interventi a progetto.

Tale scolmatore viene qui inserito in qualità di scenario a livello di Piano di Bacino; questa tipologia di intervento risulta infatti assai onerosa a partire dalla fase di progettazione, per non parlare del costo dell'intervento stesso, da realizzarsi peraltro in unico lotto al fine di garantirne la piena funzionalità: per la pubblica amministrazione nascerebbero pertanto oneri ad oggi da ritenersi sicuramente eccessivi e sproporzionati come rapporto costi/benefici.

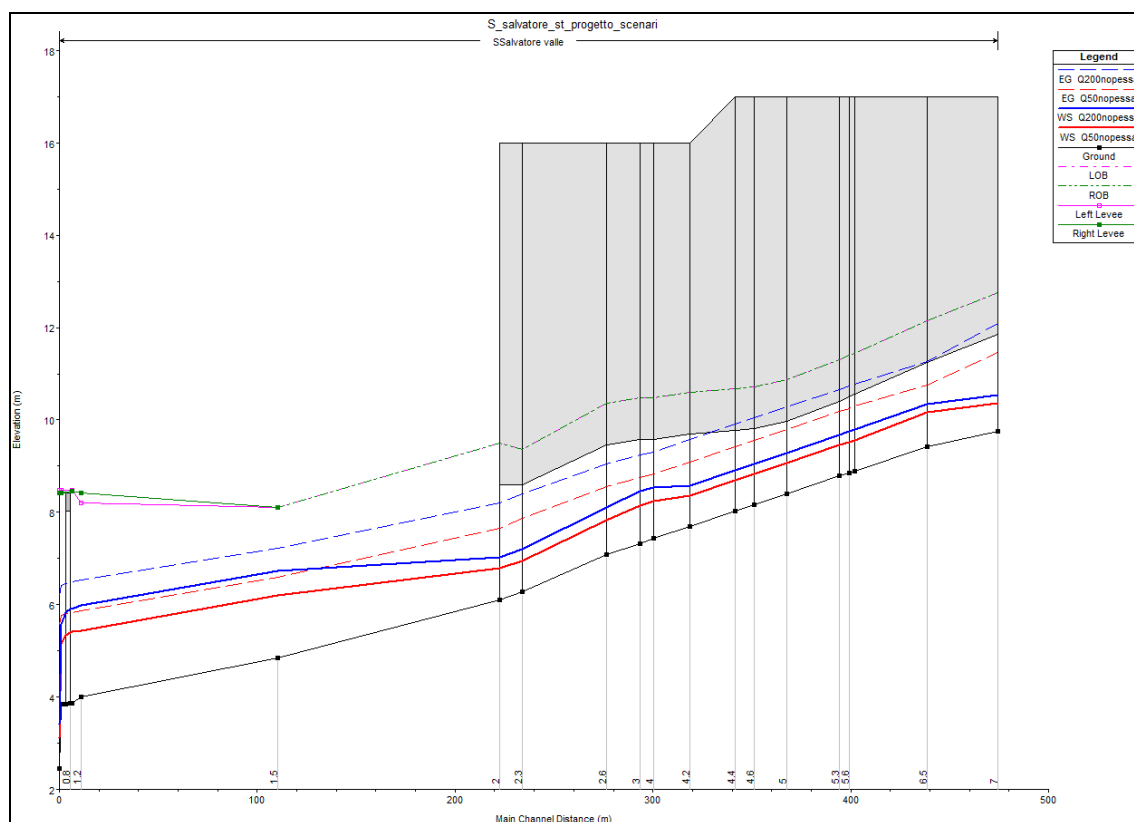
Lo scolmo/deviazione dell'intero contributo del rio Pessa (sebbene con notevoli difficoltà che andranno analizzate eventualmente nelle future fasi di progettazione) viene qui preliminarmente ipotizzato a partire dall'imbocco dell'attuale copertura, portando la corrente a confluire nel fiume Entella circa 580 ml più a valle rispetto allo sbocco del fossato San Salvatore. Peraltro si noti che per il fossato di San Salvatore, nel suo ramo di monte, non è ipotizzabile alcuno scolmo stante la situazione plano-altimetrica esistente.

Tale scolmatore / deviatore dovrà essere dimensionato per contenere una portata pari a circa 27 mc/s, avrà una lunghezza complessiva di circa 900 ml ed in prima istanza è stato ipotizzato con due livellette di fondo: la prima con pendenza pari a circa il 2% e la seconda con pendenza minore, pari a circa 0,6 %. Il tratto di monte (sino all'attraversamento della S.P. n°33) potrà essere realizzato con una galleria idraulica circolare di diametro netto pari a 3,50 ml, mentre il restante tratto di valle è stato ipotizzato con una sezione rettangolare di dimensioni nette pari a 5,00 x 2,50 ml.

Si è quindi implementata una modellazione idraulica con la portata duecentennale del rio Pessa pari a soli 4 mc/s, valore ottenuto considerando - a favore di sicurezza - un contributo unitario di 40 mc/(s x kmq) nella porzione di bacino del rio Pessa a valle dello scolmo.

Abbinando lo scolmo del rio Pessa agli interventi di mitigazione del rischio (adeguamento sezioni del fossato San Salvatore a valle della confluenza) si ottiene un modello idraulico molto più vicino al rispetto dei franchi idraulici di legge (franco geometrico sulla portata duecentennale sempre superiore a 75 cm e carico non lontano dal pieno contenimento).

Si fa peraltro notare che nei successivi livelli di progettazione potranno essere valutati sia lievi innalzamenti dell'estradosso della copertura sia assottigliamenti strutturali della stessa, raggiungendo così il pieno contenimento anche del carico energetico duecentennale.



**figura 14:** profilo modello di stato di progetto fossato San Salvatore escludendo il contributo del rio Pessa - fuori scala

Mediante tali interventi verrebbero dunque ad essere definitivamente messi in sicurezza il rio Pessa (ovviamente la copertura attuale dovrebbe garantire il deflusso di una quota parte di portata ben limitata) e il fossato San Salvatore nel tratto a valle della confluenza.

## **Ipotesi adeguamento tratto di monte fossato San Salvatore**

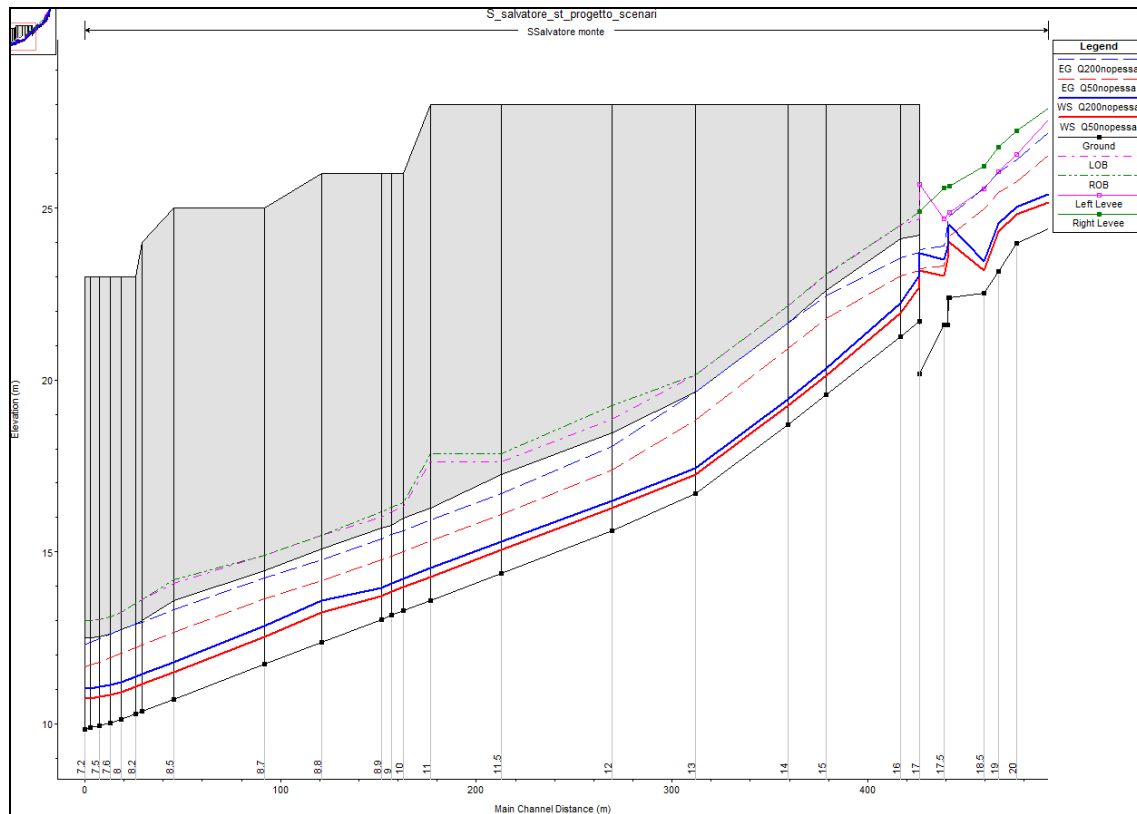
Al fine di porre definitivamente in sicurezza (con ampi franchi idraulici) anche il tratto di monte del fossato San Salvatore, risulterebbe invece necessario adeguare l'intera tombinatura: anche detto intervento, assolutamente costoso e che andrebbe a demolire e adeguare una copertura realizzata poche decine di anni orsono, viene inserito in qualità di scenario a livello di Piano di Bacino ed è da considerarsi assolutamente complementare e non alternativo ai restanti interventi a progetto

Gli interventi necessari risultano essere:

- regolarizzazione del fondo alveo con la formazione di due livellette di fondo a pendenza costante, la prima compresa tra le sezioni 17 e 13 (pendenza pari a 4.4%) e la seconda tra le sezioni 13 e 8 (pendenza pari a 2.2%);
- allargamento della tombinatura con sezioni di larghezza pari a 6,00 ml nel tratto compreso tra le sezioni 17 e 8.9 e pari a 5,00 nel tratto compreso tra le sezioni 8.9 e 7.2.

Gli interventi di cui sopra, unitamente allo scolmo del rio Pessa che fornisce ovvi ed evidenti vantaggi nell'area della confluenza, permettono il contenimento della piena duecentennale con ampi franchi idraulici (franco geometrico sempre superiore a 140 cm e carico energetico contenuto ovunque nell'intradosso della copertura).





**figura 15:** profilo tratto di monte fossato San Salvatore con suo adeguamento - fuori scala

Riassumendo, la combinazione dello scolmo del rio Pessa e dell'allargamento del fossato San Salvatore nel tratto a monte della confluenza porta ovunque al contenimento della portata duecentennale con ampi franchi idraulici.

Ovviamente tutte le considerazioni sopra riportate restano valide non considerando il deflusso del fiume Entella come condizione al contorno di valle. Immettendo invece nel modello idraulico il livello duecentennale del fiume Entella come condizione al contorno di valle, valgono le medesime considerazioni riportate di seguito nella presente relazione in merito al modello idraulico di stato di progetto (**mitigazione del rischio**): gli effetti della condizione al contorno risultano evidenti sino alla confluenza tra il rio Pessa e il fossato San Salvatore.

Pertanto tutte le aree che in precedenza erano state proposte come fascia B0 (a seguito della realizzazione del primo lotto di lavori), con l'esecuzione dei lotti successivi potranno essere classificate in fascia C o addirittura non più facenti parte delle zone inondabili.

In conclusione, la realizzazione di tutte le opere descritte in precedenza (primo lotto + lotti successivi) comporta la totale messa in sicurezza di tutta la zona interessata dalla presenza dei corsi d'acqua presi in esame: permarranno le fasce del fiume Entella fino a quando non ne verrà attuata la relativa sistemazione idraulica.

## Ulteriori considerazioni idrauliche

Tutte le considerazioni riportate di seguito saranno riferite alla modellazione di stato di progetto relativo alla **mitigazione del rischio** (dunque comprendente il contributo del rio Pessa e senza il rifacimento dell'intero tratto di monte della copertura del fossato San Salvatore).

### Sensibilità Ks

Per prima cosa, al fine di verificare la stabilità della modellazione idraulica proposta a progetto, si è proceduto a ridurre il valore di Ks all'interno delle tombinature sino a  $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , valore da ritenersi assolutamente cautelativo considerando di fatto alveo naturale sul fondo e sponde in cls, al fine di simulare la presenza di una quota parte di materiale solido associato alla piena.

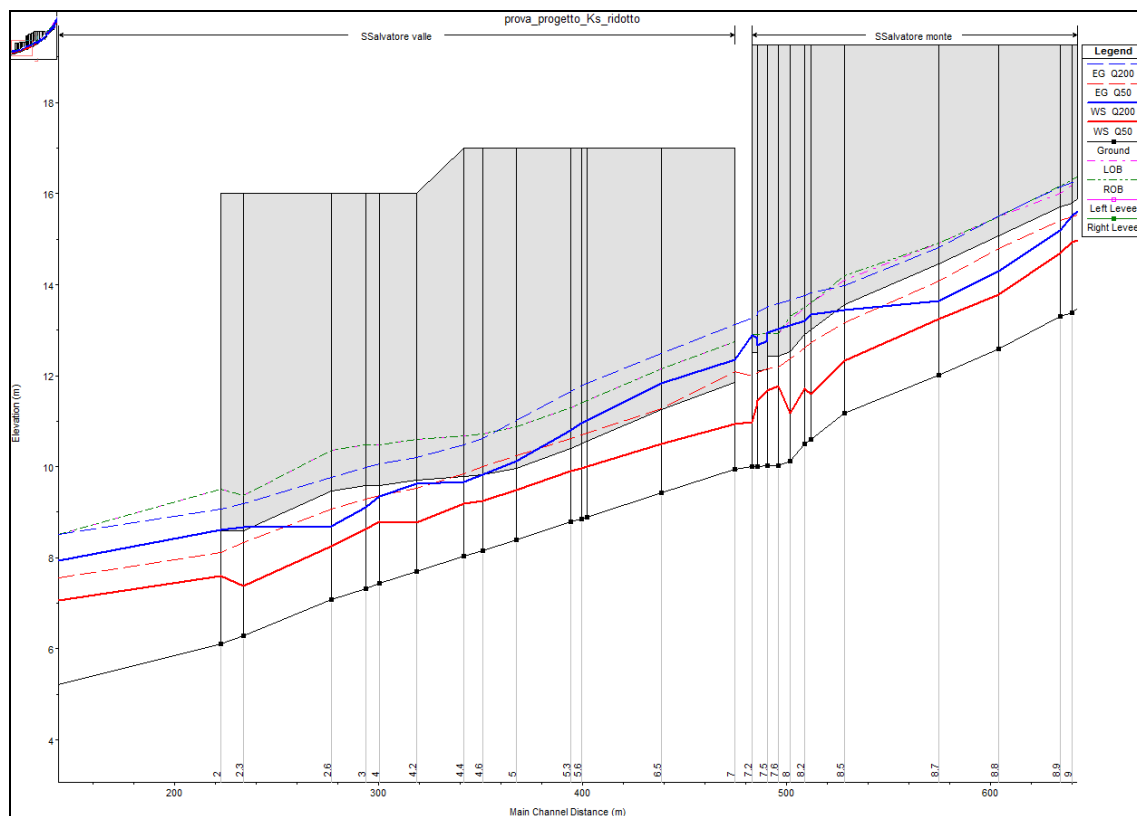
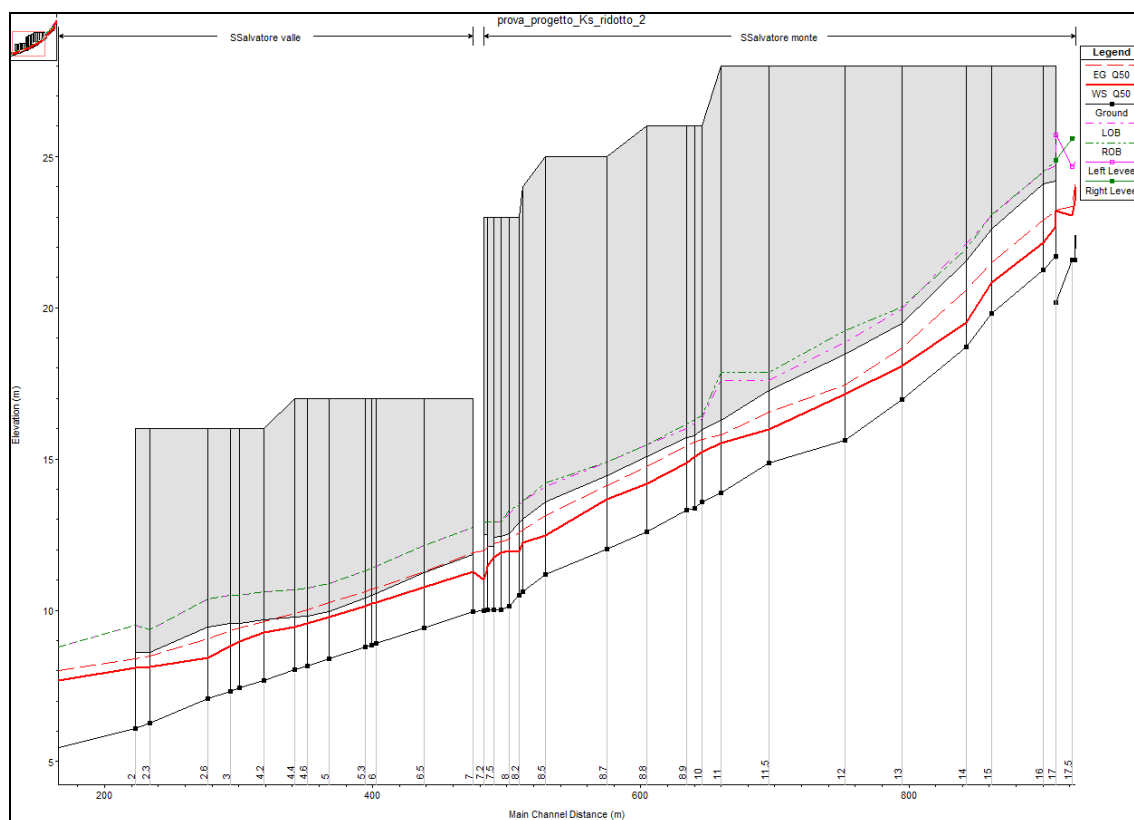


figura 16: profilo modello di progetto fossato San Salvatore con  $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  - fuori scala

Tale modello mostra come nel fossato di San Salvatore continui ad essere garantito il contenimento della portata cinquantennale con un franco idraulico minimo di circa 50 cm nonché sostanzialmente del suo carico di energia totale. La portata duecentennale presenterebbe qualche interferenza con la struttura della copertura in alcuni tratti, sebbene continuerebbe di fatto ad essere contenuta, stante la resistenza della nuova struttura ad un carico di pressione assai limitato come quello mostrato dal modellizzatore idraulico.

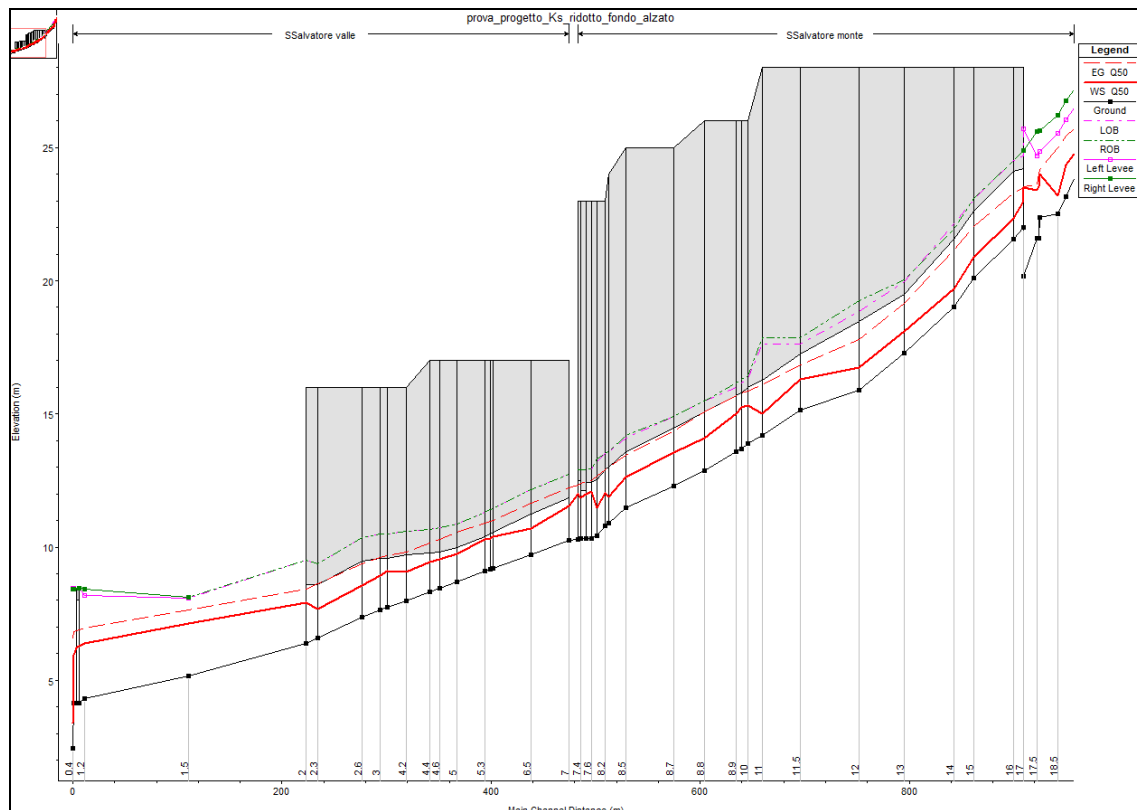
La portata cinquantennale risulterebbe peraltro contenuta anche con un  $K_s$  pari a soli  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , ancora con un franco idraulico minimo pari a 20 cm, a conferma della stabilità della modellazione di progetto proposta.



**figura 17:** profilo modello di progetto fossato San Salvatore con  $K_s = 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  - fuori scala

## Presenza materiale solido sul fondo alveo

Associando infine il modello con  $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ad un innalzamento del fondo alveo di 30 cm distribuito lungo tutto il tratto del fossato San Salvatore a partire dall'imbocco della tombinatura sino allo sfocio del fiume Entella (questo finalizzato a simulare la presenza di materiale solido depositato in copertura) la portata cinquantennale continuerebbe ad essere contenuta, con un franco idraulico minimo poco superiore ai 10 cm.



**figura 18:** profilo modello di progetto fossato San Salvatore con  $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  e fondo alveo alzato di 30 cm - fuori scala

## Valutazione curve esistenti

Il tratto analizzato del rio Pessa presenta un andamento sinuoso, ma senza particolari curvature, a meno ovviamente dell'immissione nel fossato San Salvatore.

Per quanto attiene il fossato di San Salvatore, l'unica curva degna di attenzione è ritenuta quella nel tratto di monte in corrispondenza della sezione idraulica 14.

Vengono analizzati i sovralzi che si verificano in relazione alla piena duecentennale e cinquantennale: per entrambe le portate il numero di Froude è superiore a 2 e vengono dunque applicate le formulazioni proposte da Marchi per correnti veloci:

$$\sin \beta = \frac{1}{Fr_1}$$

$$tg(\delta) = \frac{b}{\left(r_m + \frac{b}{2}\right) tg(\beta)}$$

con:

$Fr_1$  = numero di Froude corrente indisturbata

$b$  = larghezza media sezione

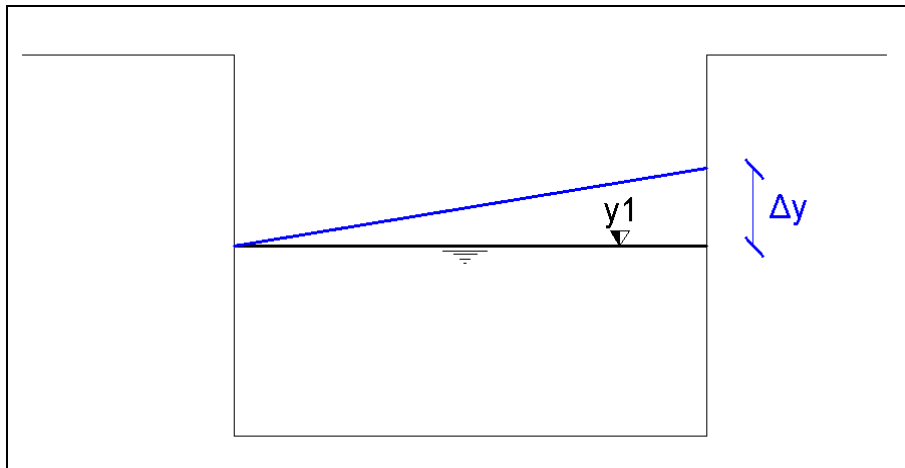
$r_m$  = raggio medio curvatura

Si può dunque determinare il livello massimo assunto della corrente in esterno curva  $y_{max}$  in funzione del livello medio della corrente  $y_1$  come:

$$y_{max} = y_1 Fr_1^2 \sin^2\left(\beta + \frac{1}{2} \delta\right)$$

Dunque il sovralzo del pelo libero risulterà essere pari a:

$$\Delta y = y_{max} - y_1$$



**figura 19:** schematizzazione sovrallzo in esterno curva per correnti veloci

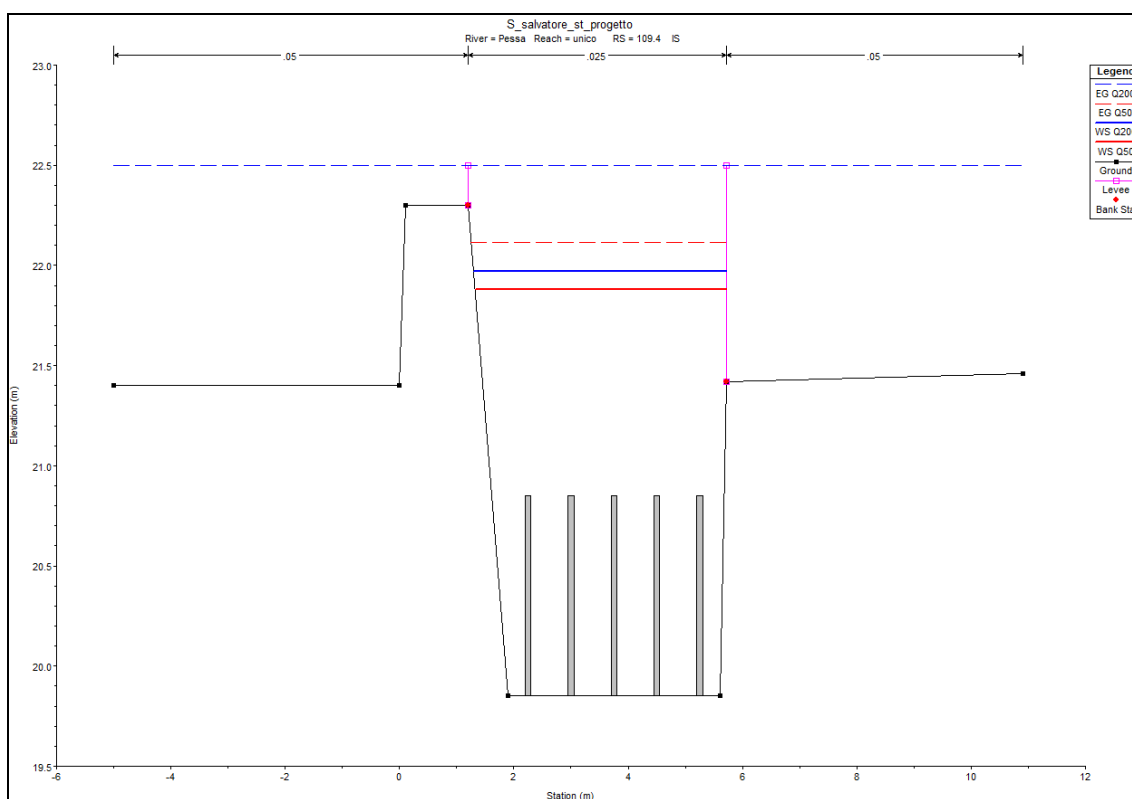
Applicando le formulazioni di cui sopra, si ottengono valori di sovrallzo ben al di sotto del metro, contro un franco idraulico pari a due metri per la piena duecentennale e ancora superiore per quella cinquantennale; anche in caso di deposito di materiale solido in copertura dunque non si verificherebbero problematiche in corrispondenza di tale sezione.

Tr	sezione	b	y	r	Fr	Beta	Delta	DY
[anni]	[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[rad]	[rad]	[m]
50	14	5.00	0.61	25.00	2.48	0.42	0.39	0.62
200	14	5.00	0.86	25.00	2.35	0.44	0.37	0.76

## Modello idraulico a pettini selettivi e vasche pieni

Sempre a partire dal modello idraulico di progetto, si è poi valutata la stabilità della modellazione nella configurazione con pettini selettivi e vasche di sedimentazione totalmente pieni, con particolare riferimento ai manufatti esistenti immediatamente a monte dell'imbocco delle coperture sia del rio Pessa che del fossato San Salvatore.

Tali manufatti, se manutenzionati con regolarità in modo da garantirne la piena funzionalità in caso di necessità, permettono già ad oggi di trattenere una quota parte di materiale detritico alluvionale evitando che questo vada a confluire in copertura, parzializzando le sezioni.

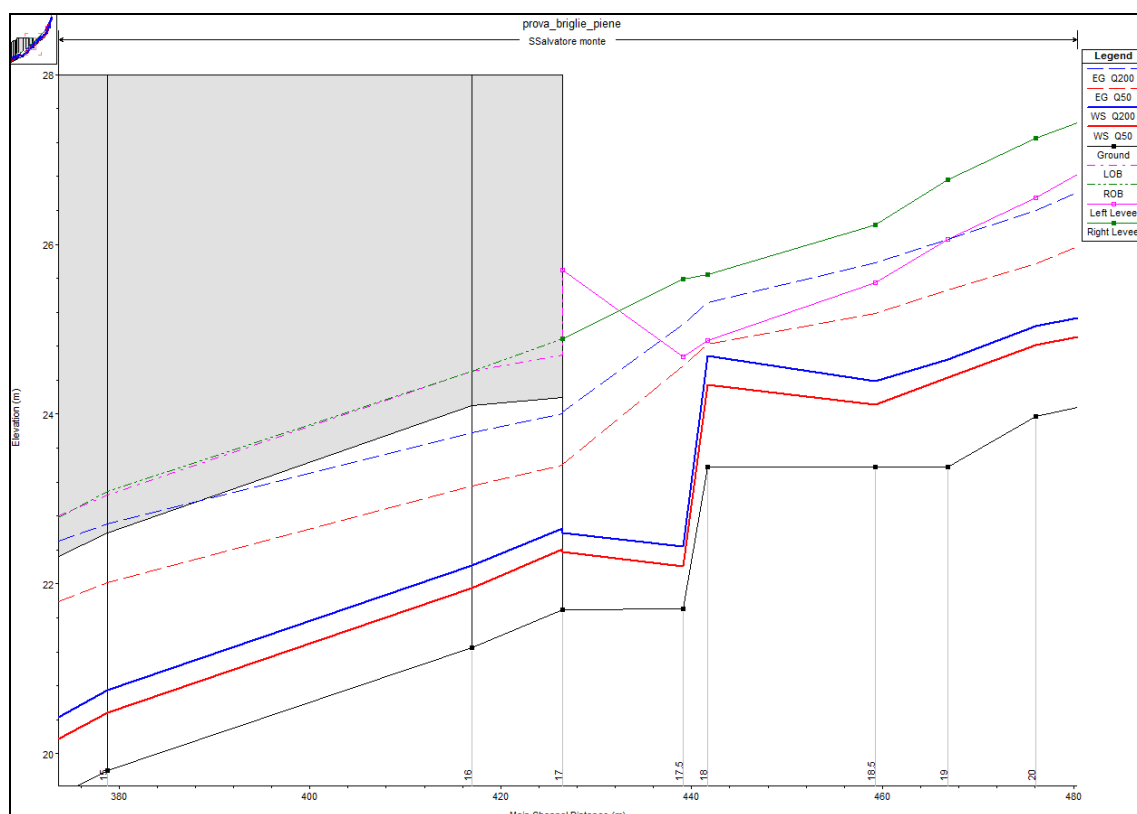


**figura 20:** sezione idraulica pettine selettivo nella sua configurazione "pulita" - fuori scala

Le suddette opere provocheranno forzatamente un limitato rigurgito verso monte, rigurgito comunque ampiamente contenuto all'interno dei limiti arginali.

Al fine di verificare che, anche in caso di parziale o totale occlusione delle opere medesime, nonché delle vasche di sedimentazione ubicate subito a valle esse non andassero a creare un ostacolo rilevante al deflusso della corrente, si è proceduto a costruire un modello idraulico a pettini e vasche totalmente interrati, con nuove quote di fondo alveo di fatto orizzontali verso monte sino ad intercettare la quota di fondo originaria.

Tale modellazione mostra come non si riscontrino particolari problematiche, anzi entrambi i tratti, soprattutto per quanto riguarda le vasche di sedimentazione, presentano quote di fondo maggiormente regolari in tale configurazione e dunque le piene defluiscono all'imboccatura dei tratti coperti con franchi idraulici maggiori rispetto allo stato attuale: in particolare nel fossato San Salvatore si arriva ad ottenere un franco idraulico all'imbocco della copertura superiore a 150 cm, con il contenimento anche del carico.

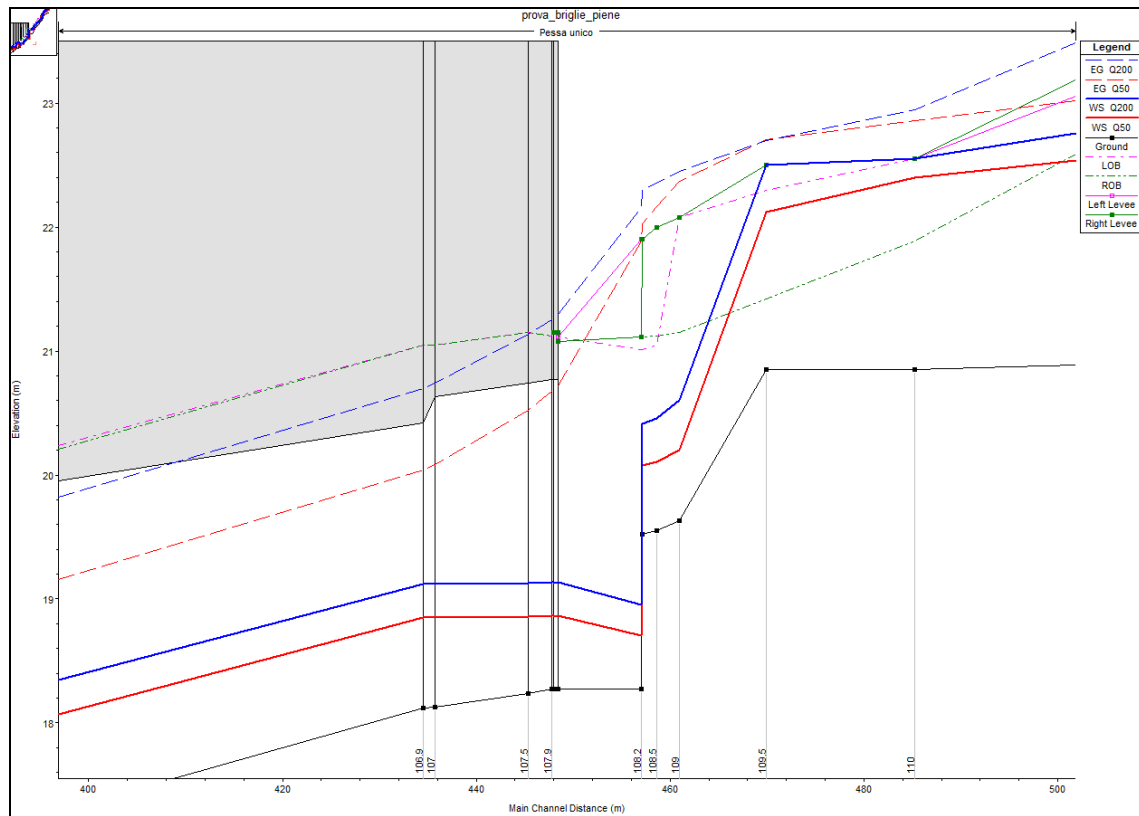


**figura 21:** profilo idraulico fossato San Salvatore modello a pettini selettivi e vasche di sedimentazione piene - fuori scala

Anche per quanto attiene invece il rio Pessa, con tale configurazione si raggiunge un franco idraulico all'imbocco superiore ai 150 cm per tutto il tratto interessato dai lavori di somma urgenza.

Si segnala come i parapetti previsti in corrispondenza del pettine selettivo di monte sono stati dimensionati in altezza in modo da contenere il rigurgito della piena duecentennale anche in caso di pettine totalmente occluso sino al suo limite superiore.





**figura 22:** profilo idraulico rio Pessa modello a pettini selettivi e vasche di sedimentazione piene - fuori scala

## Analisi con fiume Entella

Così come già riportato nell'ambito della presente relazione idraulica, si ritiene che la modellazione più realistica di una piena del fossato San Salvatore sia quella qui proposta, ovvero non considerando il fiume Entella come in piena: stante infatti il bacino idrografico di dimensione limitata e l'elevata acclività dei versanti, il tempo di raggiungimento del picco di piena per il fossato San Salvatore risulta assai limitato (nell'ordine di qualche decina di minuti dall'inizio delle precipitazioni), tempo in cui (ovviamente a meno di un lungo periodo di perturbazioni su tutto il suo bacino) l'Entella risulta essere sostanzialmente ancora in condizioni magra, o quanto meno difficilmente presenterà un livello idrico superiore a 3 metri, livello a partire dal quale si inizia a registrare una forte interazione tra le due piene.

Nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica si è comunque proceduto a inserire all'interno della modellazione idraulica anche la condizione al contorno di valle relativa alla piena del fiume Entella.

Come già descritto in precedenza, al fine di scegliere i livelli di piena del fiume Entella nelle sezioni di interesse si sono consultati prima lo studio bidimensionale ad oggi inserito nel vigente Piano di Bacino e quindi lo "*studio di fattibilità per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario - infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate*", studio fornito dalla Regione Liguria - Dipartimento Ambiente - Settore Assetto del Territorio, con nota prot n° PG/2015/196539 del 10/11/2015: tale studio non risultava (e presumibilmente non risulta tutt'ora) ancora validato né tantomeno approvato, ma rappresenta certamente uno sviluppo rispetto a quanto tutt'ora vigente con una modellazione bidimensionale maggiormente sofisticata.

Nell'ambito degli elaborati a noi forniti sono indicati i livelli idraulici relativi alla sola portata di tempo di ritorno duecentennale sia nella condizione attuale che a seguito delle opere a progetto per il contenimento della piena del fiume Entella.

Immediatamente a valle dello sfocio del fossato San Salvatore risulta presente la sezione 16 del fiume Entella, per la quale si sono identificati i seguenti livelli:

livello attuale ( $Q_{Tr} = 200$  anni) = 9.66 m

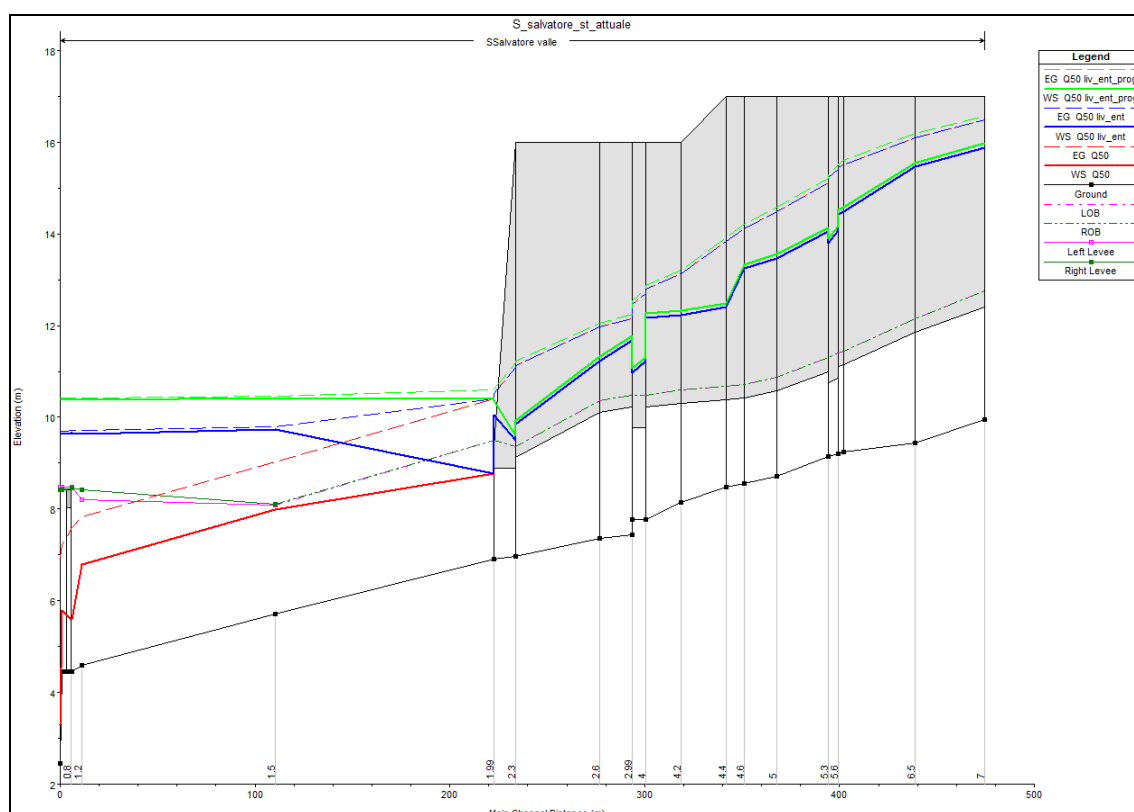
livello di progetto ( $Q_{Tr} = 200$  anni) = 10.39 m

Dal confronto tra le quote lungo la viabilità provinciale (S.P. n°33) dello studio di fattibilità sopra citato e quelle rilevate dagli scriventi, si è potuto desumere come analogamente a quanto analizzato in precedenza, il sistema di riferimento sia assai simile (differenze nell'ordine dei 20 cm): si è dunque anche qui di inserire nei modelli idraulici i livelli assoluti ricavati dallo studio di fattibilità, il tutto a favore di sicurezza.

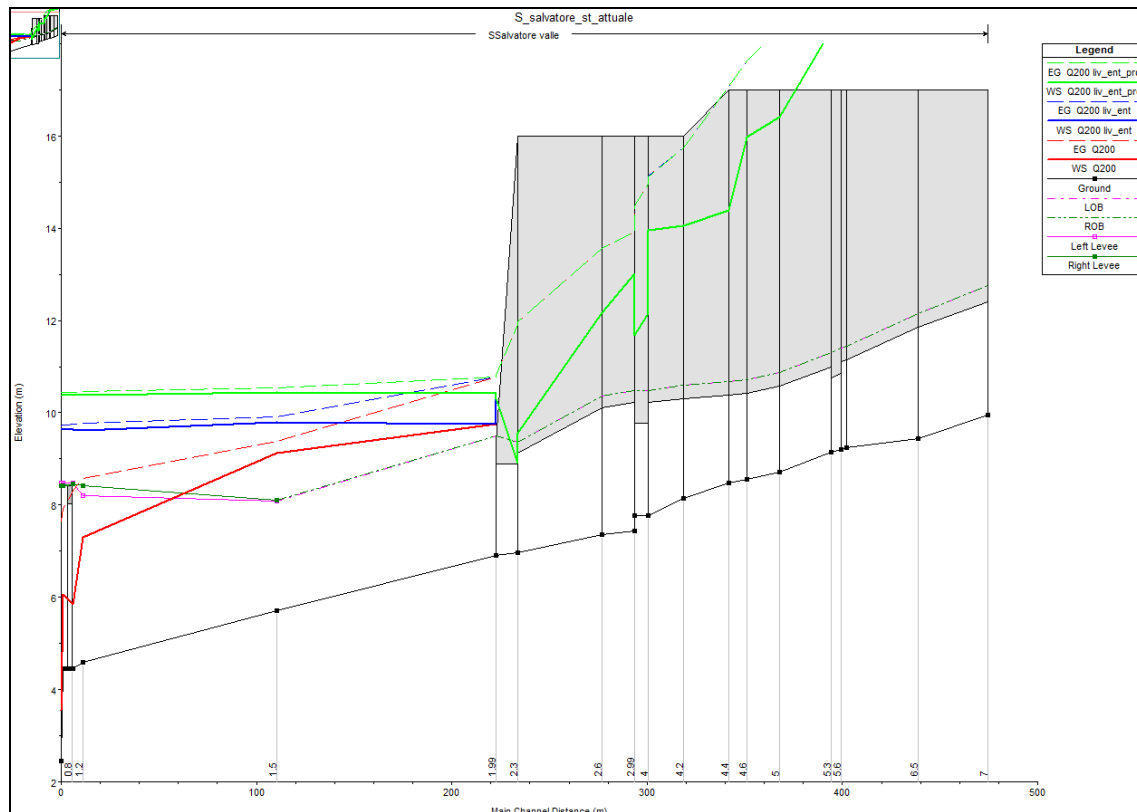
Considerando che tale studio oggettivamente risulta essere maggiormente approfondito e dettagliato rispetto a quanto ad oggi vigente e che comunque il livello di stato attuale dello studio ad oggi vigente risulta assai simile allo stato di progetto nel nuovo studio, si sceglie ad oggi di inserire i valori più recenti quale condizione al contorno di valle della modellazione idraulica proposta. Come noto e in accordo con la carta fasce vigente dell'area anche nella configurazione attuale le quote della piena risultano essere superiori alle quote della viabilità S.P. n°33 - corso Risorgimento, con ovvie e pesantissime interferenze con il deflusso del fossato San Salvatore.

Fermo restando che le combinazioni possibili di piena risultano molteplici (Q 50 - 200 - 500 fossato San Salvatore attuale e progetto associabili a Q 50 - 200 - 500 fiume Entella attuale e progetto), ad oggi si dispone soltanto dei due livelli duecentennali del fiume Entella (attuale progetto) e sono dunque questi due livelli che vengono inseriti come condizioni al contorno di valle.

Il modello di stato attuale mostra come in caso di piena cinquantennale e duecentennale del fossato San Salvatore la contemporanea piena dell'Entella porti ad effetti che si risentono sino circa in corrispondenza della viabilità provinciale.



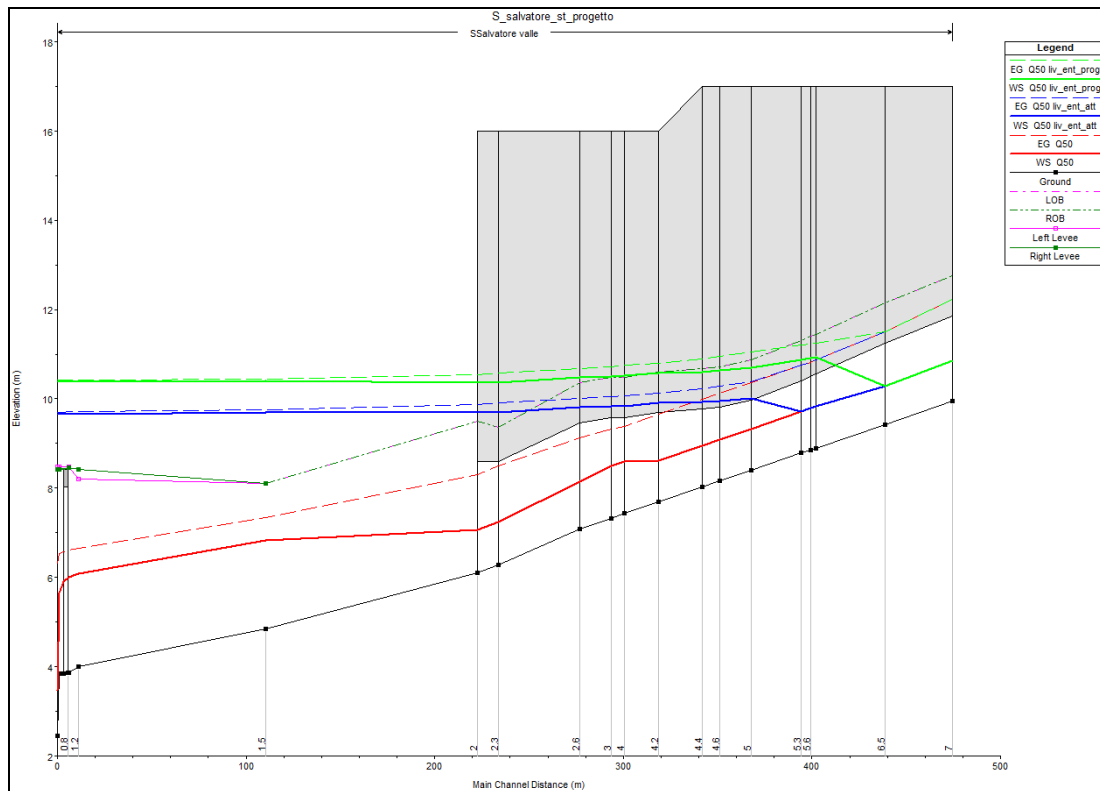
**figura 23:** profilo piena  $T_r = 50$  anni attuale fossato San Salvatore con diverse condizioni al contorno di valle - in **rosso** non considerando Entella - in **blu** livello Q200 Entella attuale - in **verde** Q200 Entella progetto - fuori scala



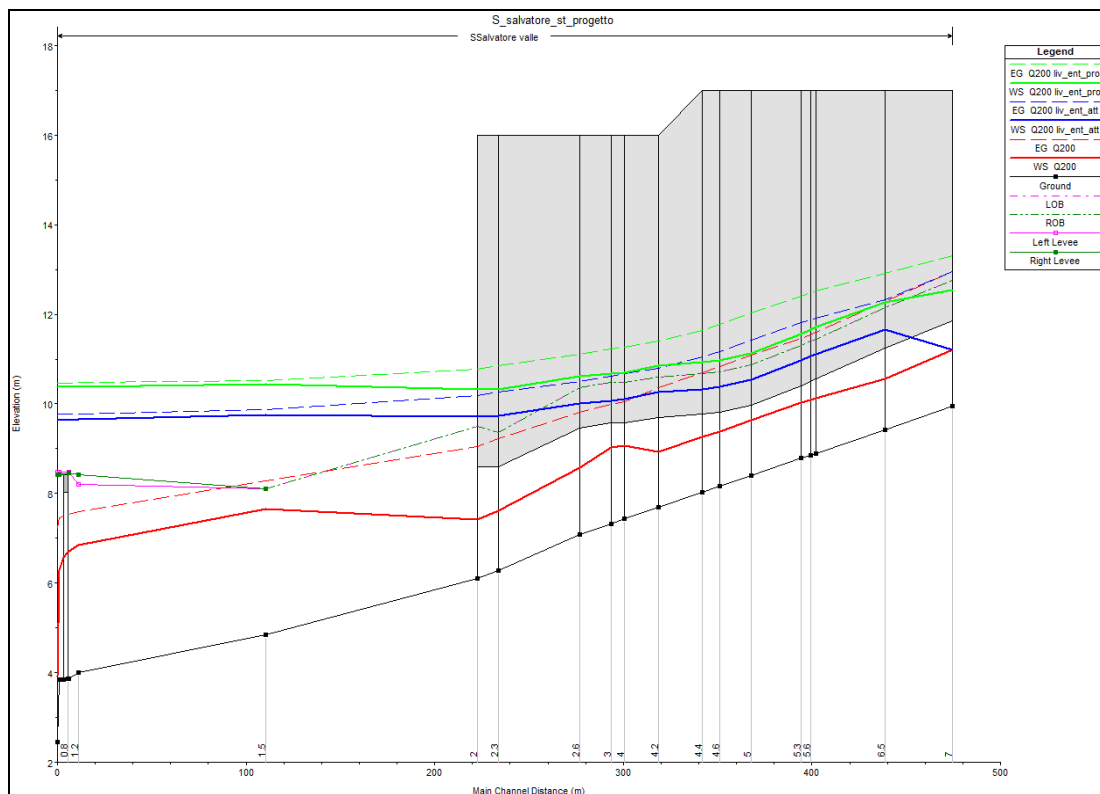
**figura 24:** profilo piena  $Tr = 200$  anni attuale fossato San Salvatore con diverse condizioni al contorno di valle - in **rosso** non considerando Entella - in **blu** livello Q200 Entella attuale - in **verde** Q200 Entella progetto - fuori scala

La stessa verifica è stata effettuata sul modello di progetto - opere di mitigazione del rischio idraulico, con effetti del fiume Entella estesi sostanzialmente sino alla confluenza tra il rio Pessa e il fossato San Salvatore.

L'effetto risulta ancor più evidente rispetto a quanto riscontrabile nel modello di stato attuale semplicemente perché il modello di stato attuale mostra, nel tratto compreso tra confluenza e viabilità provinciale, livelli di piena del fossato San Salvatore già più elevati del livello idrico del fiume Entella, mentre nel modello di progetto il fossato San Salvatore risulta adeguato per le portate proprie.



**figura 25:** profilo piena  $Tr = 50$  anni progetto fossato San Salvatore con diverse condizioni al contorno di valle - in **rosso** non considerando Entella - in **blu** livello Q200 Entella attuale - in **verde** Q200 Entella progetto - fuori scala



**figura 26:** profilo piena  $Tr = 200$  anni progetto fossato San Salvatore con diverse condizioni al contorno di valle - in **rosso** non considerando Entella - in **blu** livello Q200 Entella attuale - in **verde** Q200 Entella progetto - fuori scala

Si segnala peraltro che in corrispondenza del tratto terminale del fossato di San Salvatore lo "studio di fattibilità per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario" prevede un limitato allargamento delle sezioni idrauliche, un abbassamento del fondo alveo e l'innalzamento di parapetti con colmo alla quota di 10,93 m, il tutto finalizzato a contenere il livello del fiume Entella impedendo che esso possa entrare nell'alveo a cielo aperto del fossato di San Salvatore (proprio in corrispondenza del tratto terminale del fossato San Salvatore è prevista peraltro la realizzazione di una rotonda carrabile).

Le opere previste nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica risultano di fatto tutte compatibili con l'eventuale realizzazione delle opere di cui al sopra citato studio di fattibilità (allargamento delle sezioni e abbassamento del fondo alveo sono previsti anche nell'ambito della presente progettazione) e le nuove arginature saranno già predisposte per poter sostenere l'eventuale innalzamento di parapetti.

Tuttavia, anche le opere previste nel sopra citato studio di fattibilità (limitate all'adeguamento del tratto terminale a cielo aperto del fossato) non consentirebbero una messa in sicurezza definitiva del fossato di San Salvatore, permanendo tutte le criticità del tratto coperto compreso tra la confluenza del rio Pessa e la viabilità provinciale.

## *Valutazioni preliminari sul trasporto solido*

Nel presente capitolo della relazione vengono proposte alcune preliminari considerazioni in merito al trasporto solido che interessa i due corsi d'acqua in esame.

Così come riportato in precedenza, ad oggi le sezioni in copertura si presentano sostanzialmente con alcuni tratti caratterizzati da modesti accumuli di materiale detritico; l'ultima "pulizia" dei tratti in copertura è avvenuta in regime di somma urgenza a seguito dell'evento alluvionale del novembre 2014, con particolare riferimento al tratto terminale in copertura del fossato di San Salvatore a valle della confluenza con il rio Pessa.

Il comune ha inoltre proceduto recentemente (primavera 2017) ad esecuzione di lavori di svuotamento/pulizia della vasca di sedimentazione esistente immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura del rio Pessa nonché alla pulizia con rimozione di materiale solido accumulato, intervento cofinanziato dalla Regione Liguria come da nota PG/2016/224672 del 10/01/2016 con la quale si comunicava che con D.G.R. n° 886/2016 era stato approvato il Programma annuale di interventi di manutenzione ordinaria relativo alla difesa del suolo. Sempre nell'ambito del medesimo intervento si è proceduto ad effettuare un diffuso taglio vegetazionale in alveo lungo il corso del fossato San Salvatore.

Si ricorda peraltro come entrambe le coperture (fossato San Salvatore e rio Pessa) siano precedute già ad oggi da due pettini selettivi e altrettante vasche di sedimentazione, elementi che, ovviamente se manutenzionati con regolarità in modo da mantenerne la funzionalità, permettono l'accumulo di una discreta quantità di materiale solido che così evita di confluire in copertura.

Si sottolinea ancora che a seguito dell'evento alluvionale del novembre 2014, il comune di Cogorno ha provveduto in regime di somma urgenza ad allargare l'imbocco della copertura del rio Pessa, aumentando dunque anche la volumetria della vasca di sedimentazione preesistente, da circa 20 mc a circa 27 mc, ai quali si aggiungono i circa ulteriori 60 mc della vasca del fossato di San Salvatore.

Inoltre, sempre a seguito dell'evento alluvionale del novembre 2014 si sono realizzati interventi lungo alcuni affluenti del rio Pessa, anche in questo caso con creazione di alcune vasche e pettini selettivi il tutto allo scopo di diminuire l'apporto di materiale solido verso valle.

Nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica, comunque, gli interventi sul fondo alveo risultano piuttosto limitati: lungo il tratto a cielo aperto del fossato San Salvatore a monte della copertura non si prevedono interventi, né tantomeno nel suo tratto in copertura sino alla confluenza con il rio Pessa.

Lungo il corso del rio Pessa, per il tratto a cielo aperto si prevede sostanzialmente la sostituzione della scarpata arginale in destra idraulica con un muro in c.a. e dunque una verticalizzazione della sponda: nel tempo sarà necessario periodicamente monitorare lo stato del rio ed eventualmente procedere ad interventi di manutenzione, peraltro in pieno accordo con quanto accade già oggi (si ricorda che il tratto è stato oggetto di pulizia proprio nella primavera 2017).

Per quanto attiene il tratto coperto del rio Pessa non si prevedono interventi.

Si sottolinea peraltro come nei tratti di monte a cielo aperto dei due corsi d'acqua la pendenza media sia notevole, nell'ordine del 3.5% ÷ 4% e dunque risulta notevole anche la capacità di trasporto dei rivi.

La pendenza media nei tratti coperti a monte della confluenza diminuisce, mantenendo comunque valori significativi trattandosi di fatto già di due tratti urbani (attorno a 1.8% per il rio Pessa e 2.7% per il fossato San Salvatore)

L'unico tratto in cui si andrà a riprofilare e/o regolarizzare il fondo alveo è il tratto di fossato San Salvatore a valle della confluenza con il rio Pessa: tale tratto è e continuerà ad essere in massima parte tombinato con fondo alveo cementato e dunque ovviamente non soggetto a fenomeni erosivi. Tale riprofilatura però a monte parte da valori prossimi allo 0, per poi arrivare a circa 60 cm in corrispondenza dello sfocio nel fiume Entella.

La soluzione prevista a progetto aumenta dunque lievemente la pendenza attuale del tratto (mediamente da 1.2% attuale a 1.5% di progetto), con conseguente maggiore capacità "autopulente" della copertura in caso di accumulo di materiale solido.

L'unico tratto a fondo naturale oggetto di abbassamento risulta essere il tratto a cielo aperto a valle dello sbocco della copertura: viene proposta infatti la diminuzione del salto di fondo esistente di circa 60 cm e sostanzialmente riportando verso monte un profilo con medesima pendenza del fondo di stato attuale ritenuto di fatto in condizione di equilibrio e dunque presumibilmente "mantenibile" nel tempo.



Si sottolinea ancora come ad oggi il rio Pessa ed il fossato San Salvatore non siano soggetti nella vita ordinaria a grandi apporti di materiale solido proveniente da monte. A seguito di eventi di piena particolarmente significativi si dovrà procedere a sgomberare eventuale materiale solido accumulato, in continuità con quanto già avviene nella configurazione odierna (sebbene ovviamente pendenza maggiore e soprattutto larghezze e altezze nette maggiori porteranno ad accumuli di materiale significativamente inferiori rispetto a quanto in essere).

Di seguito si riportano alcune considerazioni finalizzate a stimare un ipotetico sedimentogramma relativo ad un evento di piena significativa per i tratti di monte dei due corsi d'acqua (bacini e portate di picco pressoché identiche e dunque medesima schematizzazione), nonché per il tratto di valle del fossato San Salvatore.

Le considerazioni saranno riferite ad un evento di piena cinquantennale, ritenuto quello maggiormente significativo.

I calcoli saranno riferiti ai tratti in copertura e più nello specifico alle condizioni di progetto (coincidenti peraltro con lo stato attuale per i tratti a monte confluenza mentre a valle l'allargamento provoca modifiche al moto). Si sottolinea peraltro come nella configurazione di stato attuale in diverse sezioni la piena cinquantennale interferisce pesantemente con la tominatura esistente e dunque le considerazioni sul trasporto solido avrebbero ben poca rispondenza con la realtà in caso di piena significativa.

In particolare, si è in primis valutato il diametro caratteristico  $d_{50}$  dei sedimenti (considerato pari a 5 cm a seguito di sopralluoghi in situ e in analogia con rivi di simili caratteristiche) e la loro densità  $\rho_s$  (considerata pari a 2650 kg/mc).

Si è dunque proceduto a stimare la portata solida  $Q_s$  come:

$$Q_s = \int^b q_s dy$$

dove  $q_s$  rappresenta la portata solida per unità di larghezza  $b$  dell'alveo.

$q_s$  viene valutata come

$$q_s = \phi \sqrt{(s-1)gd^3}$$

La funzione  $\phi$  è stata espressa con la formulazione di Meyer - Peter Muller

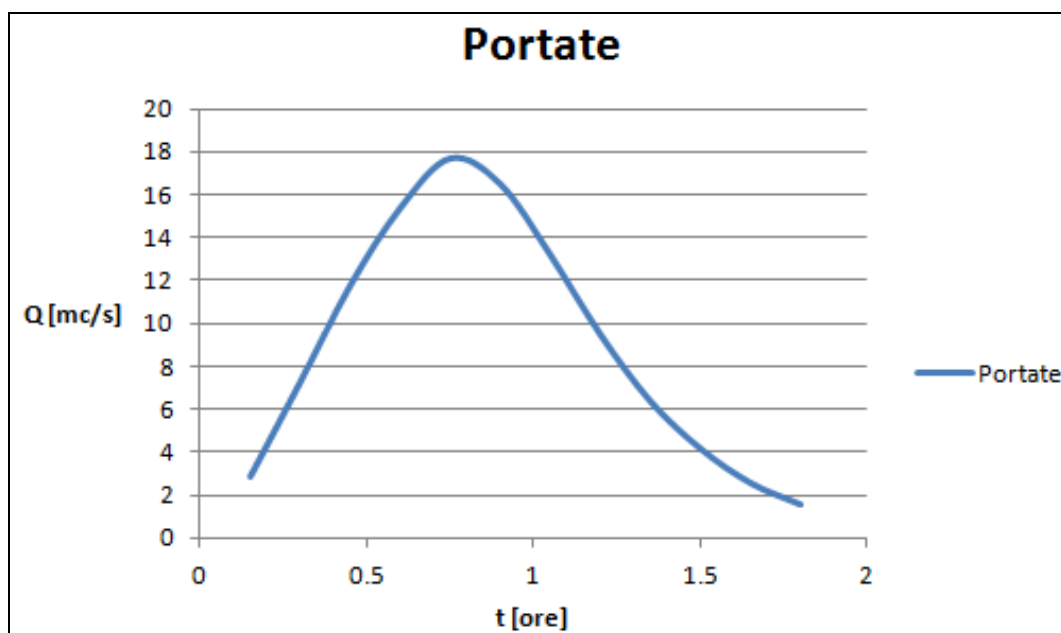
$$\phi = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{3}{2}}$$

dove  $\tau_{*c}$  è la tensione adimensionale critica valutata con la formula di Brownlie e  $\tau_*$  è la tensione tangenziale adimensionale propria della sezione considerata e dunque direttamente dipendente da tutti i parametri del moto.

### Rio Pessa

Come già riportato in precedenza, al fine di effettuare i calcoli per la valutazione del sedimentogramma è stato considerato l'evento di piena cinquantennale, discretizzato per semplicità in una dozzina di valori di portata, uno ogni circa 10 minuti.

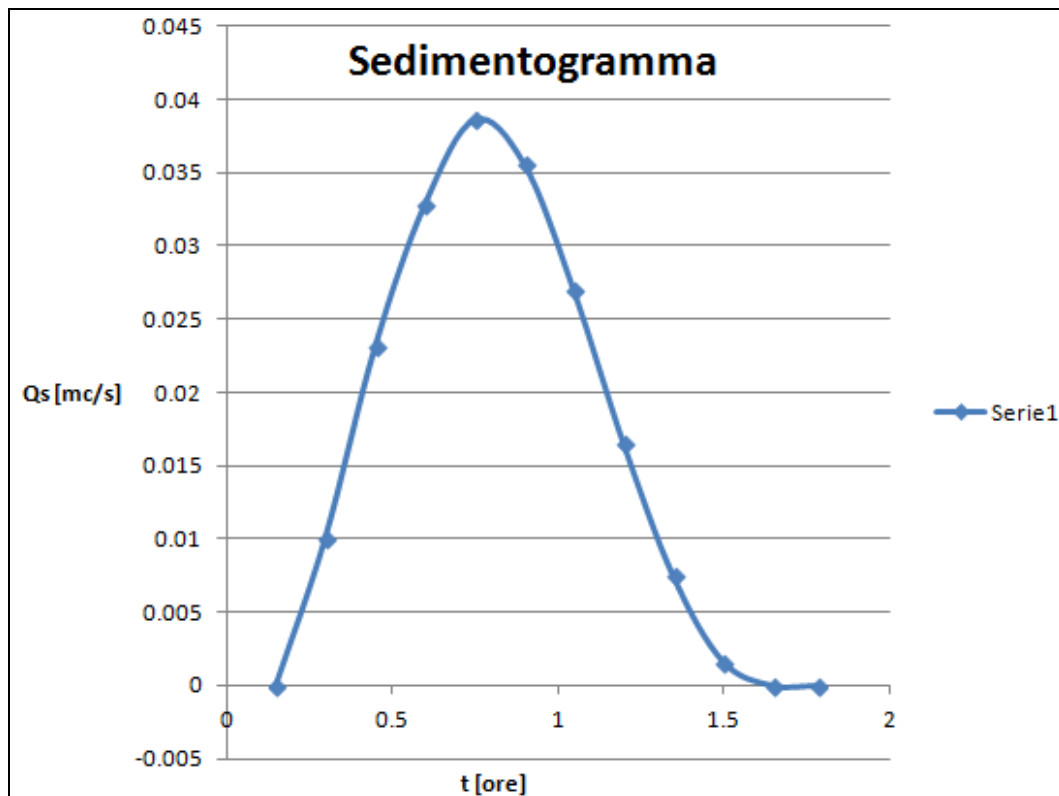
Per quanto attiene invece le caratteristiche geometriche dell'alveo, si è considerata una sezione rettangolare di larghezza pari a 5 metri, pendenza dell'alveo pari all' 1.8 % e valore di scabrezza  $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (tutti questi valori sono caratteristici del tratto di rio Pessa in copertura in presenza di materiale detritico).



**figura 27:** idrogramma discretizzato rio Pessa -  $Tr = 50$  anni

Andando a valutare le formulazioni inerenti la valutazione della portata solida, si può verificare come il trasporto solido al fondo si inneschi in corrispondenza di una portata liquida pari o superiore a circa 3 mc/s.

L'analisi del sedimentogramma permette di valutare un valore di picco di portata solida (ovviamente in corrispondenza del picco di portata liquida) di poco inferiore a 0.40 mc/s.



*figura 28: sedimentogramma rio Pessa -  $Tr = 50$  anni*

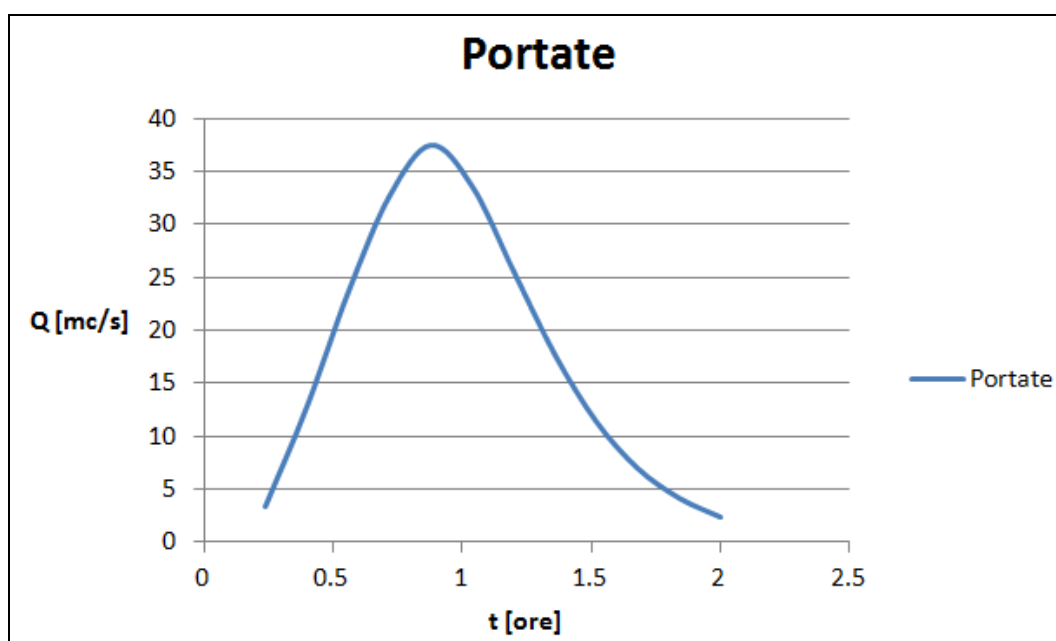
Il volume di materiale solido potenzialmente trasportato durante un evento di piena cinquantennale risulta pari a circa 100 mc. Ovviamente tale valore è da considerarsi soltanto potenziale, ovvero si potrà verificare solo se è effettivamente disponibile in alveo tale quantità di materiale detritico-alluvionale.

In ogni caso si tratta di una quantità di materiale assolutamente piuttosto ridotta e in grado di portare ad accumuli assolutamente ridotti anche in caso di deposito nelle sezioni di valle.

## Fossato San Salvatore

La stessa analisi è stata inoltre rivolta al tratto di valle del fossato San Salvatore, sempre per una piena cinquantennale, con idrogramma discretizzato ogni circa 10 minuti

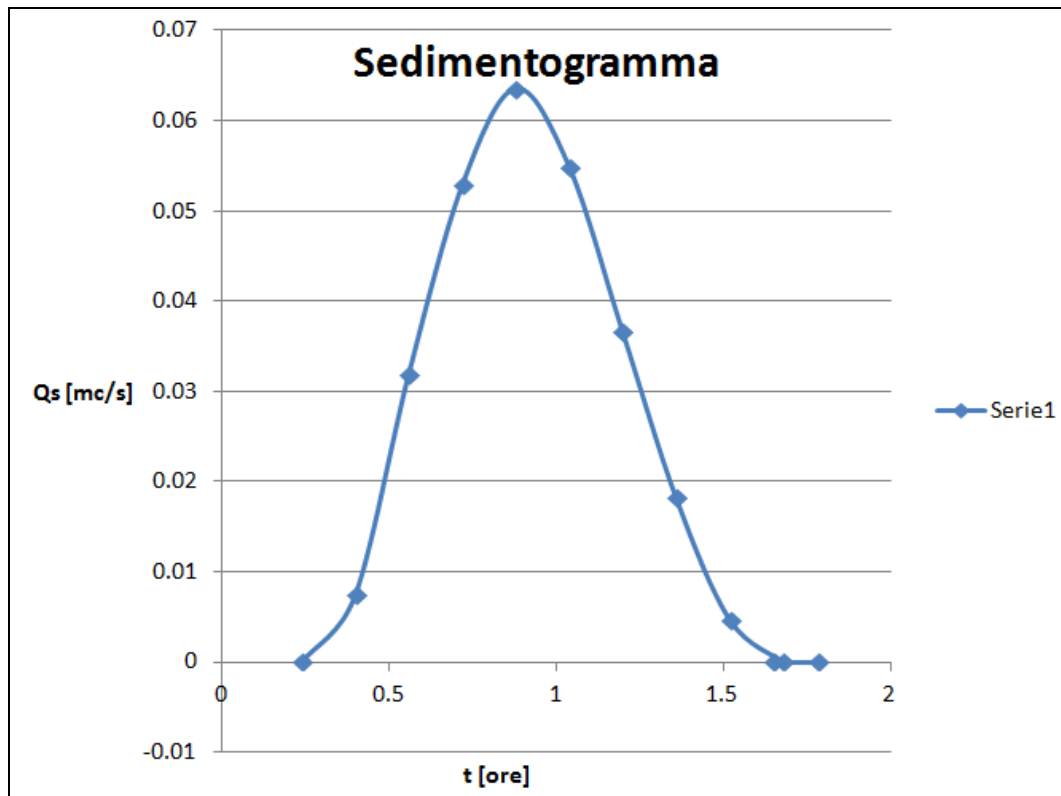
Per quanto attiene invece le caratteristiche geometriche dell'alveo, si è considerata una sezione rettangolare di larghezza pari a 9 metri (larghezza di progetto), pendenza dell'alveo pari all' 1.3 % e valore di scabrezza  $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (tutti questi valori sono caratteristici del tratto di fossato San Salvatore sino allo sfocio nel fiume Entella).



*figura 29: idrogramma discretizzato fossato San Salvatore a valle confluenza -  $T_r = 50$  anni*

Andando a valutare le formulazioni inerenti la valutazione della portata solida, si può verificare come il trasporto solido al fondo si inneschi in corrispondenza di una portata liquida pari o superiore a circa 7 mc/s.

L'analisi del sedimentogramma permette di valutare un valore di picco di portata solida (ovviamente in corrispondenza del picco di portata liquida) di poco superiore a 0.60 mc/s.



*figura 30: sedimentogramma fossato San Salvatore a valle confluenza -  $T_r = 50$  anni*

Il volume di materiale solido potenzialmente trasportato durante un evento di piena cinquantennale risulta pari a circa 150 mc. Ovviamente anche in questo caso tale valore è da considerarsi soltanto potenziale, ovvero si potrà verificare solo se è effettivamente disponibile in alveo tale quantità di materiale detritico-alluvionale.

Anche in questo caso la quantità di materiale risulta dunque piuttosto ridotta.

Si è infine andato a determinare quale possa essere in prima approssimazione e sempre per il fossato San Salvatore a valle della confluenza con il rio Pessa il diametro massimo dei sedimenti che una piena significativa può andare a "spostare" nel tratto terminale e dunque far defluire sino al fiume Entella.

Le tensioni tangenziali derivanti dal flusso della corrente sono ovviamente dipendenti dalla quantità di portata transitante in alveo.

I diametri limite di trasporto al fondo del tratto terminale sono i seguenti:

<u>portata liquida Q</u>	<u>diametro massimo trasporto solido</u>
3 mc/s	3 cm
5 mc/s	4 cm
10 mc/s	5.5 cm
15 mc/s	7 cm
25 mc/s	9 cm
35 mc/s	10.5 cm

Si può dunque sostenere che nella normale vita del torrente si va a creare una sorta di "corazzamento" dell'alveo, con i sedimenti più piccoli che vengono portati via dalle piene ordinarie, mentre i sedimenti più grandi rimangono sul fondo in attesa di una piena particolarmente significativa che potrà "pulire" maggiormente il tratto.

A titolo informativo si segnala come nel tratto analizzato la portata cinquantennale nel tratto focivo risulta nell'ordine dei 35 mc/s, mentre la portata indice ( $Tr = 2,9$  anni) è pari a circa 12 mc/s. Dunque piene da 5 mc/s o inferiori sono da considerarsi assolutamente frequenti!

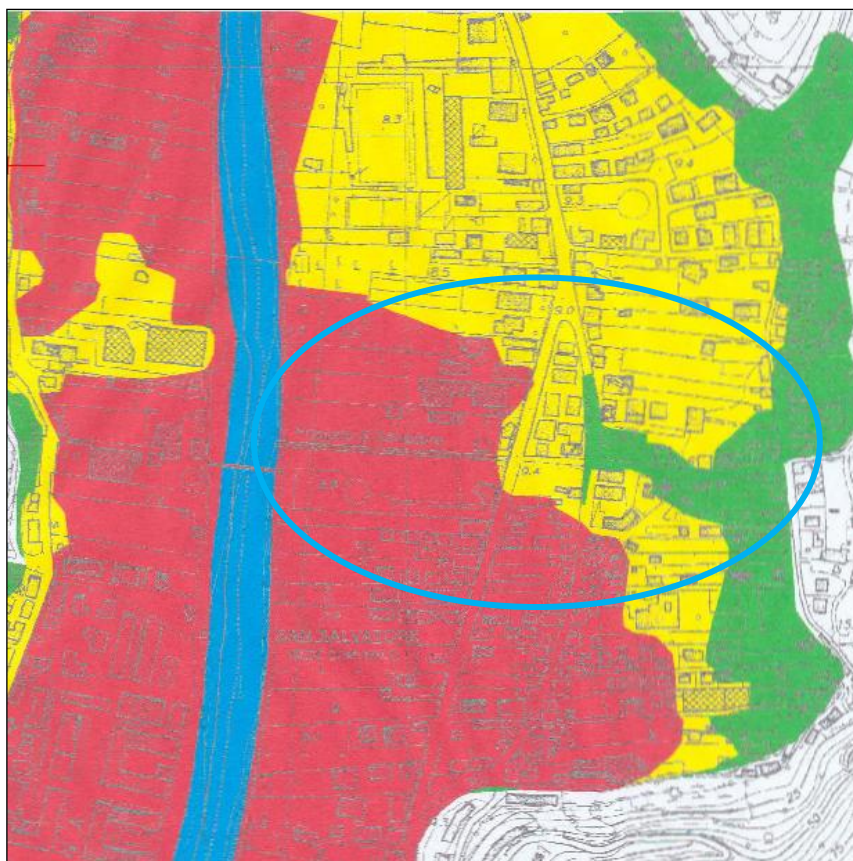
Nelle successive fasi progettuali sarà possibile, se ritenuto necessario, procedere a campagne di campionatura del materiale solido presente a monte andando poi ad effettuare analisi morfodinamiche più dettagliate.

### *Stima aree messe in sicurezza a seguito degli interventi*

Nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica si è inoltre proceduto ad effettuare una stima delle aree messe in sicurezza a seguito degli interventi di mitigazione del rischio precedentemente descritti, stima che seppur di livello assolutamente preliminare possa consentire una prima analisi costi-benefici degli interventi medesimi.

Come noto la carta fasce vigente nelle aree oggetto del presente progetto preliminare deriva da una "fusione" tra le fasce derivanti dall'insufficienza idraulica propria del fossato San Salvatore e affluenti e quelle legate al deflusso del fiume Entella.

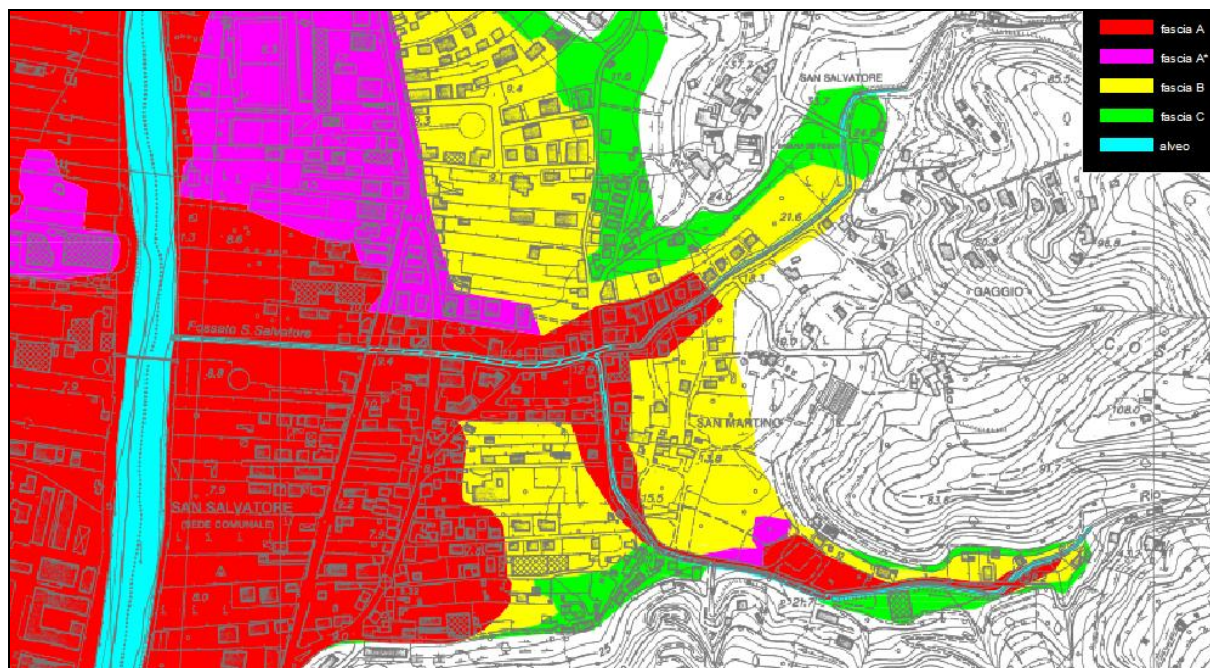
Si riporta di seguito la carta fasce (ad oggi non più vigente) rappresentativa del solo "contributo" del fiume Entella.



*figura 31: stralcio carta fasce fiume Entella - assetto precedente ad aggiornamento con deflusso fossato San Salvatore - fuori scala*

A seguito delle analisi idrauliche effettuate lungo il tratto terminale del fossato San Salvatore e del rio Pessa, è stata predisposta (dalla allora Provincia di Genova) la carta fasce ad oggi vigente e riportata di seguito.



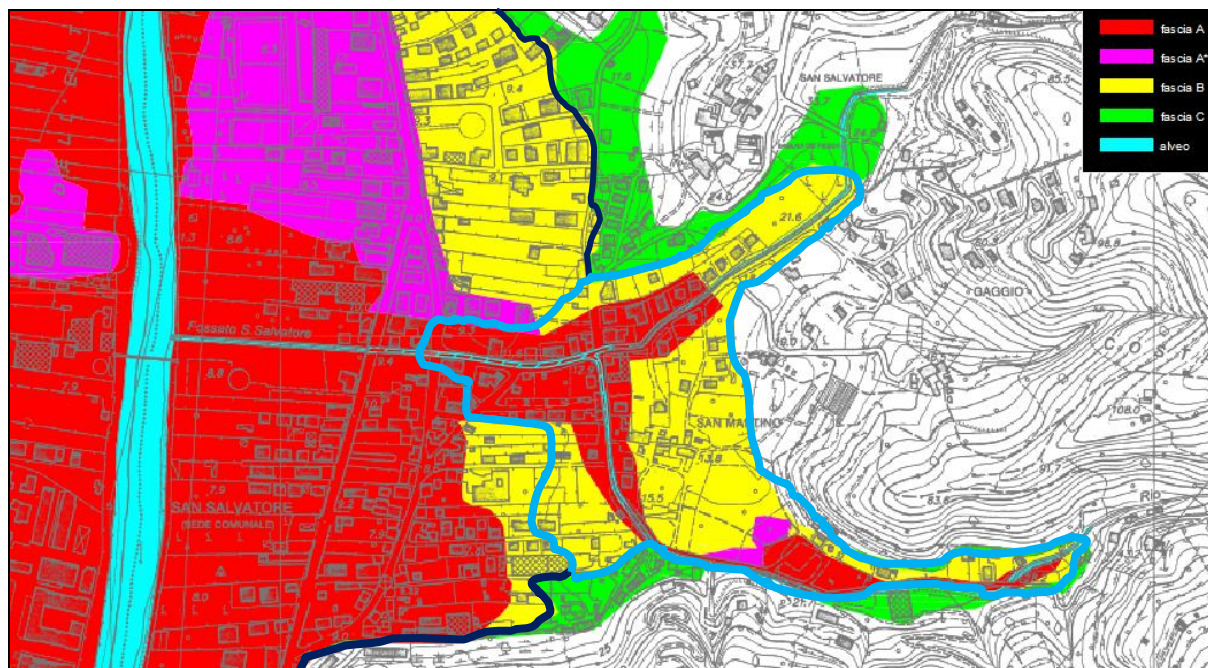


**figura 32:** stralcio carta fasce fiume Entella - assetto vigente - fuori scala

Da un confronto tra le due cartografie precedentemente riportate risulta evidente come l'intera area mappata come fascia A nell'intorno del fossato San Salvatore e del rio Pessa a monte nella viabilità provinciale sia indipendente dall'insufficienza del fiume Entella. Medesima considerazione può essere riferita alla fascia B nel tratto a monte di via Divisione Coduri. A seguito delle opere di progetto di mitigazione del rischio indicativamente tutte le aree delimitate con colore **ciano** nella figura di seguito riportata potranno essere declassificate a fascia C o al limite essere classificate come fascia B0 (mancanza franchi idraulici di legge).

Indicativamente, all'interno di tale area verranno messe in sicurezza circa 800 persone in qualità di residenti; a questi andrà aggiunto un ulteriore 15 ÷ 20 % derivante dalla presenza di varie attività commerciali esistenti nell'area. In totale pertanto si può già in questa fase ipotizzare che circa 900 ÷ 1.000 persone siano interessate dall'intervento sopra descritto. Si segnala inoltre che nell'area di cui sopra risultano presenti la *scuola elementare*, l'*asilo*, l'*oratorio di San Martino*, il *campo sportivo* nonché diverse *viabilità* di primaria importanza.





**figura 33:** stralcio carta fasce fiume Entella con indicazione di massima aree messe in sicurezza a seguito degli interventi di primo lotto (delimitazione in **ciano**) e a seguito della contestuale messa in sicurezza del fiume Entella (delimitazione in **blu**) - fuori scala

Inoltre si fa qui presente che la mappatura sopra indicata tiene conto della presenza dell'Entella in piena: in caso di piena del solo fossato San Salvatore e dei suoi affluenti, anche ovviamente le aree a valle di via Divisione Coduri risulterebbero beneficiare pesantemente degli interventi qui proposti, impedendo le fuoriuscite di portata inevitabili nella configurazione attuale. Questo accadrà anche quando verranno realizzate le opere di messa in sicurezza del fiume Entella. La zona in questione viene delimitata con colore **blu** nella figura sopra riportata.

Si stima che in questo caso (opere di mitigazione del rischio fossato San Salvatore e rio Pessa + messa in sicurezza fiume Entella) le persone che beneficeranno di detti interventi (modalità di valutazione analoga a quanto sopra) siano nell'ordine di circa 2.400 ÷ 2.500 unità. Aumenteranno anche le infrastrutture sia viarie sia di altro genere essendo più vasta la zona interessata (si ricordi che in detta zona ricadono viabilità provinciali, palazzo comunale, edificio della C.R.I., ecc.).