Comune di Moneglia

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



intervento di adeguamento idraulico dei tratti terminali del torrente San Lorenzo e del rio Sorba finalizzato alla messa in sicurezza della zona di ponente del centro storico della Città di Moneglia

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D. Lgs. 50/2016 – art. 23 – comma 5 + comma 6)

RELAZIONE IDRAULICA

TAV. 16–A

SCALA

STABS 0737

REV.	data	motivazione
A	marzo 2017	aggiornamento – nota Regione Liguria prot. n°PG/2017/35828 del 02/02/2017
	marzo 2016	prima emissione progettazione preliminare

il Responsabile del Procedimento

questo documento è di proprietà esclusiva – è proibita la riproduzione anche parziale e la cessione a terzi senza specifica autorizzazione

INDICE

Premessa *pag. 3*

Inquadramento geografico *pag. 4*

Descrizione tratto in esame *pag. 5*

Valutazioni idrauliche *pag. 6*

Analisi modello idraulico di stato attuale *pag. 10*

Analisi modello idraulico di stato di progetto *pag. 14*

Scenario scolmatore / deviatore rio Sorba *pag. 25*

Ulteriori considerazioni idrauliche *pag. 28*

Aspetti morfodinamici *pag. 33*

Valutazione effetto singoli lotti *pag. 46*

Considerazioni sulle fasce fluviali *pag. 52*

Scenari alternativi *pag. 62*

Premessa

Il presente elaborato (tavola 16-A) è da intendersi come parte integrante del progetto di fattibilità tecnica ed economica (nella sua versione originaria progetto preliminare) inerente l'"*intervento di adeguamento idraulico dei tratti terminali del torrente San Lorenzo e del rio Sorba finalizzato alla messa in sicurezza della zona di ponente del centro storico della Città di Moneglia*" (Piano Bacino D.L. 180/98 e ss.mm.ii. – ambito 17).

L'aggiornamento della progettazione viene prodotto a seguito della richiesta di integrazioni pervenuta da parte della Regione Liguria - Dipartimento Territorio - settore Assetto del Territorio con nota prot. n° PG/2017/35828 del 02/02/2017. La suddetta nota di richiesta di integrazioni è stata redatta a seguito dell'esame della progettazione preliminare da parte del Comitato Tecnico di Bacino nelle sedute del 22/12/2016 e 27/01/2017.

La presente versione del progetto (che viene denominato "progetto di fattibilità tecnica ed economica" al fine di adeguarsi al D. Lgs. 50/2016 - art. 23 - comma 5 + comma 6), oltre a confermare quanto già evidenziato e proposto in precedenza, recepisce tutte le richieste del Comitato Tecnico di Bacino ed è pertanto da considerarsi del tutto sostitutiva rispetto a quanto a suo tempo presentato.

Nell'ambito del presente elaborato verranno analizzati tutti gli aspetti della progettazione legati all'idraulica (come noto tema predominante nel caso in oggetto).

Inquadramento geografico

Il torrente San Lorenzo è uno dei due corsi d'acqua che interessano l'abitato di Moneglia: il suo bacino ha una estensione complessiva di 4,25 Kmq e l'asta principale ha complessivamente lunghezza pari a circa 1.9 km.

Il bacino deriva dall'unione delle valli del torrente San Lorenzo - bacino fino alla confluenza col rio Sorba di circa 2,10 kmq - e del rio Sorba, suo principale affluente di destra, anch'esso con bacino di circa 2,00 kmq. A sua volta il torrente San Lorenzo è a monte originato da due rami principali, il canale di San Lorenzo e il rio Campo. La zona ricade all'interno delle aree scolanti del Piano Bacino Stralcio D.L. 180/98 e ss.mm.ii. - ambito 17. A nord, il bacino confina con quello del torrente Petronio, ad ovest con le aree scolanti a mare dell'ambito 17, ad est con il contiguo bacino del torrente Bisagno e a sud è delimitato dalla linea di costa. Altimetricamente il bacino si sviluppa da una quota massima di 521.4 ml s.l.m. (monte Moneglia) al livello del mare; lo spartiacque segue i crinali di monte Moneglia, rocche delle Cantene e di costa Buttiglione. Il bacino è caratterizzata da elevata acclività dei versanti, tipico dei bacini liguri, con le aste dei torrenti e dei loro affluenti orientate in direzione N-S.

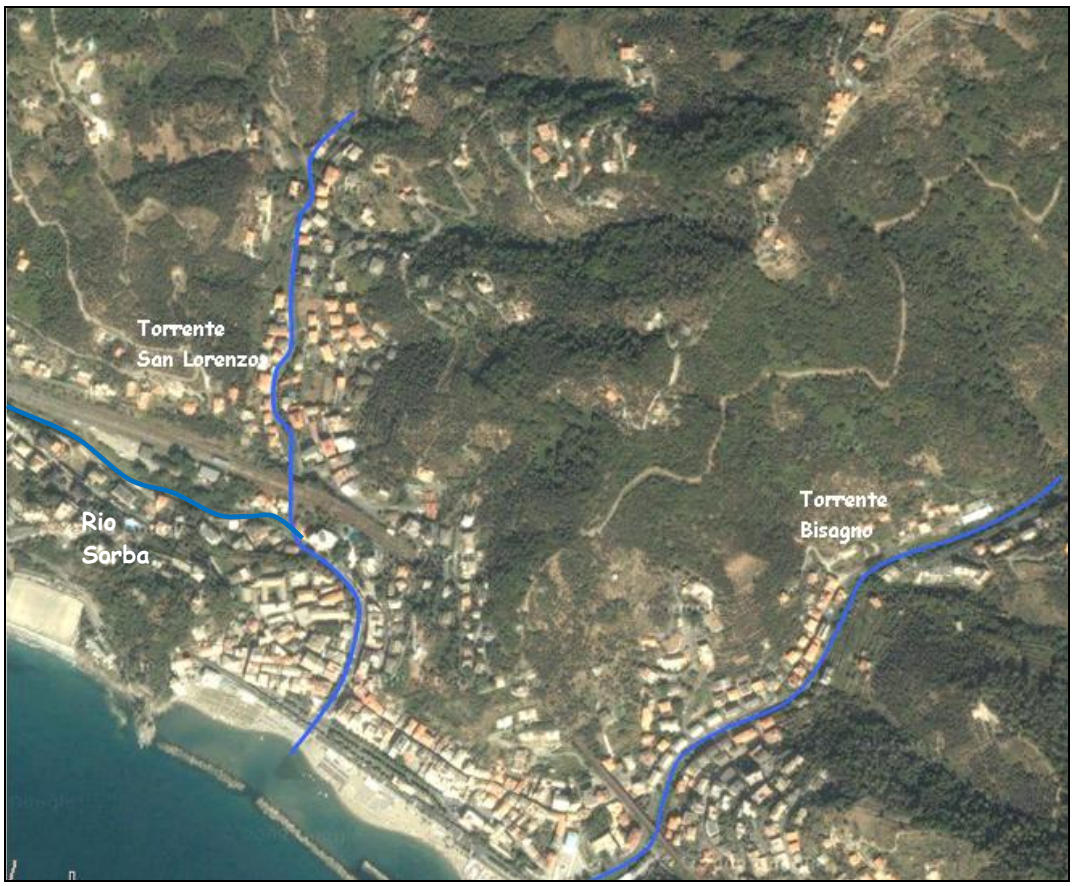


figura 1: *immagine satellitare dell'area urbana di Moneglia con indicazione dei principali corsi d'acqua*

Descrizione tratto in esame

I tratti del torrente San Lorenzo e del rio Sorba interessati dagli interventi di sistemazione interessano la zona di ponente del centro storico della città di Moneglia. In particolare, per quanto attiene il torrente San Lorenzo, nel tratto preso in esame il corso d'acqua scorre inizialmente a cielo aperto in un alveo a fondo naturale a sezione rettangolare - trapezia, per poi defluire nell'ultima parte al di sotto di una copertura. Le pendenze sono piuttosto contenute, con assetto tipico del tratto terminale dei corsi d'acqua rivieraschi: nei circa 720 ml analizzati la pendenza media risulta intorno a 1,3%.

Il rio Sorba invece presenta un bacino posizionato circa "parallelamente" alla costa e confluisce nel torrente San Lorenzo subito a valle della linea ferroviaria Genova - La Spezia. Il suo tratto terminale è caratterizzato da sezione di deflusso sufficientemente ampia sotto il profilo idraulico e, come vedremo in seguito, la sua criticità è derivante dall'apporto "negativo" che fornisce sia nella zona di confluenza (rigurgiti verso monte) sia per la copertura esistente immediatamente a valle della confluenza medesima.

Al fine di rappresentare al meglio lo stato attuale dei luoghi sono stati effettuati rilievi topografici di dettaglio tramite l'utilizzo di stazione totale, rilievi sulla cui base sono stati conseguentemente costruiti i modelli idraulici nonché gli elaborati grafici (planimetrie, profili e sezioni).

Valutazioni idrauliche

Le diverse criticità osservabili direttamente da un semplice sopralluogo e descritte nella relazione illustrativa e tecnica allegata al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica comportano, sotto il profilo idrogeologico, una situazione di estremo rischio, legata anche alla carenza di vie di fuga alternative alla viabilità parallela al torrente San Lorenzo in caso di evento alluvionale significativo. Si evidenzia inoltre che l'insufficienza delle sezioni a monte della copertura e della copertura stessa (come dimostrato dai modelli idraulici di cui si discuterà in seguito) ha riflessi per l'intera zona di ponente del centro abitato di Moneglia che, trovandosi mediamente ad una quota ribassata, viene ad essere interessata dalle acque fuoriuscenti da queste sezioni.

Dunque, come peraltro indicato nel sopra citato Piano di Bacino Stralcio D.L. 180/98 e ss.mm.ii. – ambito 17, la realizzazione di interventi finalizzati alla regimazione idraulica del tratto terminale del torrente San Lorenzo appare necessaria per le diverse e severe problematiche che caratterizzano l'area.

Si sottolinea come la situazione plano-altimetrica esistente, associata all'intensa urbanizzazione dell'intero tratto interessato dalle opere a progetto, obblighi a prospettare soluzioni di carattere esclusivamente strutturale che possano dare un'esauriente risposta alle problematiche connesse con il rischio idraulico e nel contempo risolvere le criticità della viabilità (in particolare di tipo pedonale) in fregio al corso d'acqua.

Il corso d'acqua, come già scritto, è indagato dal Piano Bacino Stralcio D.L. 180/98 e ss.mm.ii. - ambito 17: al fine di verificare le condizioni di deflusso delle portate di massima piena e il rischio connesso di esondazione, a seguito del rilievo topografico di dettaglio sono state effettuate alcune modellazioni per il profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato con un modello dello stato attuale del corso d'acqua, utilizzando il software HEC-RAS versione 4.1 e facendo transitare nell'alveo le portate cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale.

Parametri utilizzati

All'interno del modello in Hec-Ras sono state inserite circa 80 sezioni idrauliche nel torrente San Lorenzo (indicate con numeri a partire da 31 a monte sino a 0.4 a valle) a cui si aggiungono altre 7 sezioni nel rio Sorba con lo scopo di simulare la confluenza con il torrente San Lorenzo, nonché verificare se le sezioni terminali dello stesso rio Sorba siano sufficienti al deflusso delle portate.

Per quanto riguarda le portate, nella versione originaria del progetto preliminare si era scelto di utilizzare i valori indicati nel Piano di Bacino - ambito 17 in tutti i tratti analizzati, ovvero di considerare contemporaneamente in condizione di piena per il medesimo tempo di ritorno (esempio duecentennale) sia il rio Sorba che il rio San Lorenzo.

Come si può notare dalla tabella seguente, però, tale assunzione porta inevitabilmente al non rispetto del principio della conservazione della massa in corrispondenza della confluenza in quanto la portata a valle della confluenza stessa per dato tempo di ritorno risulta inferiore alla somma delle portate per medesimo tempo di ritorno dei due rami di monte.

Di seguito si riportano i valori di portata in mc/s a suo tempo utilizzati nel modello:

tratto	sezione	Q (T=50 anni)	Q (T=200 anni)	Q (T=500 anni)
san Lorenzo - monte	31	45.4	65.7	79.1
san Lorenzo - monte	8	48	69.5	83.6
Sorba	105	45.4	65.7	79.1
san Lorenzo - valle	7.1	78.8	114	137.2
san Lorenzo - valle	0.4	80.4	116.3	139.9

Come si può notare dunque la somma dei valori di portata a monte della confluenza nei due rami risulta superiore al valore immediatamente a valle della stessa.

A seguito delle richieste del Comitato Tecnico di Bacino regionale (nota prot. n° PG/2017/35828 del 02/02/2017), nell'ambito della presente versione aggiornata della progettazione verrà proposta una versione della modellazione idraulica che va a rispettare il principio di conservazione della massa in confluenza, ovviamente a partire dal valore di portata a valle della confluenza.

Al fine di rispettare tale condizione, le combinazioni possibili sono le seguenti (gli esempi numerici proposti si riferiscono ad un evento di tempo di ritorno duecentennale, ma ovviamente le "nuove" modellazioni vengono effettuate con rispetto del principio della conservazione della massa in confluenza anche per gli altri tempi di ritorno: 50 e 500 anni):

1) portata di piano di Bacino nel torrente san Lorenzo a valle e monte della confluenza e portata del rio Sorba data dalla differenza tra le due:

torrente San Lorenzo - valle : Q = 114 mc/s - valore portata di P.d.B.
torrente San Lorenzo - monte : Q = 69.5 mc/s - valore portata di P.d.B.
rio Sorba : Q = (114-69.5) = 44.5 mc/s

2) portata di piano di Bacino nel torrente san Lorenzo a monte della confluenza e nel rio Sorba e portata del torrente San Lorenzo a monte della confluenza data dalla differenza tra le due:

torrente San Lorenzo - valle : Q = 114 mc/s - valore portata di P.d.B.
rio Sorba: Q = 65.7 mc/s - valore portata di P.d.B.
torrente San Lorenzo - monte : Q = (114-65.7) = 48.3 mc/s

3) portata di piano di Bacino nel torrente san Lorenzo a valle della confluenza (114 mc/s) e combinazione delle due portate dei rami di monte con valori inferiori a quelli di Piano di Bacino ma tali che la loro somma dia il valore di valle.

Osservato che il caso 3) non risulta significativo per determinare i valori di massima piena nei vari tratti, nonché verificato che non si registra alcuna differenza tra le varie combinazioni per il tratto del torrente San Lorenzo a valle della confluenza, i livelli idrici per le varie modellazioni saranno determinati a partire dal caso 1) per quanto attiene il torrente San Lorenzo a monte della confluenza medesima e dal caso 2) per quanto attiene il rio Sorba.

Si segnala fin d'ora che comunque il risultato di tali combinazioni (caso 1 per il torrente San Lorenzo e 3 per il rio Sorba) sia del tutto identico a quanto originariamente proposto nella prima versione del progetto preliminare e dunque nulla varia nel dimensionamento idraulico delle opere a progetto.

Per completezza si riportano di seguito i valori di portata utilizzati nell'ambito del presente studio di fattibilità tecnica ed economica:

- valutazione livelli di piena del torrente San Lorenzo

tratto	sezione	Q (T=50 anni)	Q (T=200 anni)	Q (T=500 anni)
san Lorenzo - monte	31	45.4	65.7	79.1
san Lorenzo - monte	8	48	69.5	83.6
Sorba	105	30.8	44.5	53.6
san Lorenzo - valle	7.1	78.8	114	137.2
san Lorenzo - valle	0.4	80.4	116.3	139.9

- valutazione livelli di piena del rio Sorba

tratto	sezione	Q (T=50 anni)	Q (T=200 anni)	Q (T=500 anni)
san Lorenzo - monte	31	33.4	48.3	58.1
san Lorenzo - monte	8	33.4	48.3	58.1
Sorba	105	45.4	65.7	79.1
san Lorenzo - valle	7.1	78.8	114	137.2
san Lorenzo - valle	0.4	80.4	116.3	139.9

In merito agli indici di scabrezza di Gauckler-Strickler Ks si è scelto di considerarli pari a:

Ks [$m^{1/3}/s$]	alveo	golene	tratto in copertura
	30	20	40

Tali valori risultano rispettare le norme in vigore (Regolamento Regionale n° 1/2016), senza però eccedere in cautela e sono stati utilizzati sia nella modellazione di stato attuale, sia in quelle di stato di progetto.

Per quanto attiene infine le condizioni al contorno, si è scelto di imporre la profondità critica in corrispondenza dei limiti di monte della modellazione (sia lungo il rio Sorba che lungo il torrente San Lorenzo), mentre al limite di valle è stato imposto una quota nota pari a 0,50 ml s.l.m.m. al fine di simulare la presenza del mar Ligure in condizione non di calma.

Si segnala comunque che nei paragrafi seguenti della presente relazione si procederà a valutare la stabilità della modellazione di progetto proposta variando sia i coefficienti di scabrezza sia le condizioni al contorno.

Analisi modello idraulico di stato attuale

Il modello idraulico di stato attuale mostra l'insufficienza idraulica della pressoché totalità delle sezioni esistenti nonché il sormonto di tutti i ponticelli e le passerelle che attraversano l'alveo, anche da parte della portata di tempo di ritorno cinquantennale.

Risulta difficile individuare tratti di maggiore e minore criticità in quanto la situazione appare piuttosto regolare, con tiranti idrici sull'attuale viabilità sino a oltre 1.50 ml per la portata di tempo di ritorno duecentennale e oltre 1.00 ml per la portata di tempo di ritorno cinquantennale. Particolare attenzione può essere riferita al ponticello di attraversamento della viabilità provinciale (sezione 29) che costituisce ad oggi una vera e propria barriera stante la ridottissima altezza netta disponibile alla corrente, con fuoriuscite anche per tempi di ritorno assai ridotti (l'attuale ponticello garantisce il transito di una portata nell'ordine di soli 10 ÷ 12 mc/s).

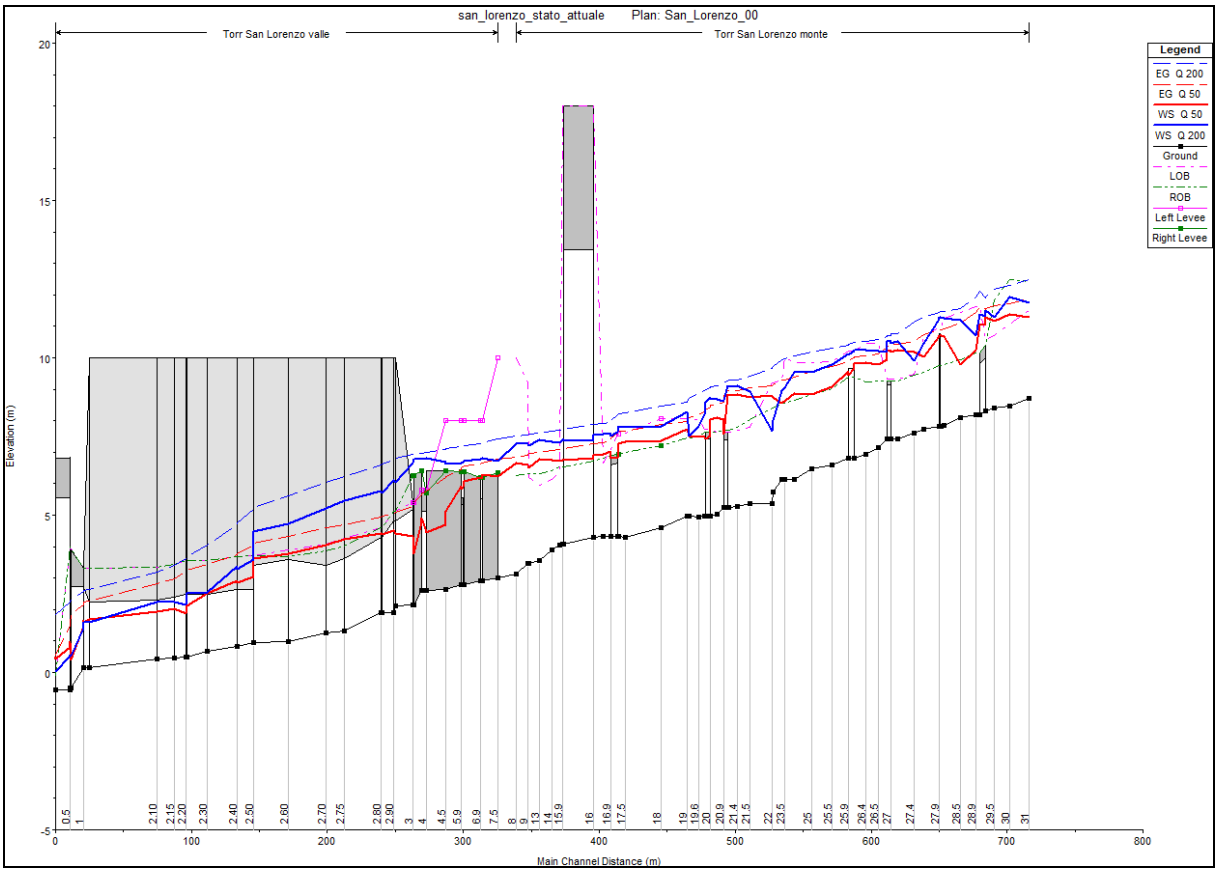


figura 2: *profilo idraulico rio San Lorenzo – stato attuale – fuori scala*

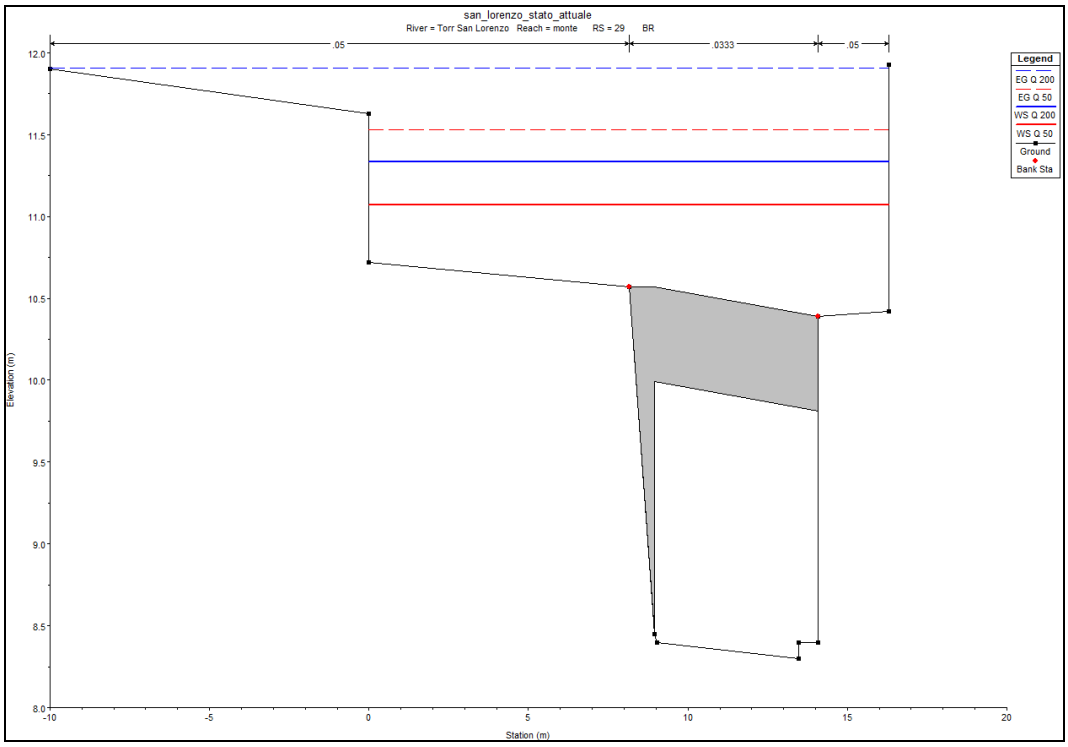


figura 3: *sezione 29 - ponticello viabilità provinciale - stato attuale - fuori scala*

Gravi criticità risultano come detto sopra estese a tutto il tratto compreso tra il suddetto ponticello e l'imbocco della copertura terminale, con tiranti notevoli lungo la viabilità adiacente al torrente, viabilità peraltro delimitata da numerose fabbricati che di fatto contribuiscono al "confinamento" della portata medesima.

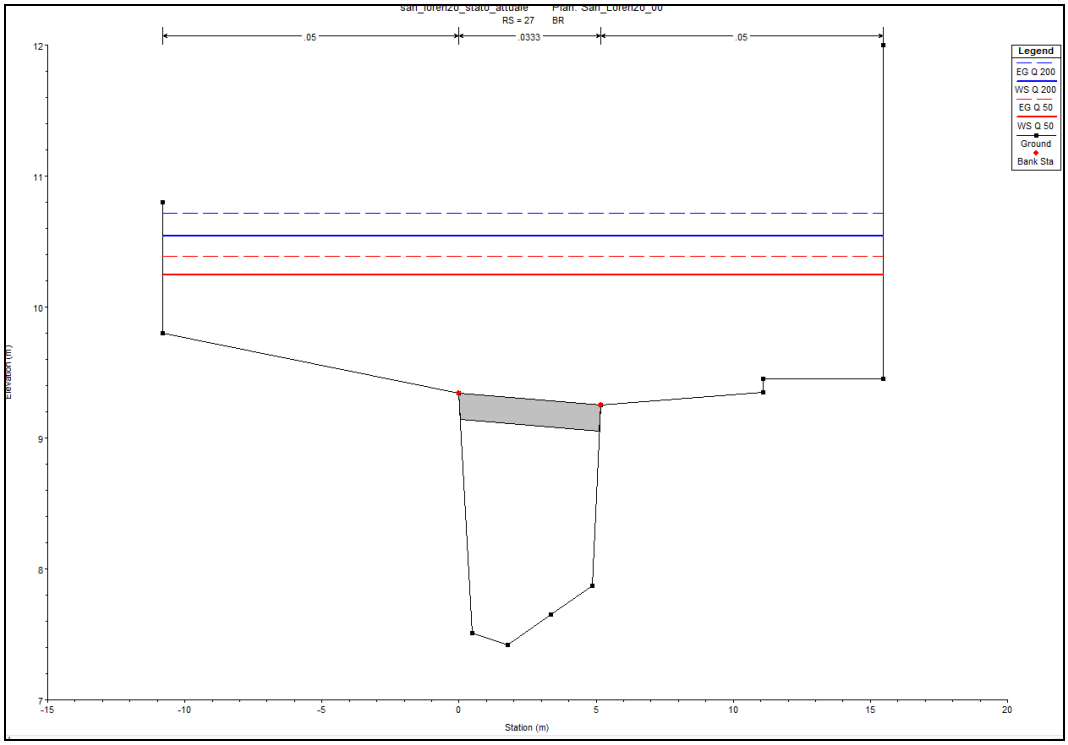


figura 4: *sezione esemplificativa criticità riscontrate - stato attuale - fuori scala*

Si rimarca che le fuoriuscite di portata nelle sezioni a cielo aperto, sia in destra lungo la viabilità sia in sinistra nei limitati spazi a disposizione, sono forzatamente destinate a rientrare in alveo con tempistiche estremamente limitate, il che rende sostanzialmente nullo l'effetto di laminazione della piena medesima. Così come verrà sottolineato in seguito, dunque, eventuali interventi di contenimento della portata nel tratto di monte non provocherebbero di fatto alcun aggravio sulle condizioni di sicurezza delle restanti sezioni dell'alveo.

Così come ampiamente descritto nell'ambito della relazione illustrativa e tecnica allegata al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica, oltre al problema meramente idraulico esiste ad oggi anche un problema di sicurezza legato alla totale assenza di marciapiede lungo l'intero corso di via Torrente San Lorenzo, il ché obbliga il notevole traffico di pedoni (soprattutto in stagione estiva) a mischiarsi con il traffico veicolare, con evidenti rischi.

Per quanto attiene invece l'imbocco della copertura terminale, tale sezione appare – seppur al limite - sufficiente al deflusso della portata cinquantennale, mentre la portata duecentennale risulta avere un tirante di circa 1,00 ml, con valori, al picco di piena, di circa 15 mc/s che non riuscirebbero a defluire nella copertura, invadendo dunque l'abitato di Moneglia nella sua zona di ponente, tra l'altro come detto in precedenza ubicato mediamente a quote ribassate.

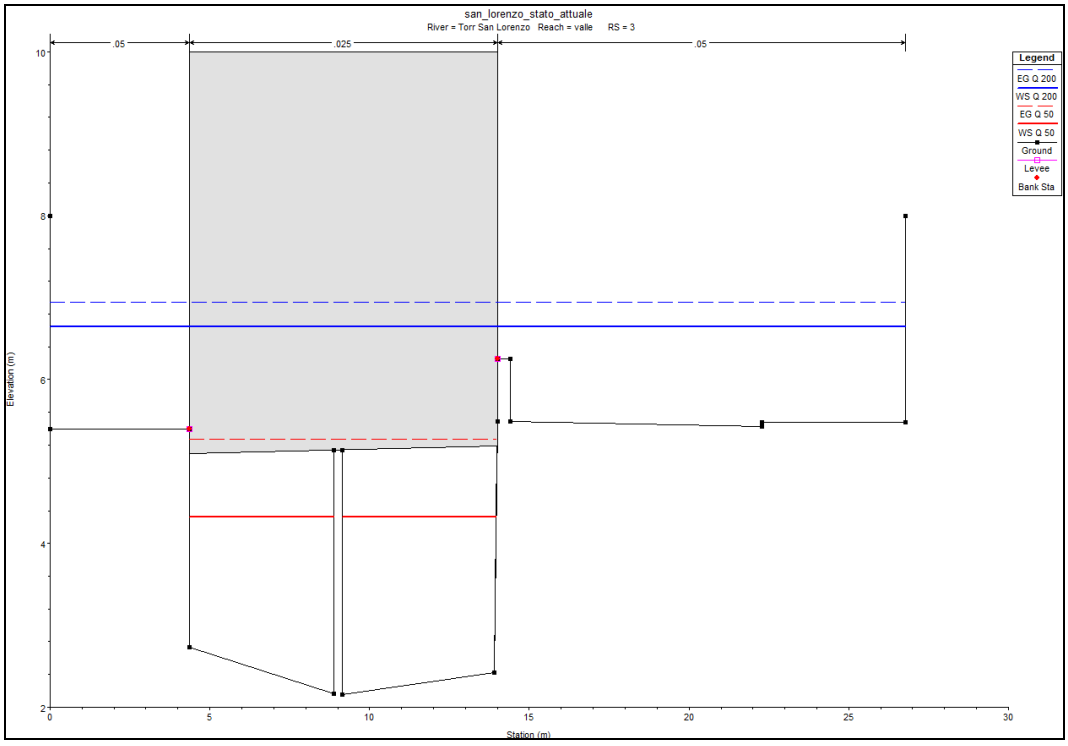


figura 5: *sezione imbocco copertura terminale - stato attuale - fuori scala*

Al di là della mera modellazione idraulica, una criticità risulta rappresentata dalla presenza di un setto intermedio in copertura, setto in corrispondenza del cui inizio ad oggi si verifica un accumulo di materiale detritico - alluvionale (soprattutto ramaglie e altro materiale vegetale) associato alle piene.

La copertura di cui in oggetto, dopo un primo tratto di circa 115 metri con impalcato sottile (30 ÷ 35 cm) è caratterizzata da un tratto terminale di circa 120 metri con presenza di travi in c.a. ribassate, che rendono lo spessore complessivo della copertura pari a circa 115 cm, diminuendo dunque nettamente l'altezza netta disponibile al deflusso delle portata. Tale discontinuità crea una forte problematica sotto l'aspetto idraulico, andando a interferire con il deflusso di portate di tempo di ritorno anche significativamente inferiore ai 50 anni, instaurando un pericoloso andamento in pressione per una struttura ormai di non recente realizzazione.

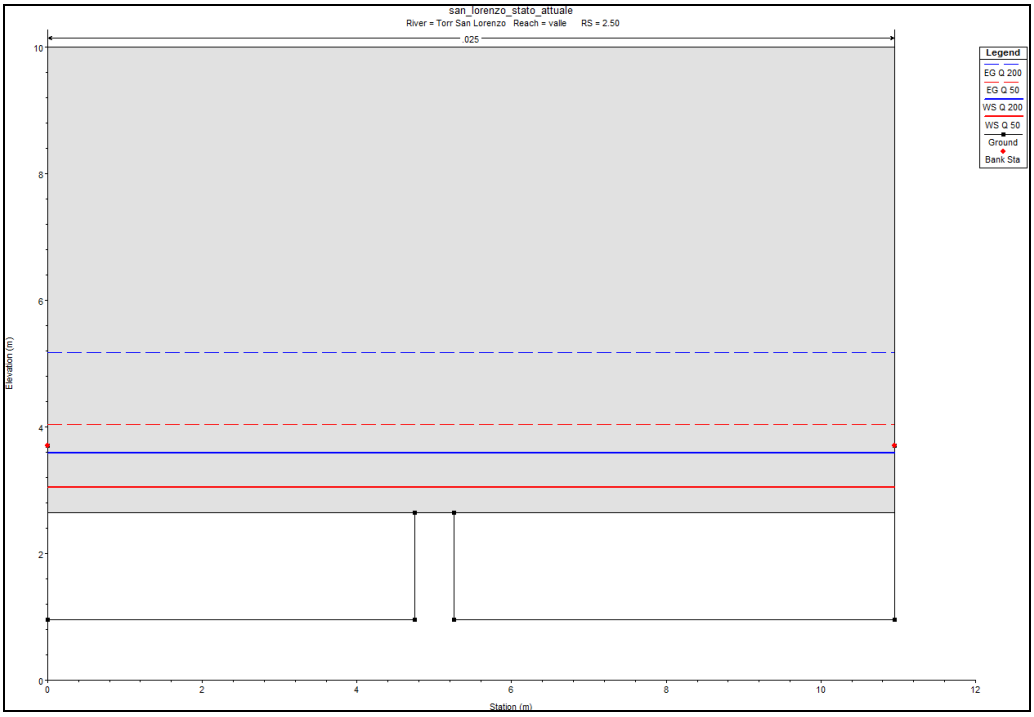


figura 6: *sezione esemplificativa criticità copertura terminale - stato attuale - fuori scala*

Per quanto attiene invece il rio Sorba, nell'ambito della modellazione idraulica allegata al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica si sono analizzati circa gli ultimi 50 ml a partire dalla confluenza con il torrente San Lorenzo. Ad eccezione del ponticello di attraversamento della viabilità carrabile in corrispondenza della suddetta confluenza (livello idrico peraltro qui significativamente influenzato dal livello idrico del torrente San Lorenzo in confluenza) il rio Sorba presenta sezioni sufficienti a garantire il deflusso delle piene. A partire dall'attraversamento della linea ferroviaria verso valle le sezioni risultano piuttosto incassate, con arginatura sinistra a quote elevate e in destra la viabilità che costeggia il rio, anch'essa delimitata da un muro verso monte: anche eventuali lievi fuoriuscite verrebbero pertanto contenute da questo secondo muro, rientrando dunque immediatamente in alveo senza causare particolari problematiche al di là della temporanea interruzione di detta viabilità. La sua criticità di fatto deriva dall'apporto "negativo" che fornisce sia nella zona di confluenza (rigurgiti verso monte) sia per la copertura esistente immediatamente a valle della confluenza medesima.

Inquadramento generale proposta progettuale

Al fine di pervenire ad una soluzione progettuale condivisa con l'amministrazione comunale nonché con gli enti competenti, si sono analizzate diverse alternative, alcune delle quali verranno riportate nell'ambito dei paragrafi terminali della presente relazione. Peraltro, le precedenti versioni progettuali analizzate (progetto preliminare e ancor prima studio di fattibilità agli atti del comune di Moneglia) sono state predisposte proprio con la finalità di valutare varie soluzioni e conseguentemente operare una scelta fra le soluzioni stesse, scelta che poi si è sviluppata nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica. Si è comunque ritenuto utile – seppur in modo sintetico – richiamare dette soluzioni alternative e in particolare rappresentare (vedere tavola 13-A) gli scenari più importanti presi in esame. La soluzione progettuale qui proposta risulta finalizzata a garantire il contenimento della portata di tempo di ritorno duecentennale in tutto il tratto analizzato, con adeguati franchi idraulici per quanto possibile.

Dopo aver analizzato - seppur a livello di scenario - l'opportunità di deviare l'intero contributo del torrente San Lorenzo all'interno di un canale scolmatore in galleria (ipotesi scartata a seguito di analisi costi-benefici e di cui si discuterà in seguito nell'ambito della presente relazione idraulica), si è ritenuto che l'unica soluzione tecnicamente realizzabile fosse l'adeguamento delle sezioni esistenti del torrente San Lorenzo con contestuale demolizione e ricostruzione della copertura esistente nel tratto terminale; a completamento di questi interventi è stata valutata - sempre a livello di scenario - la deviazione del rio Sorba (questa di fatto imprescindibile per garantire il rispetto dei franchi idraulici nel tratto di valle del torrente San Lorenzo).

Stante la situazione fortemente urbanizzata con dunque difficoltà di allargamento delle sezioni, si era in prima istanza ipotizzato di allargare al di sotto della viabilità con realizzazione di una sorta di scatolare collaborante con l'alveo attraverso una serie di pilastrini; tale soluzione è stata però scartata vista la tendenza di deposito del materiale detritico-alluvionale in corrispondenza dei pilastrini stessi. Nell'ambito sia dello studio di fattibilità sia della progettazione preliminare si è dunque considerata la possibilità di realizzare una vera e propria struttura scatolare con separazione continua rispetto all'alveo attuale; anche tale possibilità è stata però scartata: la larghezza di tale sezione scatolare sarebbe stata forzatamente legata alle larghezze della viabilità, consentendo quindi di contenere in sicurezza una portata limitata, nell'ordine dei 10 mc/s; inoltre si ritiene che affidare a tale soluzione il contenimento della portata negli argini sia oggettivamente più "rischioso" rispetto alla soluzione con i pilastrini: in caso di intasamento (evento peraltro possibile viste anche le dimensioni forzatamente ridotte della stessa sezione) della sola sezione di monte della struttura scatolare, essa risulterebbe nella sua interezza inutilizzata.

Dunque l'unica soluzione per garantire l'adeguamento delle sezioni di deflusso risulta essere un massiccio allargamento in sinistra idraulica laddove possibile con contestuale realizzazione di sbalzi (estensione massima di 2,50 ml) della viabilità in destra, tali da garantire il mantenimento della viabilità medesima senza necessità di pilastrini. Quanto sopra verrà realizzato al fine di garantire al torrente San Lorenzo sezioni di deflusso con larghezza costante pari a circa 10 ml (ad esclusione del tratto terminale in copertura per il quale la larghezza sarà nell'ordine dei 15 ml). Oltre a ciò si provvederà a realizzare due piccoli salti di fondo (in corrispondenza delle sezioni 30 e 5) con conseguente regolarizzazione della livelletta di fondo (formazione di una livelletta unica tra le sezioni 30 e 5 e di due livellette tra la sezione 5 e lo sfocio a mare, mantenendo comunque di fatto inalterato il valore medio di pendenza dell'alveo).

Così come descritto nell'ambito della relazione illustrativa e tecnica allegata al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica, gli interventi previsti lungo il corso del torrente San Lorenzo possono essere suddivisi in tre lotti indipendenti tra loro e qui denominati "lotto 1", "lotto 2" e "lotto 3".

Così come riportato in precedenza, il raggiungimento della piena messa in sicurezza delle aree potrà essere conseguito soltanto con lo scolmo/deviazione dell'intero contributo del rio Sorba, intervento qui inserito come intervento complementare in qualità di scenario a livello di Piano di Bacino; questa tipologia di intervento risulta infatti assai onerosa fin dalla progettazione, per non parlare del costo dell'intervento stesso, da realizzare peraltro in unico lotto al fine di garantirne la piena funzionalità: per la pubblica amministrazione nascerebbero pertanto oneri ad oggi da ritenersi eccessivi.

I tre lotti previsti lungo il tratto terminale del torrente San Lorenzo sono dunque i seguenti:

- LOTTO 1: (interventi inseriti nel canale di finanziamento POR-FESR Liguria 2014-2020 - azione 5.1.1) - sistemazione tratto rio San Lorenzo compreso tra sezioni idrauliche 20.1 (ponticello) e 3.1 (imbocco copertura);
- LOTTO 2: sistemazione tratto rio San Lorenzo a valle della sezione 3.1 (tratto in copertura);
- LOTTO 3: sistemazione tratto rio San Lorenzo a monte sezione idraulica 20.1 (ponticello);

Ogni lotto sopra citato comporta forte mitigazione del rischio per il tratto di corso d'acqua interessato, senza peggiorare le condizioni negli altri tratti: dunque ciascun lotto è da considerarsi pienamente funzionale sotto il profilo idraulico (per maggiori dettagli si rimanda ai capitoli successivi della presente relazione idraulica).

Analisi modello idraulico di stato di progetto

Nel presente capitolo della relazione viene analizzata in dettaglio la modellazione idraulica di progetto; si segnala che qui tutte le valutazioni sono riferite alla soluzione progettuale globale, con tutti i lotti realizzati (lotto 1 + 2 + 3 + scenario scolmatore/deviatore rio Sorba).

L'effetto della sola realizzazione di una parte delle opere (lotto 1 + 2 + 3 o solo lotto 1) saranno analizzati nei capitoli successivi. Di seguito si procederà inoltre a descrivere da monte verso valle le opere previste nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica.

Ancora più a monte della sezione di inizio della modellazione e immediatamente a valle della confluenza tra il canale san Lorenzo e il rio Campo, da cui ha origine il torrente San Lorenzo, si è individuato un tratto di rio notevolmente incassato tra i due argini (in sponda sinistra è presente la viabilità provinciale n°68 e in sponda destra un terreno privato) e con larghezza della sezione importante (pari a 10 ml), tale da consentire la messa in opera in totale sicurezza di una briglia a pettine in cls con profilati metallici. Tale briglia consentirà l'intercettazione di una quota parte significativa di materiale detritico-alluvionale associato alle piene, sarà facilmente manutenzionabile essendo prospiciente alla viabilità pubblica e potrà essere sormontata dalla piena anche in caso di riempimento sino al limite dei profilati metallici senza pregiudicare in alcun modo la funzionalità idraulica del tratto, con il contenimento della piena negli argini.



figura 7: *vista verso monte torrente San Lorenzo - tratto ove ubicare briglia a pettine*

A partire dalla sezione 31, sino alla sezione 29 (ponticello di attraversamento della viabilità provinciale), gli allargamenti previsti a progetto, nonché il notevole innalzamento del piano viario permettono un ampio contenimento della portata duecentennale. In particolare si sottolinea come il ponticello (ad oggi rappresentante una grave criticità) presenti nella configurazione di progetto un franco idraulico geometrico minimo di 140 cm, nonché garantisca il pieno contenimento della linea dell'energia totale.

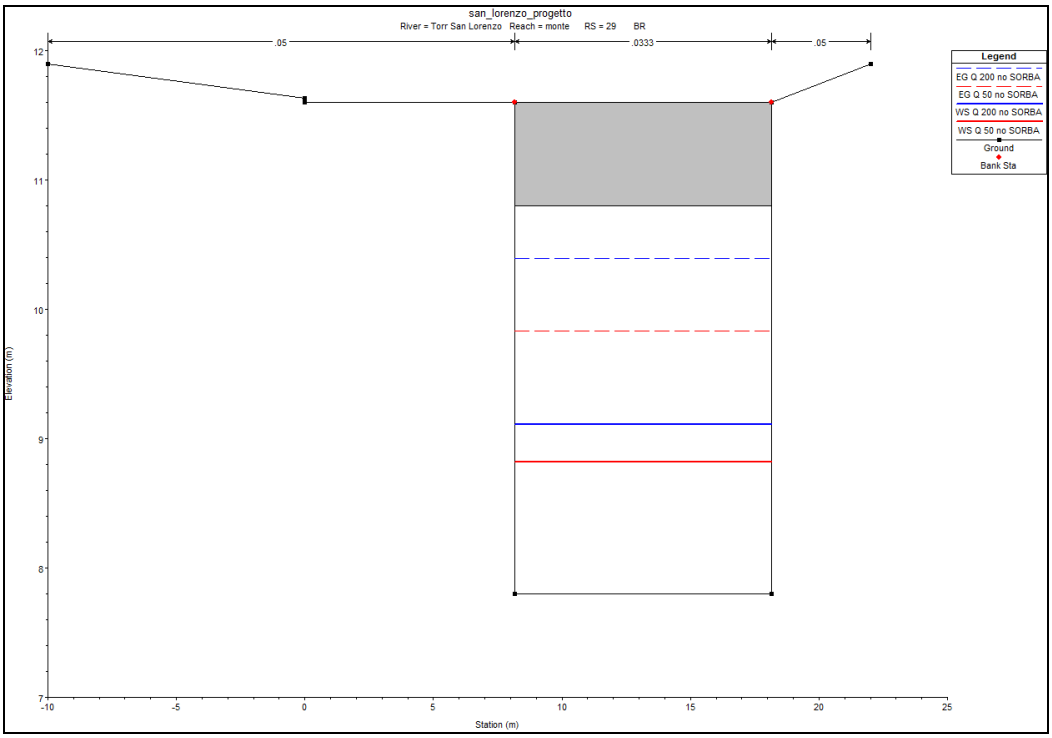


figura 8: *sezione 29 - ponticello attraversamento viabilità provinciale - fuori scala*

La proposta progettuale di cui sopra – oltre che risolvere la criticità esistente sotto il profilo idraulico - permette di affrontare anche le problematiche direttamente connesse con la viabilità: sedime stradale assai ristretto e che viene portato ad una larghezza minima di circa 5,00 ml + sbalzo carrabile in destra.

A partire dalla sezione 29 e sino all'imbocco della tombinatura terminale (sezione 3), la soluzione progettuale proposta prevede anche la messa in opera di un grigliato metallico leggero aggraffato al nuovo limite delle viabilità carrabile e tale da garantire la formazione di una viabilità pedonale finalizzata a risolvere il grave problema di sicurezza ad oggi esistente.

Tale passerella, al fine di alleggerire la modellazione, non è stata inserita nell'ambito delle sezioni idrauliche in Hec-Ras, in quanto del tutto indifferente al deflusso delle piene: sarà infatti rialzata rispetto alle quote della viabilità e in nessuna sezione verrebbe interessata né dai livelli di piena né dalla linea dell'energia totale. E' stata invece inserita nell'ambito degli

elaborati grafici facenti parte del progetto di fattibilità tecnica ed economica, sia in planimetria che in sezione. Di seguito nella presente relazione non verrà dunque più nominata nei vari tratti del torrente, ma sarà sempre presente sino alla sezione 3.

Si fa inoltre notare che la proposta progettuale di seguito descritta comporta anche la demolizione e ricostruzione di vari attraversamenti esistenti: ovviamente l'onere della ricostruzione di detti attraversamenti viene posta a carico del presente progetto solo nei casi di viabilità pubblica.

Il tratto compreso tra le sezioni 29 e 26.4 non comporta particolari problematiche, essendo presenti notevoli spazi in sinistra idraulica atti a permettere un massiccio allargamento delle sezioni in sponda sinistra, senza dove ricorrere a sbalzi lungo la viabilità. Le due passerelle esistenti verranno ripristinate e consentiranno il transito delle portate con importanti franchi idraulici.

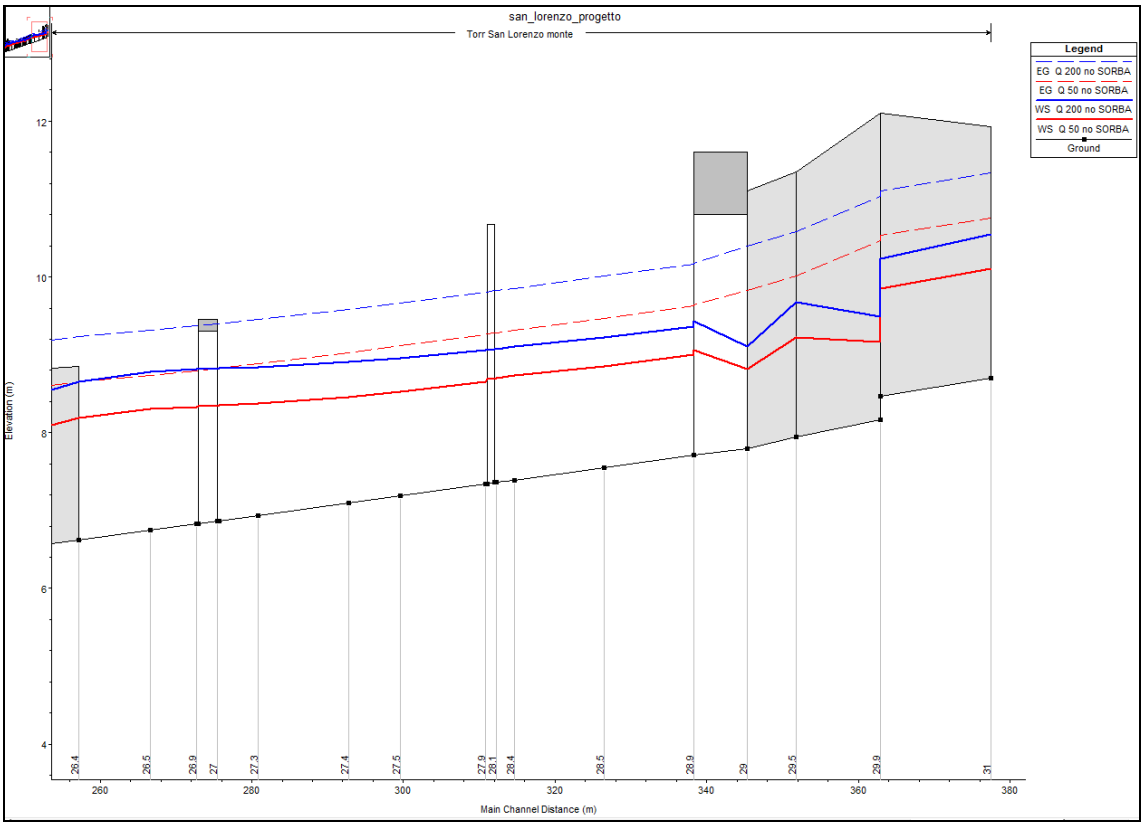


figura 9: *profilo idraulico modello di progetto - tratto a monte sezione 26.4 - fuori scala*

Nel tratto compreso tra le sezioni 26.4 e 21.4 risulta invece impossibile allargare massicciamente in sponda sinistra, stante il tessuto maggiormente urbanizzato della zona; al di là della ridislocazione di un edificio, ad oggi non si prevede di sconvolgere l'assetto urbanistico del tratto, provvedendo ad allargare per quanto possibile in sinistra idraulica e realizzando una struttura a sbalzo a sostegno della viabilità in destra (già ristretta al massimo possibile trattandosi di viabilità a doppio senso), sino ad un massimo di 2,50 ml, viabilità peraltro anche rialzata per quanto possibile tenendo conto della presenza di numerosi accessi e fabbricati al suo limite di monte. Si ritiene dunque che la soluzione progettuale scelta rappresenti il "massimo" possibile stante gli esegui spazi a disposizione.

Anche in tale tratto le sezioni di progetto permetteranno il contenimento della portata di tempo di ritorno duecentennale, con discreti franchi idraulici. La piena duecentennale non andrà peraltro mai ad interferire con lo sbalzo a progetto (nella maggior parte delle sezioni oltre 50 cm di franco idraulico tra il livello della piena e l'intradosso dello sbalzo), mentre la linea dell'energia totale sarà sempre contenuta nella quota della viabilità a progetto. Anche il ponticello pubblico in corrispondenza della sezione 26 garantisce il contenimento della piena duecentennale con un franco idraulico superiore a 50 cm.

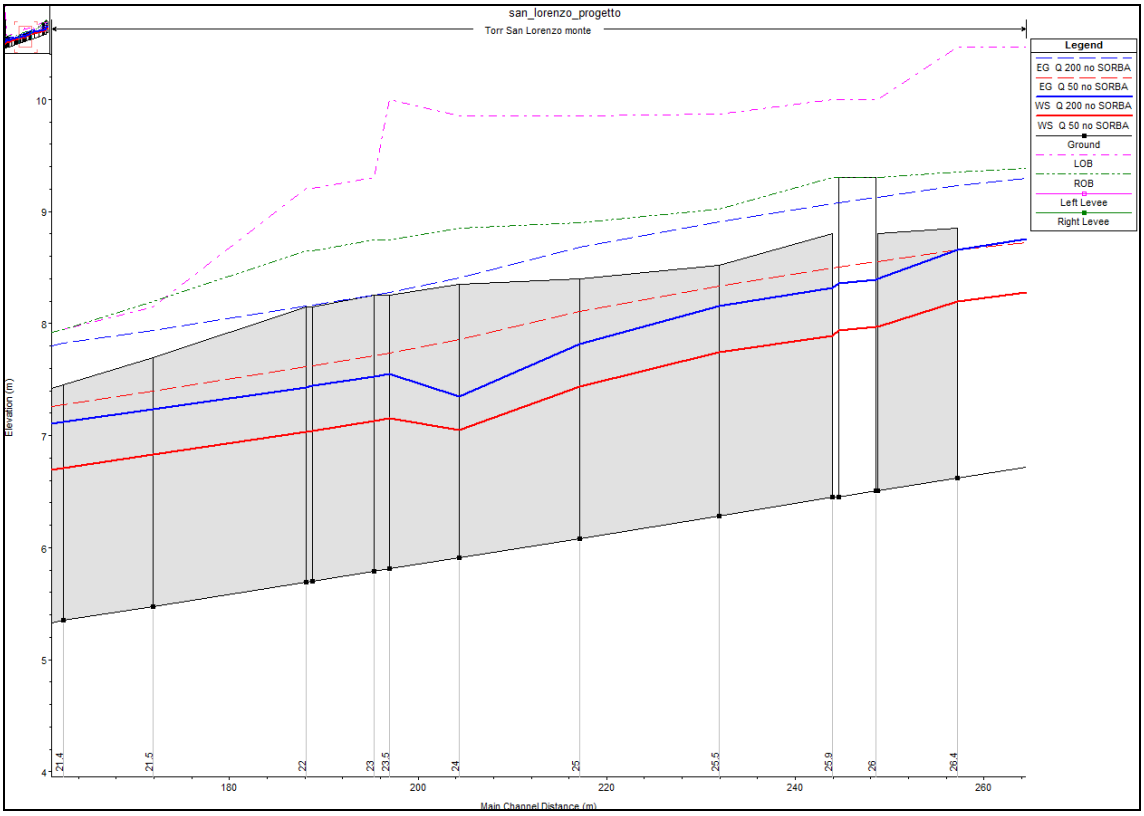


figura 10: *profilo idraulico modello di progetto - tratto tra sezioni 26.4 e 21.4 - fuori scala*

Anche nel tratto compreso tra le sezioni 21.4 e 8 l'allargamento verrà esteso per quanto possibile in sinistra idraulica, ma la presenza anche in questo caso di un tessuto densamente urbanizzato, con abitazioni e viabilità impossibili da ridislocare, rende di fatto obbligatorio ricorrere anche in questo caso ad uno sbalzo lungo il limite della viabilità, con estensione compresa tra 2,00 e 2,50 ml.

Idraulicamente il tratto è estremamente simile al precedente, con piena contenuta ovunque al di sotto dell'intradosso dello sbalzo e carico cinetico sempre al di sotto delle quote della viabilità.

Verranno demolite e ricostruite le due passerelle pedonali e il ponticello pubblico esistenti nel tratto, con impalcato rialzato al massimo possibile. In particolare si sottolinea come il ponticello pubblico carrabile (sezione 17) presenti un importante franco idraulico (1,00 ml e linea dell'energia totale contenuta). In corrispondenza della sezione 13 si è prevista la realizzazione di un nuovo ponticello carrabile al fine di garantire l'accesso alle abitazioni prospicienti all'alveo in sostituzione delle due passerelle ubicate ad oggi a valle della confluenza con il rio Sorba (ponticello peraltro di assoluta importanza stante la presenza di persona portatrice di handicap).

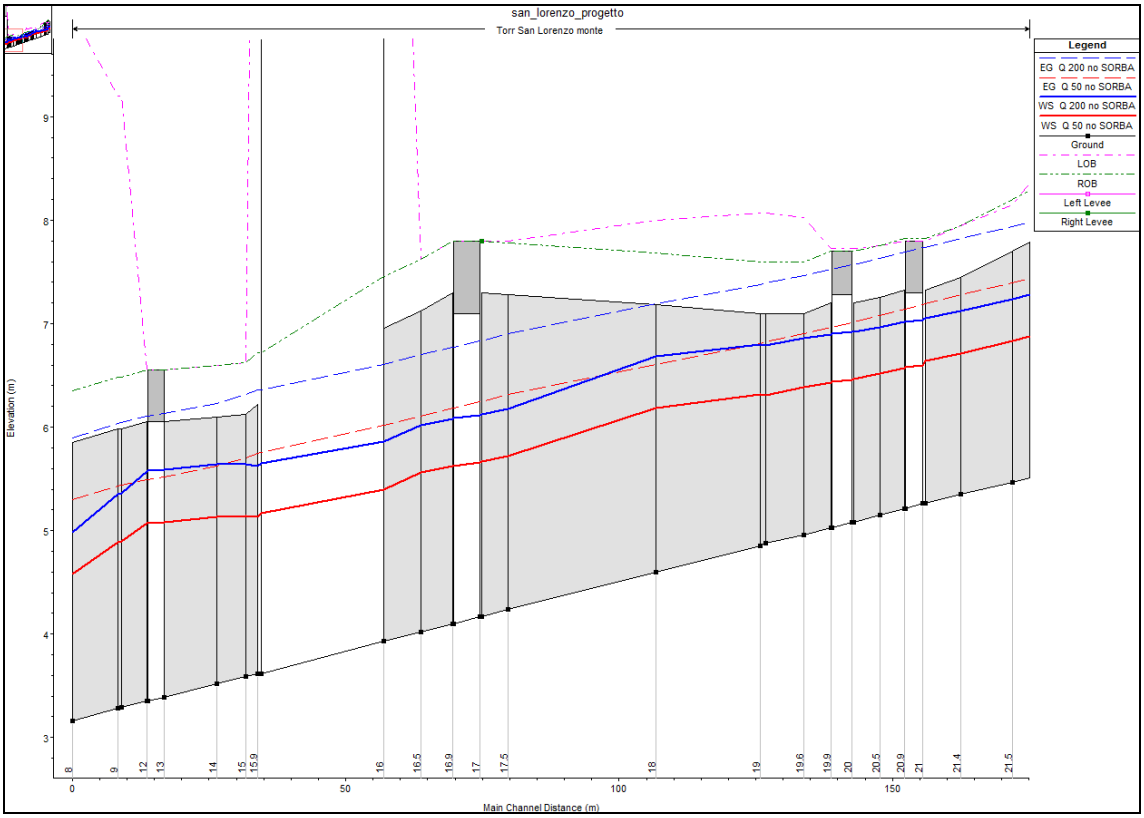


figura 11: *profilo idraulico modello di progetto - tratto tra sezioni 21.4 e 8 - fuori scala*

Mediante la deviazione del rio Sorba (scenario di Piano di Bacino), in corrispondenza della confluenza si avrà soltanto un minimo incremento di portata.

Nel tratto compreso tra le sezioni 7.5 e 3 risulterà impossibile procedere ad un allargamento in sinistra idraulica, stante la presenza di abitazioni prospicienti all'alveo e si procederà pertanto anche in tale tratto a predisporre uno sbalzo lungo il limite della viabilità. Le opere di cui sopra, unitamente alla demolizione delle due passerelle pedonali esistenti e alla ricostruzione del ponticello carrabile ubicato appena a monte della tombinatura permetteranno il contenimento della piena duecentennale con un franco idraulico importante.
In particolare, grazie anche alla creazione di un piccolo salto di fondo con abbassamento delle quote di fondo attuali, il ponticello carrabile presenterà franco geometrico superiore a 150 cm e linea dell'energia totale ampiamente contenuta.

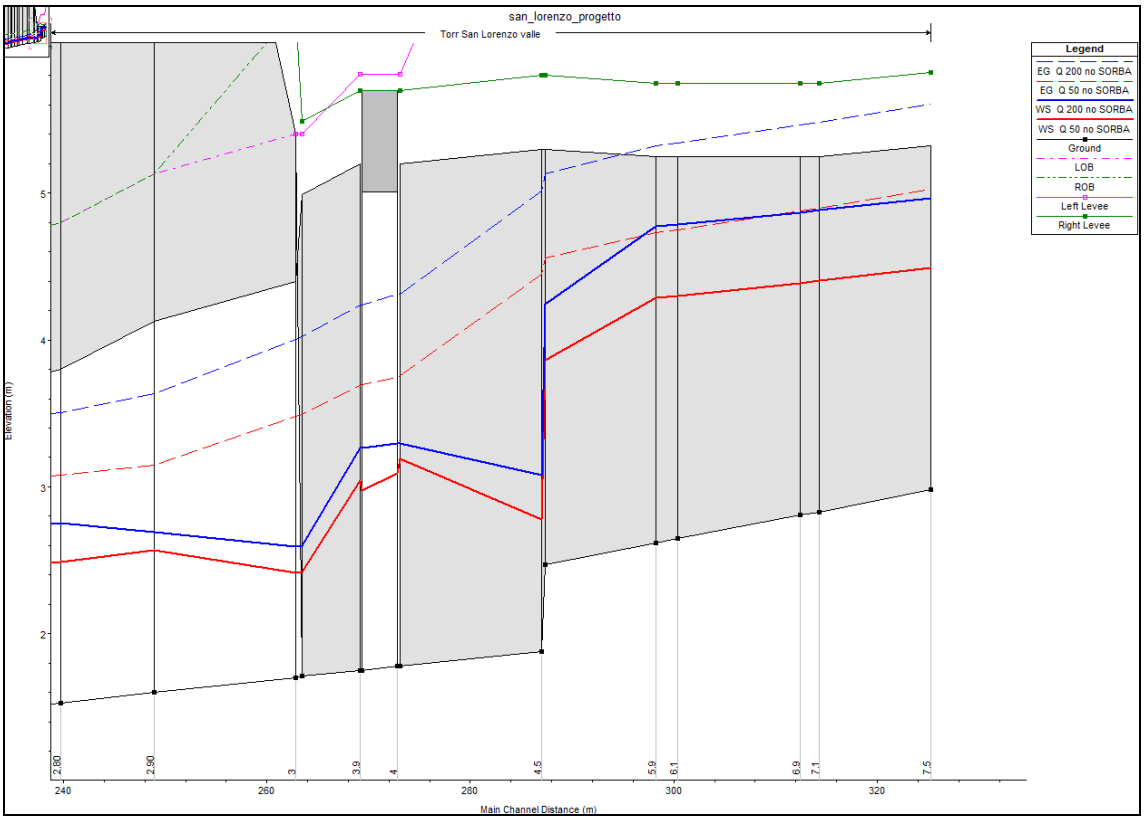


figura 12: *profilo idraulico modello di progetto - tratto tra sezioni 7.5 e 3 - fuori scala*

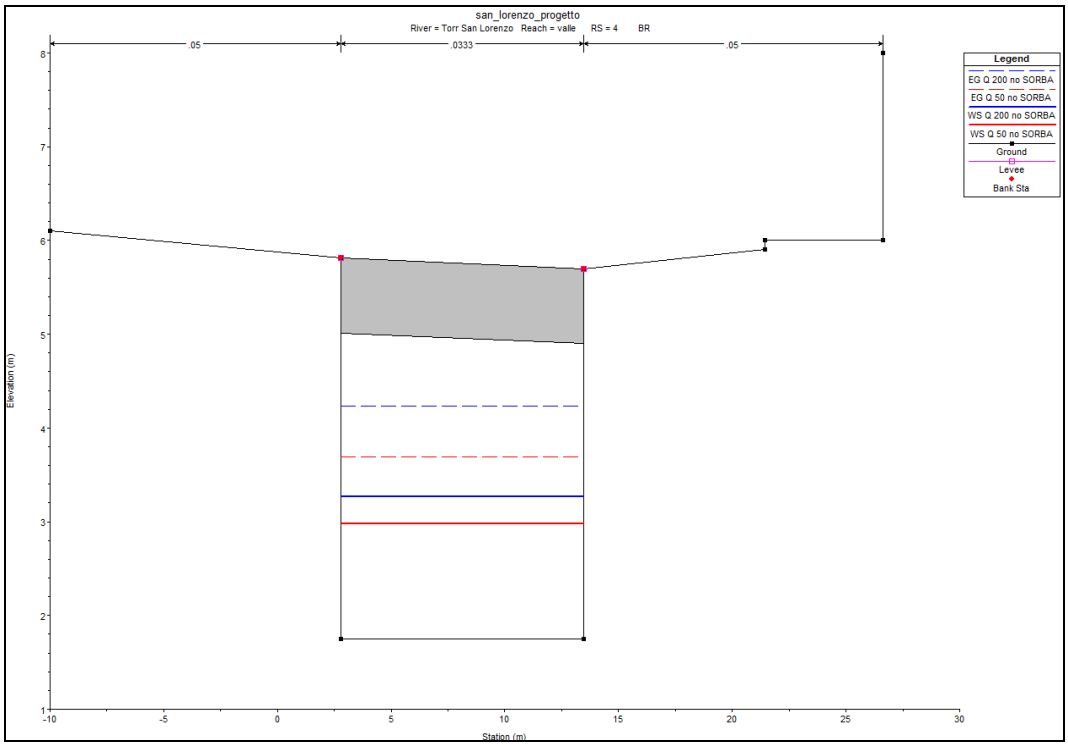


***figura 13**: sezione 4 - ponticello carrabile - fuori scala*

Immediatamente a valle del ponticello sopra citato si prevede un allargamento sino ai 15 ml previsti lungo tutto lo sviluppo della copertura terminale (tratto sezioni 3 - 0.4).

Al fine di garantire tale allargamento risulterà necessario ristudiare la viabilità ad oggi in buona parte del tratto ubicata a due livelli altimetrici differenti, lasciando comunque una viabilità pedonale alle quote ribassate di oggi al fine di garantire l'accesso a tutti i fabbricati esistenti. Inoltre verrà garantito il ripristino dell'accesso carrabile alla viabilità in destra idraulica in corrispondenza della sezione idraulica 2.1.

Mediante tali interventi la piena duecentennale viene contenuta all'interno della copertura con franco idraulico geometrico sempre superiore ai 65 cm ed è garantito il contenimento anche del carico cinetico in ogni sezione sino allo sfocio a mare del torrente.

Particolare rilevanza viene assunta dalla sezione di imbocco della copertura, con un franco geometrico nell'intorno di 180 cm e linea dell'energia totale contenuta con un margine di circa 40 cm.

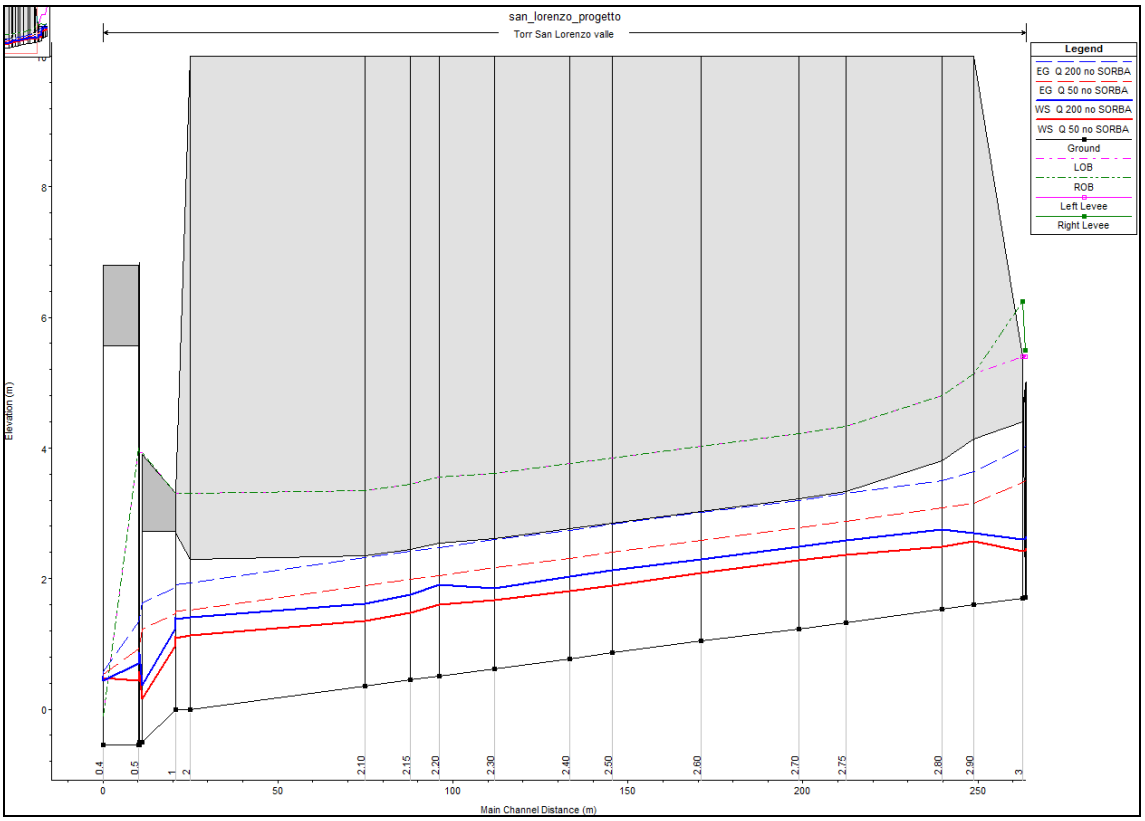


figura 14: *profilo idraulico modello di progetto - tratto tra sezioni 3 e 0.4 - fuori scala*

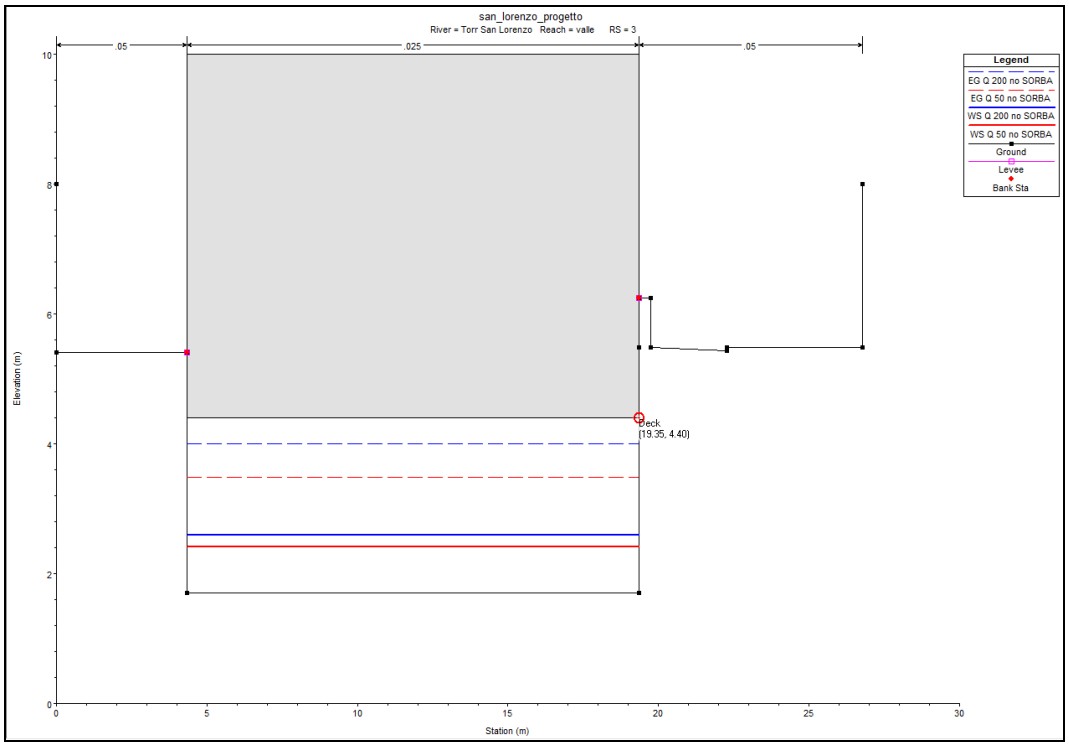


figura 15: *sezione 3 - imbocco copertura - fuori scala*

Riassumendo, lungo tutto il corso del torrente San Lorenzo verrà garantito il contenimento della portata di tempo di ritorno duecentennale con franchi idraulici notevoli. Particolarmente significativi risulta essere il raffronto tra i livelli di piena di stato attuale e di stato di progetto, visibili graficamente sia sotto forma di profili idraulici (tavole 08-A e 09-A) sia sotto forma di sezioni (tavole 06-A e 07-A).

Indicativamente le opere di cui al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica consentono un abbassamento dei livelli idrici relativi ad una piena duecentennale compresi tra 1,00 e 2,00 ml nel tratto a monte della confluenza del rio Sorba e anche superiore ai 2,00 nel tratto di valle, soprattutto in corrispondenza dell'imbocco della copertura.

Scenario scolmatore / deviatore rio Sorba

Al fine di garantire il raggiungimento di franchi idraulici adeguati lungo il tratto terminale del torrente San Lorenzo risulta - come già evidenziato - di fatto imprescindibile la deviazione del rio Sorba.

Tale soluzione viene - in accordo con quanto contenuto nell'ambito della nota di richiesta integrazioni della Regione Liguria - PG/2017/35828 del 02/02/2017 - considerata come scenario di riferimento a livello di Piano di Bacino.

Da una analisi della cartografia disponibile e a seguito di alcuni sopralluoghi effettuati in sito, risulta evidente come sia impossibile realizzare uno scolmatore del rio Sorba a cielo aperto: si dovrà pertanto fare ricorso ad una galleria idraulica prevalentemente con sezione circolare. Considerata la notevole portata da scolmare (nell'ordine dei 65 mc/s), ipotizzando di garantire il rispetto dei franchi idraulici di legge propri di una copertura, mediante un calcolo in moto uniforme si è ipotizzato un diametro della galleria di progetto pari a 5,00 ml.

Si sono analizzati diversi tracciati possibili per lo scolmatore (riportati graficamente nell'ambito della tavola 13-A allegata al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica), giungendo alla soluzione proposta, con imbocco ubicato appena a valle dell'attraversamento della linea ferroviaria Genova - La Spezia e sfocio a mare in corrispondenza del campo sportivo esistente.

Realizzando un profilo del terreno lungo l'ipotetico percorso dello scolmatore, è risultato subito evidente come i due nodi maggiormente critici fossero rappresentati dal primo e dall'ultimo tratto: in corrispondenza dell'imbocco, infatti, la quota del rio Sorba è superiore a 11,00 ml s.l.m.m. Considerando che la distanza planimetrica sino allo sbocco è di circa 280 ml, risulta evidente come la pendenza media associabile allo scolmatore sia significativa, potenzialmente attorno al 4%, con conseguenti velocità della corrente nella galleria sin troppo elevate. Al fine dunque di ridurre detta pendenza nonché sia di eliminare le problematiche di interferenza con la viabilità esistente parallela al rio Sorba sia di allontanarsi il più possibile dalle fondazioni del primo fabbricato incontrato dal percorso dello scolmatore in galleria, si è deciso di realizzare un "pozzo" di caduta della portata di altezza pari a circa 4,00 ml, facendo partire lo scolmatore/deviatore ad una quota di circa 7,20 ml s.l.m.m. Procedendo in galleria per circa 210 ml con una pendenza del 3%, lo scolmatore incontra la cosiddetta "strada delle gallerie" in corrispondenza della quale non risultano presenti gli spazi per continuare con una sezione circolare. Dunque, da qui sino allo sfocio a mare (tratto di lunghezza pari a circa 75 ml) il deflusso sarà garantito da una sezione rettangolare con dimensioni nette di 5,00 ml

x 4,50 ml, con pendenza pari allo 0,7 %, per poi sfociare nel mar Ligure ad una quota di 0,50 ml s.l.m.m., tale da garantirne la funzionalità anche in caso di mare non in condizioni di calma. Il tratto in attraversamento della strada delle gallerie verrà di fatto realizzato come ponte, mentre a valle si potrà procedere con una struttura scatolare vera e propria.

Al fine di realizzare detta struttura scatolare si potrà procedere ad innalzare la quota del sedime del campo sportivo al medesimo livello della viabilità carrabile (strada delle gallerie) così come peraltro già ipotizzato dal P.U.O. proposto per questa zona.

Al fine di ulteriore verifica della funzionalità idraulica del canale - seppur a livello di scenario - si è proceduto a realizzare un modello in modo permanente sempre mediante il software Hec-Ras 4.1.

Il modello mostra come sia garantito il deflusso in galleria con un riempimento pari a circa il 50 % della superficie nonché, nel tratto terminale, con ampio franco idraulico.

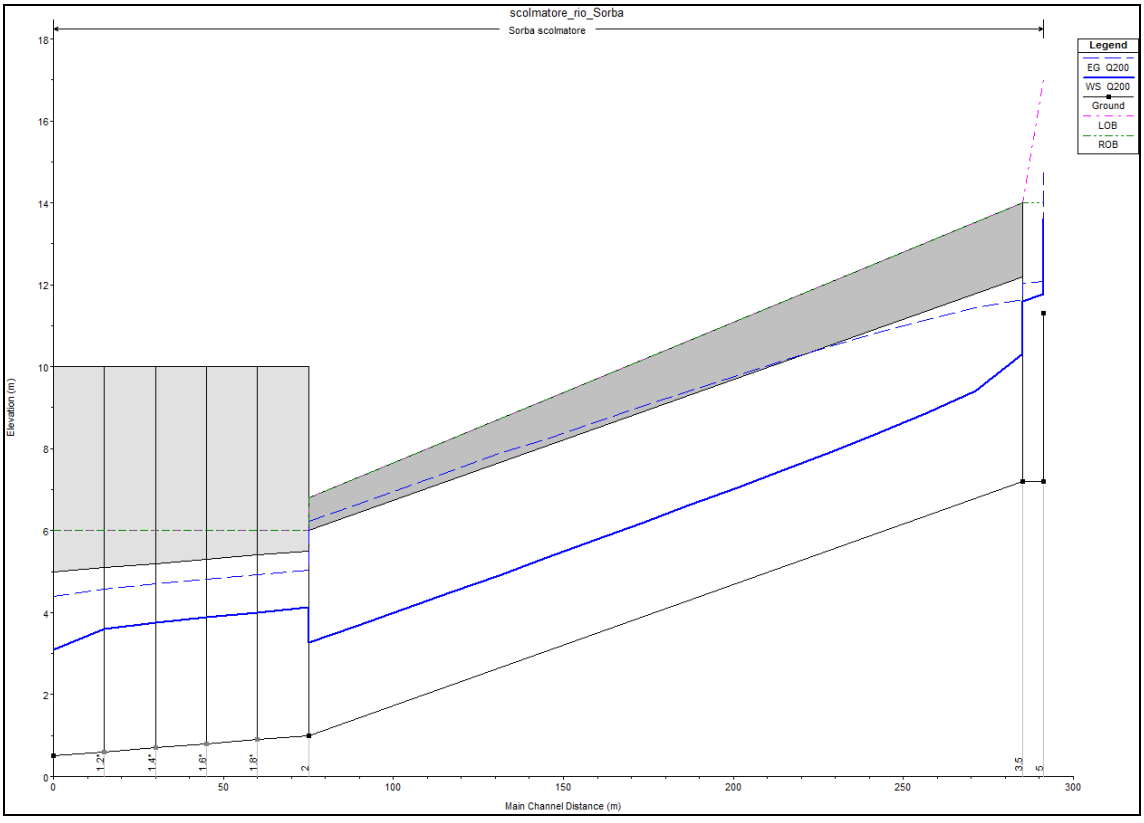


figura 16: *profilo idraulico scolmatore/deviatore rio Sorba - fuori scala*

Anche per quanto attiene il rio Sorba, si è individuata una sezione adatta alla realizzazione di una briglia selettiva a pettine atta al trattenimento di una quota parte di materiale detritico alluvionale associato alle piene. Tale briglia sarà ubicata circa 130 ml a monte del punto ove si è ipotizzato l'imbocco dello scolmatore, in una sezione in cui il rio Sorba si presenta notevolmente incassato: dunque anche in questo caso un suo riempimento sino alla sommità dei profilati metallici non comporterebbe esondazioni. La zona identificata per la realizzazione di detta briglia selettiva risulta facilmente accessibile ai mezzi per la necessaria manutenzione periodica. La sua realizzazione è comunque importante indipendentemente dallo scolmo/deviazione del rio Sorba.



figura 17: *vista verso monte rio Sorba - tratto ove ubicare briglia a pettine*

Ulteriori considerazioni idrauliche

Al fine di verificare la "stabilità" del modello idraulico di progetto si sono effettuate alcune prove modellistiche variando i coefficienti di scabrezza e le condizioni al contorno della modellazione.

Per quanto attiene le condizioni al contorno, il modello di progetto proposto presenta la profondità critica in corrispondenza del limite di monte (sezione 31) e un livello noto in corrispondenza del limite di valle al fine di simulare la presenza del mare (imposto pari a 0,50 ml s.l.m.m.). La condizione al contorno di monte risulta del tutto ininfluente al deflusso nel modello (il moto assume subito un regime lento e dunque risente principalmente della condizione al contorno di valle), mentre per quanto attiene il livello del mare imposto a valle, gli ampi franchi idraulici presenti nelle sezioni terminali del modello fanno sì che anche imponendo valori estremamente elevati come 2,00 ml s.l.m.m. la corrente verrebbe comunque contenuta e allo stesso modo il suo carico cinetico.

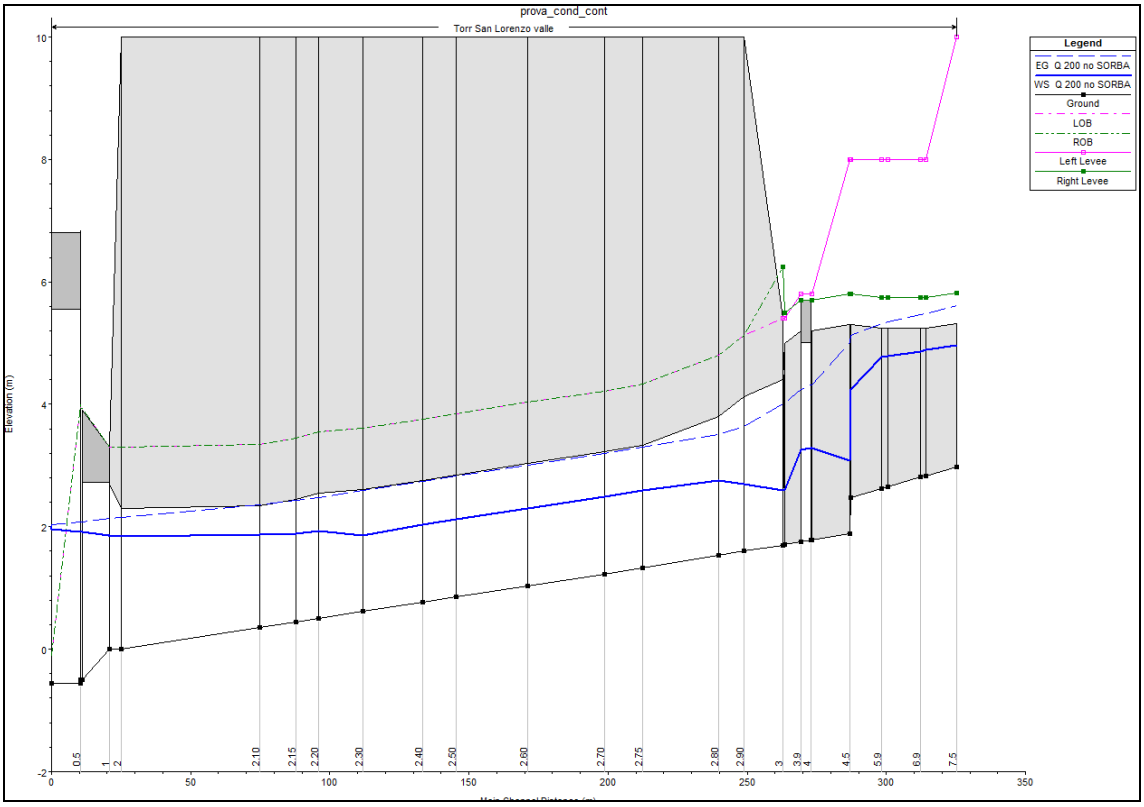


figura 18: *profilo idraulico torrente San Lorenzo valle - modello di progetto con condizione al contorno di valle modificata (h livello mare = 2,00 ml) - fuori scala*

Peraltro si sottolinea come l'abbassamento del fondo alveo nelle sezioni di valle della copertura sia minimale (nell'ordine dei 15 cm) e comunque sempre al di sopra della quota 0,00 ml s.l.m.m.; dunque si può ritenere che l'interazione con il mare nello stato attuale e nella configurazione a progetto sia identica.

Per quanto attiene invece i coefficienti di scabrezza Ks, si è verificato l'effetto di una riduzione del Ks utilizzato, sino ad un valore di 25 $m^{1/3}/s$ ovunque, sia in copertura che nei tratti a cielo aperto, il tutto al fine di simulare la presenza di materiale solido associato alle piene. Tale modello mostra come la portata sia contenuta ovunque nelle nuove arginature.

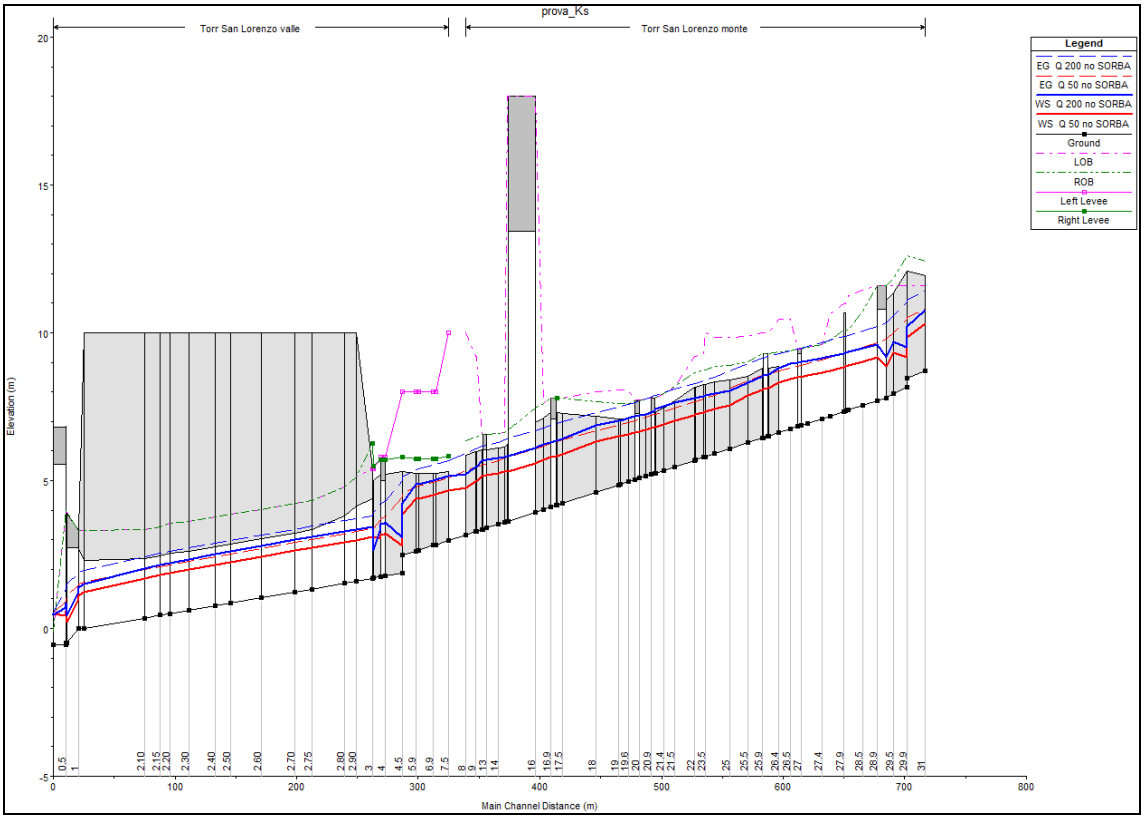


figura 19: *profilo idraulico torrente San Lorenzo modello di progetto con Ks = 25 $m^{1/3}/s$ ovunque - fuori scala*

In particolare si sottolinea come la piena transiterebbe al di sotto di tutti i ponticelli senza interferire con gli impalcati di nessuno tra essi, nonché al di sotto della copertura anche qui senza interferire in alcuna maniera con l'impalcato, il tutto a conferma della notevole stabilità della modellazione proposta.

In aggiunta a ciò si è proceduto a verificare gli effetti combinati di un modello con Ks = 25 $m^{1/3}/s$ e con un innalzamento delle quote di fondo alveo pari ovunque a circa 20 cm, al fine di simulare la presenza di una significativa quota parte di materiale solido associato alle piene.
Anche in questo caso la piena duecentennale continuerebbe ad essere contenuta ovunque, andando ad interferire soltanto con l'implacato di un paio di passerelle pedonali. Anche la copertura terminale continuerebbe a garantire il deflusso dell'intera portata di piena.

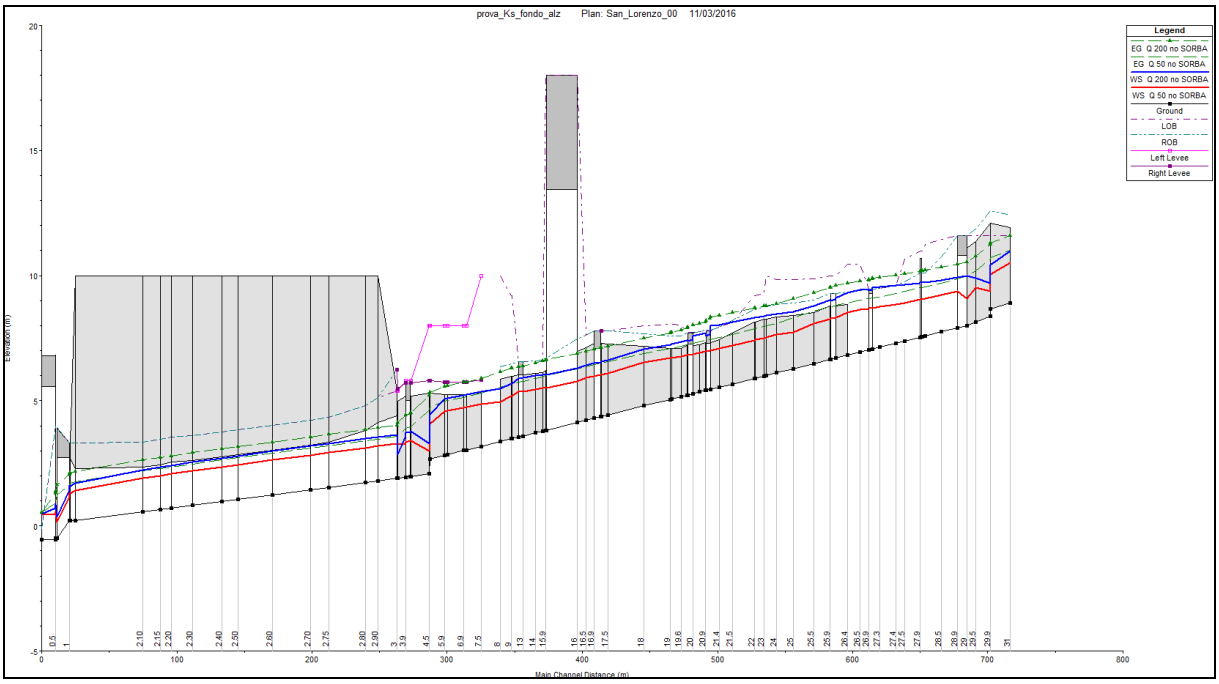


figura 20: *profilo idraulico torrente San Lorenzo - modello di progetto con Ks = 25 $m^{1/3}/s$ ovunque e fondo rialzato di 20 cm - fuori scala*

Si è inoltre proceduto a valutare l'effetto delle curve esistenti lungo il corso del torrente San Lorenzo.

Analizzando il torrente da monte verso valle risulta evidente come l'andamento sia sinuoso, ma sostanzialmente privo di curve particolarmente secche ad eccezione di quella in corrispondenza della confluenza tra il torrente San Lorenzo e il rio Sorba (riferimento sezione idraulica 7.5).

A titolo di ulteriore sicurezza, si sono comunque anche analizzate ulteriori due curve, la prima in corrispondenza della sezione 26 e la seconda nella copertura terminale (riferimento sezione idraulica 2.7).

Analizzando il modello idraulico di progetto, per una piena di tempo di ritorno duecentennale, si ricava che per le due sezioni di monte (26 e 7.5) il deflusso risulta assumere regime lento, mentre per quanto attiene la terza sezione (2.7) il regime risulta essere veloce.

Per quanto attiene le condizioni di corrente veloce (sezione 2.7) 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:

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

Dunque il sovralzo del pelo libero risulterà essere pari a:

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

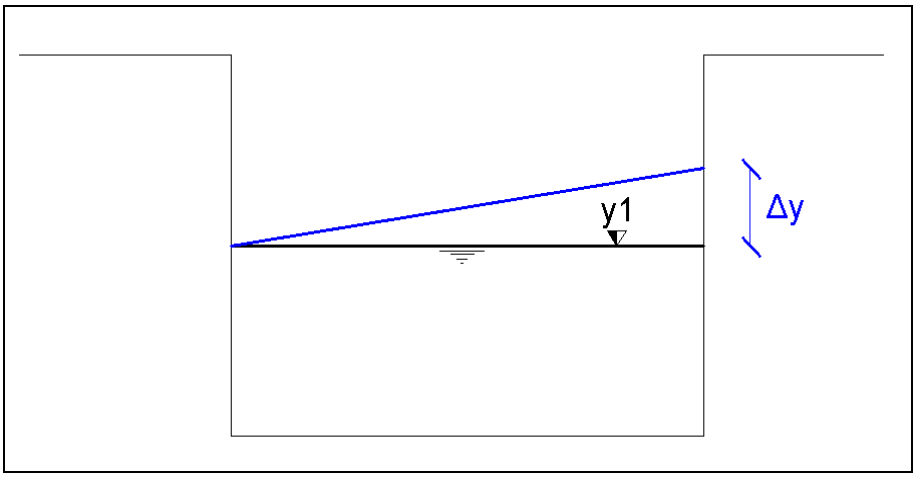


figura 21: *schematizzazione sovralzo in esterno curva per correnti veloci*

Applicando le formulazioni di cui sopra, si ottiene per la sezione idraulica 7.5 un sovralzo pressoché nullo, pari a soli 3 centimetri.

sezione	b	y	r	Fr	Beta	Delta	DY
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[rad]	[rad]	[m]
2.7	15.00	1.25	90.00	1.07	1.21	0.06	0.03

Per quanto attiene invece le sezioni 7.5 e 26 la corrente assume un regime lento e vengono dunque applicate le formulazioni proposte da Marchi per correnti lente:

$$\Delta y = \frac{\frac{U^2 b}{g\, r_m}}{2}$$

con:

U = velocità della corrente indisturbata
b = larghezza media sezione
r_m = raggio medio curvatura

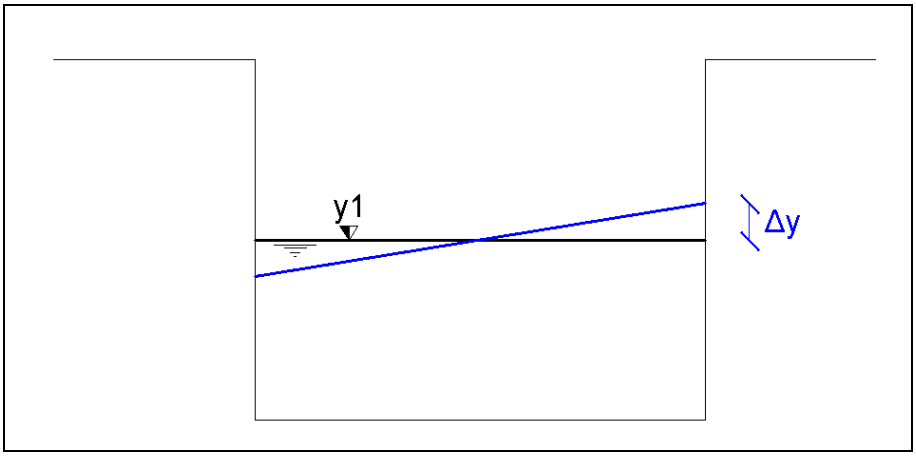


figura 22: *schematizzazione sovralzo in esterno curva per correnti lente*

Applicando le formulazioni di cui sopra, si ottiene per entrambe le sezioni un valore di sovralzo contenuto in circa 30 cm e dunque compreso ampiamente nei franchi idraulici delle sezioni.

sezione	b	r	U	DY
[-]	[m]	[m]	[m/s]	[m]
26	9.00	37.00	3.79	0.18
7.5	10	20	3.55	0.32

Aspetti morfodinamici

Al fine di valutare la tendenza morfodinamica attuale del torrente San Lorenzo si è proceduto in primis ad effettuare un raffronto tra le quote di fondo alveo desunte da un rilievo topografico datato 2005 e quelle di riferimento del presente progetto.

Nell'arco di questa dozzina di anni non si sono effettuati interventi strutturali lungo il tratto di torrente San Lorenzo analizzato e dunque gli unici interventi sono stati di manutenzione, principalmente con periodico taglio vegetazionale: come si può vedere dalla documentazione fotografica di cui al presente progetto di fattibilità tecnica ed economica, l'alveo è caratterizzato da una notevole tendenza di crescita di vegetazione.

Procedendo da valle verso monte, si è verificato come le quote di fondo alveo siano estremamente simili tra i due rilievi, con differenze sempre contenute in 10 ÷ 30 centimetri in positivo o negativo e pertanto di un ordine di grandezza da ritenersi di fatto dipendente dalla posizione dei punti rilevati e utilizzati come raffronto.

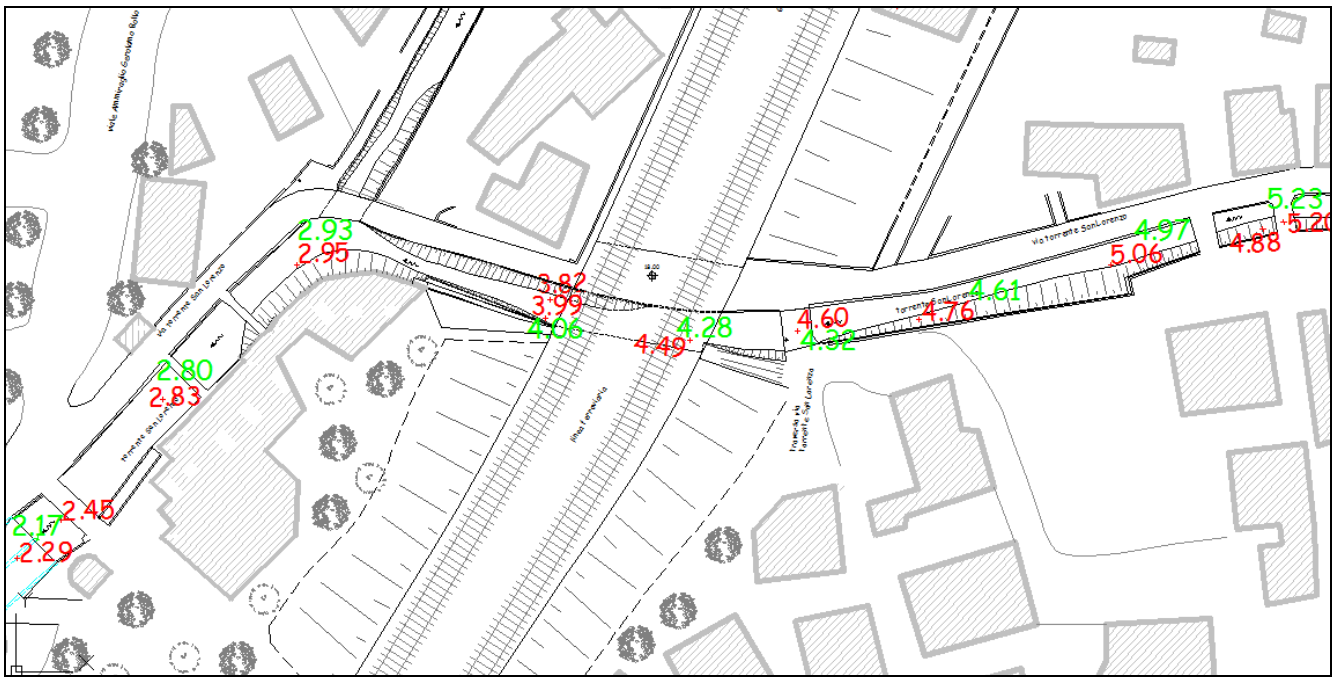


figura 23: *stralcio planimetria di stato attuale - in* ***rosso*** *quote alveo rilievo anno 2005 in* ***verde*** *quote attuali - fuori scala*

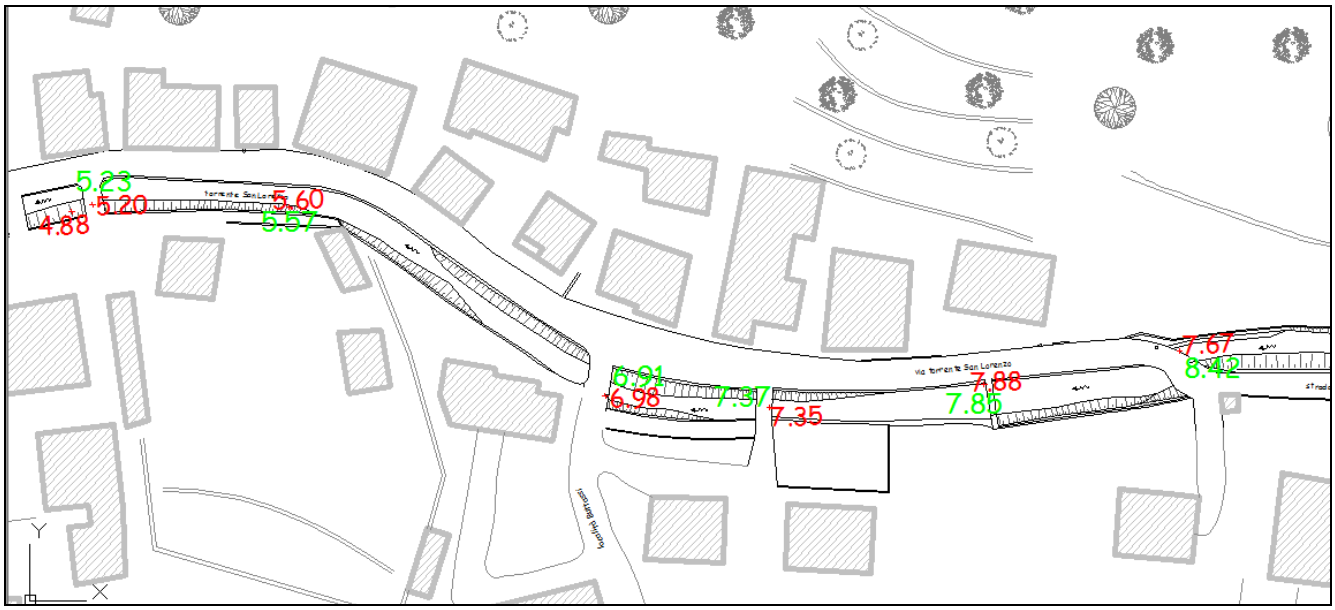


figura 24: *stralcio planimetria di stato attuale - in **rosso** quote alveo rilievo anno 2005 in **verde** quote attuali - fuori scala*

Dall'analisi del tratto di monte si può notare come le uniche differenze di quota significative si verificano in corrispondenza del ponticello di attraversamento della viabilità provinciale (sezione idraulica 29): in corrispondenza di tale attraversamento si può notare un accumulo di circa 70 cm da giustificarsi non tanto per ragioni di pendenza del fondo, quanto per la struttura stessa del ponte che costituisce una sorta di "tappo" al deflusso delle portate liquida e solida, creando di fatto un'area di accumulo a monte.



figura 25: *vista verso monte ponticello viabilità provinciale*

Per quanto attiene la copertura terminale si può osservare la presenza di un limitato strato di materiale solido al fondo, comunque sempre di spessore contenuto: anche in tale tratto, dunque, si può sostenere come l'equilibrio sia assai prossimo.



figura 26: *copertura terminale rio San Lorenzo*

Il progetto di fattibilità tecnica ed economica prevede la regolarizzazione delle quote di fondo alveo. Tuttavia la pendenza media dell'alveo imposta nella condizione di progetto risulta di fatto identica a quella di stato attuale.

La modellazione di stato attuale mostra inoltre velocità di corrente molto variabili per eventi di tempo di ritorno significativi, sia a causa dell'estrema irregolarità delle sezioni (allargamenti e restringimenti continui), sia a causa del non contenimento della portata nell'alveo attivo e la sua interferenza con ponti, altre strutture etc.

La modellazione di progetto mostra invece velocità contenute per tutto il tratto a cielo aperto tra 2 e 4 m/s, il tutto grazie al contenimento delle piene e alla maggiore regolarità delle sezioni.

Si segnala peraltro che il punto di sfocio a mare non è stato variato e che sono state previste opere di trattenimento del materiale detritico-alluvionale quali due briglie a pettine in cls con profilati metallici (una lungo il rio Sorba e una lungo il rio San Lorenzo), in due tra i pochissimi punti ove l'alveo risulta particolarmente incassato e dunque sufficiente anche in caso di intasamento delle briglie; si segnala peraltro che queste ubicazioni sono anche raggiungibili con facilità a garanzia della manutenzionabilità dei manufatti.

Inoltre, nel transitorio tra la realizzazione del primo e del secondo lotto si verrà a creare una vasca di sedimentazione appena all'imbocco della copertura terminale, vasca in grado di trattenere una notevole quantità di materiale solido evitando che questo possa andare ad invadere la copertura terminale non ancora adeguata (superficie planimetrica della vasca pari a circa 230 mq per un'altezza poco inferiore ai 50 cm con conseguente volume depositato poco superiore ai 100 mc).

Al di là delle considerazioni qualitative espresse in precedenza, di seguito verranno riportate considerazioni più approfondite sulla configurazione di progetto, il tutto al fine di **stimare un ipotetico profilo di equilibrio del rio** (*riferimento capitolo 4 del manuale della morfodinamica fluviale redatto dalla Regione Liguria - Dipartimento ambiente - Settore assetto del territorio*).

Le considerazioni saranno riferite ad un evento di piena cinquantennale, ritenuto quello maggiormente significativo in quanto contenuto ovunque all'interno della arginature, senza dunque interferire con l'esistente al di fuori dell'alveo attivo.

In primis per il **tratto a cielo aperto a monte della confluenza con il rio Sorba**, a partire dalla valutazione di un idrogramma di piena cinquantennale (con picco di piena ovviamente pari al valore di Piano di Bacino) si è proceduto a costruire il corrispondente sedimentogramma.

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 ρs (considerata pari a 2650 kg/mc).



figura 27: *sedimenti fondo alveo torrente San Lorenzo*

Si è dunque proceduto a stimare la portata solida Qs 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

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

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

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

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

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 10 valori di portata, uno ogni 8 minuti.

Per quanto attiene invece le caratteristiche geometriche dell'alveo, si è considerata una sezione rettangolare di larghezza pari a 10 metri, pendenza dell'alveo pari all' 1.34 % e valore di scabrezza Ks = 30 $m^{1/3}/s$ (*tutti questi valori sono caratteristici del tratto a cielo aperto dell'alveo nella configurazione di progetto*).

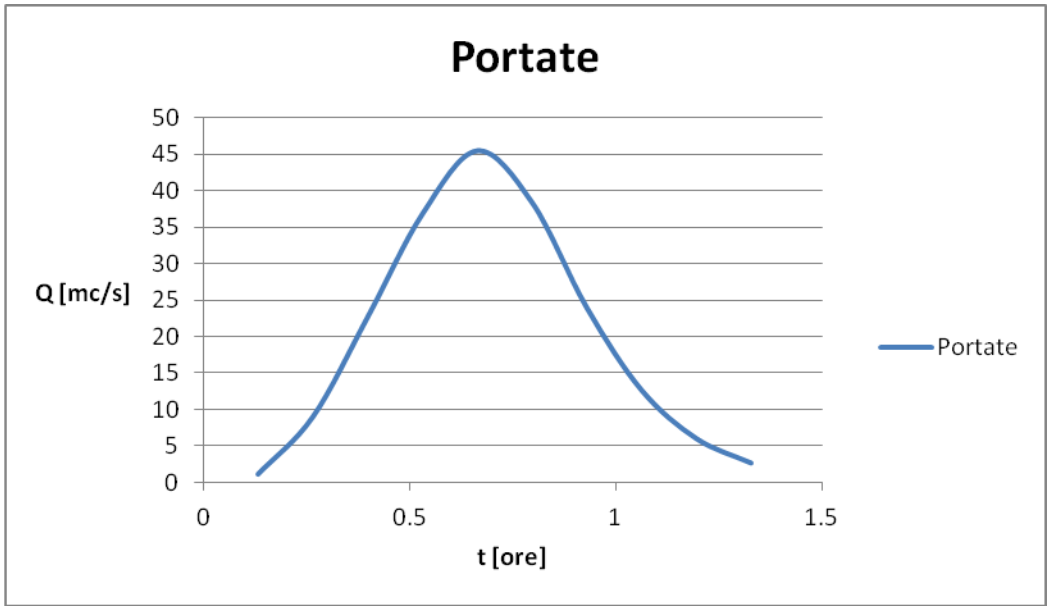


figura 28: *idrogramma discretizzato - Tr = 50 anni - tratto a monte confluenza con rio Sorba*

Stante l'estrema regolarità delle sezioni nulla configurazione di progetto (larghezza compresa ovunque tra 9,50 e 10 metri e pendenza di fondo alveo costante), l'alveo viene considerato come cilindrico e dunque l'assunzione di un moto uniforme per sezione rettangolare appare assolutamente ben rappresentativa della situazione reale.

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 8.5 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 0.10 mc/s.

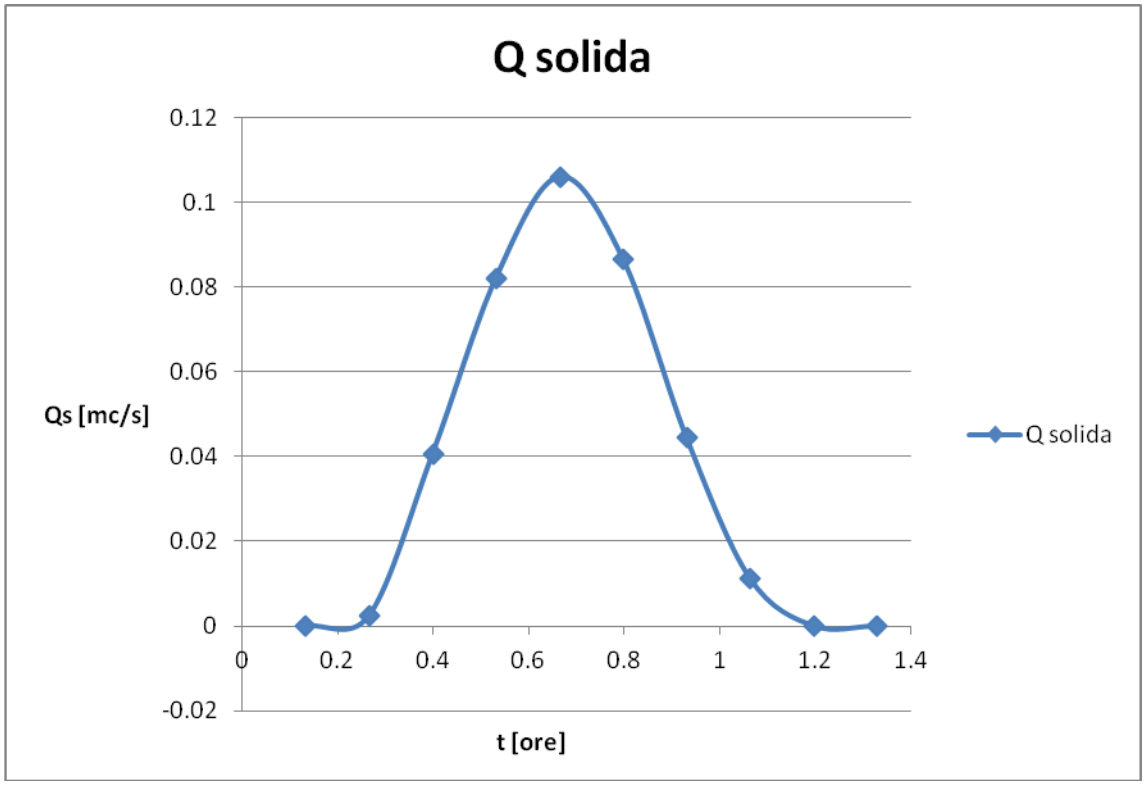


figura 29: *sedimentogramma - Tr = 50 anni - tratto a monte confluenza con rio Sorba*

Una volta note portata solida e liquida si è proceduto a stimare il profilo di equilibrio del rio, attraverso l'integrazione dell'equazione:

$$\frac{dH}{dx} = -j$$

il tutto a partire da un valore del carico totale H assegnato nella sezione di valle del tratto analizzato: noto il carico totale in ogni sezione, la quota del fondo è immediatamente ottenibile essendo: $\eta = H - E$.

A partire dunque dalla sezione di valle ove si considera nota la quota della superficie libera e il carico totale H, si è proceduto a valutare il profilo di equilibrio attraverso i seguenti passi:

1) attraverso un calcolo iterativo si è determinata la profondità Y_i che, nell'iesima sezione considerata, soddisfa contemporaneamente la conservazione delle portate liquide e solide (soluzione stazionaria).

In particolare, dunque, il sistema di equazioni considerato per la determinazione della profondità di moto che consente la conservazione di portata solida e liquida è il seguente:

$$\begin{cases} Q = k_s i_f^{\frac{1}{2}} \Omega R_i^{\frac{2}{3}} \\ Q_S = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{3}{2}} \sqrt{(s-1) g d^3} b \\ \tau_* = \dfrac{Q^2}{C^2 \Omega^2 (s-1) g d} \end{cases}$$

2) noto il carico totale si è determinata la quota di fondo di equilibrio come:

$$\eta_i = H_i - Y_i - \frac{Q^2}{2g\Omega_i^2}$$

3) si è dunque determinata la perdita di carico per unità di lunghezza j_i come:

$$j_i = \left(\frac{Q}{I_i \Omega_i}\right)^2$$

con:

$$I_i = \int_b k_s(y)(Y_i - z(y))^{\frac{2}{3}} dy$$

4) si è determinato poi il carico totale nella sezione precedente (con distanza tra le due sezioni pari a Δx_i) attraverso la seguente equazione:

$$H_{i-1} = H_i + j_i \Delta x_i$$

5) si sono ripetuti i passaggi precedenti sino a giungere alla sezione di monte.

Applicando la metodologia sopra descritta al caso specifico in esame si può verificare come, stante l'assoluta regolarità delle sezioni a monte della confluenza con il rio Sorba nella configurazione di progetto, la pendenza di equilibrio sia facilmente valutabile come un unico valore per tutto il tratto: tale valore risulta compreso tra circa **1.21 e 1.29 %** a seconda della portata liquida considerata.

Q [mc/s]	10	20	30	40	45
pendenza equilibrio [-]	0.0128	0.0126	0.0123	0.0122	0.0121

Considerando che il valore di pendenza imposto nel tratto risulta costante e pari a 1.34 % si può sostenere che l'alveo sia in una sostanziale condizione di equilibrio anche nella sua configurazione di progetto per tutto il tratto a cielo aperto a monte della confluenza con il rio Sorba.

A favore di sicurezza, stante la lievissima tendenza erosiva evidenziata dai calcoli, si è comunque proceduto ad inserire una serie di **soglie di fondo a raso**, una ogni circa 30 ml di corso d'acqua: si è infatti ritenuto che tale soluzione fosse funzionale, ma nello stesso tempo sicuramente più economica rispetto ad altre soluzioni quali ad esempio un approfondimento fondazionale delle opere arginali.

Si segnala peraltro che il valore di pendenza di equilibrio sopra riportato è sostanzialmente indipendente dal diametro caratteristico dei sedimenti (al variare del diametro varia ovviamente la portata solida del tratto, ma la pendenza di equilibrio rimane di fatto costante).

Ripetendo la medesima procedura per il **tratto a cielo aperto a valle della confluenza con il rio Sorba**, sempre per un evento di tempo di ritorno cinquantennale (**comprensivo del contributo del rio Sorba**) e considerandolo in tale fase come un tratto a sé stante (medesime caratteristiche geometriche del tratto di monte, ma portata comprensiva del contributo del rio Sorba) si ottengono i seguenti grafici:

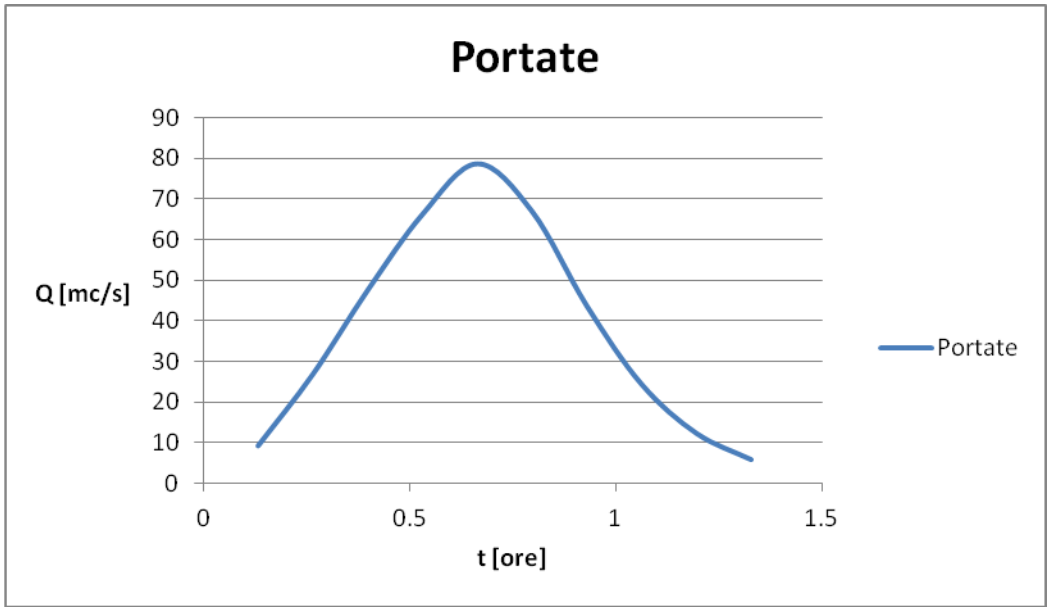


figura 30: *idrogramma discretizzato - Tr = 50 anni - tratto a valle confluenza con rio Sorba*

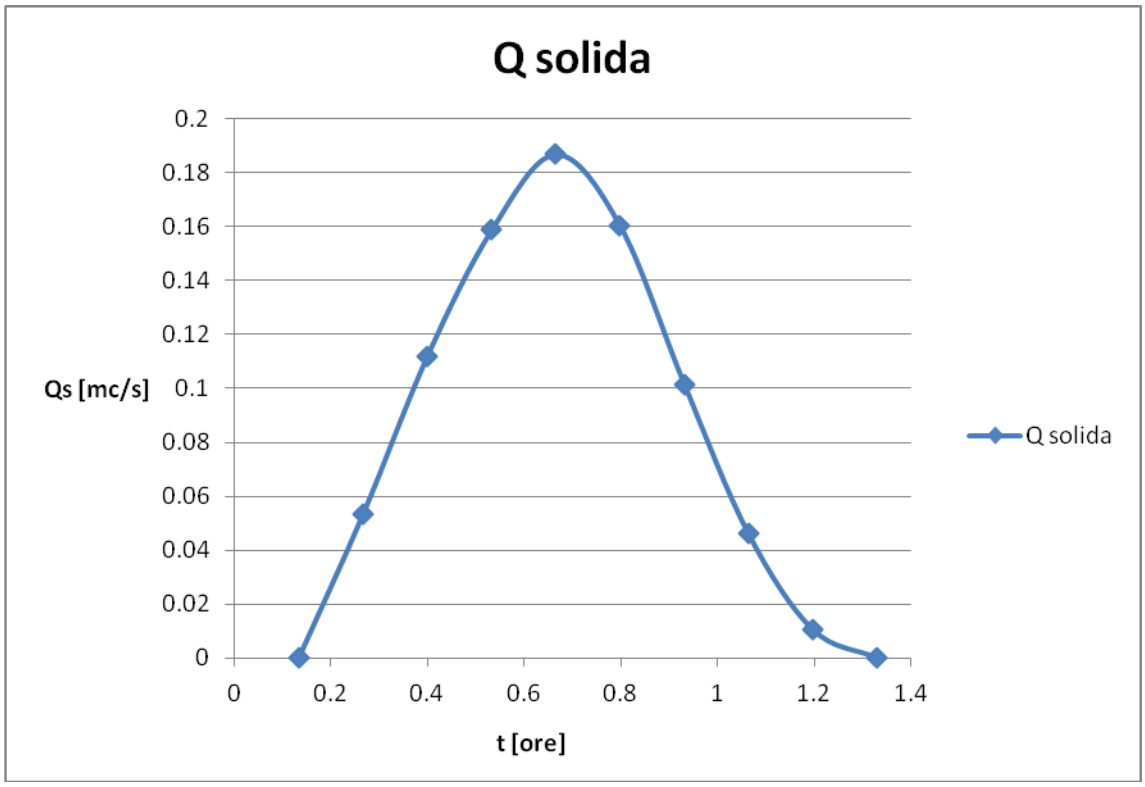


figura 31: *sedimentogramma - Tr = 50 anni - tratto a valle confluenza con rio Sorba*

La pendenza di equilibrio propria di questo tratto risulta compresa tra circa 1.17 e 1.28 % a seconda della portata considerata.

Considerando che il valore di pendenza imposto anche in tale tratto risulta costante e pari a 1.34 % si può sostenere che l'alveo sia in una sostanziale condizione di equilibrio anche nella sua configurazione di progetto per tutto il tratto sino all'imbocco della copertura terminale.

Si sottolinea peraltro che anche in tale tratto (peraltro di lunghezza limitata) sono previste una soglia di fondo a raso e una briglia a formazione di salto di fondo, opere tali da garantire la non erodibilità del tratto.

Ripetendo la medesima procedura per il **tratto terminale in copertura del rio San Lorenzo**, sempre per un evento di tempo di ritorno cinquantennale (e sempre **comprensivo del contributo del rio Sorba)** e considerando assolutamente a favore di sicurezza come portata solida entrante quella caratteristica del tratto precedente (Q solida di picco per evento di Tr = 50 anni pari a 0.19 mc/s), si ottiene un valore di profilo di equilibrio pari a circa 1.12 %, come noto superiore ai valori di pendenza del tratto (di fatto corrispondenti tra stato attuale e a progetto e pari allo 0.72 %).

Si segnala comunque che la medesima pendenza di equilibrio (anzi, lievemente superiore) si riscontrerebbe anche non considerando l'allargamento della copertura previsto a progetto.

Appare dunque evidente come non sia fattibile garantire in tale tratto il mantenimento della pendenza di equilibrio, a causa dell'impossibilità di rialzare il piano viario (unica possibilità per alzare il fondo senza ridurre significativamente la sezione) o abbassare la sezione terminale del tratto (si andrebbe inevitabilmente ad interferire con il mare).

Tale configurazione di fondo appare comunque "estrema" in quanto ad esempio considera un apporto teoricamente "infinito" di materiale solido proveniente da monte, mentre si ricorda come nell'ambito della progettazione in oggetto si siano previste due briglie selettive ubicate nei tratti di monte del rio San Lorenzo e del rio Sorba, briglie tali da limitare l'apporto di materiale solido verso valle.

Inoltre si sottolinea che il trasporto solido al fondo nel tratto immediatamente a monte si innesca per portate pari o superiori a circa 8.60 mc/s e dunque solo in caso di eventi significativi si potrà associare un trasporto solido significativo con eventuali limitati fenomeni di accumulo di materiale in copertura.

Si segnala infine che il diametro caratteristico considerato per il sedimento (pari a 5 cm) risulta particolarmente cautelativo: considerando diametri di sedimenti inferiori (esempio 3 cm) si verificherebbe un aumento della portata solida entrante (da 0,18 mc/s a 0,24 mc/s), ma anche una lieve diminuzione della pendenza di equilibrio (da 1.12 a 1.10 %).

A favore di sicurezza e a verifica della stabilità della modellazione idraulica di stato di progetto, si è implementata un'ulteriore modellazione idraulica con tutti gli interventi previsti a progetto (ad esclusione dello scolmo del rio Sorba), ma con livelletta di fondo con pendenza pari all' 1.12 % precedentemente definito come pendenza di equilibrio.

Tale pendenza è stata riportata verso monte sino ad intersecare il profilo di fondo di progetto, come mostrato nella figura seguente.

Il fondo alveo con profilo di equilibrio risulta rialzato di poco meno di un metro in corrispondenza dell'imbocco della copertura terminale.

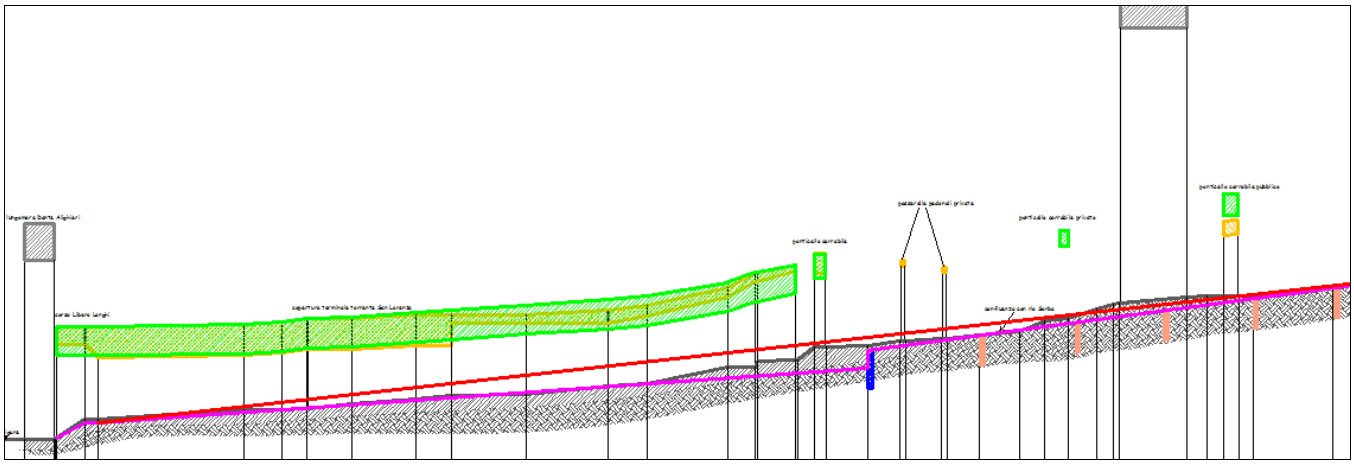


figura 32: *stralcio profilo fondo alveo - in **magenta** configurazione a progetto in **rosso** configurazione con pendenza di equilibrio*

La modellazione idraulica con tale configurazione di fondo mostra comunque ancora il contenimento della piena cinquantennale (si ricorda ancora, portata comprensiva del contributo del rio Sorba) in copertura (sebbene sostanzialmente senza alcun franco idraulico in alcune sezioni), a conferma dell'assoluta stabilità della modellazione proposta.

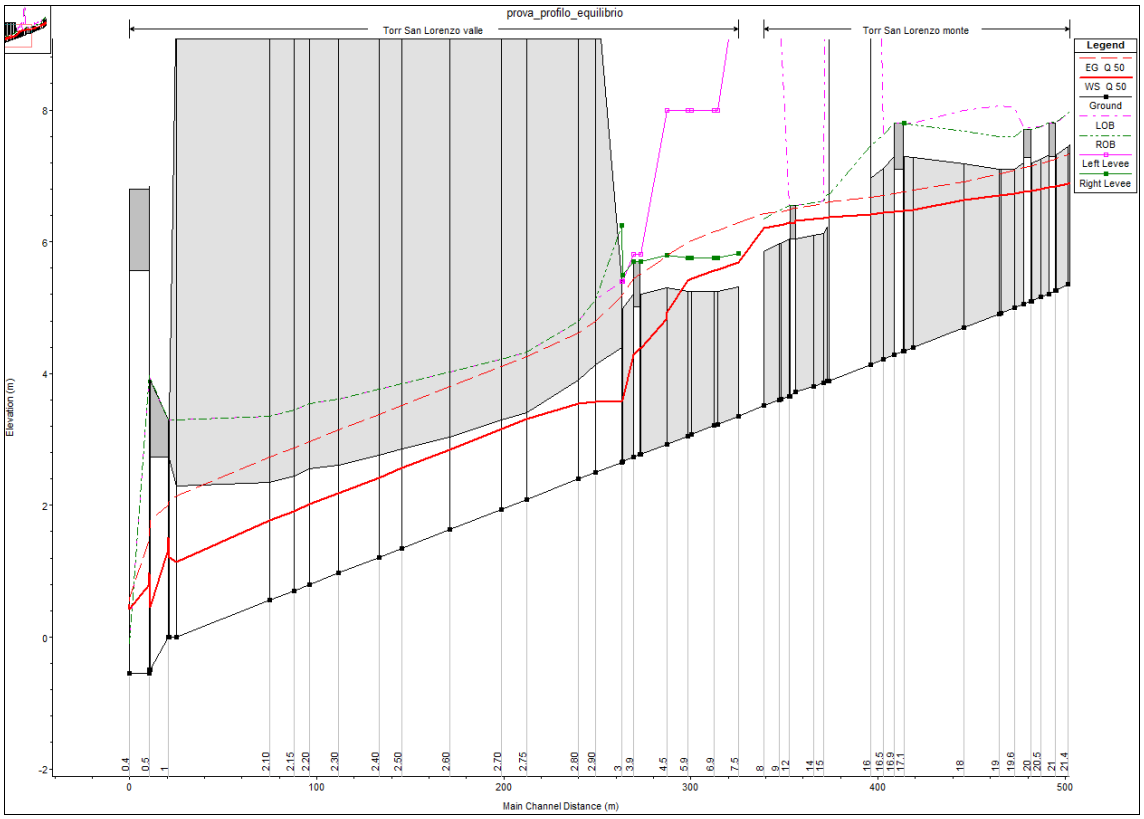


figura 33: *profilo idraulico Q (Tr = 50 anni) comprensiva del rio Sorba - modello di progetto con livelletta di fondo imposta pari alla pendenza di equilibrio*

Anche nel tratto di monte la piena cinquantennale risulta contenuta ovunque all'interno dei limiti arginali.

Infine si è proceduto a valutare la pendenza di equilibrio del tratto in copertura con la realizzazione di tutti gli interventi proposti, compreso lo scolmo del rio Sorba.

In questo caso dunque è stato considerato l'idrogramma relativo ad un evento di **tempo di ritorno duecentennale privato del contributo del rio Sorba**.

Si segnala peraltro come il valore di picco sia assai simile al valore cinquantennale del caso sopra descritto e dunque anche il risultato dei calcoli sia del tutto similare: il profilo di equilibrio del tratto viene ad essere fissato ad un pendenza pari a 1.11 %, sostanzialmente identica all'1.12% sopra descritto.

Dunque si è mantenuta la modellazione idraulica descritta precedentemente, inserendovi la portata duecentennale privata del contributo del rio Sorba.

Il risultato è del tutto similare e anche in questo caso si dimostra il **contenimento della piena duecentennale decurtata del contributo del rio Sorba**, seppur con franchi idraulici ridotti in diverse sezioni.

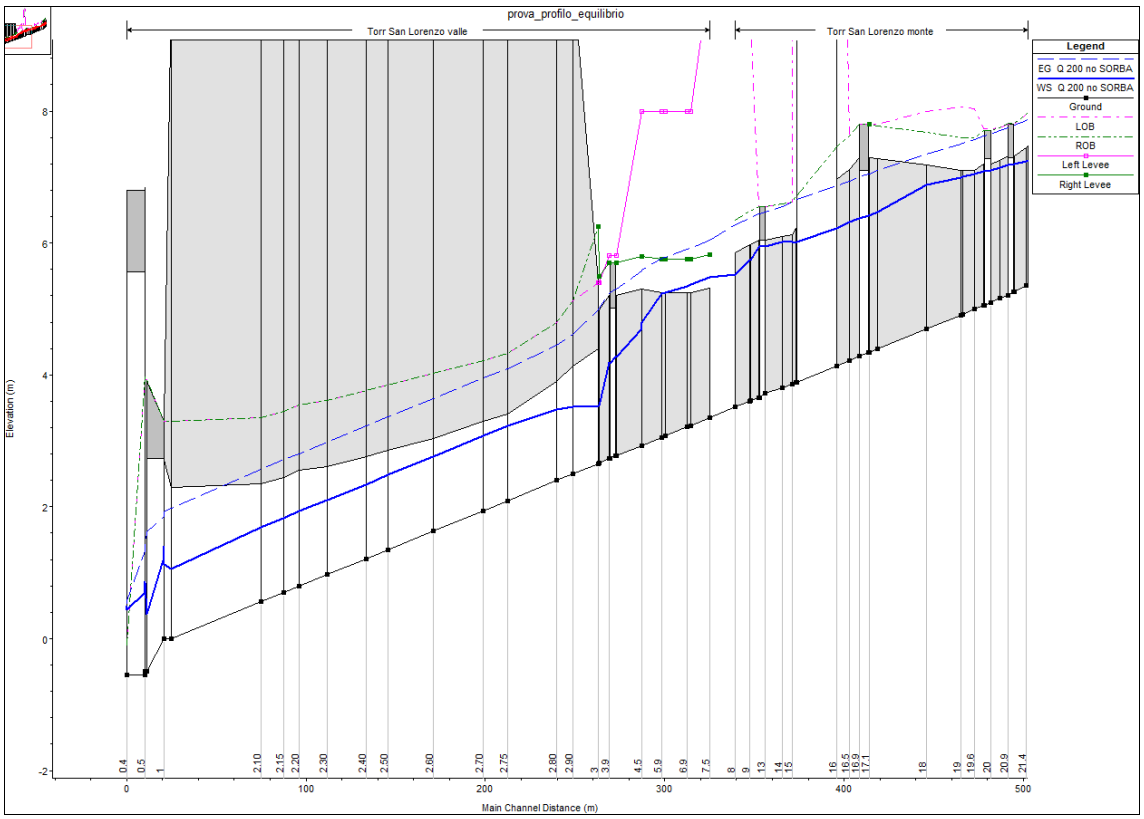


figura 34: *profilo idraulico Q (Tr = 200 anni) decurtata del rio Sorba - modello di progetto con livelletta di fondo imposta pari alla pendenza di equilibrio*

In conclusione si ritiene che la soluzione progettuale proposta sia sufficiente a "sopportare" anche possibili accumuli di materiale solido lungo il tratto terminale in copertura.

Stante di fatto l'impossibilità di modificare significativamente la livelletta di fondo del tratto in copertura e stante le considerazioni sopra esposte, ad oggi si ritiene auspicabile procedere a sopralluoghi di verifica a seguito di eventi alluvionali particolarmente significativi e, se necessario, a interventi di rimozione dell'eventuale materiale detritico accumulato, il tutto nell'ambito di un ben definito piano di manutenzione.

Valutazione effetto singoli lotti

Nell'ambito del presente paragrafo si provvederà a valutare l'effetto idraulico delle opere previste qualora fossero realizzate soltanto in parte.

I due casi analizzati con la presente saranno dunque i seguenti:

- realizzazione lotti 1 + 2 + 3 (progetto completo senza scolmo/deviazione rio Sorba)
- realizzazione solo lotto 1 (lotto inserito nel canale di finanziamento POR-FESR Liguria 2014-2020 - azione 5.1.1)

Ulteriori casistiche sono da ritenersi "superflue": in particolare la combinazione lotto 1 + lotto 2 prevede la sistemazione di un lungo tratto di torrente San Lorenzo a partire dal mare sino a monte del ponte di attraversamento ferroviario e i suoi effetti saranno identici alla configurazione lotto 1 + 2 + 3 nei tratti qui interessati, mentre i livelli in corrispondenza del tratto interessato dal lotto 3 sono identici allo stato attuale.

Realizzazione lotti 1 + 2 + 3

In primis si analizzerà il caso di realizzazione di tutti gli interventi previsti lungo il corso del torrente San Lorenzo (lotto 1 + lotto 2 + lotto 3) senza considerare lo scolmo/deviazione del rio Sorba; tale casistica appare estremamente significativa (si ricordi che lo scolmo del rio Sorba viene considerato come uno *scenario* a livello di Piano di Bacino) e i livelli idrici rappresentativi di tale casistica progettuale verranno pertanto riportati nell'ambito degli elaborati grafici (sezioni e profili tavole 06-A - 07-A - 08-A -09-A).

Al di là dell'ovvio "azzeramento" dei livelli idrici nel tratto terminale del rio Sorba, la deviazione del rio medesimo comporta vantaggi al deflusso del torrente San Lorenzo, sia per il tratto a valle della confluenza, sia per un tratto a monte della stessa. In particolare gli effetti si risentono verso monte sino alla sezione 25 (Tr = 200 anni) e 18 (Tr = 50 anni): a valle di tali sezioni i profili si "appiattiscono" risentendo della confluenza.

Si tralascia dunque qui la descrizione degli effetti a monte della sezione 25, essendo del tutto identici alla configurazione di progetto globale già ampiamente analizzata.

Per quanto attiene invece il tratto compreso tra la sezione 25 (poco a valle ponte accesso località Buttassi) e la confluenza con il rio Sorba, si segnala come anche in tale configurazione la piena cinquantennale venga contenuta ovunque, con franchi idraulici rilevanti e carico cinetico contenuto ovunque.

La portata duecentennale risulta contenuta nel tratto a monte del ponte di attraversamento ferroviario; a valle si registrano lievi fuoriuscite in destra idraulica (tiranti sulla viabilità nell'ordine dei 20÷25 cm) del tutto indipendenti dal ponte in corrispondenza della sezione 13, ma dovute dal livello assunto in corrispondenza della confluenza.

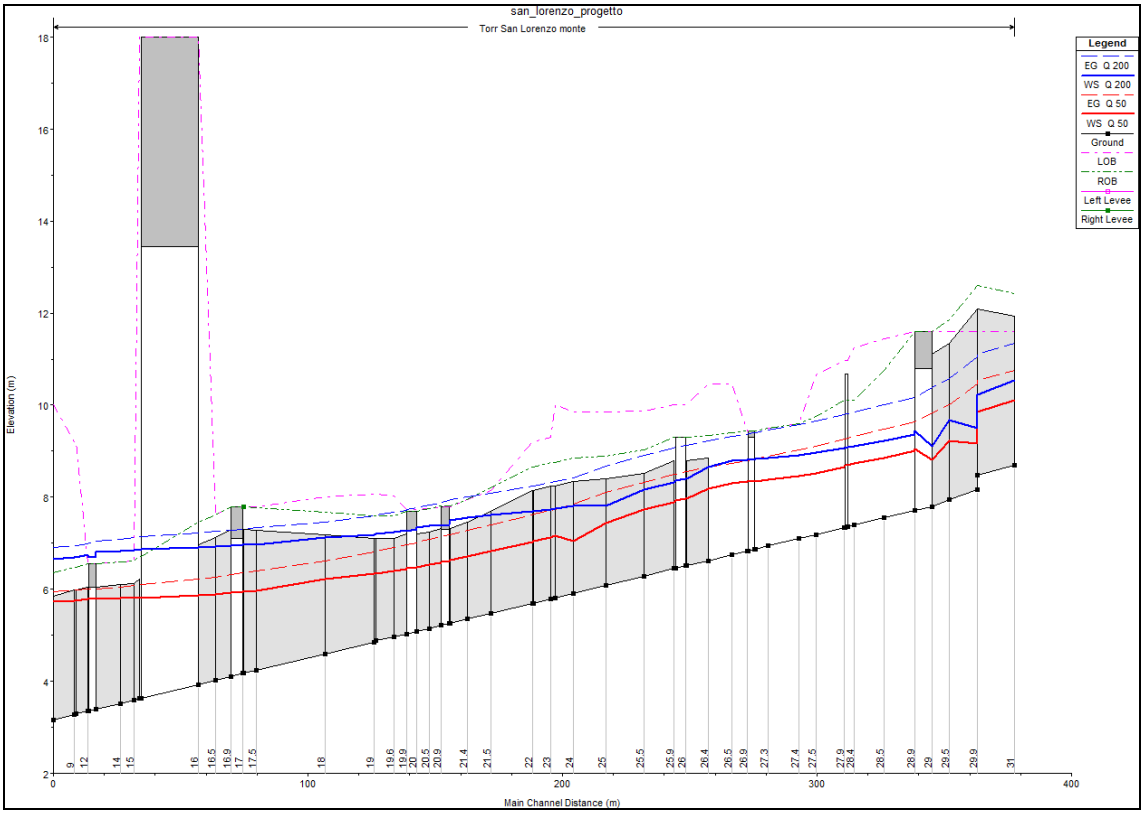


figura 35: *profilo idraulico torrente San Lorenzo tratto a monte confluenza con rio Sorba modello di progetto - lotto 1 + 2 + 3 con contributo rio Sorba - fuori scala*

Per quanto attiene invece il tratto a valle della confluenza, gli interventi di sistemazione del torrente San Lorenzo sono sufficienti a garantire il transito in copertura della piena cinquantennale con franco geometrico nell'ordine dei 70 cm e contenimento del carico cinetico. Per quanto attiene la piena duecentennale, anch'essa verrebbe contenuta senza mandare in pressione alcun tratto della tombinatura.

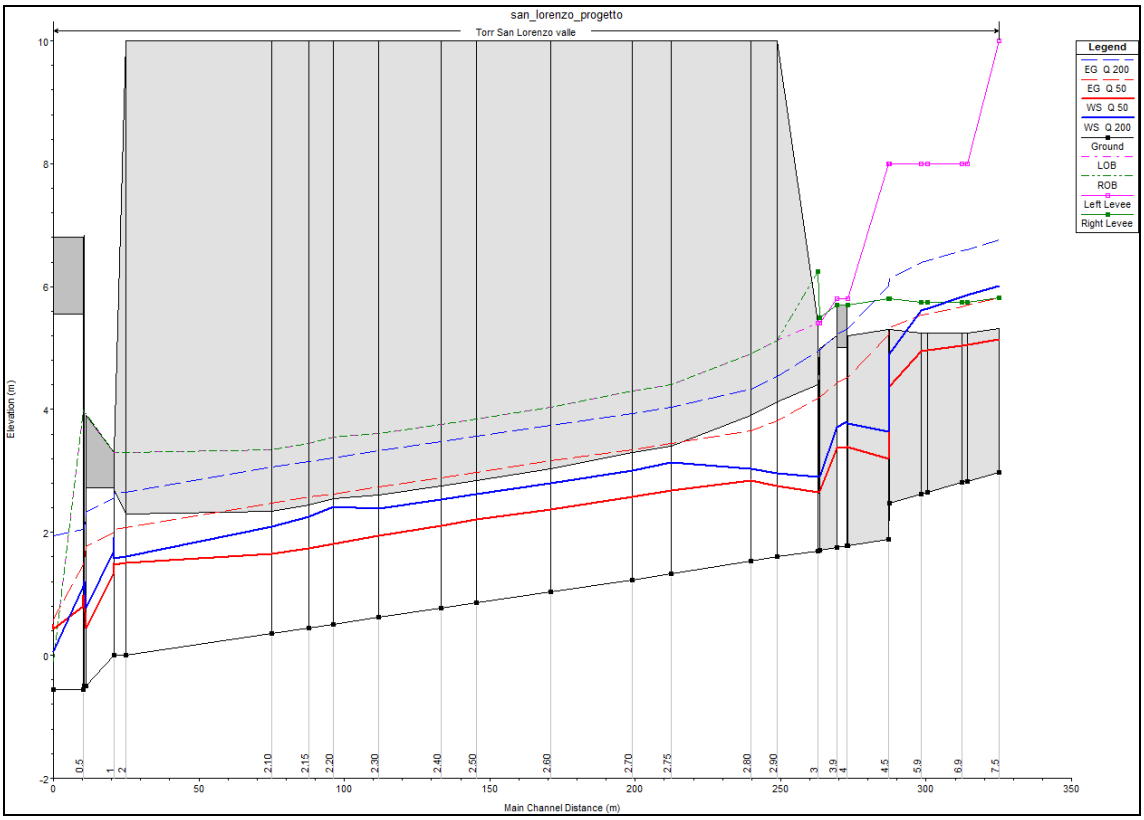


figura 36: *profilo idraulico torrente San Lorenzo tratto a valle confluenza con rio Sorba modello di progetto - lotto 1 + 2 + 3 con contributo rio Sorba - fuori scala*

Si può dunque oggettivamente sostenere come la "sola" sistemazione del torrente San Lorenzo senza lo scolmo/deviazione del rio Sorba sia sufficiente a garantire una fortissima mitigazione del rischio idraulico attualmente insistente sulla porzione di ponente dell'abitato di Moneglia.

Realizzazione solo lotto 1

Il lotto 1 è come noto costituito dall'intervento inserito nel canale di finanziamento bando POR-FESR Liguria 2014-2020 - azione 5.1.1 e comprende dunque la sistemazione del tratto di torrente San Lorenzo compreso tra l'imbocco della copertura terminale (sezione 3) e il ponticello privato per accesso ad alcune abitazioni (sezione 20.1).

E' stato inserito tale intervento come primo lotto anziché la sistemazione della copertura terminale in quanto, sotto l'aspetto meramente idraulico si è verificato come il tratto iniziale della copertura sia ad oggi tale da poter ricevere integralmente la portata relativa ad un evento di tempo di ritorno cinquantennale, portata che, sebbene con alcuni tratti in pressione, potrà defluire sino allo sfocio in mare. Il tratto di monte risulta invece nettamente insufficiente anche per un tempo di ritorno inferiore ai 50 anni, con conseguenti fuoriuscite che, defluendo lungo la viabilità parallela al torrente, andrebbero ad interessare direttamente il centro abitato di Moneglia, soprattutto nella zona di ponente.

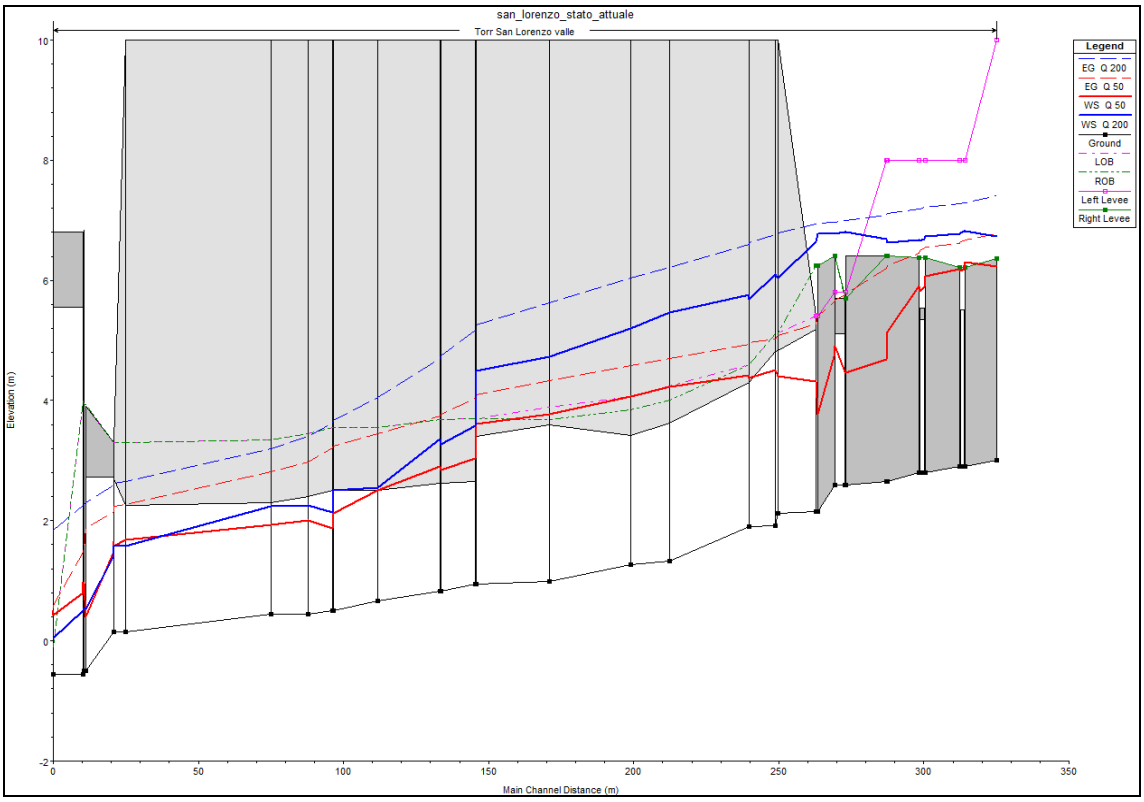


figura 37: *profilo modello idraulico di stato attuale - Q (Tr = 50 anni) - fuori scala*

In sintesi, dunque si ritiene che l'intervento maggiormente urgente sia quello che prevede la sistemazione del tratto a cielo aperto a monte della copertura terminale, allo scopo di evitare che l'acqua che scorre al di sopra della viabilità possa invadere il centro abitato di Moneglia.

Si è inoltre implementato un modello idraulico rappresentativo della realizzazione del solo lotto 1 (POR-FESR), che conferma di fatto come la realizzazione del primo lotto non crei problematiche a valle, ma anzi evita che la portata che ad oggi defluisce sulla viabilità vada inevitabilmente ad invadere l'area urbana di Moneglia, in particolare nella zona di ponente.

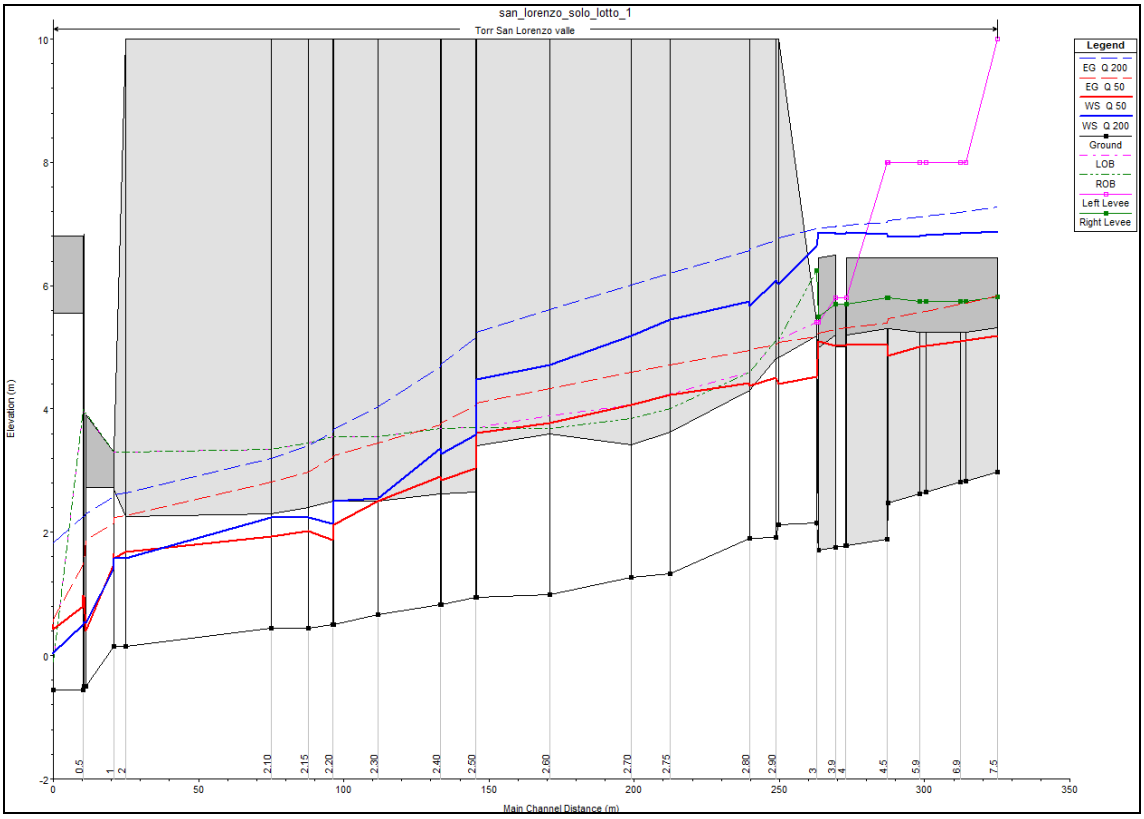


figura 38: *modello idraulico realizzazione del solo lotto 1 - fuori scala*

I livelli idrici di piena cinquantennale saranno contenuti per tutto il tratto a monte della copertura e nel tratto in copertura non si registra alcuna differenza dalla sezione 2.95 verso valle. Analogamente non si registra alcuna variazione in copertura per il livelli di piena duecentennale rispetto allo stato attuale.

L'unica lieve differenza in "negativo" la si trova per la sola portata cinquantennale nel tratto immediatamente a monte dell'imbocco della copertura, ove nel modello di stato attuale si verifica un locale passaggio della corrente da condizioni supercritiche a subcritiche, mentre l'allargamento previsto a progetto nel primo lotto di lavorazioni provoca un locale rallentamento della corrente con conseguente mancato passaggio in regime veloce. Si segnala comunque che il livello del carico cinetico (come ben noto parametro molto significativo in quanto il passaggio in veloce della modellazione di progetto era assolutamente locale e dunque legato alla non presenza di materiale detritico/alluvionale in alveo) risulta diminuito nella configurazione a primo lotto eseguito.

Per quanto attiene invece la piena duecentennale, questo passaggio in veloce non si verifica nel modello di stato attuale e dunque non si verificano differenze tra le due modellazioni qui analizzate.

Inoltre, nel transitorio tra la realizzazione del primo e del secondo lotto si verrà a creare una vasca di sedimentazione appena all'imbocco della copertura terminale, vasca in grado di trattenere una notevole quantità di materiale solido evitando che questo possa andare ad invadere la copertura terminale non ancora adeguata (superficie planimetrica della vasca pari a circa 230 mq per un'altezza poco inferiore ai 50 cm con conseguente volume depositato poco superiore ai 100 mc).

Riassumendo, si può sostenere come l'intervento di lotto 1 permetta un'oggettiva mitigazione del rischio andando ad intervenire sul tratto ad oggi certamente maggiormente critico del tratto terminale del torrente San Lorenzo, non variando in alcun modo le condizioni di sicurezza del tratto terminale di valle.

All'interno dell'area direttamente interessata dalle opere a progetto di primo lotto - tratto direttamente interessato dal rifacimento delle arginature con esclusione dell'area urbana a valle dell'imbocco della copertura - le persone che beneficeranno dell'intervento saranno quantificabili in un numero pari a circa 500 in qualità di residenti, proprietari di seconde case e ospiti dell'Albergo Ristorante Villa Argentina.

Così come riportato in precedenza, però, le opere di cui a progetto comporteranno una significativa mitigazione del rischio anche per le aree urbane di ponente della città di Moneglia, area nella quale si può stimare la presenza di circa ulteriori 900 persone, sempre considerando residenti, seconde case e attività commerciali.

Dunque l'intervento proposto andrà a mitigare significativamente il rischio per circa 1.400 persone.

Si sottolinea peraltro come l'area interessata dall'intervento comprenda non solo abitazioni, ma anche edifici particolarmente importanti quali la scuola comunale, due asili (uno pubblico e uno privato), la croce azzurra monegliese, la caserma dei carabinieri, etc.

Si segnala infine che, contestualmente con la sistemazione idraulica, con il presente stralcio di lavori si andrà a risolvere nel tratto interessato il grave problema di sicurezza ad oggi esistente e legato alla totale mancanza di una viabilità pedonale lungo la viabilità carrabile (via torrente San Lorenzo), problematica assai rilevante soprattutto nei mesi estivi, quando la viabilità viene percorsa da numerosissimi veicoli e pedoni.

Considerazioni sulle fasce fluviali

Di seguito si riportano alcune considerazioni in merito alla carta fasce fluviali, carta che, nella sua attuale versione (piano di bacino vigente), pare sottovalutare i rischi di esondazione connessi con il torrente San Lorenzo nel tratto a valle della sua confluenza con il rio Sorba.

Analizzando in dettaglio la modellazione idraulica di stato attuale (modellazione allegata al suddetto progetto di fattibilità tecnica ed economica) e la carta fasce ad oggi vigente, si può verificare come per tutto il tratto a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria Genova - La Spezia le fasce siano di fatto ben corrispondenti. Anche per quanto attiene il tratto compreso tra il suddetto attraversamento e l'imbocco della copertura, le fasce di Piano di Bacino vigente risultano sostanzialmente simili a quanto desumibile dalla modellazione idraulica.

A valle dell'imbocco della tombinatura terminale, invece, la carta fasce di Piano di Bacino non presenta alcuna mappatura in fascia A, B o C, ma solamente un'area genericamente indicata come soggetta ad eventi idrologici (area allagabile).

Unitamente all'elaborato grafico strettamente correlato (tavola 10-A), si vuole dunque fornire una preliminare ipotesi di revisione delle fasce fluviali, revisione basata sui livelli idrici desunti dalla modellazione idraulica monodimensionale e in moto permanente in Hec-Ras incrociati con i rilievi topografici e i diversi sopralluoghi effettuati allo scopo di definire la conformazione delle aree limitrofe al torrente. Le delimitazioni delle fasce qui desunte sono dunque da considerarsi assolutamente di tipo qualitativo.

In primis si segnala che, analizzando il modello idraulico di stato attuale, si può verificare come l'imbocco della copertura sia in realtà sufficiente a garantire lo smaltimento della portata cinquantennale, seppur con franco idraulico ridotto. A partire da circa 20 ml a valle dell'imbocco la copertura potrà invece assumere un funzionamento in pressione anche per piene di tempo di ritorno cinquantennale, per poi tornare ad essere sufficiente nel suo tratto terminale. Risalendo verso monte, si possono verificare diverse fuoriuscite per la portata cinquantennale, con interessamento della viabilità parallela al torrente, fuoriuscite che andrebbero inevitabilmente poi a confluire nell'area urbana di Moneglia stante di fatto l'impossibilità di rientrare nell'alveo del torrente.

Buona parte della zona di ponente dell'abitato di Moneglia risulterà dunque essere interessata da esondazioni anche per eventi di tempo di ritorno cinquantennale.

Carta fasce di stato attuale: ipotesi di aggiornamento

Di seguito di procederà ad analizzare, a partire da monte e procedendo verso valle, la carta fasce proposta in aggiornamento di quella vigente (vedere tavola 10-A).

Per tutto il tratto a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria si è sostanzialmente confermata la mappatura di Piano di Bacino, con soltanto limitate estensioni delle fasce in destra idraulica, ove la viabilità risulta di fatto comunicare con le aree immediatamente a tergo.

Per quanto attiene il breve tratto compreso tra l'attraversamento della linea ferroviaria e l'immissione del rio Sorba, in sponda sinistra la piena cinquantennale risulta limitata da un muro in pietra e quindi dai fabbricati-argine esistenti, mentre in destra idraulica le fuoriuscite ad oggi interessanti la viabilità andranno inevitabilmente ad interessare il cortile prospiciente l'hotel-ristorante Villa Argentina, cortile ubicato indicativamente alla medesima quota della viabilità.



figura 39: *cortile hotel-ristorante Villa Argentina*

Per quanto attiene il tratto terminale del rio Sorba, la viabilità ubicata in adiacenza al limite destro del suddetto rio risulta interessata da fuoriuscite della piena cinquantennale, con conseguente allagamento anche dell'autorimessa ubicata in adiacenza alla suddetta viabilità.



figura 40: *autorimessa nelle vicinanze della sponda destra del rio Sorba*

Nel tratto compreso tra l'immissione del rio Sorba e l'imbocco della copertura, la portata cinquantennale risulterà in destra contenuta dal muro di delimitazione della viabilità, mentre in sinistra sarà in buona parte contenuta dagli edifici argine esistenti; al termine degli edifici in sinistra ed in corrispondenza del ponte immediatamente a monte dell'imbocco della copertura, la portata eventualmente fuoriuscente andrebbe inevitabilmente a confluire all'interno di un'autorimessa esistente.



figura 41: *autorimessa in corrispondenza del ponte immediatamente a monte dell'imbocco della copertura*

Procedendo verso valle, la portata eventualmente esondata e defluente lungo la viabilità adiacente al tratto terminale a cielo aperto andrebbe ad interessare l'area urbana di valle. Il tratto coperto del torrente San Lorenzo risulta inizialmente ubicato lungo l'unica viabilità esistente (via Antonio Caveri), viabilità che poi si divide in due sensi unici ubicati a due livelli differenti (via Colombo più sopraelevata e via Antonio Caveri più ribassata). La massima differenza di quota tra le due viabilità si riscontra in corrispondenza di piazza Fabio Marengo (circa 110 cm). Più verso valle la viabilità a quota inferiore torna a rialzarsi avvicinandosi alla viabilità superiore sino all'intersezione con via Libero Longhi.

In caso di esondazione del torrente San Lorenzo la corrente andrà dunque ovviamente a correre prevalentemente lungo la viabilità a quota inferiore (via Antonio Caveri), ma si ritiene che una limitata quantità possa andare ad interessare la viabilità superiore (via Colombo).

In sinistra idraulica, sino a via Vittorio Emanuele, le limitate fuoriuscite verrebbero inevitabilmente delimitate dai numerosi edifici esistenti. Ancora più a valle verrebbero parzialmente interessate il primo tratto di via Vittorio Emanuele (ubicata a quota ribassata di circa 60 cm rispetto a via Colombo) e di corso Libero Longhi.



figura 42: *tratto iniziale via Vittorio Emanuele*

In destra idraulica, stante la conformazione del territorio urbano maggiormente ribassato, verrebbe invece deviata buona parte della portata, con il conseguente allagamento di un'area estesa e densamente urbanizzata.

In particolare verrebbe interessata via Fratelli Botto, indicativamente sino all'area ribassata a tergo della caserma dei carabinieri (più a monte la viabilità assume un andamento in salita e dunque le fuoriuscite verrebbero fermate).



figura 43: *area ribassata a tergo della caserma dei carabinieri*

Proseguendo verso valle verrebbe interessato il cortile di un complesso scolastico e biblioteca, con rischio esteso anche alle sale ubicate al piano inferiore.



figura 44: *complesso scolastico e biblioteca*

Procedendo ancora verso valle la successiva apertura a disposizione della portata è costituita da piazza Fabio Marengo, con inevitabile confluenza all'interno di alcuni interrati.

Si segnala peraltro che tale via di accesso risulta particolarmente significativa in quanto il suo imbocco risulta ubicato in corrispondenza della minima quota di via Antonio Caveri che poi tende a risalire e dunque la quota parte maggiore del flusso verrebbe convogliato proprio in Piazza Marengo, come peraltro confermato anche da quanto rappresentato nella carta fasce di Piano di Bacino (aree soggette ad eventi idrologici).



figura 45: *piazza Fabio Marengo*

Al limite di valle la portata che eventualmente avesse superato l'innalzamento di via Caveri andrebbe dunque ad interessare via Libero Longhi.

La carta fasce - ipotesi di aggiornamento così come proposta nella tavola 10-A - è stata dunque redatta considerando le vie di deflusso della portata sopra riportate e le possibili connessioni tra le stesse.

Così come riportato in precedenza, nella redazione della carta fasce si è considerata l'area urbana come interessata da esondazioni anche per piene di tempo di ritorno cinquantennale, sebbene la modellazione idraulica mostri l'imbocco della copertura come sufficiente a garantirne il contenimento (senza il rispetto dei franchi idraulici di legge); si ritiene infatti che la portata fuoriuscente e defluente lungo la viabilità in adiacenza all'ultimo tratto del torrente San Lorenzo sia immediatamente a monte che a valle dell'immissione del rio Sorba sia impossibilitata a rientrare nell'alveo e che dunque contribuisca inevitabilmente ad allagare l'area urbana di Moneglia.

Al fine di fornire una preliminare stima dei volumi di portata che andrebbero ad interessare l'area urbana, si è proceduto ad inserire nella modellazione idraulica di stato attuale una serie di portate inferiori al valore cinquantennale, con lo scopo di verificare quale sia la massima portata contenuta negli argini del torrente San Lorenzo quantomeno nel tratto a valle dell'attraversamento della linea ferroviaria Genova - La Spezia.

Tale valore risulta stimabile in circa 60 ÷ 65 mc/s (con riferimento alla portata a valle dell'immissione del rio Sorba). Considerando che la portata cinquantennale presenta un valore di circa 79 mc/s, si può stimare che l'eccedenza di portata al picco della piena sia nell'ordine dei 15 ÷ 20 mc/s.

Al fine di definire un preliminare volume di esondazione, si è dunque proceduto a realizzare due idrogrammi di piena, l'uno per portate di tempo di ritorno cinquantennale e l'altro duecentennale, idrogrammi con picchi di portata pari a quelli inseriti nella modellazione idraulica presentata e "tagliati" entrambi a 60 e 65 mc/s: l'eccedenza a tale valore di "taglio" sarà quello che presumibilmente andrà a fuoriuscire dalle arginature e dunque ad interessare l'area densamente urbanizzata.

Per quanto attiene l'idrogramma di tempo di ritorno cinquantennale i "tagli" a 60 e 65 mc/s portano a volumi fuoriuscenti pari rispettivamente a circa 15.000 e 10.000 mc.

Per quanto attiene l'idrogramma di tempo di ritorno duecentennale i "tagli" a 60 e 65 mc/s portano a volumi fuoriuscenti pari rispettivamente a circa 75.000 e 65.000 mc.

Ovviamente l'analisi di cui sopra e in particolare la scelta dei limiti di "taglio" considerano un deflusso di portata "pulita", con sezioni non interessate da parzializzazione e/o trasporto di materiale solido.

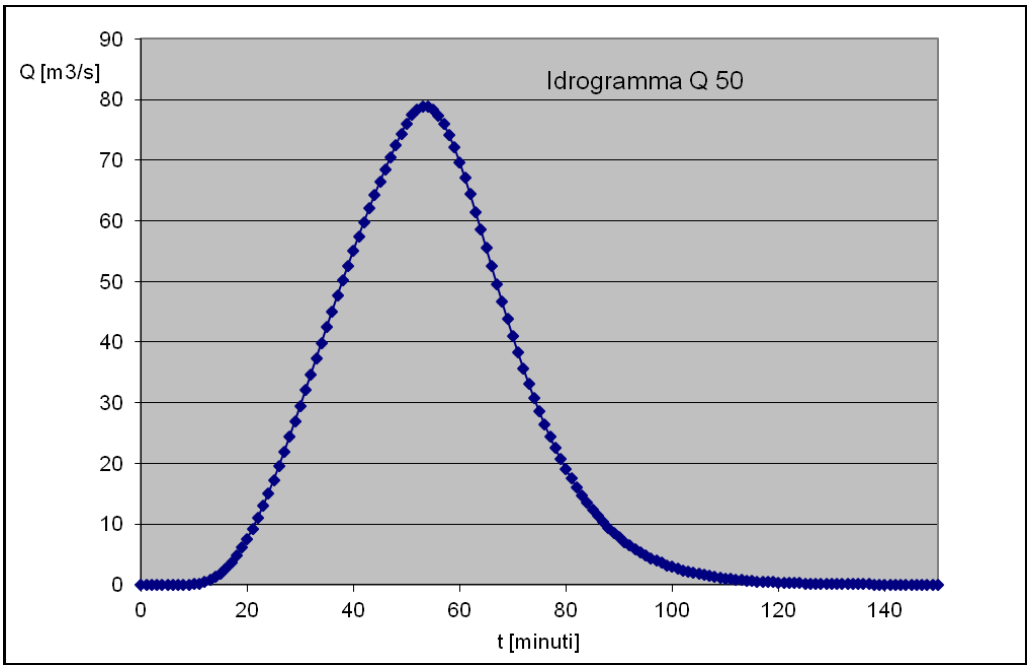


figura 46: *idrogramma torrente San Lorenzo tratto a valle immissione rio Sorba Q (Tr = 50 anni)*

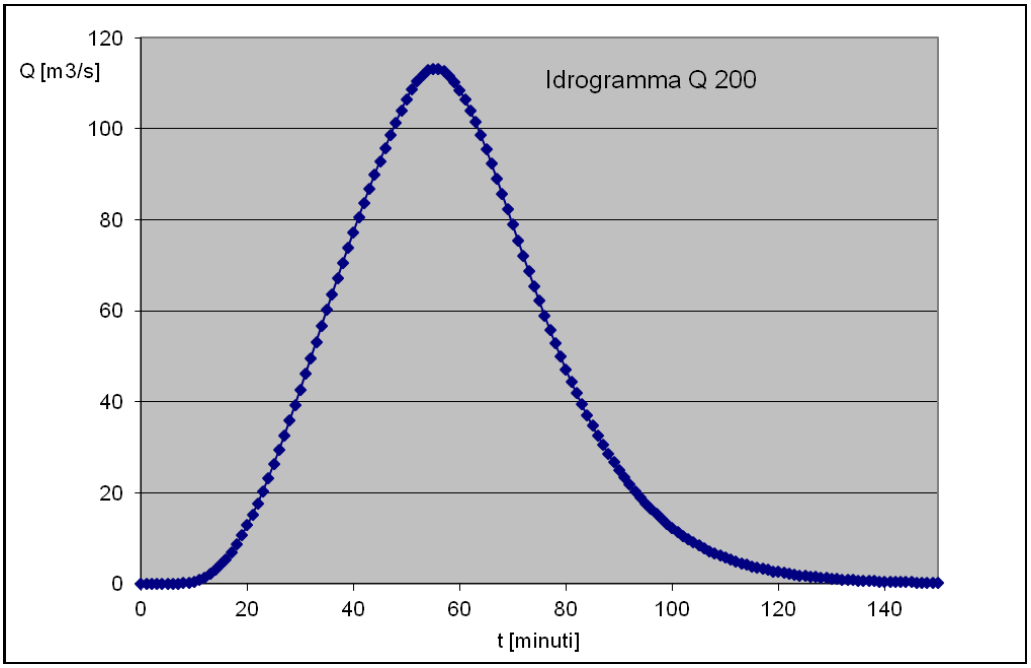


figura 47: *idrogramma torrente San Lorenzo tratto a valle immissione rio Sorba Q (Tr = 200 anni)*

Per quanto attiene la piena cinquantennale, anche considerando il caso maggiormente punitivo (taglio a 60 mc/s), il volume di portata che andrà a confluire nell'area urbana sarà dunque pari a circa 15.000 mc.

Considerando che l'area mappata in fascia A nella configurazione aggiornata nel tratto a valle dell'attraversamento della linea ferroviaria Genova - La Spezia risulta pari a circa 25.000 mq, in primissima approssimazione si può sostenere che il tirante idrico mediamente sia pari a

circa 60 centimetri, ad eccezione delle aree maggiormente ribassate, quali interrati, scantinati etc.

Ipotesi carta fasce stato di progetto

Nell'ambito dell'elaborato grafico sopra citato (tavola 10-A), oltre ad ipotizzare una carta fasce di stato attuale più rispondente alla reale natura dei luoghi, si è proceduto a rappresentare graficamente anche una preliminare ipotesi di delimitazione delle fasce fluviali a seguito della realizzazione delle opere a progetto, sia con riferimento alla configurazione globale (lotto 1 + lotto 2 + lotto 3 + scenario scolmo rio Sorba) sia con riferimento al solo lotto 1.

Per quanto attiene la configurazione di stato di progetto globale la modellazione idraulica mostra come la portata di tempo di ritorno duecentennale venga contenuta ovunque con rispetto dei franchi idraulici di legge. Si riscontra peraltro in tutte le sezioni del modello anche il contenimento della portata cinquecentennale, a meno di una lieve interferenza con i due ponticelli privati in corrispondenza delle sezioni 21 e 20. Si è dunque ipotizzata una limitatissima fascia C (colore verde) nelle immediate vicinanze di tali ponticelli, mentre tutta la restante area viene esclusa dalle fasce fluviali.

Per quanto attiene invece la configurazione di stato di progetto lotto 1, nel tratto a monte di quello oggetto di intervento non si avrà alcuna modifica alla carta fasce di stato attuale (tratto a monte sezione 20.5).

A valle di tale sezione, invece, la portata cinquantennale sarà contenuta nella totalità delle sezioni: al di là dunque di un breve tratto di "raccordo" con la portata fuoriuscente da monte che dovrà ancora rientrare in alveo (non saranno presenti ostacoli quali parapetti e dunque stante la leggera pendenza verso il torrente del piano stradale in destra e della piana in sinistra e la sufficienze della sezione a valle si ritiene che le quantità di portata provenienti da monte possano rientrare in alveo in breve spazio), si può sostenere che la fascia A (colore rosso) venga del tutto esclusa sino quantomeno all'imbocco della copertura terminale. Tutte le aree ricomprese ad oggi in fascia A si può pertanto ipotizzare che vengano identificate come fascia B (anche per la piena duecentennale si avrà un generale ribasso dei livelli idrici e dunque dei volumi fuoriuscenti, ma si ritiene non ci siano ad oggi gli elementi tali da procedere ad una riduzione anche della fascia B).

Intervenendo peraltro anche nel tratto prospiciente alla confluenza tra il torrente San Lorenzo e il rio Sorba, andando peraltro ad adeguare il ponticello in corrispondenza di suddetta confluenza, anche il tratto terminale del rio Sorba andrà ad essere reso sufficiente a garantire il deflusso della piena cinquantennale.

Escludendo dunque dalla fascia A tutte le aree a monte dell'imbocco della copertura terminale del torrente San Lorenzo, si otterrà una forte riduzione del rischio per un'area densamente abitata, con la presenza peraltro anche di attività quali l'albergo-ristorante Villa Argentina.

Per quanto attiene invece il tratto ancor più a valle, la sezione di imbocco della copertura terminale appare già ad oggi sufficiente a garantire il contenimento della piena cinquantennale e dunque nella configurazione di progetto (lotto 1) per tempo di ritorno cinquantennale tutta la quota parte di portata che ad oggi confluisce nella città di Moneglia defluendo lungo il tratto a cielo aperto a monte dell'imbocco della copertura, un domani sarà invece contenuta in alveo.

Sarà dunque possibile andare a ridurre la fascia A anche nella porzione di ponente dell'abitato di Moneglia, sebbene non sia comunque possibile eliminarla del tutto, a causa dell'insufficienza della porzione intermedia della copertura terminale; in particolare per il tratto compreso tra le sezioni 2.80 e 2.30 la piena cinquantennale presenterà un andamento in leggera pressione, con un tirante massimo tra l'intradosso della copertura e il livello di piena cinquantennale pari a circa 60 cm.

Ad oggi, in via del tutto preliminare e qualitativa, si è dunque ipotizzata una nuova perimetrazione della fascia A: innanzitutto si ipotizza che via Colombo (la viabilità superiore nel tratto a due livelli) venga del tutto esclusa delle esondazioni cinquantennali.

In sinistra idraulica si confermano lievissime fuoriuscite da alcune aperture laterali esistenti che potrebbero interessate il tratto di via Vittorio Emanuele prossimo alla copertura.

In destra le esondazioni saranno, come già nella configurazione attuale, ben più estese, ma comunque con estensione e volumetrie inferiori rispetto allo stato attuale. Potrà essere di fatto esclusa via Fratelli Botto e verrà ridotta l'estensione della fascia rossa per tutto il tratto sino all'intersezione con piazza Marengo. Ancora più a valle si è ad oggi scelto di confermare l'estensione della fascia A, peraltro corrispondente con il limite delle "aree soggette ad eventi idrologici (aree allagabili)" del vigente Piano di Bacino.

Si segnala peraltro che la mitigazione del rischio sarà oggettiva anche per tutte le aree non direttamente interessate dalla riduzione dei limiti delle fasce fluviali, in quanto andranno a diminuire i volumi fuoriuscenti e dunque i tiranti idrici in ogni area.

Scenari alternativi

Al di là di quanto già valutato nelle pagine precedenti e come peraltro riportato nelle precedenti versioni progettuali già agli atti, si ritiene utile anche in questa sede effettuare alcune considerazioni in merito allo scenario progettuale da considerarsi alternativo rispetto a quanto proposto con il presente progetto di fattibilità tecnica ed economica (per la rappresentazione grafica vedere tavola 13-A).

Detto scenario alternativo prevedeva il mantenimento delle sezioni attuali lungo il corso del torrente San Lorenzo, sfiorando, oltre all'intero contributo del rio Sorba, anche l'eccedenza del torrente San Lorenzo al valore di portata di circa 8÷10 mc/s in grado di transitare in sicurezza nell'alveo attuale.

Al fine di scolmare una quota parte di portata sufficiente a garantire il mantenimento delle sezioni idrauliche esistenti, l'imbocco dello scolmatore del torrente San Lorenzo dovrebbe forzatamente essere ubicato a valle della confluenza tra il rio Campo e il canale San Lorenzo, posta circa 130 ml a monte del ponticello (sezione 29) di attraversamento della viabilità provinciale.

Tale ponticello e tutto il tratto di valle risultano, come riportato in precedenza, gravemente insufficienti sotto il profilo idraulico, mentre nel tratto a monte il torrente risulta maggiormente incassato e dunque potenzialmente adatto ad ospitare l'imbocco di un canale scolmatore; anche l'elevata urbanizzazione del tratto renderebbe impossibile ubicare l'imbocco dello scolmatore più a valle di quanto qui ipotizzato.

Si è valutata pertanto la realizzazione di uno scolmatore con imbocco poco a monte (circa 35 ml) del ponticello di attraversamento della viabilità provinciale S.P. n°68, tale da intercettare poi il corso del rio Sorba e portare a mare entrambi i corsi d'acqua seguendo, nell'ultimo tratto, il medesimo tracciato planimetrico individuato per il solo rio Sorba.

Al fine di scolmare il solo contributo del torrente San Lorenzo risulterebbe necessaria una galleria circolare da 5,00 ml di diametro netto, mentre a valle dell'immissione del rio Sorba il diametro netto necessario aumenterebbe da 5,00 ml a 7,00 ml.

Per quanto riguarda lo scarico a mare, come riportato nella tavola 13-A, si sono valutate posizioni alternative a quella poi definitivamente ipotizzata: dette ubicazioni sono state scartate in quanto considerate non fattibili. Più precisamente, l'ipotesi di scarico a levante

andava a interferire pesantemente con una falesia ad oggi caratterizzata da gravi criticità; per contro, l'ipotesi di scarico a ponente veniva pesantemente a interferire con un tratto caratterizzato dalla presenza di vari stabilimenti balneari e comunque con una delle poche zone con spiaggia disponibili.

Si rimarca inoltre che l'imbocco dello scolmatore del torrente San Lorenzo andrebbe a interferire pesantemente con una porzione di versante caratterizzata da notevoli problemi di instabilità.

Peraltro, anche alla luce di eventi alluvionali accaduti in territori a caratteristiche geomorfologiche-idrogeologiche analoghe (vedasi ad esempio l'evento alluvionale di ottobre 2011 che ha colpito le Cinque Terre), nell'ambito della scelta della soluzione più adeguata, oltre ai risultati delle modellazioni idrauliche si deve tenere in debito conto la suscettività al dissesto dei versanti incombenti sulle aste torrentizie e il potenziale trasporto solido anomalo in caso di evento alluvionale, soprattutto qualora si prospetti la realizzazione di canali scolmatori.

Come già detto, la suscettività al dissesto da Piano di Bacino evidenzia una situazione del territorio non favorevole e le criticità aumentano significativamente prendendo in esame i movimenti franosi effettivamente manifestatisi negli ultimi anni, peraltro ubicati con maggiore frequenza entro il bacino del rio San Lorenzo.

In prima analisi e ferma restando la necessità di prevedere adeguati sistemi di trattenuta del materiale trasportato dai corsi d'acqua (vedasi briglie selettive proposte), pare più pertinente immaginare uno scolmatore per il torrente Sorba rispetto ad uno per il torrente San Lorenzo: si sottolinea che – come già detto - la realizzazione dello scolmatore/deviatore del rio Sorba è imprescindibile per la messa in sicurezza definitiva della zona di ponente della città di Moneglia; allo scolmatore del torrente San Lorenzo esiste invece una valida alternativa, così come proposto in precedenza.

I sopralluoghi eseguiti nel tratto del torrente San Lorenzo a monte della copertura hanno evidenziato ispessimenti delle alluvioni e, in corrispondenza della copertura stessa, la probabile interdigitazione tra sedimenti alluvionali - spiagge marine recenti; lungo il rio Sorba invece si rilevano vari affioramenti rocciosi, presenti in pratica già nel tratto di fondovalle.

Nel contesto della predisposizione del presente progetto di fattibilità tecnica ed economica si è tra l'altro eseguita una campagna di sondaggi geognostici (per i dettagli vedere la relazione geologica allegata come parte integrante della stessa progettazione) che ha

permesso di "consolidare" le valutazioni effettuate e "confermare" le ipotesi progettuali adottate.

Alla luce di quanto sopra, si riscontra che la proposta progettuale adottata (scolmatore rio Sorba + adeguamento copertura terminale rio San Lorenzo + adeguamento sezioni di deflusso tratto rio San Lorenzo a monte della confluenza con rio Sorba) è quella con maggiori garanzie di definitiva risoluzione delle criticità evidenziate in sede di analisi e in prospettiva di un minor impatto complessivo su un territorio di notevole pregio e caratterizzato da una forte vocazione turistica.

Ciò a maggior ragione considerando che le problematiche connesse alla progettazione investono tematiche almeno di pari importanza rispetto a quelle strettamente idrauliche: ambientali, litoranee, geologiche e geomorfologiche nonché economiche.

A tal proposito inoltre, si rimarca che l'intervento proposto comporta la realizzazione di un complesso di opere il cui risvolto positivo, oltre alla sistemazione idraulica del corso d'acqua, si riflette su molteplici aspetti.

Infatti, per quanto attiene la copertura terminale il suo rifacimento azzererebbe problematiche e costi legati ad interventi di manutenzione necessari nel breve periodo, in considerazione dell'età del manufatto almeno per quanto riguarda le parti maggiormente datate.

Anche per tutto il tratto a monte, la sistemazione prevista con rifacimento integrale delle arginature sia in sinistra che in destra idraulica comporterebbe analogamente un beneficio in termini di risparmio per interventi anche in questo caso necessari di manutenzione: si pensi solamente al fatto che l'arginatura in destra è ovunque muro di sostegno per una viabilità di importanza fondamentale e l'arginatura in sinistra, a parte qualche breve tratto, è ad oggi pressoché inesistente. Si sottolinea anche che tutti gli attraversamenti esistenti verrebbero demoliti e ricostruiti (ovviamente con oneri a carico dei soggetti privati interessati quando del caso).

Inoltre, non è da sottovalutare il fatto che il rifacimento di tutte queste opere infrastrutturali porterà ad un evidente miglioramento delle condizioni di fruibilità e sicurezza di una arteria di fondamentale importanza per una zona densamente urbanizzata.

Per contro, fatta salva la imprescindibile realizzazione dello scolmatore del rio Sorba per le motivazioni espresse in precedenza, la realizzazione dello scolmatore del torrente San

Lorenzo rimarrebbe un'opera – al di là della messa in sicurezza sotto il profilo idraulico – fine a se stessa, pur comportando costi notevoli e assolutamente confrontabili con l'altra soluzione, costi di manutenzione assai significativi nonché un impatto notevolissimo sull'abitato di Moneglia soprattutto in fase di cantierizzazione delle opere, con inevitabili ripercussioni sulla interferenza viaria nonché su danneggiamenti e quindi conseguenti ripristini delle infrastrutture.

Si noti ancora che la proposta progettuale - seppur a livello di scenario di piano di bacino- comporta la realizzazione dello scolmatore del rio Sorba: in questo caso la pendenza dello scolmatore medesimo sarebbe pari al 3 % circa per il tratto dall'imbocco fino all'attraversamento della cosiddetta strada delle gallerie, per poi presentare nel tratto terminale una pendenza assai più ridotta, con facilità di interventi manutentivi e smorzamento dell'energia dell'onda di piena prima dello sfocio a mare.

Per contro, la realizzazione dello scolmatore del torrente San Lorenzo porterebbe ad una pendenza dello stesso scolmatore globalmente assai più ridotta (circa 1 %), essendo le quote in alveo del torrente San Lorenzo nella zona di partenza dello scolmatore medesimo tali da prevederne la partenza a circa + 8,00 ml s.l.m.m.; l'intersezione tra torrente San Lorenzo e rio Sorba avverrebbe peraltro a quote sensibilmente diverse (circa + 4,00 ml s.l.m.m. per il torrente San Lorenzo e + 12,00 ml s.l.m.m. per il rio Sorba) rendendo indispensabile la costruzione di un pozzo di caduta di circa 8 ml di altezza per convogliare lo stesso rio Sorba nello scolmatore del rio San Lorenzo; la pendenza della galleria circolare terminale (diametro netto 7,00 ml) continuerebbe ad essere pari a circa 1 % fino ad arrivare alla strada delle gallerie, da dove poi si potrebbe proseguire con analoga soluzione a quella prospettata per lo scolmo del solo rio Sorba, ma con dimensioni (e quindi costi e problematiche) nettamente maggiori dovendosi raccordare con un galleria circolare di sezione netta più grande. Viste le dimensioni si dovrebbe peraltro fare un raccordo in galleria tra la sezione circolare e il ponte in attraversamento della viabilità pubblica. Si sottolinea anche che la pendenza minore (1 % anziché 3 %) – soprattutto in ragione della notevole lunghezza globale dello scolmatore (circa 730 ml) – favorirebbe il deposito di materiale detritico-alluvionale con parzializzazione della sezione di deflusso dello stesso scolmatore: una pendenza maggiore (solo scolmo del rio Sorba 3 % circa) come già detto assicura al manufatto una maggior capacità "autopulente".