PROVINCIA DI GENOVA

DIREZIONE 4 - Lavori pubblici e Manutenzioni

Sezioni Progettazione e Manutenzione Viabilità ed Idraulica

A.T.I. :

SGI — STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI — projenia ENGINEERING & CONSULTING SERVICES — MED INGEGNERIA

LOCALITA':	**COMMESSA:**
Comuni di: Chiavari e Lavagna	*DSU 135-171*

TITOLO:	SCALE
Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del Fiume Entella relativamente al tratto terminale **1° lotto dalla foce al P.te Maddalena - 1° stralcio funzionale** **Progetto Definitivo** **Revisione generale a seguito del parere del C.T.B. regionale del 08/03/2012 e delle indicazioni emerse in sede di Conferenza dei Servizi**	

PROGETTISTI	
Massimo Parravicini	SGI Studio Galli Ingegneria
Alberto Galli	SGI Studio Galli Ingegneria
Vincenzo Marsala	SGI Studio Galli Ingegneria
Ugo Majone	Studio Maione Ingg. Assoc.
Denis Cerlini	Studio Maione Ingg. Assoc.
Manuela Sciutto	PROJENIA - Engineering & Consulting Services
Maurizio Spallarossa	PROJENIA - Engineering & Consulting Services
Marco Gonella	MED Ingegneria

OGGETTO:	ELABORATO N°
RELAZIONE IDRAULICA	*RR03*

Elaborato	*Verificato*	*Regolarità tecnica*	*Data*	*Rev.*
Elena Bocciarelli	Denis Cerlini		Ottobre 2012	5

NOME FILE:

INDICE

1. PREMESSA 3

2. STUDI PREGRESSI 6

2.1 PIANO DI BACINO STRALCIO SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO – FIUME ENTELLA 6
2.2 PROGETTO PRELIMINARE 2004 8

3. INDAGINI TOPOGRAFICHE 11

3.1 RILIEVO TOPOGRAFICO 11

4. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE DEL FIUME ENTELLA 15

4.1 AREA DI ANALISI ED INFORMAZIONE TOPOGRAFICA 15
4.2 MESH DI CALCOLO 15
4.3 CONDIZIONI AL CONTORNO 16
4.3.1 Condizione al contorno di monte 16
4.3.2 Condizione al contorno di valle 17

5. RISULTATI OTTENUTI 19

5.1 ATTUALI CONDIZIONI DI ALLAGAMENTO 19
5.2 CONDIZIONI DI SICUREZZA RAGGIUNTE CON GLI INTERVENTI DI CUI AL PRESENTE PROGETTO 23
5.3 STUDIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI PER LA REGIMAZIONE DEL FIUME ENTELLA E LA RIORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA VIARIO-INFRASTRUTTURALE A MONTE DEL PONTE MADDALENA 27
5.4 SINTESI DEI LIVELLI OTTENUTI NELLE VARIE SIMULAZIONI CONDOTTE 31
5.5 ULTERIORI VERIFICHE RICHIESTE DAL COMITATO TECNICO DI BACINO 33
5.5.1 Diversa condizione di valle 33
5.5.2 Eliminazione del restringimento zona via Garibaldi 37
5.6 CONDIZIONI DI ALLAGAMENTO DEI FABBRICATI PRESENTI IN GOLENA 39

6. RIVI MINORI : RIO REZZA 41

6.1 PREMESSA 41
6.2 ANALISI IDRAULICA MONODIMENSIONALE 41
6.2.1 Codice di calcolo utilizzato 41

6.2.2 Descrizione della geometria 44
6.2.3 Modellazioni di stato di fatto 45
6.2.4 Modellazioni di stato di progetto 52

7. COLLETTORE SCATOLARE DI SPONDA SINISTRA 61

7.1 OPERE IN PROGETTO 61
7.1.1 Dimensionamento idraulico dello scatolare 62
7.1.2 Dimensionamento manufatto di attraversamento canale di gronda-Rio Rezza 63

ALLEGATO 1: Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del Fiume Entella relativamente al tratto terminale – 1° lotto dalla foce al ponte della Maddalena – 1°stralcio funzionale – Modellazioni settembre 2011 e proposta nuovi stralci funzionali" [Relazione del Gennaio 2012]

ALLEGATO 2: Autorità di Bacino Regionale Comitato Tecnico di Bacino (seduta del 08/03/2012) - Contributo istruttorio in merito al progetto di sistemazione del Fiume Entella – 1° lotto

1. PREMESSA

Nell'ambito della Progettazione e attività di direzione lavori degli "*Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del fiume Entella relativamente al tratto terminale*" affidata dalla Provincia di Genova all'Associazione Temporanea di Imprese SGI Studio Galli Ingegneria Spa – Studio Maione Ingegneri Associati - Projenia - Med Ingegneria S.r.l., è stata richiesta una revisione al progetto definitivo di 1 lotto 1 stralcio a seguito del parere del Comitato di Bacino Regionale del 08/03/2012 e delle indicazioni emerse in sede di Conferenza dei Servizi. La presente relazione ne costituisce il contributo idraulico.

La relazione è così strutturata; vi è un prima parte (Capitolo 2) in cui si rende conto degli studi pregressi riassumendo a grandi linee quanto definito nel Piano di Bacino Stralcio sul rischio idrogeologico per l'Entella e nel *"Progetto preliminare degli interventi di adeguamento idraulico del tratto terminale del Torrente Entella nei comuni di Carasco, Cogorno, Chiavari e Lavagna"* datato 2004 (di seguito PP 2004).

Nel Capitolo 3 si rende conto delle attività topografiche svolte sul torrente Entella e sui rivi minori di interesse, attività finalizzate alla caratterizzazione plano-altimetrica dell'alveo, dei manufatti di attraversamento e delle immissioni. Le suddette attività, iniziate in fase di progettazione preliminare, sono state integrate in fase di progettazione definitiva soprattutto per quanto riguarda le aree golenali necessarie all'implementazione del modello bidimensionale dell'Entella.

Per quanto riguarda la modellazione bidimensionale si riporta al Capitolo 4 (procedure utilizzate per l'implementazione del modello) e al Capitolo 5 (risultati ottenuti) un'estrapolazione per le sole parti di interesse di quanto già illustrato nella relazione del Gennaio 2012 dal titolo *"Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del Fiume Entella relativamente al tratto terminale – 1° lotto dalla foce al ponte della Maddalena – 1°stralcio funzionale – Modellazioni settembre 2011 e proposta nuovi stralci funzionali"* (interamente riportato in Allegato 1). Per dovere di chiarezza si sottolinea che la presente revisione progettuale recepisce tutti gli interventi definiti nel suddetto elaborato di 1° lotto 1° stralcio (riguardanti la sola sponda sinistra) e 1° lotto 2° stralcio M (interventi in sponda destra lungo viale Kasman ed un adeguamento delle quote di sommità su ambo le sponde) che a seguito dell'integrazione del finanziamento da parte della Regione Liguria (DGR n°1661 del 29/12/2011) vengono ricomprese nel presente 1° lotto 1° stralcio. La suddetta scelta viene a valle del parere del Comitato

Tecnico di Bacino del 08/03/2012 (interamente riportato in Allegato 2) dove a pagina 4 si stabilisce quanto segue:

"….gli interventi minimi da realizzare per garantire la funzionalità idraulica dell'intervento sono quelli individuati nell'ipotesi progettuale comprendente gli stralci 1° e 2°; risulta tuttavia opportuno anche per economicità realizzativa prevedere la realizzazione degli argini con le quote di sommità arginali già adeguate al contenimento delle portate duecentennali dopo il rifacimento del ponte di Corso Buenos Aires e quindi il primo stralcio funzionale da realizzare è quello che viene identificato con la dicitura 1°+2° stralcio+M"

I suddetti interventi sono così riassumibili:

- ✓ **in sponda destra**: adeguamento dei muri posti in allineamento alla spalla destra del ponte Ferroviario e del ponte di Via Peviati fino a raccordarsi al ponte Buenos Aires – tratto posto a cavallo delle sezioni 3 Pr, 4a Pr e 4b Pr, nonché realizzazione di un muro lungo viale Kasman a partire dalla sezione 5 fino a monte della sezione 9 (in prossimità del ponte della Maddalena);
- ✓ **in sponda sinistra**, partendo da valle si prevede di realizzare un muro tra i ponti FS e via Previati, di innalzare il piano dei giardini nel tratto compreso tra il ponte di via Previati e quello di Buenos Aires (sezioni 4b Pr e 5a Pr), di realizzare una nuova difesa tra ponte Buenos Aires e poco a monte di via Garibaldi (sezione 5b Pr e 7 Pr lungo la linea già individuata nel PP2004) e di adeguare il segiun nel tratto compreso tra la sezione 7 Pr e il Rio Rezza nonché l'arretramento dell'arginatura lungo il Rezza fino a via dei Fieschi.

Il realizzare in maniera simultanea gli interventi sopra descritti consente infatti di ridurre sensibilmente gli allagamenti duecentennali dell'abitato di Lavagna limitando ad una piccola porzione dell'abitato livelli idrici superiori a 70 cm, valore al di sopra del quale non è possibile eseguire alcun tipo di intervento.

Si è inoltre verificata (Paragrafo 5.5), come richiesto dal Comitato Tecnico di Bacino nella seduta del 08/03/2012, la modifica dei livelli dell'Entella all'aggravarsi della condizione di valle (innalzamento del livello del mare in prossimità della foce) nonché gli eventuali benefici connessi con l'arretramento della difesa nella zona di via Garibaldi a Lavagna con conseguente demolizione dei magazzini comunali.

Per quanto riguarda i rivi minori, nel presente progetto si interviene esclusivamente sul rio Rezza per il quale è stata condotta un'apposita modellazione monodimensionale tramite il codice di calcolo Hec Ras (Capitolo 7).

E' stato infine dimensionato (Capitolo 8) lo scatolare di sponda sinistra per consentire lo scarico dell'area a monte del ponte Maddalena che soggiace i livelli di piena dell'Entella in condizioni di elevati livelli del ricettore allorquando le arginature saranno prolungate verso monte oltre tale zona. Il canale prende origine a monte del ponte della Maddalena, in sponda sinistra, e si sviluppa parallelamente all'argine/segiun di progetto (in questa fase fino a via Garibaldi con l'ipotesi di prolungarlo poi fino alla foce qualora vengano fatti confluire in esso altri contributi della rete meteorica di Lavagna) con il relativo manufatto di intersezione tra il canale di gronda stesso e il rio Rezza.

2. STUDI PREGRESSI

2.1 Piano di Bacino stralcio sul rischio idrogeologico – Fiume Entella

Il Piano di Bacino Stralcio del Fiume Entella (ambito regionale di bacino 16), approvato con D.C.P. n° 3 del 29/01/2003, e modificato con DGP n° 476 del 19/12/2006, si basa sulla documentazione prodotta nell'ambito degli "*Studi Propedeutici al Piano di Bacino Stralcio del T. Sturla e del F. Entella - Rev. 0 del Dicembre 1999*" relativi alle caratteristiche del territorio e alle problematiche del bacino, affidati dalla Provincia di Genova al gruppo interdisciplinare di professionisti facenti capo alla Società D'Appolonia.

La relazione generale del Piano riporta l'analisi delle problematiche e delle criticità idrauliche del bacino del Fiume Entella e dei suoi affluenti maggiori.

In particolare sono stati ricavati, mediante il codice di calcolo Hec-Ras, i profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato lungo l'asta dell'Entella nel tratto compreso tra la confluenza con il Graveglia alla foce, per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Le verifiche sono state successivamente affinate con il "*Progetto preliminare degli interventi di adeguamento idraulico del tratto terminale del Torrente Entella nei comuni di Carasco, Cogorno, Chiavari e Lavagna*", affidato dalla Provincia di Genova, Area 06 – Difesa del Suolo, Opere Ambientali e Piani di Bacino al Raggruppamento Temporaneo di Imprese ENEL HYDRO S.p.A., S.T.I. S.r.l., MED Ingegneria S.r.l., che verrà sintetizzato nel paragrafo successivo.

I risultati di tali verifiche idrauliche, ampiamente descritti negli elaborati di piano con riferimento ai diversi tratti indagati, sono sintetizzati in diversi elaborati cartografici tra i quali di particolare interesse la "Carta delle fasce di inondabilità".

Il Piano degli Interventi per la Mitigazione del Rischio Idrogeologico nell'Ambito 16 Sturla–Entella (Aprile 2001), allegato al Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico, mette in evidenza come le problematiche con maggiore priorità di intervento riguardino lo smaltimento della portata di piena, e siano quindi prevalentemente localizzate nel fondovalle, fittamente urbanizzato. Le aste terminali del fiume Entella e del torrente Lavagna risultano soggette ad esondazione, provocata dalle ridotte dimensioni dell'alveo di magra/morbida e dei rapporti di quota tra alveo ed aree golenali.

Il Piano propone pertanto interventi (prevalentemente strutturali) prioritariamente finalizzati alla riduzione di tali criticità, nell'ottica di ridurre il rischio a livelli socialmente accettabili. Le sistemazioni proposte cercano di rispettare non solo i vincoli di natura idraulica, ma anche quelli di natura urbanistica e socio-economica derivanti

dall'insediamento ormai radicato, a carattere sia abitativo sia produttivo, delle aree golenali un tempo di pertinenza fluviale.

Gli interventi proposti dal Piano consistono nell'adeguamento della sezione dell'alveo del fiume Entella e dell'asta terminale del torrente Lavagna, definito tramite l'individuazione di una fascia di pertinenza fluviale che consenta il deflusso in condizioni di sicurezza della portata di progetto**. L'obiettivo generale indicato dalle linee guida regionali (almeno a lungo termine) è di garantire il deflusso in condizioni di sicurezza della portata duecentennale. Il Piano sottolinea però che tale ipotesi condurrebbe nel caso in esame ad interventi economicamente e socialmente molto pesanti, che dovranno essere oggetto di analisi di dettaglio di fattibilità tecnica, socio-economica ed ambientale, nonché di analisi costi-benefici. In una situazione quale quella in oggetto il concetto di "rischio socialmente accettabile" potrebbe infatti assumere una diversa caratterizzazione rispetto alla definizione data di smaltimento delle portate di piena duecentennali senza alcuna inondazione.**

L'ipotesi proposta dal Piano prevede quindi l'adeguamento delle sezioni fluviali in modo da consentire il deflusso in condizioni di sicurezza della portata con tempo di ritorno almeno cinquantennale e di quella con tempo di ritorno centennale con franchi minimi.

Il Piano di Bacino Stralcio individua i seguenti interventi di messa in sicurezza:

- Lungo il fiume Entella, nel tratto compreso fra la foce e la località S. Salvatore, è prevista una larghezza di sistemazione minima di 150 m, su un'esistente larghezza media di 80 m, con una profondità di almeno 5 m rispetto al fondo. Tale sistemazione consente il deflusso della portata di piena cinquantennale in condizioni di sicurezza (con franco di almeno 1 m) ed il deflusso della portata di piena centennale con franchi minimi. Al fine di consentire il deflusso della portata duecntennale in condizioni di sicurezza, occorre una larghezza di sistemazione di almeno 250 m. Per larghezze di sistemazione inferiori (comprese tra 150 e 250 m) dovrà essere prevista una maggiore altezza degli argini sino ad un massimo di circa 7 m rispetto al fondo con una sopraelevazione di oltre 1.5 m rispetto al piano di campagna adiacente (piano viabile di viale Kasman).

- Lungo il tratto del fiume Entella compreso tra la località S. Salvatore e la confluenza con il torrente Graveglia è prevista una larghezza di sistemazione minima di 100 m con una profondità di almeno 5.5 m rispetto al fondo. Tale sistemazione consente il deflusso della portata di piena cinquantennale in condizioni di sicurezza e il deflusso della portata di piena centennale con franchi ridotti. Al fine di consentire il deflusso della portata duecentennale in condizioni di sicurezza, occorre una larghezza di sistemazione di 150 m. Per larghezze di sistemazione inferiori (comprese tra 100 m e

150 m) dovrà essere prevista una maggiore altezza degli argini, sino ad un massimo di circa 7 m rispetto al fondo, con una sopraelevazione di circa 1 m rispetto al piano di campagna adiacente.

Per entrambi i tratti precedenti il Piano prevede l'adeguamento di tutti i ponti e le passerelle presenti sulle larghezze di sistemazione previste per la portata duecentennale, anche mediante la realizzazione di campate di approccio; la passerella portatubi in località S. Martino dovrà essere eliminata prevedendo l'attraversamento in subalveo delle tubazioni da lei sostenute.

Quale ipotesi alternativa di sistemazione per il deflusso delle portate di piena duecentennali, il Piano propone il mantenimento della sezione prevista per il deflusso delle portate cinquantennale e centennale con l'ulteriore realizzazione di due "argini maestri" laterali di altezza dell'ordine di 2 m circa rispetto al piano campagna, ad una distanza minima di circa 50 m dai primi argini.

2.2 Progetto Preliminare 2004

Nell'ambito del "*Progetto preliminare degli interventi di adeguamento idraulico del tratto terminale del Torrente Entella nei comuni di Carasco, Cogorno, Chiavari e Lavagna*", affidato dalla Provincia di Genova, Area 06 – Difesa del Suolo, Opere Ambientali e Piani di Bacino al Raggruppamento Temporaneo di Imprese ENEL HYDRO S.p.A., S.T.I. S.r.l., MED Ingegneria S.r.l., è stato condotto uno studio idrologico-idraulico di dettaglio finalizzato alla definizione delle portate (e degli idrogrammi) di progetto e alla individuazione, e successiva proposta di soluzione, delle criticità idrauliche del territorio indagato legate alle piene dell'Entella.

Le analisi contenute nello studio sopra citato riprendono in gran parte le indicazioni contenute nel Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico (Ambito 16 Sturla–Entella).

La modellazione idraulica bidimensionale svolta in fase di progettazione preliminare ha consentito di definire alcuni comportamenti essenziali del sistema fluviale di interesse e di impostare le linee di intervento da sviluppare a livello di definizione degli scenari alternativi per la progettazione preliminare, sulla base dell'analisi degli output della modellazione espressi in termini sia di perimetrazione delle aree allagate, sia di tiranti idrici e valori delle componenti di velocità. Il calcolo ha permesso inoltre di valutare con maggiore precisione l'entità dei tiranti idraulici nelle aree inondate, rispetto alle valutazioni di massima svolte nel Piano di Bacino, e quindi ha consentito un più realistico dimensionamento degli scenari.

L'esame dei risultati della modellazione idraulica preliminare ha mostrato che:

- l'estensione delle piene duecentennali e l'entità dei tiranti a loro corrispondenti è tale da far presumere che la messa in sicurezza delle aree rispetto ad eventi di piena con periodo di ritorno Tr = 200 anni, come richiesto dalla vigente normativa in materia di sicurezza idraulica, comporti oneri economici ed amministrativi estremamente impegnativi (come peraltro rilevato anche dal Piano di Bacino). Pertanto, nell'individuazione degli interventi di messa in sicurezza e nella formulazione degli scenari di intervento in un primo momento è stato fatto prevalente riferimento all'evento di piena con periodo di ritorno Tr = 100 anni;

- tuttavia, dalle stime svolte è emerso che nello stato di fatto i tiranti idrici relativi rispettivamente alle piene centennali e duecentennali differiscono tra loro di pochi decimetri;

- **quindi, vista l'elevata densità insediativa e il conseguente elevato rischio connesso ad eventi di esondazione (specialmente nel tratto sud, dove si estendono i centri urbani di Chiavari e Lavagna), si sono ipotizzate soluzioni di intervento dimensionate per la messa in sicurezza da eventi con periodo di ritorno duecentennale (eventualmente senza franco di sicurezza).**

Le analisi e gli studi svolti (geologia e idrogeologia, inquadramento paesistico-ambientale e strumenti di pianificazione, idrologia e idraulica) hanno fornito gli strumenti e i vincoli per la formulazione di varie ipotesi di intervento finalizzate alla messa in sicurezza del tratto terminale della piana del fiume Entella, differenziate fra loro in termini di:

- ricorrenza degli eventi di piena;

- tracciato della linea di contenimento arginale;

- presenza o meno di interventi di ampliamento della sezione d'alveo;

- presenza o meno di interventi di adeguamento idraulico del ponte della Maddalena.

Sulla base delle simulazioni idrauliche per i diversi scenari di progetto e delle indicazioni avanzate dalle amministrazioni competenti dei Comuni interessati dal progetto, è stato scelto il tracciato finale delle opere di difesa idraulica.

Alla luce di quanto sopra esposto, la scelta della soluzione di progetto ottimale era ricaduta su uno scenario di intervento che comprendeva le seguenti opere:

- adeguamento altimetrico o nuova realizzazione di difese spondali generalmente arretrate rispetto all'alveo inciso del Torrente Entella;
- mantenimento delle sponde dell'alveo inciso nella loro posizione attuale;
- apertura di una nuova campata e adeguamento di una campata esistente del Ponte della Maddalena in destra idraulica.

3. INDAGINI TOPOGRAFICHE

3.1 Rilievo topografico

La campagna di rilievi svolta in questa fase progettuale ha permesso di estendere ed approfondire quanto già realizzato con il progetto preliminare: l'indagine topografica già effettuata nel 2006, infatti, aveva riguardato il torrente Entella dalla passerella di Rivarola fino allo sbocco a mare comprendendo anche i rivi minori, con le modalità di seguito illustrate.

Erano state rilevate 30 sezioni del corso d'acqua, comprensive dell'alveo e delle aree golenali, e 7 tra ponti e attraversamenti. Di questi ultimi erano stati individuati gli elementi planimetrici e altimetrici necessari a consentire di schematizzare il prospetto e la pianta della struttura.

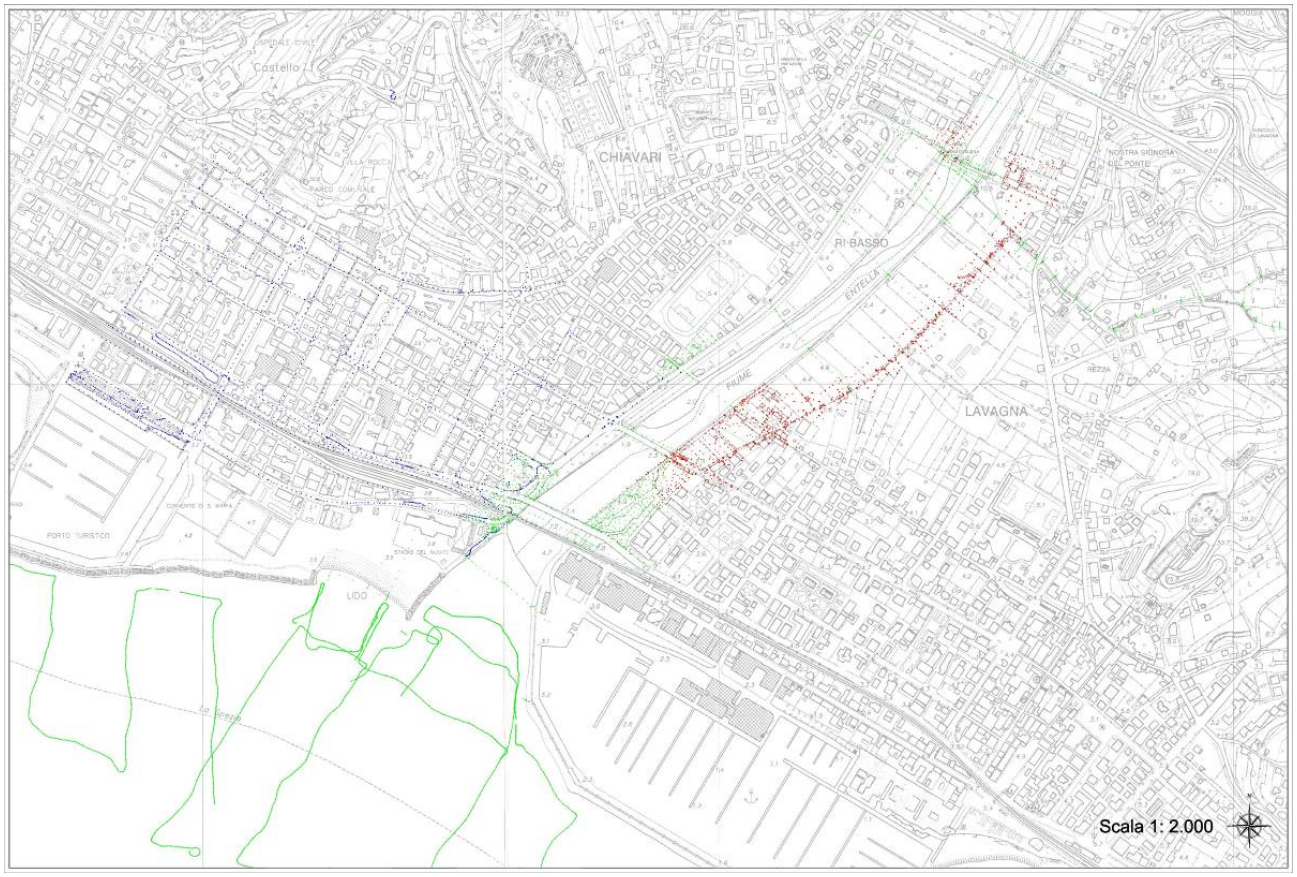


Figura 1: Planimetria dei rilievi effettuati

Erano state rilevate, inoltre, tutte le immissioni dei rivi minori e degli scarichi fognari in Entella. In particolare per ognuna delle immissioni erano state rilevate:

- sezione di sbocco in Entella : forma, dimensioni tipologia (alveo naturale, canale regimato, condotta) e materiale;
- quota di fondo allo sbocco;
- localizzazione planimetrica.

Per dettagliare meglio la posizione delle opere di difesa erano stati redatti anche i seguenti tre piani quotati:

- piano quotato dei giardini posti nell'area di foce, in sponda sinistra dell'Entella e della viabilità esistente nell'area;
- piano quotato dei giardini e delle strade, in sponda destra dell'Entella nell'area di foce;
- rilievo generale della zona in destra idrografica dell'Entella a valle del rio Basso in prossimità dello stadio.

Il rilievo era stato integrato sia planimetricamente che altimetricamente con i rilievi già esistenti sull'Entella ovvero il rilievo aereo della piana dell'Entella ed il rilievo eseguito con stazioni a terra.

Relativamente al Rio Rezza, erano state inoltre rilevate 29 sezioni a partire dall'Autostrada fino allo sbocco in Entella oltre che tutti i manufatti di attraversamento presenti nel tratto in questione.

Infine erano stati ricostruiti, sulla base delle cartografie recuperate e dei colloqui intercorsi con i tecnici dei comuni di Chiavari, Lavagna e di Idrotigullio, nonché attraverso specifiche ispezioni in campagna, gli andamenti plano-altimetrici significativi delle principali reti fognarie meteoriche della zona, compresi gli attuali percorsi dei rivi minori esistenti (in particolare Rio S. Michele e Ri Basso).

Quest'attività si era conclusa con il confronto tra il sopra illustrato rilievo dell'Entella e quanto rilevato, sempre durante la progettazione preliminare, nel 2004 grazie al fatto che le sezioni 20, 10c e 4b erano state rilevate sostanzialmente sulla medesima traccia delle sezioni del preliminare. Da tale confronto era emersa una sostanziale congruenza tra le sezioni dei due rilievi.

Si erano invece riscontrate differenze, talvolta significative, nei rilievi dei manufatti di attraversamento: in particolare le differenze hanno riguardato le quote di intradosso dei manufatti (dei quali si riporta il confronto in tabella) e nel rilievo del ponte della Maddalena.

Per quanto riguarda quest'ultimo si è riscontrato maggiore ingombro delle pile nella sezione trasversale ed una diversa quota di intradosso delle campate.

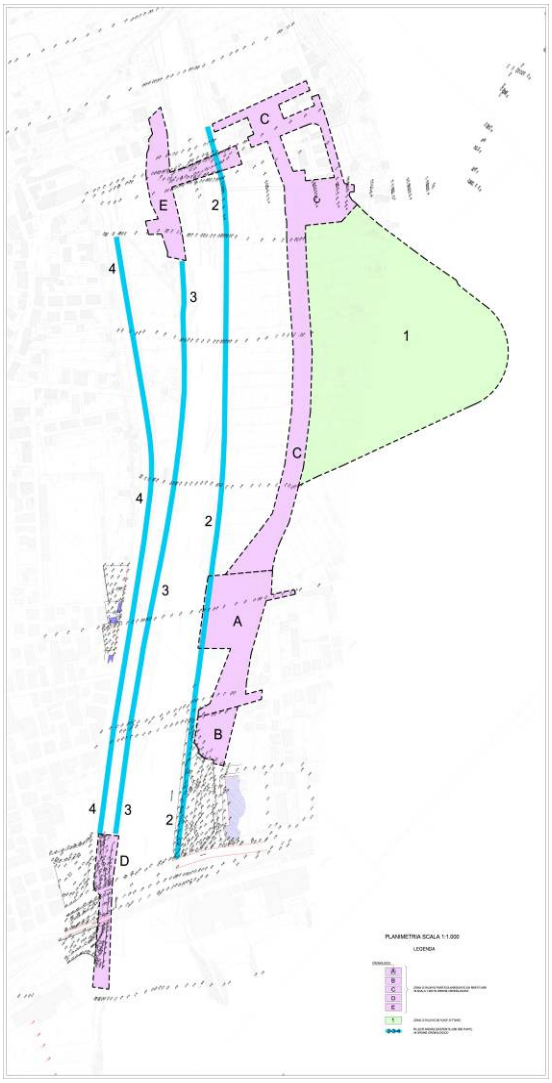
Tabella 3-1 Confronto tra gli intradossi dei ponti nei rilievi 2004 e 2006

Ponte	Rilievo 2004	Rilievo 2006
Maddalena (sezione 10c)	9.06	8.67
Corso Buenos Aires (sezione 5b)	6.25	5.42
Via Previati (sezione 4b)	4.10	4.21
Ferroviario (Sezione 3)	4.85	4.37

Tale attività ha portato, quindi, alla redazione dei seguenti elaborati:

- Planimetria di insieme con ubicazione delle sezioni fluviali e profili batimetrici in scala 1:5000
- Planimetrie divise per zone di intervento in scala 1:1000 riportanti:
  - punti quotati su muri di sponda, su superfici stradali adiacenti ai torrenti anche in corrispondenza di ponti, piazzali strutture che possano avere qualche interazione con i deflussi in caso di piena;
  - collocazione plano-altimetrica dei vertici degli edifici;
  - tutti i sottoservizi presenti;
  - la vegetazione di alto fusto di valore (frutteti, pioppi secolari, ecc.);
  - il coronamento dei muri di sponda, ove esistenti, e/o delle palandole posizionate sulle sponde;
  - il fondo alveo alla base delle sponde;
  - gli accessi in eventuali cortili o giardini privati e altri varchi;
- Rilievo batimetrico in scala 1:2000
- Sezioni trasversali d'alveo del Fiume Entella e del Rio Rezza in scala 1:500
- Profili longitudinali del Fiume Entella e del Rio Rezza in scala 1:200/1:2000

– Monografie dei capisaldi



Ad ogni modo, durante la presente fase di progettazione definitiva sono state svolte ulteriori attività di rilievo topografico di dettaglio: in particolare, le prestazioni svolte comportano il rilievo plano – altimetrico delle aree evidenziate nella seguente immagine cartografica, comprensivo di tutti i sottoservizi, degli alberi (distinguendo la tipologia) e di tutti gli elementi significativi per la definizione degli interventi di 1° stralcio per la mitigazione del rischio idraulico del bacino del Fiume Entella relativamente al tratto terminale.

In questo elaborato grafico sono state specificate anche le modalità di esecuzione dell'indagine ovvero la densità dei punti rilevati per ettaro di superficie: in particolare, è stato individuato come fondamentale il rilievo con dettaglio di circa 400/500 punti per ettaro delle tracce che planimetricamente definiscono i limiti dell'alveo e della linea di difesa in destra idrografica (linee in azzurro).

Sono state rilevate con minor densità di punti, invece, le aree dove si collocano gli interventi di sistemazione arginale ovvero le zone, in sponda destra, a cavallo del ponte ferroviario e del Ponte della Maddalena e, in sinistra, tra quest'ultimo attraversamento viario ed i giardini situati in prossimità della foce (in color lilla). Il dettaglio scende a circa 50 punti per ettaro per il rilievo dell'area a tergo del segiun, lato Lavagna, tra la confluenza del Rio Rezza e via Filzi (area in verde).

Quando rilevato durante la suddetta campagna di indagini topografiche è parte integrante degli elaborati del progetto definitivo (PL02).

4. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE DEL FIUME ENTELLA

Le modellazioni sono state condotte utilizzando il software Basement (Basical Simulation Environment) sviluppato da VAW (laboratorio di idraulica idrologia e glaciologia di Zurigo) in collaborazione con ETH (laboratorio federale svizzero di tecnologia). Trattasi di uno dei migliori prodotti attualmente in commercio per lo studio di situazioni idrodinamiche come quella in esame.

4.1 Area di analisi ed informazione topografica

L'area di analisi del modello bidimensionale si estende longitudinalmente lungo il Fiume Entella da poco a monte della confluenza Lavagna-Graveglia fino alla foce; per le problematiche specifiche di cui alla presente relazione il tratto di interesse si sviluppa dal ponte Maddalena alla foce; trasversalmente all'alveo sono interessati gli abitati di Chiavari, in destra idrografica, fino all'alveo del Torrente Rupinaro e di Lavagna, in sinistra idrografica; il limite delle zone a monte area urbana è costituito dal sistema collinare. L'area sottoposta ad analisi con il modello Basement è individuata in Figura 3.

L'informazione topografica prende origine dal rilievo a terra svolto nel 2006 opportunamente integrato planimetricamente ed altimetricamente con ulteriori rilievi già esistenti nonché con il recente DTM fornito dalla Regione Liguria e proveniente dal Ministero dell'Ambiente.

4.2 Mesh di calcolo

La *mesh* di calcolo è stata realizzata discretizzando il territorio in una serie di elementi quadrangolari e triangolari al fine di descriverne con semplificazione geometrica l'andamento plano-altimetrico, in modo il più attinente possibile alla realtà.

Tale discretizzazione risulta più di dettaglio nelle zone di maggiore variazione topografica (alveo e zone limitrofe) e di maggiore concentrazione insediativa e nelle zone dove il comportamento idrodinamico del corso d'acqua risulta più complesso.

La mesh è stata costruita con il programma SMS (Surfacewater Modelling System) sviluppato dalla Brigham Young University, mediante tecniche di interpolazione, a partire dai dati topografici disponibili e dal DTM recentemente fornito dalla Regione Liguria e proveniente dal Ministero dell'Ambiente.

Al fine di meglio descrivere il reale funzionamento in piena del corso d'acqua, in ottemperanza alle simulazioni a fondo mobile svolte nel progetto preliminare del

medesimo intervento (agosto 2007 - Relazione Idraulica RR03[1)]) il fondo alveo nel tratto di foce è stato opportunamente sagomato.

La mesh utilizzata è costituita da oltre 46'250 elementi ed è riportata in Figura 4.

4.3 Condizioni al contorno

4.3.1 Condizione al contorno di monte

Nelle simulazioni eseguite è stato imposto, come condizione al contorno di monte, il deflusso delle portate di piena del Fiume Entella per i vari tempi di ritorno interessati (50, 100 e 200 anni), modulate tramite un idrogramma. Le portate massime di riferimento sono pari a 1559 m^3/s per tempo di ritorno 50 anni, 2067 m^3/s per tempo di ritorno 100 anni, **2739 m^3/s per tempo di ritorno 200 anni**, come fissato dal Piano di Bacino di cui al predetto Paragrafo 2.1. In Figura 2 si riportano gli idrogrammi di ingresso utilizzati per ciascun tempo di ritorno calcolati dai tecnici della Provincia con la metodologia definita nella DGR 357/08.

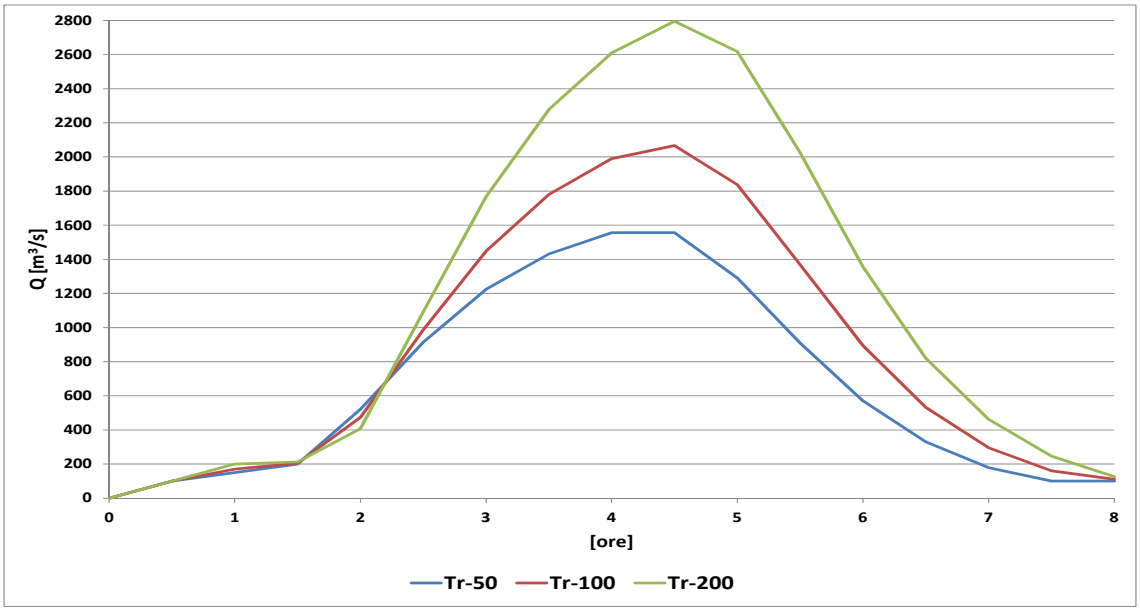


Figura 2: Idrogrammi Fiume Entella per i tempi di ritorno 50, 100 e 200 anni

[1)] A valle del ponte Corso Buenos Aires si inizia ad avere erosione con totale asportazione della barra e, nel caso di foce attuale, formazione di una buca in corrispondenza della barra. Nelle simulazioni a fondo fisso è possibile quindi considerare l'asportazione completa della barra, in quanto l'asportazione della barra avviene in entrambe le configurazioni simulate e fin da valori di portata significativamente inferiori alla duecentennale.

4.3.2 *Condizione al contorno di valle*

Nelle simulazioni eseguite è stato imposto come condizione al contorno di valle il livello del mare a quota 0.5 m s.l.m. sia in foce che a valle della linea di litorale prospiciente gli abitati di Chiavari e Lavagna.

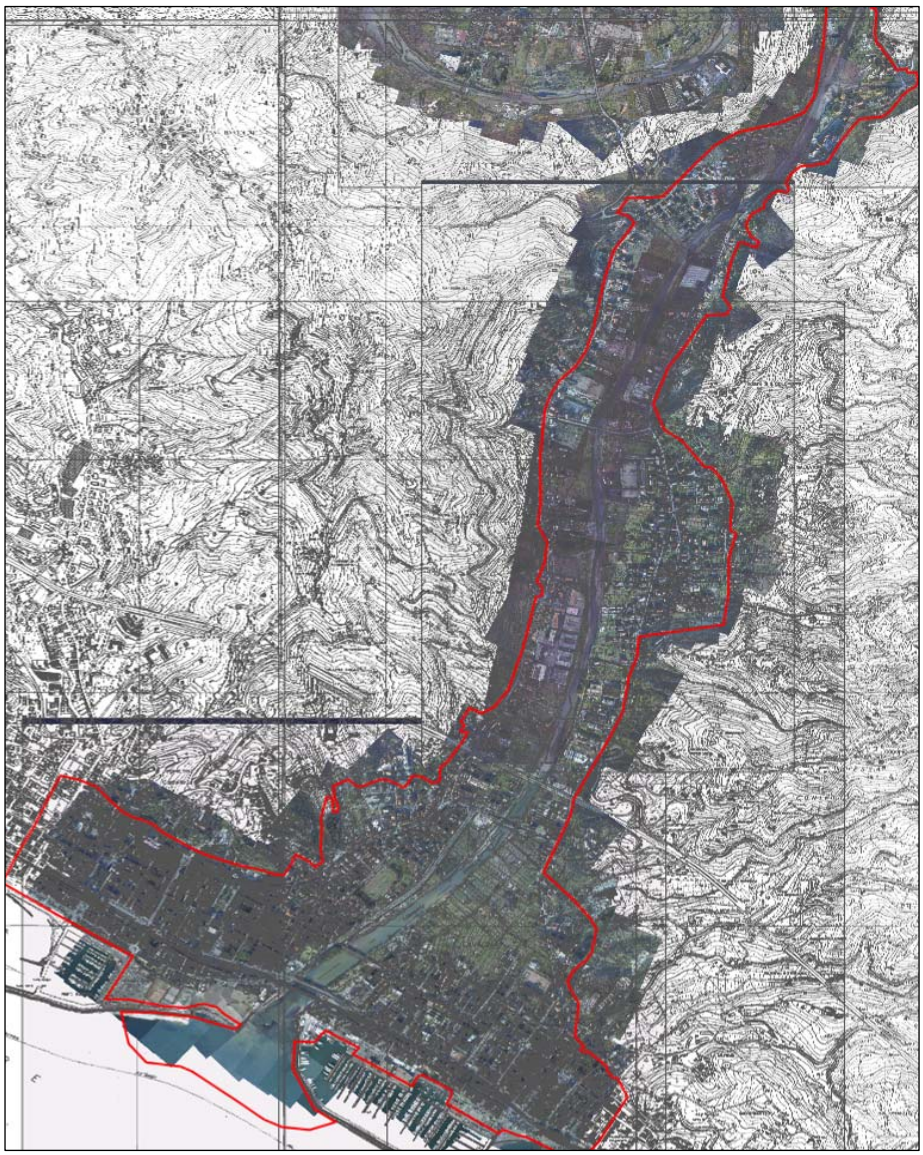


Figura 3: Area di analisi del modello Basement

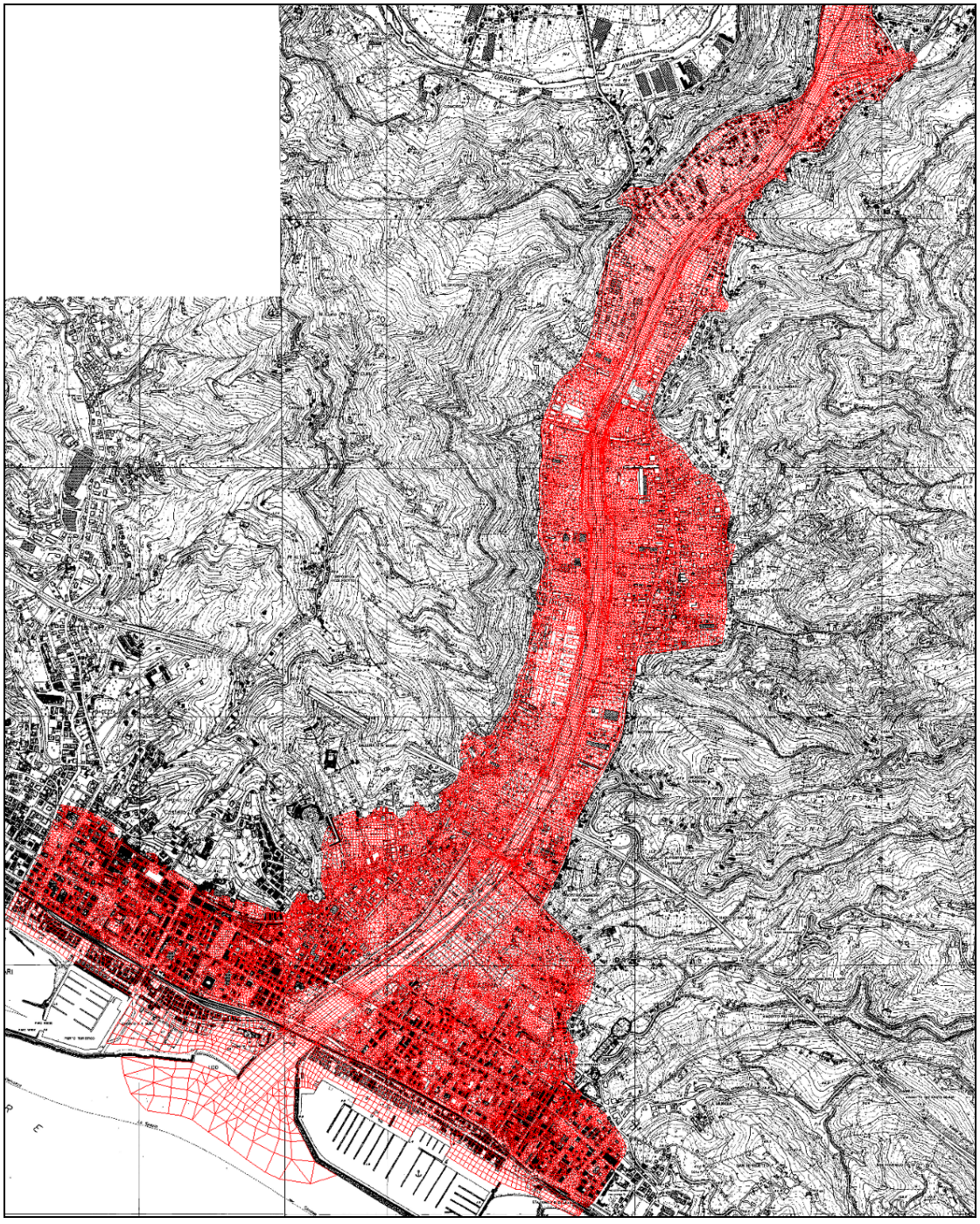


Figura 4: *Mesh* di calcolo Basement

5. RISULTATI OTTENUTI

5.1 Attuali condizioni di allagamento

Con riferimento al tratto di corso d'acqua a valle del ponte di Maddalena, oggetto specifico del presente progetto, si osserva che il deflusso idrico comincia a fuoriuscire dall'alveo attivo di magra per portate di circa 1000 m^3/s (vedi Figura 5). Il primo punto di tracimazione delle attuali difese avviene in destra e soprattutto in sinistra idraulica, a monte ed in corrispondenza del ponte Buenos Aires per portate di circa 1400 m^3/s (vedi Figura 6), mentre in destra idraulica l'allagamento avviene anche da monte del Ponte Maddalena.

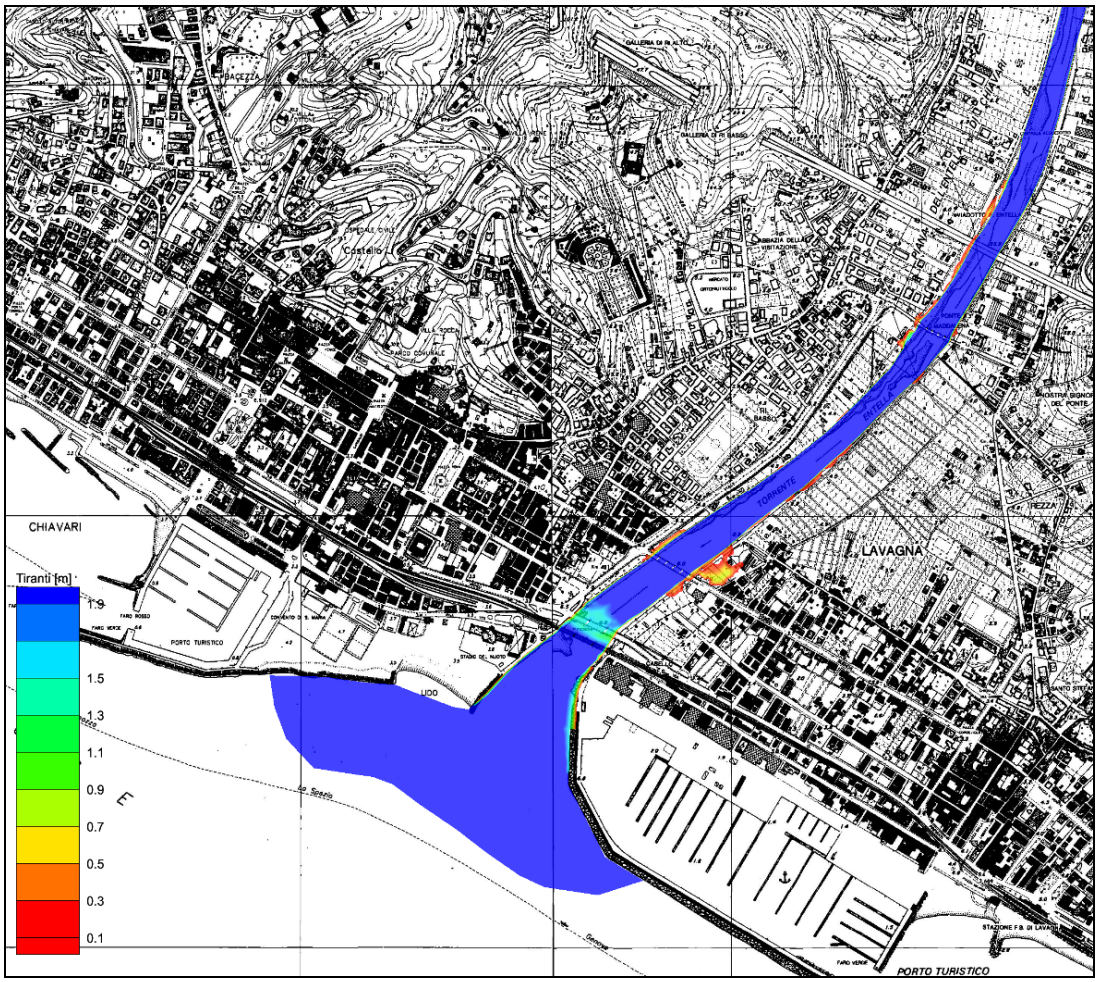


Figura 5: Planimetria degli allagamenti istantanei per portate di circa 1000 m^3/s

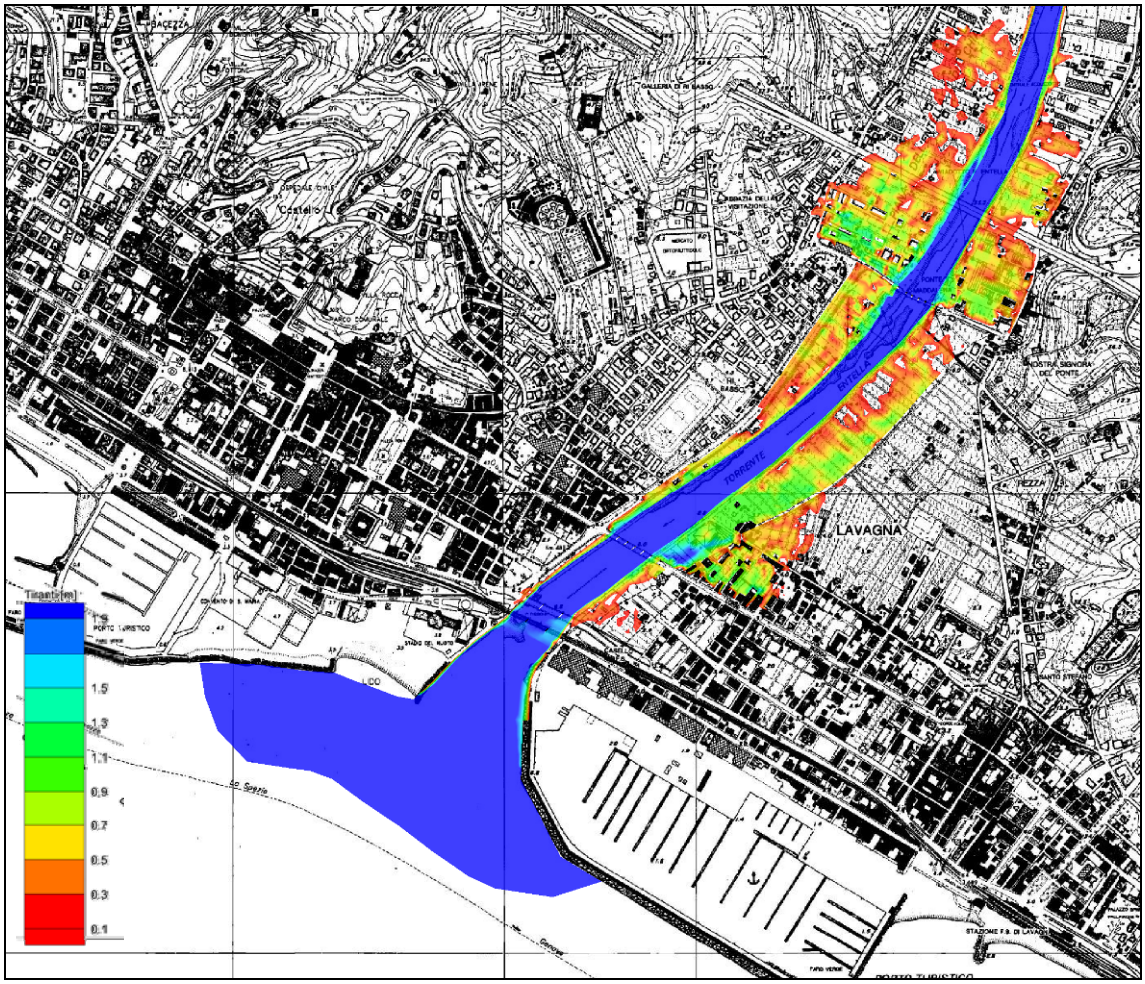


Figura 6: Planimetria degli allagamenti istantanei per portate di circa 1400 m^3/s

Lato Chiavari, fino alla portata di 2450 m^3/s, non si verificano ulteriori contributi all'allagamento dell'abitato in quanto la protezione dall'esondazione è assicurata dal rilevato di Viale Kasman; ciò ad eccezione del tratto in cui ha luogo l'abbassamento di quota della sommità della difesa come ad esempio fra i rilevati dei ponti di Via Previati e quello ferroviario.

Oltre tale portata sono sormontati anche altri tratti di tale rilevato, fino al quasi completo sormonto. La portata massima che sormonta viale Kasman per T=200 anni è di circa 102 m^3/s mentre il volume complessivo che interessa l'abitato è di 1.83 milioni di m^3 di cui 1.24 milioni di m^3 provenienti da monte del ponte Maddalena, 0.59 milioni di m^3 dal sormonto di viale Kasman a monte di Buenos Aires.

Lato Lavagna, l'esondazione evolve dalle zone a monte e valle del Ponte Buenos Aires per poi svilupparsi lungo la piana verso l'abitato.

In seguito, l'acqua riesce a scavalcare il Segiun anche in punti più a monte, fino al completo sormonto al transito della portata di 2450 m^3/s. Si precisa che tale valutazione è effettuata nell'ipotesi, del tutto irreale, che il Segiun, anche dopo essere sormontato dalle acque, mantenga la sua attuale geometria e non venga invece progressivamente eroso ed asportato.

La portata massima che sormonta il Segiun per T=200 anni è di circa 353 m^3/s per un volume di 2.52 milioni di m^3; la portata massima che esonda a valle del ponte Buenos Aires è di circa 202 m^3/s per un volume di 1.58 milioni di m^3.

Complessivamente Lavagna per una portata con tempo di ritorno duecentennale viene investita da un volume totale di 4.1 milioni di m^3

In Figura 7 sono rappresentate le massime aree inondabili per la piena cinquantennale; l'allagamento si estende fino a corso Garibaldi (escluso) lato Chiavari e fino all'altezza di Piazza Vittorio Veneto lato Lavagna. Quella rappresentata è di fatto la Fascia A (rossa) definita nelle norme del piano di Bacino e si stende per circa 0.42 km^2 a Chiavari e circa 0.48 km^2 a Lavagna.

Gli eventi di piena con tempo di ritorno superiore incrementano progressivamente, ma in misura limitata l'area allagata verso l'esterno; in Figura 8 sono rappresentate le massime aree allagabili per tempo di ritorno 200 anni. Quella rappresentata è di fatto la Fascia B (gialla) definita nelle norme del piano di Bacino e si stende per circa 0.75 km^2 a Chiavari e circa 0.69 km^2 a Lavagna comprendendo in tali superfici anche quelle di fascia A sopra descritta, interessando in questo modo praticamente tutti gli abitati.

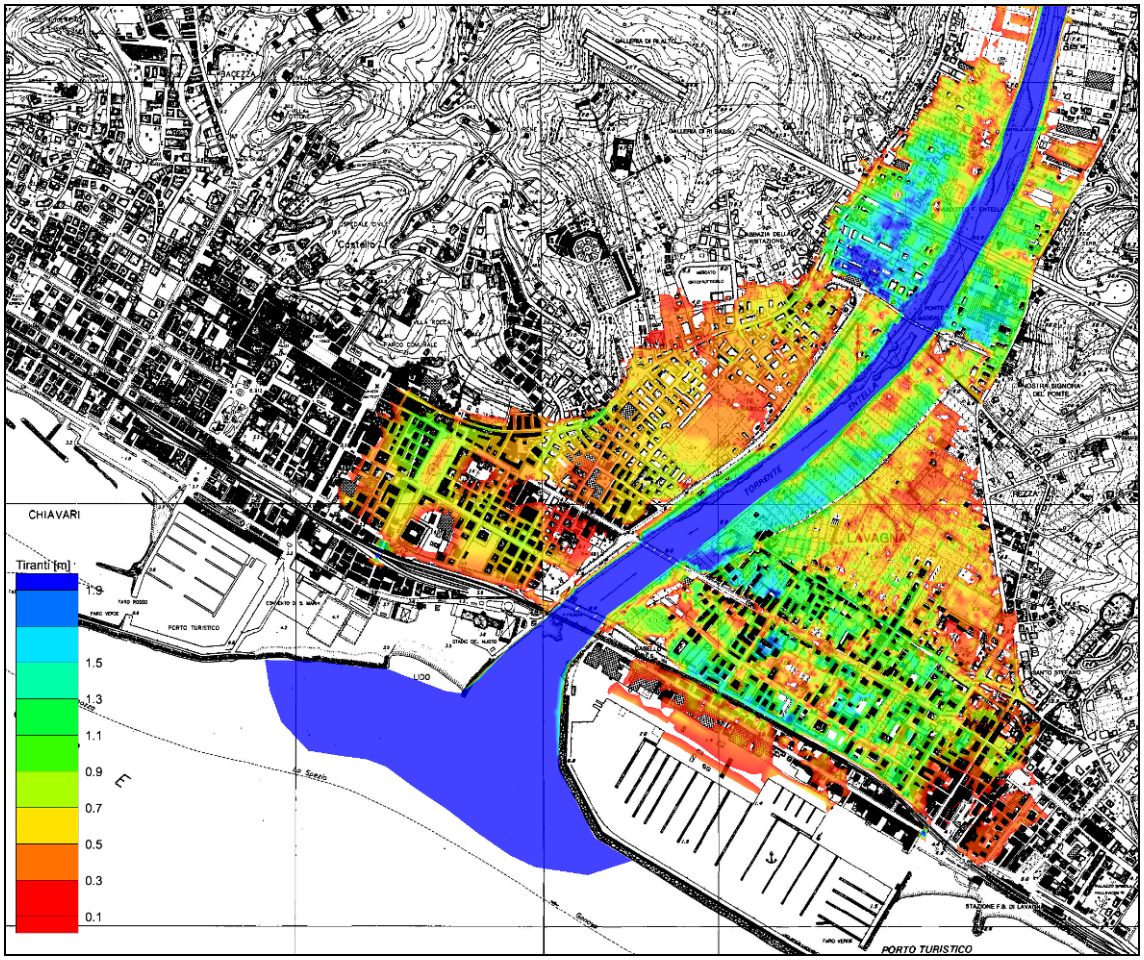


Figura 7: Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=50 anni (Q=1559 m^3/s)

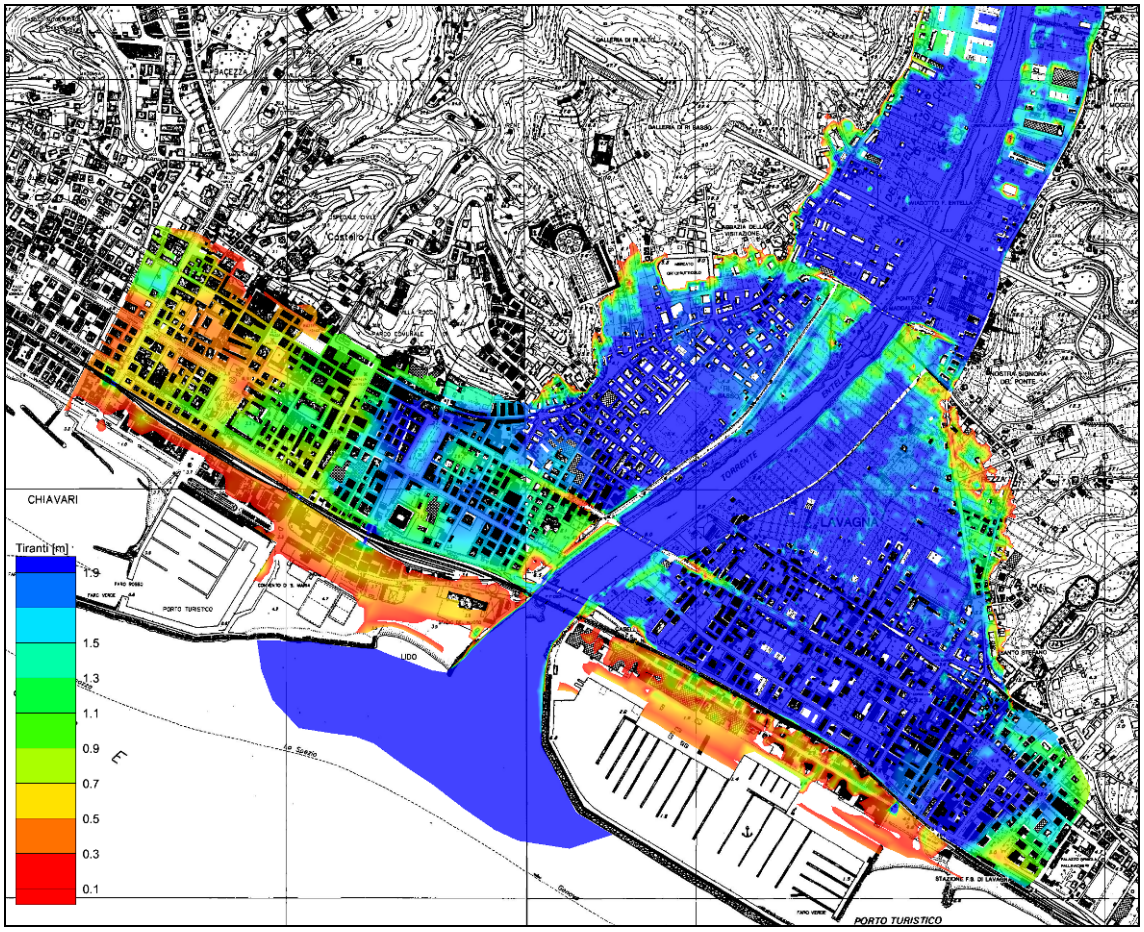


Figura 8: Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 m^3/s)

5.2 *Condizioni di sicurezza raggiunte con gli interventi di cui al presente progetto*

Gli interventi di cui al presente progetto sono sommariamente così riassumibili:

- ✓ **in sponda destra**: adeguamento dei muri posti in allineamento alla spalla destra del ponte Ferroviario e del ponte di Via Peviati fino a raccordarsi al ponte Buenos Aires – tratto posto a cavallo delle sezioni 3 Pr, 4a Pr e 4b Pr, nonché realizzazione di un muro lungo viale Kasman a partire dalla sezione 5 fino a monte della sezione 9 (poco a valle del ponte della Maddalena);

- ✓ **in sponda sinistra**, partendo da valle si prevede di realizzare un muro tra i ponti FS e via Previati, di innalzare il piano dei giardini nel tratto compreso tra il ponte di via Previati e quello di Buenos Aires (sezioni 4b Pr e 5a Pr), di realizzare una nuova difesa tra ponte Buenos Aires e poco a monte di via Garibaldi (sezione 5b Pr e 7 Pr lungo la linea già individuata nel PP2004) e di adeguare il segiun nel tratto compreso tra la sezione 7 Pr e il Rio Rezza nonché l'arretramento dell'arginatura lungo il Rezza fino a via dei Fieschi.

Le massime aree inondabili per la **piena cinquantennale** a seguito della realizzazione degli interventi sopra descritti sono indicate in Figura 9; **il fiume non esonda sul lato Lavagna e quindi non si ha più alcun allagamento**; lato Chiavari invece allagamento continua a essere sostanzialmente identico a quello dello stato attuale in quanto, come già rilevato a più riprese nelle varie fasi progettuali, proveniente esclusivamente da monte di Maddalena (vedi precedente Figura 7). Lato Lavagna, non avendo più alcun allagamento, la Fascia A (rossa) definita nelle norme del P.d.B. **risulta annullata,** mentre la stessa risulta sostanzialmente inalterata rispetto a quella attuale a Chiavari.

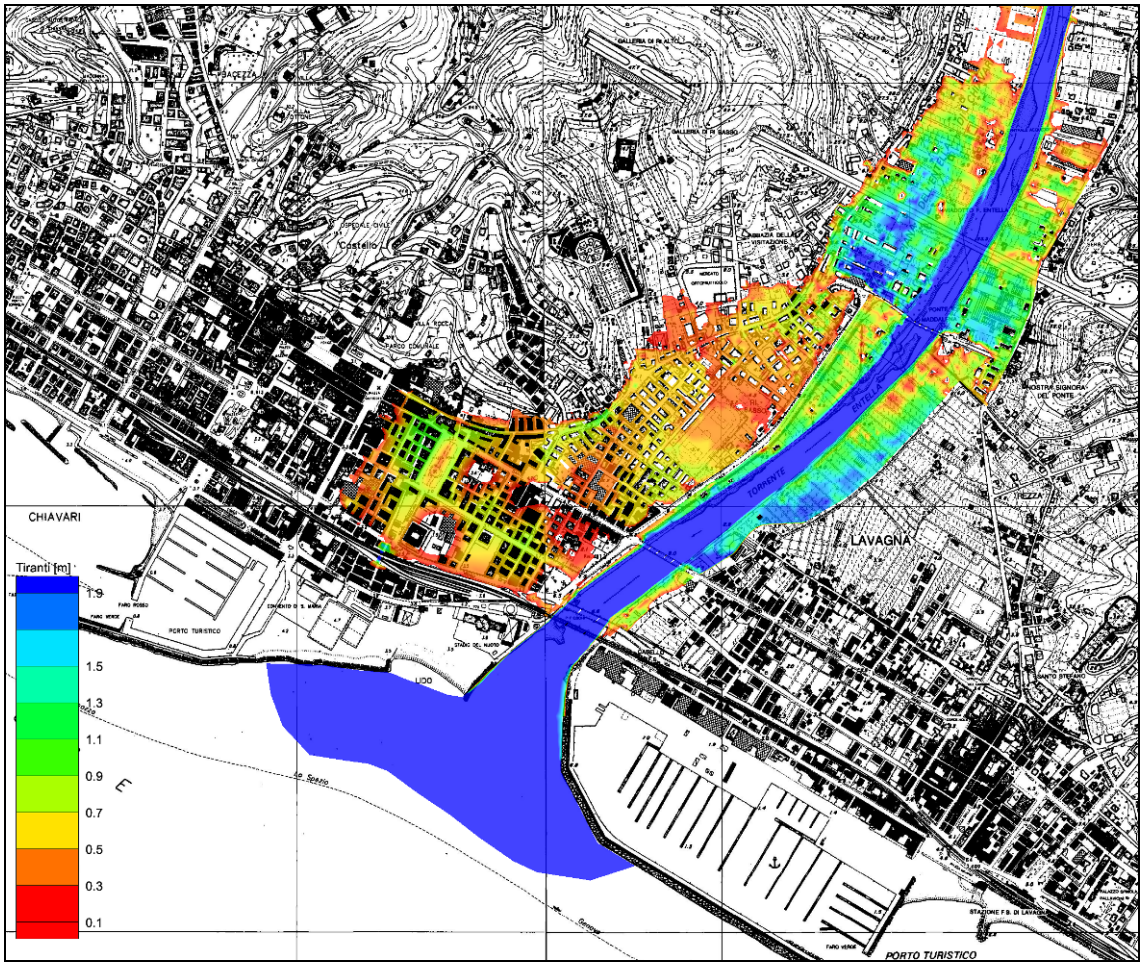


Figura 9 : Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=50 anni (Q=1559 m^3/s) dopo la realizzazione degli interventi in progetto

Considerazioni identiche possono essere condotte per le piene centennali.

In Figura 10 sono rappresentate le massime aree allagabili per la **piena duecentennale**. Lato Lavagna, pur in presenza di un franco ridotto, **le condizioni di allagamento si riducono drasticamente.** In particolare le zone allagate con un tirante superiore a 70 cm (vedi Figura 11) passano dagli attuali 0.69 km^2 circa (quasi tutta la piana) a 0.11 km^2 (meno del 20 %).

Il contenimento delle acque aumenta i massimi livelli idrici di deflusso in alveo nel tratto tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires di un valore massimo di 60 cm circa. La realizzazione del contenimento idraulico in sponda destra consente la riduzione delle

portate esondate a Chiavari in caso di piena duecentennale; dagli attuali 280 m^3/s si passa 221 m^3/s. Il miglioramento avviene anche in termini di volumi idrici passando dagli attuali 1.83 milioni di m^3 a 1.36 milioni di m^3. Per la suddetta configurazione si ottiene anche un minimo decremento dei livelli idrici massimi dell'ordine di qualche cm. La zona di Chiavari risulta comunque allagata, grossomodo nella medesima estensione dello stato attuale, ma solo da monte e non per tracimazione del rilevato di viale Kasman. Tale configurazione non consente quindi ancora la difesa di Chiavari per portate duecentennali ma è propedeutica ed indispensabile per i successivi interventi di sistemazione idraulica più a monte. Sempre lato Chiavari, sia la Fascia A (rossa) che la Fascia B (gialla) non modificano sostanzialmente le loro dimensioni rispetto allo stato attuale.

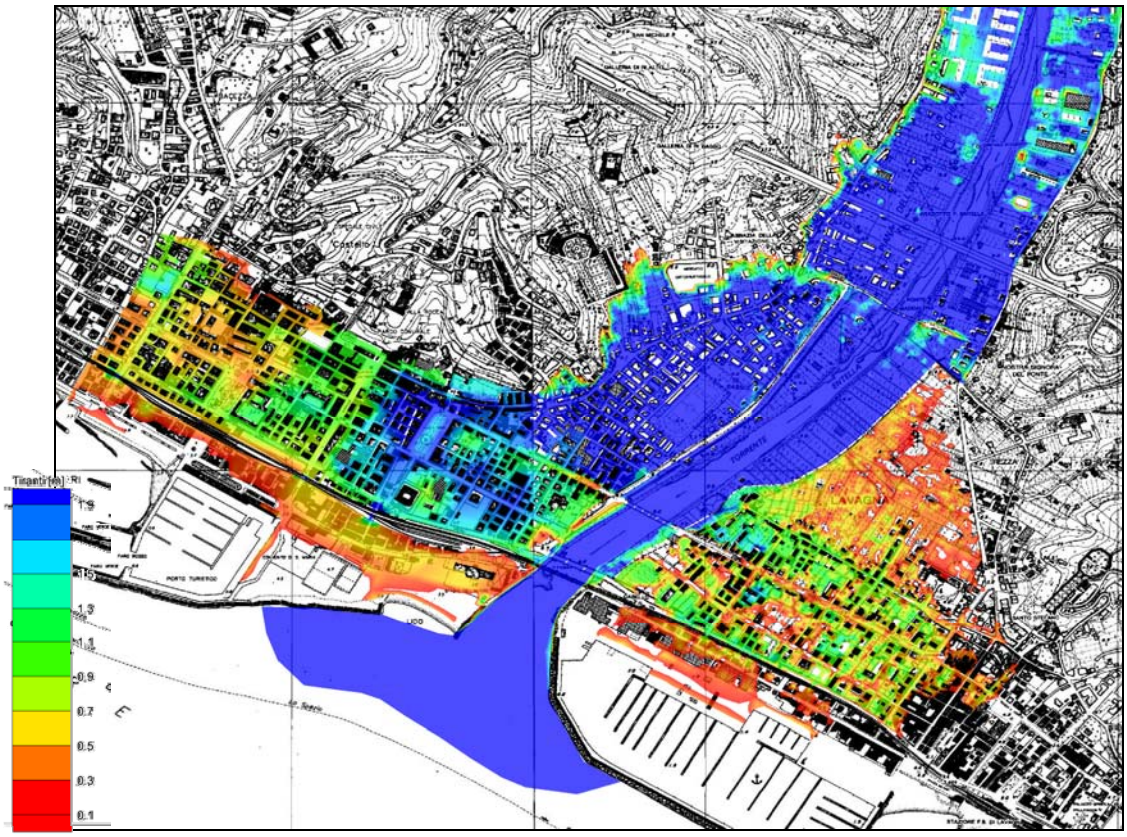


Figura 10: Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 m^3/s) dopo la realizzazione degli interventi in progetto

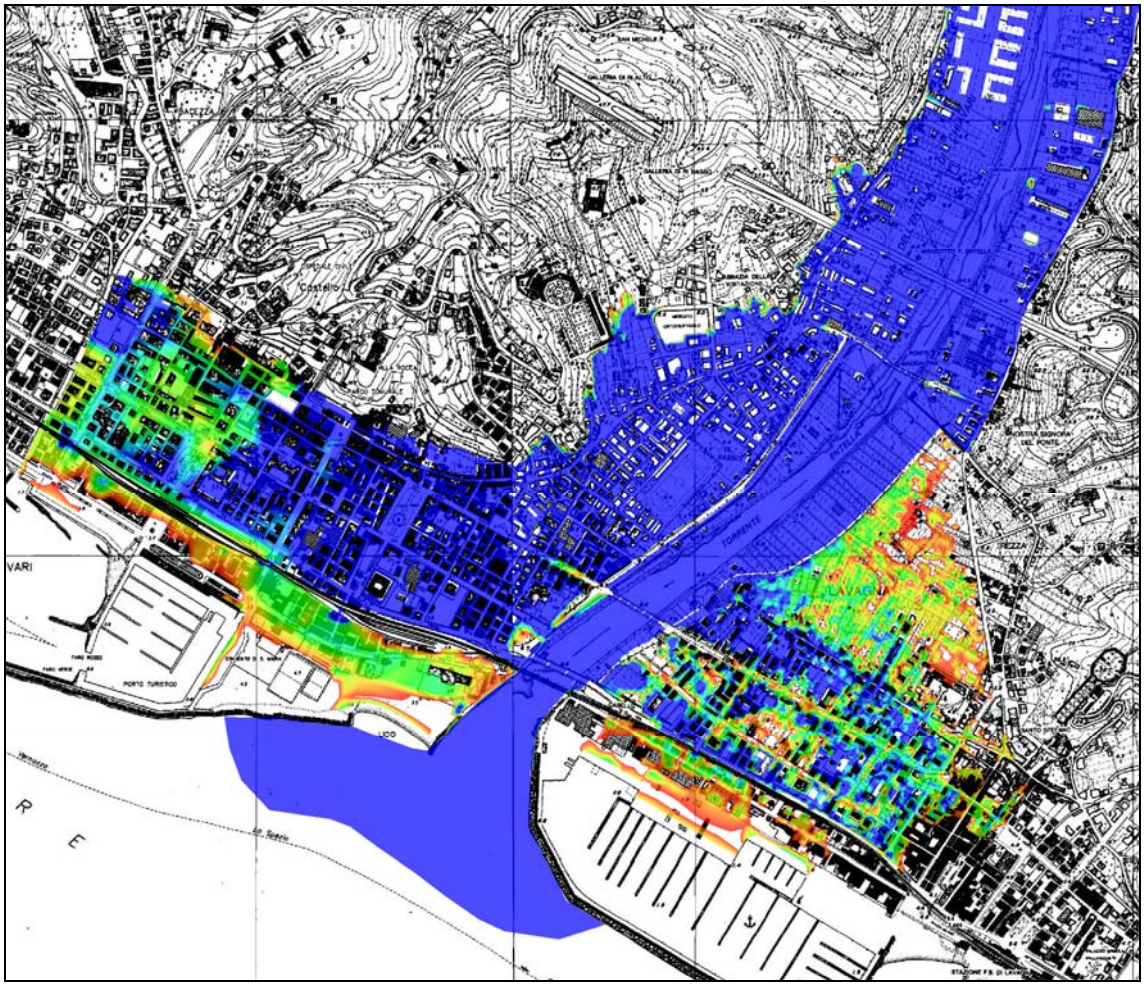


Figura 11: Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 m^3/s) dopo la realizzazione degli interventi in progetto e tirante superiore a 70 cm; in blu i tiranti maggiori di 70 cm

5.3 Studio di fattibilità degli interventi per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario-infrastrutturale a monte del ponte Maddalena

Nell'ambito dello *"Studio di Fattibilità per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario-infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate"* è stato implementato ed esteso il medesimo modello matematico volto a definire i parametri idrodinamici utili alla progettazione delle opere nonché verificare l'efficacia degli interventi di difesa progettati. Per una descrizione analitica della soluzione adottata

si rimanda allo specifico capitolo della relazione descrittiva; in questa sede ci si limita a ricordare che il posizionamento planimetrico delle arginature di difesa prende origine dal PP2004 ed ha subito una serie di modeste modifiche planimetriche conseguenti ad una prima "ingegnerizzazione" del PP2004 stesso sulla base dei rilievi topografici eseguiti.

Gli elementi salienti che hanno condotto alla soluzione proposta raccogliendo anche le indicazioni del gruppo di lavoro composto dai tecnici della Regione, della Provincia e di tutti i comuni interessati sono stati:

1. Normativa idraulica di riferimento
2. Coerenza con il progetto idraulico di 1°lotto 1°stralcio fra il ponte della Maddalena e la Foce
3. Dati di traffico
4. Impostazione progettuale del sistema arginatura – viabilità
5. Rivi secondari
6. Nuova soluzione progetto viale Kasman - casello autostradale
7. Edifici influenzati dall'argine o dalla strada
8. Ricollocazione delle attività produttive
9. Entella sito di importanza comunitaria
10. Ponte della Maddalena – Pedonalizzazione
11. Eliporto
12. Lavagna: Sottopasso davanti alla Chiesa Nostra Signora del Ponte
13. Chiavari: Interferenza Caserma Leone
14. Lavagna: borgata lungo l'Entella
15. Ponte di Caperana
16. Nuovo manufatto di attraversamento tra il comune di Cogorno e quelli di Carasco-Chiavari
17. Carasco: salita di san Lazzaro
18. Carasco: collegamento con la frazione di Rivarola e by pass dell'abitato
19. Norme urbanistiche per facilitare la realizzazione
20. Sottoservizi

Senza entrare nel merito delle singole problematiche resta evidente in questa sede come il mettere a sistema le diverse questioni possa da un lato consentire una visione progettuale più esaustiva e completa e dall'altro rendere maggiormente difficoltosa la definizione degli interventi.

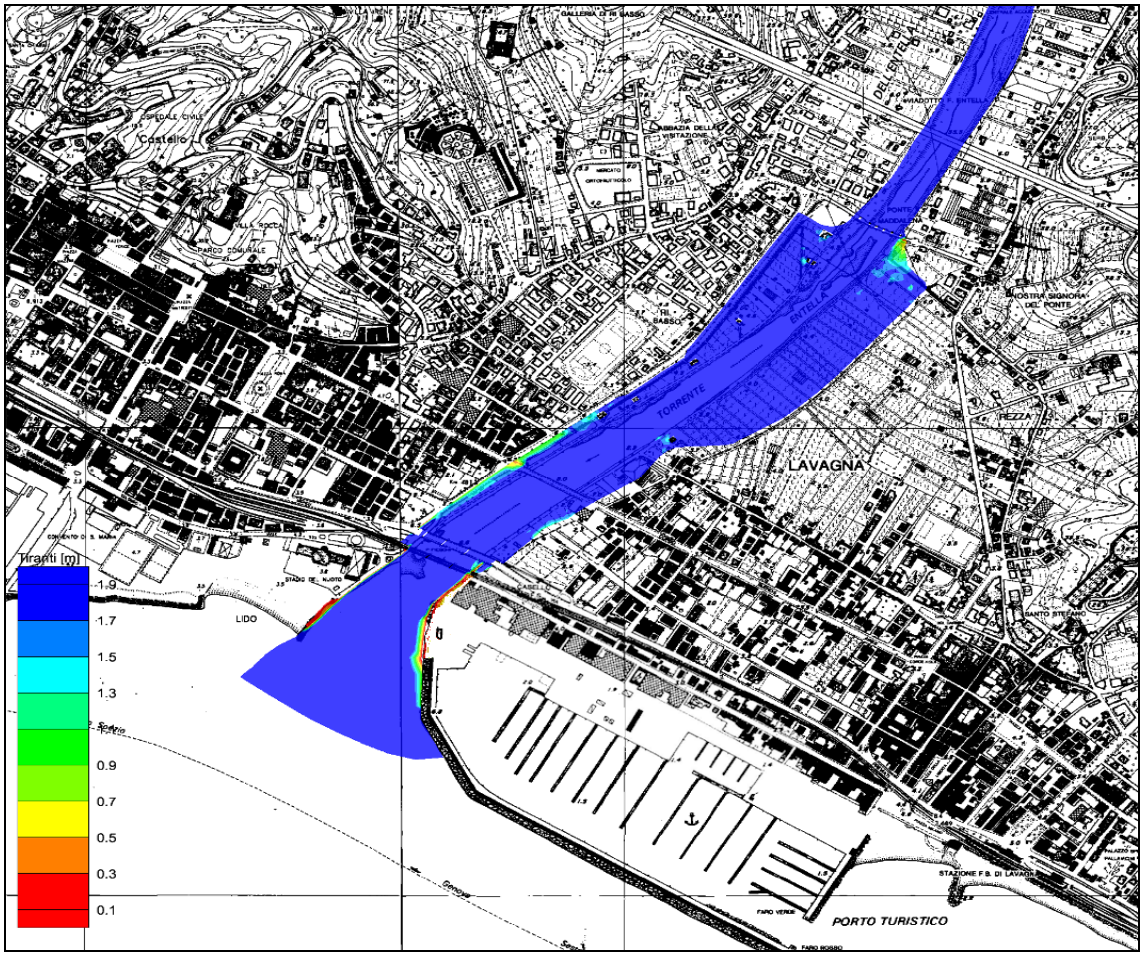


Figura 12: Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 m^3/s) dopo la realizzazione degli interventi di valle e tutti gli interventi a monte di Maddalena (**rappresentazione della zona di valle**) [1°lotto M + 2°lotto].

Venendo alle problematiche idrauliche, oltre alla localizzazione planimetrica delle arginature che talvolta è arretrata rispetto al PP2004 come ad esempio nella zona della Caserma Leone a Chiavari e talvolta avanzata verso fiume sempre comunque senza mai intaccare l'attuale alveo di magra del corso d'acqua e garantendo comunque una bancata/pista carrabile al di sopra della attuale sponda, si possono elencare i seguenti interventi volti al miglioramento della officiosità idraulica:

a) Ampliamento di una luce in sponda destra del Ponte Maddalena ad uso idraulico con relativi ampliamenti dell'alveo di magra, come peraltro già individuato nel PP2004 e nel PP2006;

b) Sostituzione del Ponte Caperana;

c) Ampliamento dell'alveo del'Entella in sponda destra per circa 350 m in prossimità del Ponte Caperana.

Le simulazioni condotte, con riferimento a tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, hanno evidenziato la necessità di preliminari interventi nel tratto a valle di Maddalena onde evitare che la maggiore portata che viene fatta transitare all'interno del Ponte Maddalena dalle opere di difesa di monte creino intollerabili aggravi della situazione di valle in assenza di idonee opere di contenimento laterale nonché della insufficienza del ponte di Buenos Aires che presenta un funzionamento in pressione per portate elevate.

Nella Figura 12 si può osservare che la configurazione così definita consente la messa in sicurezza di tutte le aree a tergo delle difese; con particolare riferimento all'abitato di Chiavari a valle di Maddalena, si evidenzia come la sua definitiva messa in sicurezza non può prescindere dagli interventi a monte di Maddalena.

Nella Figura 13 si può osservare la medesima configurazione per il tratto più a monte.

Corre infine l'obbligo di ricordare che tale configurazione ha avuto parere istruttorio positivo nella seduta del 13/09/2012 da parte del Comitato Tecnico di Bacino dell'Autorità di Bacino Regionale.

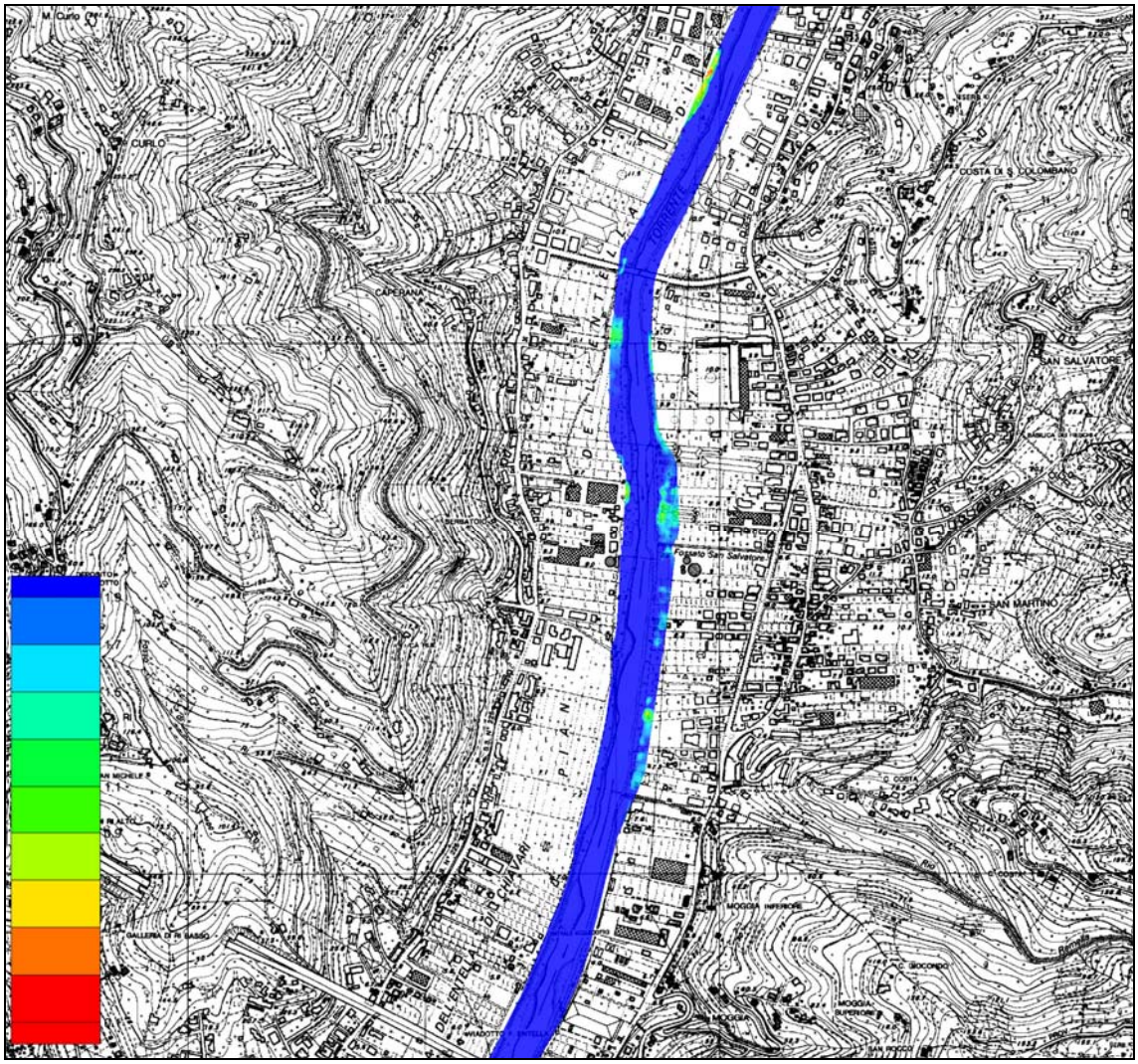


Figura 13: Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 m^3/s) dopo la realizzazione degli interventi di valle e tutti gli interventi a monte di Maddalena (**rappresentazione della zona di monte**) [1°lotto M + 2°lotto].

5.4 Sintesi dei livelli ottenuti nelle varie simulazioni condotte

Per concludere si riportano nelle tabelle seguenti i risultati delle simulazioni condotte in termini di livelli idrici, con a fianco la quota della difesa spondale lato sinistro (Lavagna) e lato destro (Chiavari) in progetto ed il conseguente franco idraulico. Come si può notare la quota a cui è stata posta la difesa garantisce il metro di franco sulla portata con T 50

anni a seguito della realizzazione degli interventi a base del presente progetto definitivo, le opere di cui al presente progetto saranno inoltre in grado di contenere la portata duecentennale con franco di 50 cm a seguito del completamento degli interventi di messa in sicurezza dell'Entella, ovvero sostituzione del ponte Buenos Aires che completa il set degli interventi di valle e sistemazione del tratto a monte [1°lotto M e 2° lotto].

Tabella 5-1: Livelli idrici per la simulazione di **1° lotto M e 2° lotto** (sistemazione finale dell'Entella) con tempo di ritorno 200 anni e relativo franco idraulico rispetto alle difese di progetto

Simulazione 1°lotto M[2)]+2° lotto (Sistemazione finale) T=200 anni						
	Livelli idrici		Quota minima di difesa di progetto		Franco idraulico	
Sezione	Sponda SX	Sponda DX	Sponda SX	Sponda DX	Sponda Sx	Sponda DX
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)
1	0.65	0.52				
2	0.61	0.65				
3	2.25	2.69	4.20	4.00	1.95	1.31
4a	2.28	2.05	4.20	4.11	1.92	2.06
4b	2.97	2.74	4.60	4.21	1.63	1.47
5a	4.77	4.75	5.27		0.50	
5b	4.78	4.82	5.35		0.57	
6	4.88	4.85	5.50	5.50	0.62	0.65
7	6.16	5.96	6.68	6.64	0.52	0.68
8	6.29	6.24	6.80	6.76	0.51	0.52
9	6.62	6.50	7.13	7.00	0.51	0.50
Inizio intervento	6.45	6.50	7.20	7.20	0.75	0.70
10f	6.32	6.04				
10a	5.92	6.15				
10b	5.56	5.84				
10c	9.11	8.54				
10d	9.09	8.99				
11	8.83	8.76				

[2)] Con la dicitura 1°lotto M si intendono realizzati gli interventi di cui al presente progetto oltre alla sostituzione del ponte Buenos Aires (cioè ex 1° lotto – 1°+2°+3° stralcio M).

Tabella 5-2: Livelli idrici a seguito della realizzazione degli **interventi a base del seguente progetto definitivo** con tempo di ritorno **50 anni** e relativo franco idraulico rispetto alle difese di progetto

Simulazione a seguito della realizzazione degli interventi di cui al presente progetto definitivo T=50 anni						
	Livelli idrici		Quota minima difesa di progetto		Franco idraulico	
Sezione	Sponda SX	Sponda DX	Sponda SX	Sponda DX	Sponda Sx	Sponda DX
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)
1	0.62	0.52				
2	0.61	0.66				
3	0.55	0.73	4.20	4.00	3.65	3.27
4a	0.55	0.84	4.20	4.11	3.65	3.27
4b	1.56	1.50	4.60	4.21	3.04	2.71
5a	3.70	3.32	5.27		1.57	
5b	4.19	4.17	5.35		1.16	
6	4.36	4.38	5.50	5.50	1.14	1.12
7	4.73	4.60	6.68	6.64	1.95	2.04
8	4.87	4.86	6.80	6.76	1.93	1.90
9	5.47	5.45	7.13	7.00	1.66	1.56
Inizio intervento	5.55	5.44	7.20	7.20	1.65	1.76
10f	5.63	5.60				
10a	5.66	5.70				
10b	5.47	5.66				
10c	6.72	6.27				
10d	6.71	6.60				
11	6.67	6.64				

5.5 *Ulteriori verifiche richieste dal Comitato Tecnico di Bacino*

5.5.1 *Diversa condizione di valle*

A pagina 5 del Contributo istruttorio in merito al progetto di sistemazione del Fiume Entella – 1° lotto redatto dall' Autorità di Bacino Regionale Comitato Tecnico di Bacino nella seduta del 08/03/2012 si richiede quanto segue: *"la modellazione idraulica nelle varie configurazioni è stata effettuata imponendo, come condizione al contorno di valle, il livello del mare a quota 0.5 m s.l.m. sia in foce, che a valle della linea di litorale prospiciente gli abitati di Chiavari e Lavagna; al fine di* valutare *gli effetti di possibili*

condizioni meteo-marine avverse in concomitanza con un evento di piena eccezionale sarebbe opportuno effettuare una verifica, almeno nella condizione finale del progetto imponendo una condizione di valle più gravosa per il deflusso".

Ad espletamento di quanto richiesto sono state condotte due ulteriori simulazioni;

- **Stato di Fatto** in cui come condizione al contorno di valle si è imposto il livello del mare a quota 1 m s.l.m (innalzamento di 50 cm rispetto alla simulazione bidimensionale precedente);
- **Sistemazione finale del corso d'acqua (1° lotto M[2)] +2° lotto)** in cui come condizione al contorno di valle si è imposto il livello del mare a quota 1 m s.l.m (innalzamento di 50 cm rispetto alla simulazione bidimensionale precedente).

Tabella 5-3: Livelli idrici per le simulazioni di Stato di Fatto condotte applicando: come condizione al contorno di valle un livello 0.5 m s.l.m. (Colonna A), come condizione al contorno di valle un livello 1 m s.l.m (Colonna B) e la differenza tra le due simulazioni.

	Stato di Fatto T 200 anni CCV 0.5 m s.l.m. (A)			Stato di Fatto T 200 anni CCV 1 m s.l.m. (B)			Differenza (B-A)		
Sezione	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)	(m)
1	0.64	0.58	0.52	1.13	1.09	1.02	**0.49**	**0.51**	**0.50**
2	0.61	0.64	0.66	1.11	1.15	1.20	**0.50**	**0.51**	**0.54**
3	1.85	2.26	2.62	1.80	2.29	2.61	**-0.06**	**0.03**	**-0.01**
4a	1.92	1.77	2.18	1.94	1.78	2.24	**0.02**	**0.01**	**0.06**
4b	2.82	2.52	2.51	2.81	2.52	2.51	**-0.02**	0.00	0.00
5a	4.60	4.36	4.21	4.60	4.36	4.21	0.00	0.00	0.00
5b	5.20	5.17	5.19	5.20	5.17	5.19	0.00	0.00	0.00
6	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	0.00	0.00	0.00
7	5.65	5.60	5.52	5.65	5.60	5.52	0.00	0.00	0.00
8	5.72	5.71	5.70	5.72	5.71	5.70	0.00	0.00	0.00
9	6.26	6.21	6.20	6.26	6.21	6.20	0.00	0.00	0.00
10f	6.26	6.37	6.24	6.26	6.37	6.24	0.00	0.00	0.00
10a	5.99	5.90	6.03	5.99	5.90	6.03	0.00	0.00	0.00
10b	5.65	5.75	5.91	5.65	5.75	5.91	0.00	0.00	0.00
10c	8.44	8.55	7.93	8.44	8.55	7.93	0.00	0.00	0.00
10d	8.45	8.47	8.36	8.45	8.47	8.36	0.00	0.00	0.00
11	8.38	8.35	8.33	8.38	8.35	8.33	0.00	0.00	0.00
12	8.38	8.35	8.33	8.38	8.35	8.33	0.00	0.00	0.00

	Stato di Fatto T 200 anni CCV 0.5 m s.l.m. (A)			Stato di Fatto T 200 anni CCV 1 m s.l.m. (B)			Differenza (B-A)		
Sezione	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)	(m)
13	8.45	8.41	8.32	8.45	8.41	8.32	0.00	0.00	0.00
14	8.46	8.41	8.36	8.46	8.41	8.36	0.00	0.00	0.00
15	9.46	9.42	9.41	9.46	9.42	9.41	0.00	0.00	0.00
16	9.69	9.65	9.63	9.69	9.65	9.63	0.00	0.00	0.00
17	10.37	10.41	10.33	10.37	10.41	10.33	0.00	0.00	0.00
18	10.96	11.12	11.22	10.96	11.12	11.22	0.00	0.00	0.00
19	12.98	12.86	12.69	12.98	12.86	12.69	0.00	0.00	0.00
20	13.69	13.60	13.58	13.69	13.60	13.58	0.00	0.00	0.00
21	14.06	14.16	14.25	14.06	14.16	14.25	0.00	0.00	0.00
22	14.72	14.72	14.75	14.72	14.72	14.75	0.00	0.00	0.00
23	15.50	15.52	15.52	15.50	15.52	15.52	0.00	0.00	0.00
24	16.12	16.14	16.13	16.12	16.14	16.13	0.00	0.00	0.00

Tabella 5-4: Livelli idrici in una configurazione di sistemazione Finale del corso d'acqua (1°lotto M[2)] + 2° lotto) simulazioni condotte applicando: come condizione al contorno di valle un livello 0.5 m s.l.m. (Colonna A), come condizione al contorno di valle un livello 1 m s.l.m (Colonna B) e la differenza tra le due simulazioni.

	Finale T 200 anni CCV 0.5 m s.l.m. (A)			Finale T 200 anni CCV 1 m s.l.m. (B)			Differenza (B-A)		
Sezione	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**GolenaDX**
1	0.65	0.58	0.52	1.16	1.09	1.02	**0.51**	**0.51**	**0.50**
2	0.61	0.68	0.65	1.11	1.15	1.22	**0.50**	**0.47**	**0.57**
3	2.26	2.49	2.69	2.21	2.51	2.71	**-0.05**	**0.01**	**0.02**
4a	2.28	2.01	2.05	2.30	2.00	2.07	**0.02**	**-0.01**	**0.02**
4b	2.97	2.66	2.74	2.96	2.68	2.74	**-0.01**	**0.02**	0.00
5a	4.77	4.75	4.76	4.77	4.75	4.76	0.00	0.00	0.00
5b	4.78	4.82	4.82	4.78	4.82	4.82	0.00	0.00	0.00
6	4.88	4.90	4.86	4.88	4.90	4.86	0.00	0.00	0.00
7	6.17	6.08	5.96	6.17	6.08	5.96	0.00	0.00	0.00
8	6.30	6.27	6.25	6.30	6.27	6.25	0.00	0.00	0.00
9	6.62	6.54	6.51	6.62	6.54	6.51	0.00	0.00	0.00
10f	6.32	6.27	6.05	6.32	6.27	6.05	0.00	0.00	0.00
10a	5.92	5.90	6.15	5.92	5.90	6.15	0.00	0.00	0.00

	Finale T 200 anni CCV 0.5 m s.l.m. (A)			Finale T 200 anni CCV 1 m s.l.m. (B)			Differenza (B-A)		
Sezione	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**GolenaDX**
10b	5.56	5.65	5.84	5.56	5.65	5.84	0.00	0.00	0.00
10c	9.11	9.21	8.54	9.11	9.21	8.54	0.00	0.00	0.00
10d	9.09	9.11	8.99	9.09	9.11	8.99	0.00	0.00	0.00
11	8.83	8.79	8.76	8.83	8.79	8.76	0.00	0.00	0.00
12	8.93	8.91	8.90	8.93	8.91	8.90	0.00	0.00	0.00
13	9.42	9.36	9.26	9.42	9.36	9.26	0.00	0.00	0.00
14	8.97	8.94	8.90	8.97	8.94	8.90	0.00	0.00	0.00
15	10.15	10.15	10.22	10.15	10.15	10.22	0.00	0.00	0.00
16	10.39	10.38	10.39	10.39	10.38	10.39	0.00	0.00	0.00
17	10.59	10.67	10.62	10.59	10.67	10.62	0.00	0.00	0.00
18	11.61	11.79	11.94	11.61	11.79	11.94	0.00	0.00	0.00
19	12.65	12.50	12.23	12.65	12.50	12.23	0.00	0.00	0.00
20	13.89	13.75	13.70	13.89	13.75	13.70	0.00	0.00	0.00
21	14.58	14.70	14.80	14.58	14.70	14.80	0.00	0.00	0.00
22	15.42	15.41	15.42	15.42	15.41	15.42	0.00	0.00	0.00
23	16.24	16.29	16.31	16.24	16.29	16.31	0.00	0.00	0.00
24	17.15	17.14	17.08	17.15	17.14	17.08	0.00	0.00	0.00

Come si può notare dai raffronti condotti in Tabella 5-3 e Tabella 5-4 sia per le simulazioni di Stato di Fatto che per quelle di Stato di Progetto in cui si prevede la sistemazione complessiva dell'Entella sia nel tratto vallivo che in quello a monte (simulazione di 1°lotto M+2°lotto) l'applicazione di una condizione di valle maggiormente gravosa (ulteriore innalzamento di 50 cm del livello del mare alla foce) comporta la modifica significativa dei livelli solo in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2. Questo è dovuto al fatto che la corrente in corrispondenza del ponte della Ferrovia (sezione 3) e del ponte di Via Previati (sezione 4a) passa in critica, creando così una sconnessione idraulica che permette all'innalzamento dei livelli di valle di non ripercuotersi a monte.

Quindi anche qualora si verificasse la concomitanza di una piena eccezionale con alti livelli del mare ciò non aggraverebbe le condizioni di allagamento lungo l'Entella.

Ad ogni buon conto, tenuto conte comunque delle incertezze e delle particolari condizioni idrodinamiche di tale tratto, gli interventi di cui al presente progetto realizzati intorno alle sezioni 3-4a vengono dimensionati con un franco di sicurezza superiore a quello minimo.

5.5.2 *Eliminazione del restringimento zona via Garibaldi*

A pagina 4 del Contributo istruttorio in merito al progetto di sistemazione del Fiume Entella – 1° lotto redatto dall' Autorità di Bacino Regionale Comitato Tecnico di Bacino nella seduta del 08/03/2012 si richiede inoltre quanto segue: *"deve essere verificata la possibilità di modificare il tracciato della difesa arginale in corrispondenza dell'intersezione con via Garibaldi al fine di limitare il restringimento della golena anche prevedendo la demolizione parziale capannone che sembra determinare tale andamento"*.

Nell'immagine seguente è stato indicato il tracciato arginale a base della seguente fase di attività progettuale (**linea rossa**) e la variante con minimo restringimento della golena (**linea blu**) per la quale il Comitato Tecnico di Bacino ha richiesto opportuno approfondimento.

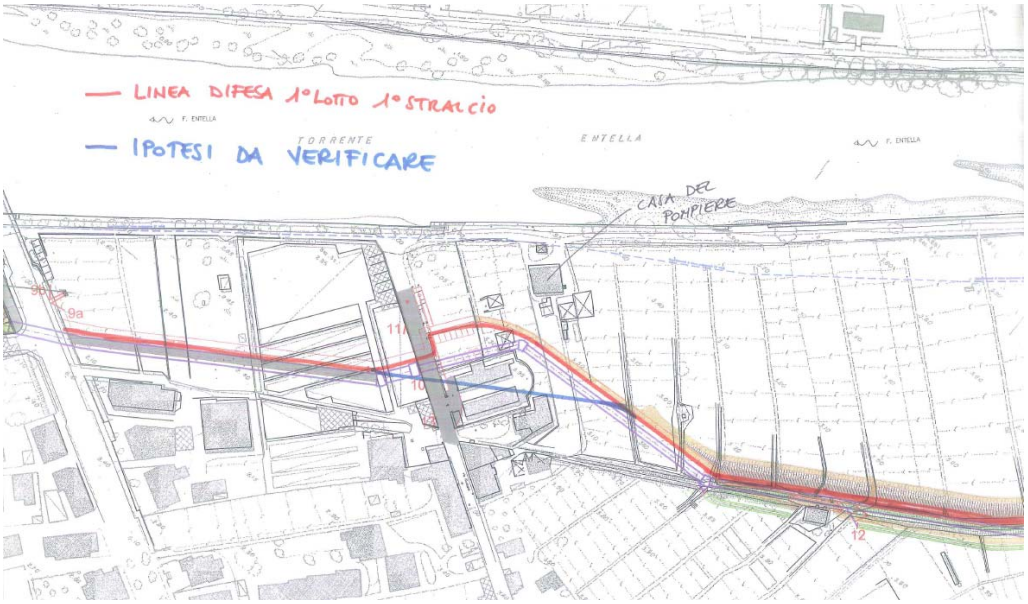


Figura 14: Planimetria della zona di via Garibaldi (Lavagna); **in rosso** il tracciato arginale a base della presente attività progettuale ed **in blu** la variante senza restringimento della golena richiesta dal Comitato Tecnico di Bacino

E' stata quindi condotta un'ulteriore simulazione bidimansionale partendo dalla geometria di sistemazione finale del corso d'acqua (1° lotto M[2)] +2° lotto) aggiungendo la variante arginale richiesta in prossimità di via Garibaldi ed inserendo anche come condizione al contorno di valle il livello del mare a quota 1 m s.l.m. Per valutare gli eventuali benefici ottenuti si è confrontato il suddetto scenario con la simulazione di

Sistemazione finale del corso d'acqua (1° lotto M[2)] +2° lotto) avente condizione al contorno di valle il livello del mare a quota 1 m s.l.m. I risultati ottenuti sono mostrati in Tabella 5-4.

Tabella 5-5: Livelli idrici in una configurazione di sistemazione Finale del corso d'acqua (1°lotto M + 2° lotto)[2)] simulazioni condotte applicando: come condizione al contorno di valle un livello 1 m s.l.m. (Colonna A), inserendo la variante arginale richiesta dal Comitato tecnico di Bacino sempre con una condizione di valle di 1 m s.l.m (Colonna B) e la differenza tra i due scenari.

	Finale T 200 anni CCV 1 m s.l.m. (A)			Finale T 200 anni CCV 1 m s.l.m. + variante (B)			Differenza (B-A)		
Sezione	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)	(m)
1	1.16	1.09	1.02	1.16	1.09	1.02	0.00	0.00	0.00
2	1.11	1.15	1.22	1.11	1.15	1.22	0.00	0.00	0.00
3	2.21	2.51	2.71	2.23	2.54	2.75	**0.02**	**0.03**	**0.04**
4a	2.30	2.00	2.07	2.32	2.02	2.10	**0.02**	**0.02**	**0.02**
4b	2.96	2.68	2.74	2.99	2.71	2.77	**0.04**	**0.02**	**0.03**
5a	4.77	4.75	4.76	4.85	4.83	4.83	**0.08**	**0.08**	**0.08**
5b	4.78	4.82	4.82	4.89	4.91	4.90	**0.11**	**0.09**	**0.08**
6	4.88	4.90	4.86	5.12	5.11	5.07	**0.24**	**0.21**	**0.21**
7	6.17	6.08	5.96	5.96	5.87	5.68	**-0.21**	**-0.21**	**-0.28**
8	6.30	6.27	6.25	6.07	6.02	6.01	**-0.22**	**-0.24**	**-0.24**
9	6.62	6.54	6.51	6.52	6.40	6.34	**-0.11**	**-0.15**	**-0.17**
10f	6.32	6.27	6.05	6.10	6.11	6.03	**-0.23**	**-0.16**	**-0.02**
10a	5.92	5.90	6.15	5.87	5.67	6.05	**-0.05**	**-0.23**	**-0.10**
10b	5.56	5.65	5.84	5.55	5.53	5.77	**-0.01**	**-0.12**	**-0.06**
10c	9.11	9.21	8.54	8.91	9.20	8.45	**-0.20**	**-0.01**	**-0.08**
10d	9.09	9.11	8.99	9.05	9.11	8.95	**-0.05**	0.00	**-0.04**
11	8.83	8.79	8.76	8.83	8.79	8.76	0.00	0.00	0.00
12	8.93	8.91	8.90	8.93	8.91	8.90	0.00	0.00	0.00
13	9.42	9.36	9.26	9.42	9.36	9.26	0.00	0.00	0.00
14	8.97	8.94	8.90	8.97	8.94	8.90	0.00	0.00	0.00
15	10.15	10.15	10.22	10.15	10.15	10.22	0.00	0.00	0.00
16	10.39	10.38	10.39	10.39	10.38	10.39	0.00	0.00	0.00
17	10.59	10.67	10.62	10.59	10.67	10.62	0.00	0.00	0.00

	Finale T 200 anni CCV 1 m s.l.m. (A)			Finale T 200 anni CCV 1 m s.l.m. + variante (B)			Differenza (B-A)		
Sezione	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**	**Golena SX**	**Alveo Centrale**	**Golena DX**
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)	(m)
18	11.61	11.79	11.94	11.61	11.79	11.94	0.00	0.00	0.00
19	12.65	12.50	12.23	12.65	12.50	12.23	0.00	0.00	0.00
20	13.89	13.75	13.70	13.89	13.75	13.70	0.00	0.00	0.00
21	14.58	14.70	14.80	14.58	14.70	14.80	0.00	0.00	0.00
22	15.42	15.41	15.42	15.42	15.41	15.42	0.00	0.00	0.00
23	16.24	16.29	16.31	16.24	16.29	16.31	0.00	0.00	0.00
24	17.15	17.14	17.08	17.15	17.14	17.08	0.00	0.00	0.00

Dall'analisi della tabella sopra riportata si rileva che i benefici ottenibili con la variante senza restringimento della golena sono piuttosto modesti (dell'ordine massimo di una ventina di centimetri) nel tratto a monte di via Garibaldi (Sezz. 7-8-9) mentre si riscontra un innalzamento del livello dell'ordine massimo di una ventina di centimetri in corrispondenza della sezione di via Garibaldi (Sez. 6) [**in tabella indicato in grassetto**] e con entità più modesta anche nelle sezioni più a valle.

In conseguenza a quanto evidenziatosi dalle modellazioni in sede di Conferenza dei Servizi (III° seduta referente del 6 giugno 2012) tutti i soggetti convenuti hanno ritenuto di non variare il tracciato arginale poiché a fronte di un modesto beneficio in termini di riduzione dei livelli si sarebbe dovuti ripartire con le procedure espropriative con conseguente ritardo sulle tempistiche progettuali stabilite. Ovviamente anche la necessità di demolire completamente uno (e parzialmente l'altro) dei fabbricati utilizzati come magazzino comunale, e quindi la necessità di ricollocare in altra sede tali servizi, ha avuto un ruolo significativo nella decisione della Conferenza dei Servizi.

5.6 Condizioni di allagamento dei fabbricati presenti in golena

Nel tratto di corso d'acqua tra il ponte Maddalena e Buenos Aires sono presenti diversi fabbricati, sia in sponda destra che sinistra, le cui condizioni di allagamento subiscono lievi modifiche al progredire dell'attuazione degli interventi descritti ai precedenti paragrafi (Figura 12).

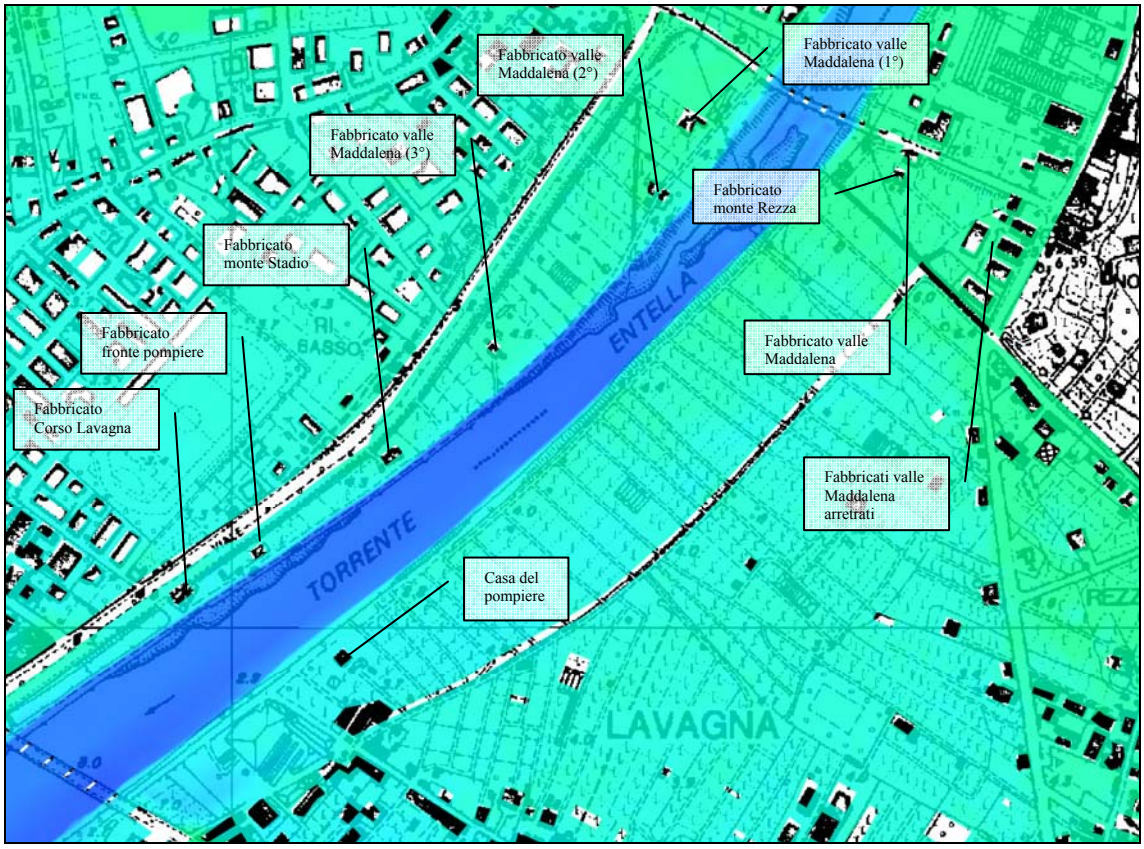


Figura 15 – Principali fabbricati presenti nella golena del corso d'acqua

Trattasi di fabbricati già attualmente in fascia A, all'interno del limite delle difese fluviali fissate dal Piano di Bacino, le cui condizioni di allagamento sono già attualmente molto elevate tali da mettere a serio rischio le condizioni di stabilità dei fabbricati anche per piene con tempo di ritorno cinquantennale. Nelle tabelle e grafici riportati in Allegato 1 vengono indicate le condizioni di deflusso cui sono soggette al variare del grado di attuazione degli interventi; i valori indicati sono quelli medi sui quattro spigoli di ciascun fabbricato a partire dal piano golenale circostante. Alcuni di essi in realtà hanno un piano terra già rialzato rispetto al piano campagna per cui la situazione descritta non è rappresentativa dei reali tiranti rispetto al piano terra degli immobili.

6. RIVI MINORI : RIO REZZA

6.1 Premessa

Le verifiche idrauliche condotte sui rivi minori nella configurazione di stato di fatto hanno evidenziato una diffusa insufficienza in merito alla capacità di deflusso della portata di piena calcolata con la metodologia del Piano di Bacino. Il primo problema che si presenta è quindi quello di adeguare la sezione alla portata di progetto lungo la quasi totalità dei tracciati dei rivi.

All'interno di questo 1° stralcio si è deciso tuttavia di inserire interventi sui rivi minori che avessero come finalità quella di migliorare il loro funzionamento in relazione ad eventi critici in Entella e non di focalizzare l'attenzione sugli eventi critici sul singolo rivo. In quest'ottica si è deciso di non intervenire sul Ri Basso e sul Rio San Michele. I due rivi attualmente confluiscono nel collettore posto lungo Viale Kasman che a sua volta scarica in Entella a valle del ponte di Corso Buenos Aires; in questa sezione considerando l'evento di riferimento cinquantennale si ha un livello in Entella pari a 3.32 m s.l.m. livello inferiore al terreno a tergo di viale Kasman e che pertanto non produce allagamenti causati dal rigurgito di Entella all'abitato di Chiavari, area allagata invece dalle portate esondate a monte del ponte della Maddalena.

Nel 1° stralcio è stato invece inserita la riprofilatura del tratto terminale del Rezza. Tale intervento ha anche lo scopo di agevolare il rientro delle portate accumulate in golena a causa delle esondazioni dell'Entella nel tratto a monte del ponte della Maddalena, riducendo quindi gli allagamenti nell'abitato di Lavagna.

6.2 Analisi idraulica monodimensionale

6.2.1 Codice di calcolo utilizzato

Per la definizione del profilo di corrente nel Rio Rezza, corso d'acqua a pelo libero, ci si è avvalsi del codice di calcolo HEC-RAS, elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers. In particolare, la versione del codice utilizzata è la 4.0 del marzo 2008.

Detto codice, che è oggi ampiamente utilizzato in campo nazionale ed internazionale nello studio dei problemi di idraulica fluviale, a partire dalla conoscenza della geometria dell'alveo, dei valori di scabrezza e della portata di riferimento, restituisce il profilo di corrente monodimensionale, corrispondente al passaggio del sopra detto valore della portata di riferimento.

Il codice di calcolo in questione è basato sostanzialmente sull'integrazione, in termini finiti, dell'equazione dell'energia di una corrente:

$$\frac{\Delta E}{\Delta S} = i - j \qquad (1)$$

dove:

- E = variazione dell'energia della corrente tra due sezioni di calcolo;
- S = distanza tra le due sezioni di calcolo;
- i = pendenza del fondo alveo;
- j = cadente della linea dell'energia.

In particolare HEC-RAS utilizza lo "standard step method" per integrare la precedente equazione discretizzata nella forma seguente:

$$Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H \qquad (2)$$

dove:

- Z2 quota assoluta del pelo libero nella sezione 2 (incognita);
- α_2 coefficiente di velocità alla sezione 2 (incognito);
- V_2 velocità media nella sezione 2 (incognita);
- g accelerazione di gravità;
- ΔH = perdita di carico tra le sezioni 1 e 2;

le grandezze con pedice 1 hanno analogo significato, ma con riferimento alla sezione 1 e sono tutte quantità note.

Quando la sezione trasversale che descrive la geometria dell'alveo è costituita da un unico canale (ovvero non vi è la presenza di aree golenali – come nel caso attuale), il coefficiente di velocità α è assunto pari a 1.

Viceversa, quando il flusso della corrente si suddivide tra il canale principale e le aree golenali, il coefficiente di velocità α è calcolato in base alla "conveyance" totale della sezione (kt) risolvendo la seguente equazione:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \cdot \left[\frac{(k_{sx})^3}{(A_{sx})^2} + \frac{(k_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(k_{dx})^3}{(A_{dx})^2} \right]}{(k_t)^3} \qquad (3)$$

dove:

- A_t area bagnata totale della sezione;
- A_{sx}, A_{ch}, A_{dx} aree bagnate rispettivamente della golena sinistra, del canale principale e della golena destra;
- $k_t = Q_t/(i)(^{1/2})$ "conveyance" totale della sezione;
- k_{sx}, k_{ch}, k_{dx} "conveyance" rispettivamente della golena sinistra, del canale principale e della golena destra.

Il termine □H nella (2) rappresenta la perdita di carico che si genera nella corrente tra una sezione e l'altra, ed è calcolato come somma del termine relativo alle perdite distribuite e del termine relativo alle perdite concentrate per contrazione o espansione dovute alla variazione di geometria della sezione trasversale:

$$\Delta H = LJ + K\left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right) \qquad (4)$$

dove:

- L distanza fra le due sezioni;
- J cadente della linea dell'energia;
- K coefficiente di espansione o contrazione.

La cadente J è calcolata utilizzando la ben nota espressione di Chézy:

$$J = \frac{V^2}{C^2 R} \qquad (5)$$

che, utilizzando per l'indice di resistenza "C" la forma proposta da Manning, si trasforma nella:

$$J = n^2 \frac{V^2}{R^{4/3}} \qquad (6)$$

dove:

- n coefficiente di scabrezza secondo Manning;
- V velocità media nella sezione;
- R raggio idraulico della sezione.

6.2.2 *Descrizione della geometria*

Il Rio Rezza è un tributario di sponda sinistra dell'Entella che si immette appena a valle del ponte della Maddalena. Ha un bacino idrografico con un'estensione di 1.61 Km^2; a vocazione naturale nel tratto a monte dell'autostrada, peculiarità che perde nel tratto a valle dove diventa un bacino prettamente urbano.

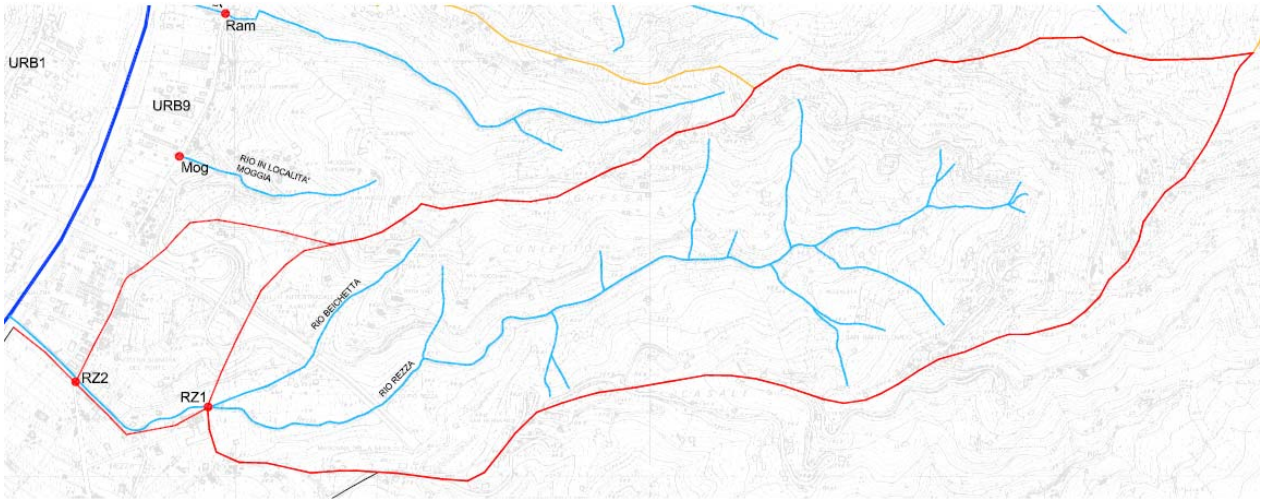


Figura 16: Corografia e bacino idrografico del Rio Rezza, tributario di sponda sinistra dell'Entella

La modellazione idraulica condotta in questa sede, volta a verificare l'efficacia degli interventi di risistemazione in progetto concentrati sul tratto terminale dell'asta del Rio, è stata condotta sugli ultimi 181 m del corso d'acqua da valle del ponte della SP33 Via Fieschi fino alla confluenza in Entella. Il tratto di monte di tale corso d'acqua è infatti di competenza del Comune di Lavagna per il quale è in corso la realizzazione degli interventi di cui al progetto *Lavori di regimazione idraulica del Rio Rezza tratto compreso tra il Polo Ospedaliero di Lavagna e via Fieschi"* a cura dello Studio Tecnico Associato ing. Sergio Brizzolara e ing. Stefano Sturla [Marzo 2011].

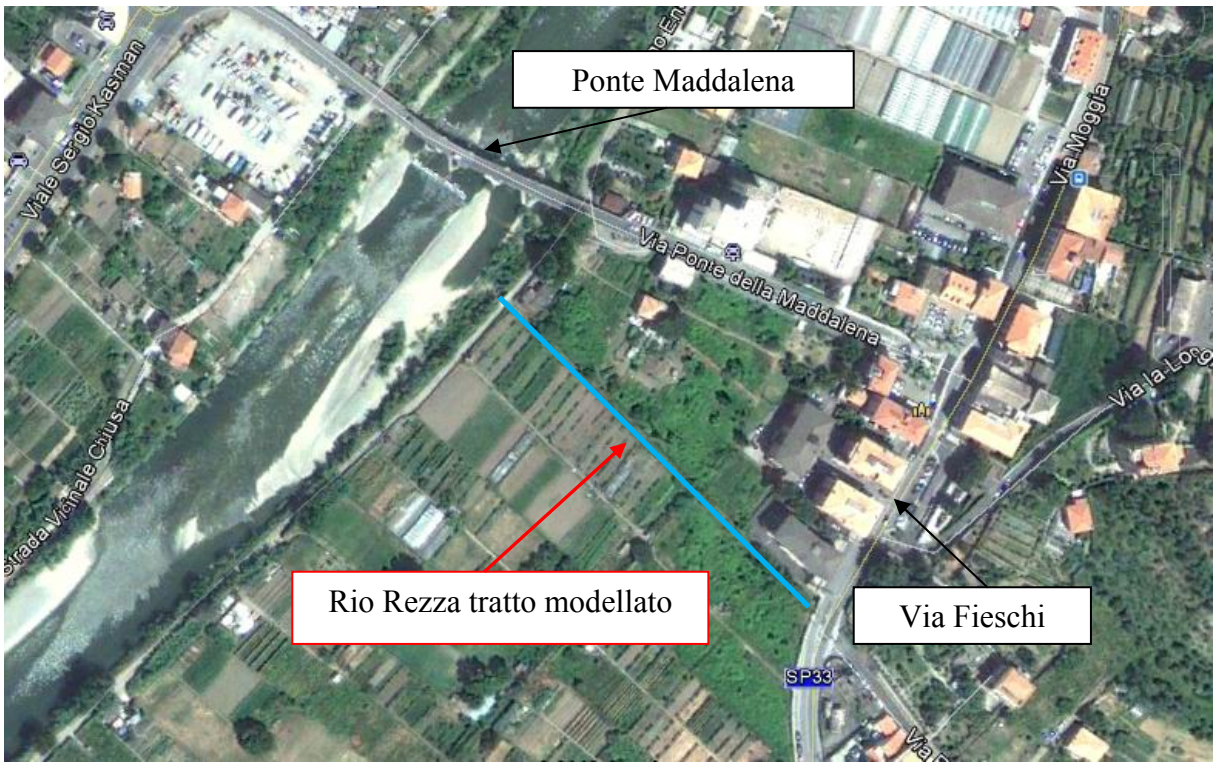


Figura 17: Immagine del tratto del Rio Rezza sul quale è stata condotta la modellazione monodimensionale (fonte Google earth, fuori scala)

6.2.3 *Modellazioni di stato di fatto*

Per l'implementazione della geometria di **stato di fatto** del corso d'acqua sono state inserite 6 sezioni, ubicate come mostrato in Figura 23, le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella sottostante (Cfr Tabella 6-4).

Tabella 6-1: Caratteristiche geometriche principali delle sezioni di **stato di fatto** utilizzate per l'implementazione del modello numerico di calcolo

Sezione	Progressiva	Quota fondo	Sponda sinistra	Sponda destra
	(m)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)
4	181.12	4.17	7.12	7.09
3	145.31	3.34	6.76	5.53
2	70.08	2.10	4.76	4.70

Sezione	Progressiva	Quota fondo	Sponda sinistra	Sponda destra
1.5	6.98	1.66	4.01	4.01
1	2.08	1.62	3.98	3.97
0	0.00	1.24	2.50	2.50

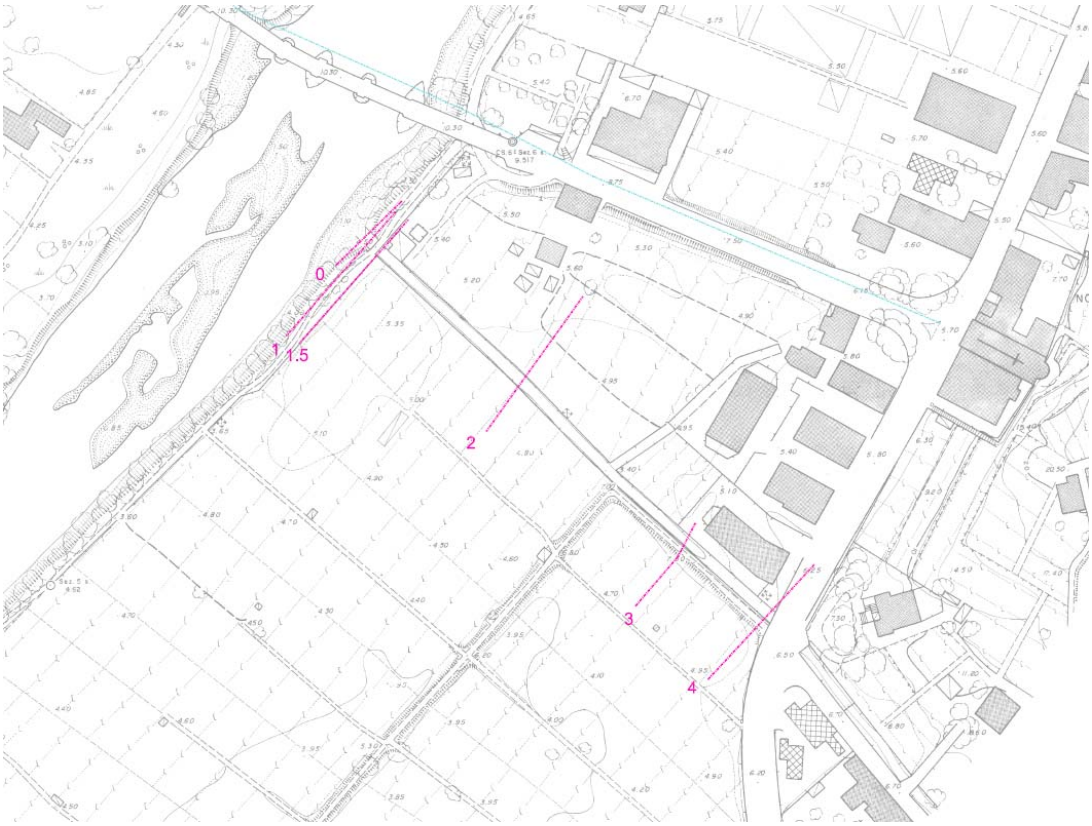


Figura 18: Ubicazione planimetrica delle 6 sezioni di **stato di fatto** utilizzate nell'implementazione del modello numerico di calcolo

Le modellazioni di stato di fatto sono state condotte per due scenari differenti:

- **Scenario 1:** in cui si è ipotizzata una situazione di magra in Entella parametrizzata impostando come condizione al contorno di valle [in corrispondenza della sezione 0] un livello idrico pari a 1.5 m s.l.m., che equivale ad un tirante in golena di circa 30 cm d'acqua;

- **Scenario 2:** in cui si è ipotizzata una situazione di Entella in piena parametrizzata impostando come condizione al contorno di valle [in corrispondenza della sezione 0] un livello idrico pari a 6.45 m s.l.m., che è il livello che si ottiene con un tempo di ritorno di 200 anni ipotizzando l'avvenuta realizzazione degli interventi di 1°lotto M[2)] + 2° lotto (sistemazione finale dell'Entella).

Lo Scenario 2 di concomitanza tra l'evento duecentennale in Entella e l'evento duecentennale sul Rezza pur risultando statisticamente improbabile (in merito si rimanda alla RR02-Relazione idrologica - Capitolo 5) è stato ugualmente studiato per valutare fino a dove la condizione di Entella influenzava i livelli del Rezza e quindi definire opportunamente la quota di sommità dell'arginatura di sponda sinistra del tributario.

Come condizione al contorno di monte [in corrispondenza della sezione 4] si è imposta l'altezza di moto uniforme, mentre come valore di portata si è scelto, in conformità con quanto previsto da normativa, una portata duecentennale calcolata con il metodo del CIMA che per il Rezza equivale ad valore di 47.85 m^3/s (Cfr. RR02-Relazione idrologica, Cap 4 reticolo minore).

Il valore di scabrezza di Strickler (k_s) è stato posto uniformemente pari a 33 $m^{1/3}/s$ (in conformità con quanto previsto dal Piano di Bacino), che equivale ad un valore di Manning di 0.03 $m^{-1/3}s$, valutato come media tra la sponda sinistra ed il fondo in terra e la sponda destra in calcestruzzo.

Per lo **Scenario 1** di stato di fatto la modellazione, condotta come sopra esplicitato, in regime di moto permanente in condizioni di *mixed flow*, ha portato ai risultati indicati in Tabella 6-2, Figura 19 e Figura 20.

Tabella 6-2: Quote idriche, velocità, energia e numero di Froude riferite alla portata con T=200 anni del Rezza, **stato di fatto SCENARIO 1**: Entella in magra

Sezione	Portata	Quota di fondo	Quota del pelo libero	Altezza critica	Energia	Velocità	Numero di Froude
	(m^3/s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m/s)	(-)
4	47.85	4.17	7.23	6.98	8.13	4.21	0.92
3	47.85	3.34	6.95	6.18	7.62	3.63	0.68
2	47.85	2.10	6.13	5.09	6.66	3.20	0.56
1.5	47.85	1.66	5.66	4.30	6.19	3.23	0.52
1.3	Passerella ciclabile esistente						
1	47.85	1.62	3.60	4.27	5.93	6.76	1.58
0	47.85	1.24	1.42	1.88	5.47	8.92	6.74

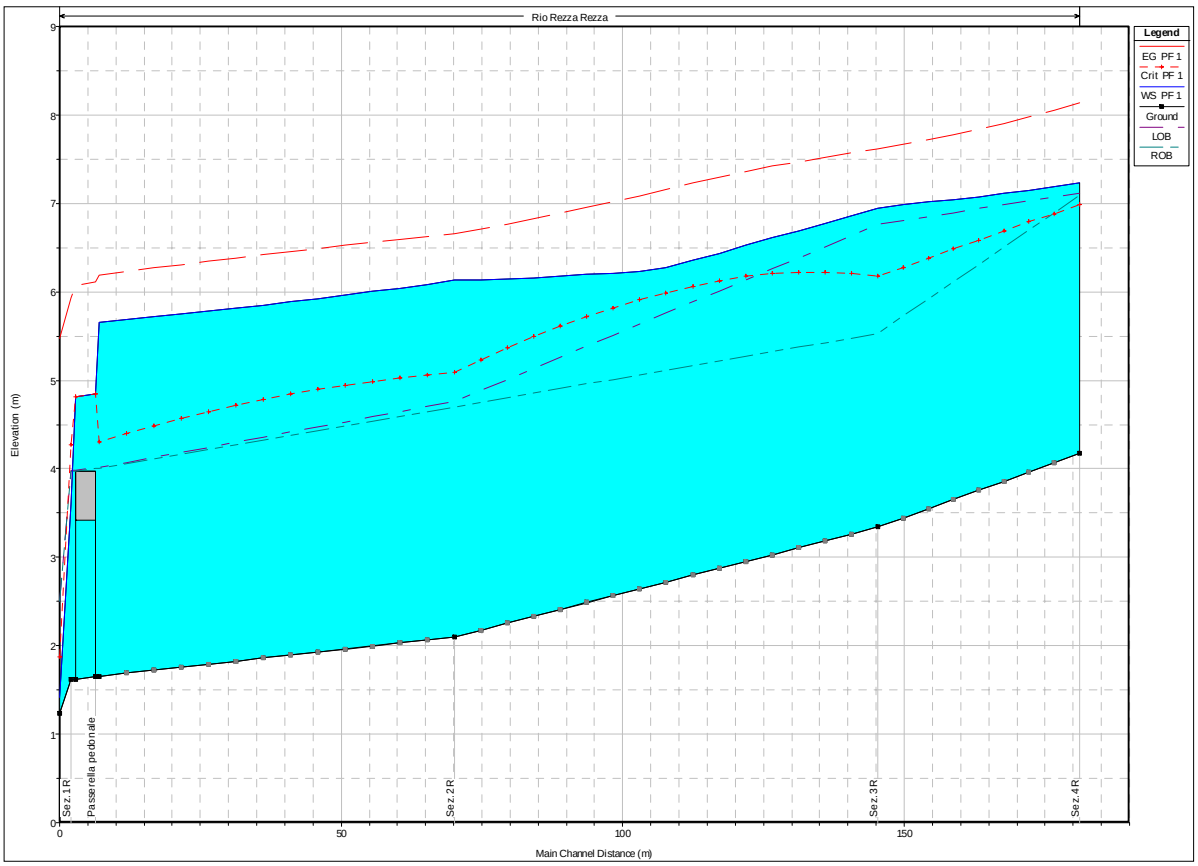
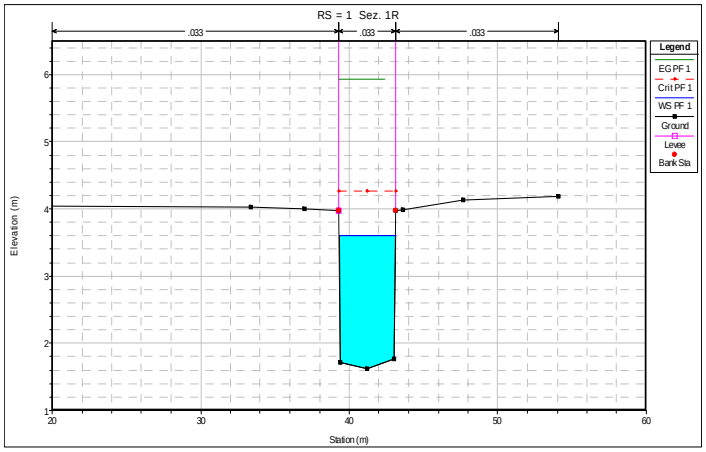
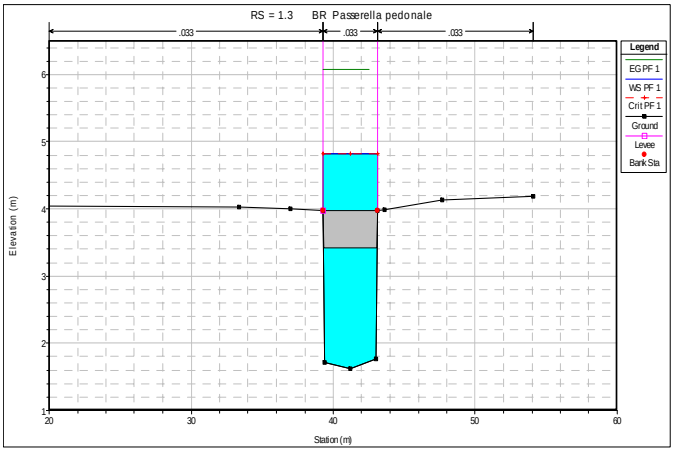


Figura 19: Profilo idraulico di **stato di fatto SCENARIO 1**: Entella in magra





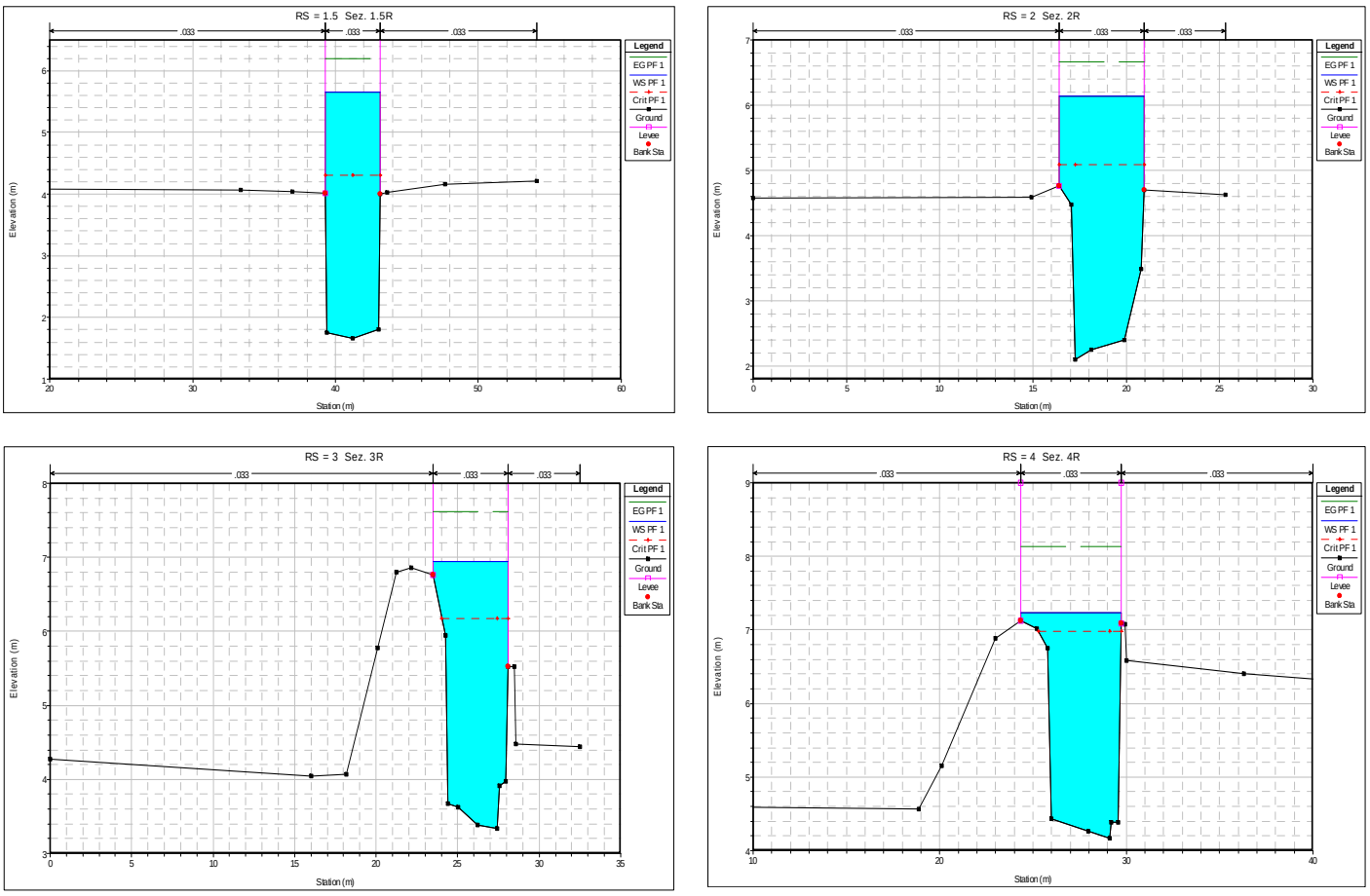


Figura 20: Sezioni idrauliche di **stato di fatto SCENARIO 1**: Entella in magra

Analogamente per lo **Scenario 2** di stato di fatto la modellazione ha portato ai risultati indicati in Tabella 6-3, Figura 21 e Figura 22.

Tabella 6-3: Quote idriche, velocità, energia e numero di Froude riferite alla portata con T=200 anni del Rezza, **stato di fatto SCENARIO 2**: Entella in piena

Sezione	Portata	Quota di fondo	Quota del pelo libero	Altezza critica	Energia	Velocità	Numero di Froude
	(m^3/s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m/s)	(-)
4	47.85	4.17	7.33	6.98	8.15	4.03	0.86
3	47.85	3.34	7.09	6.18	7.70	3.45	0.63
2	47.85	2.10	6.62	5.09	7.02	2.79	0.46

Sezione	Portata	Quota di fondo	Quota del pelo libero	Altezza critica	Energia	Velocità	Numero di Froude
	(m^3/s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m/s)	(-)
1.5	47.85	1.66	6.32	4.31	6.71	3.82	0.41
1.3	Passerella ciclabile esistente						
1	47.85	1.62	6.17	4.27	6.58	0.35	0.43
0	47.85	1.24	6.45	1.88	6.45	0.31	0.04

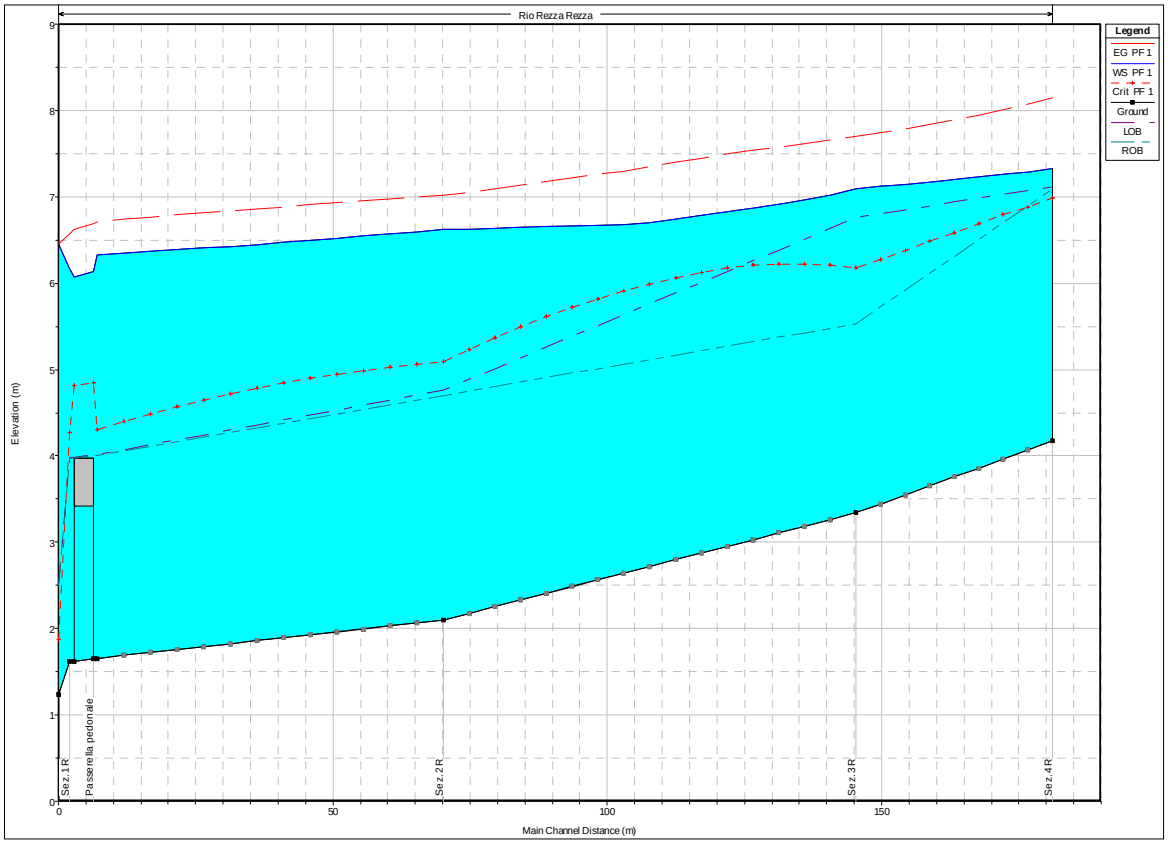


Figura 21: Profilo idraulico di **stato di fatto SCENARIO 2** : Entella in piena

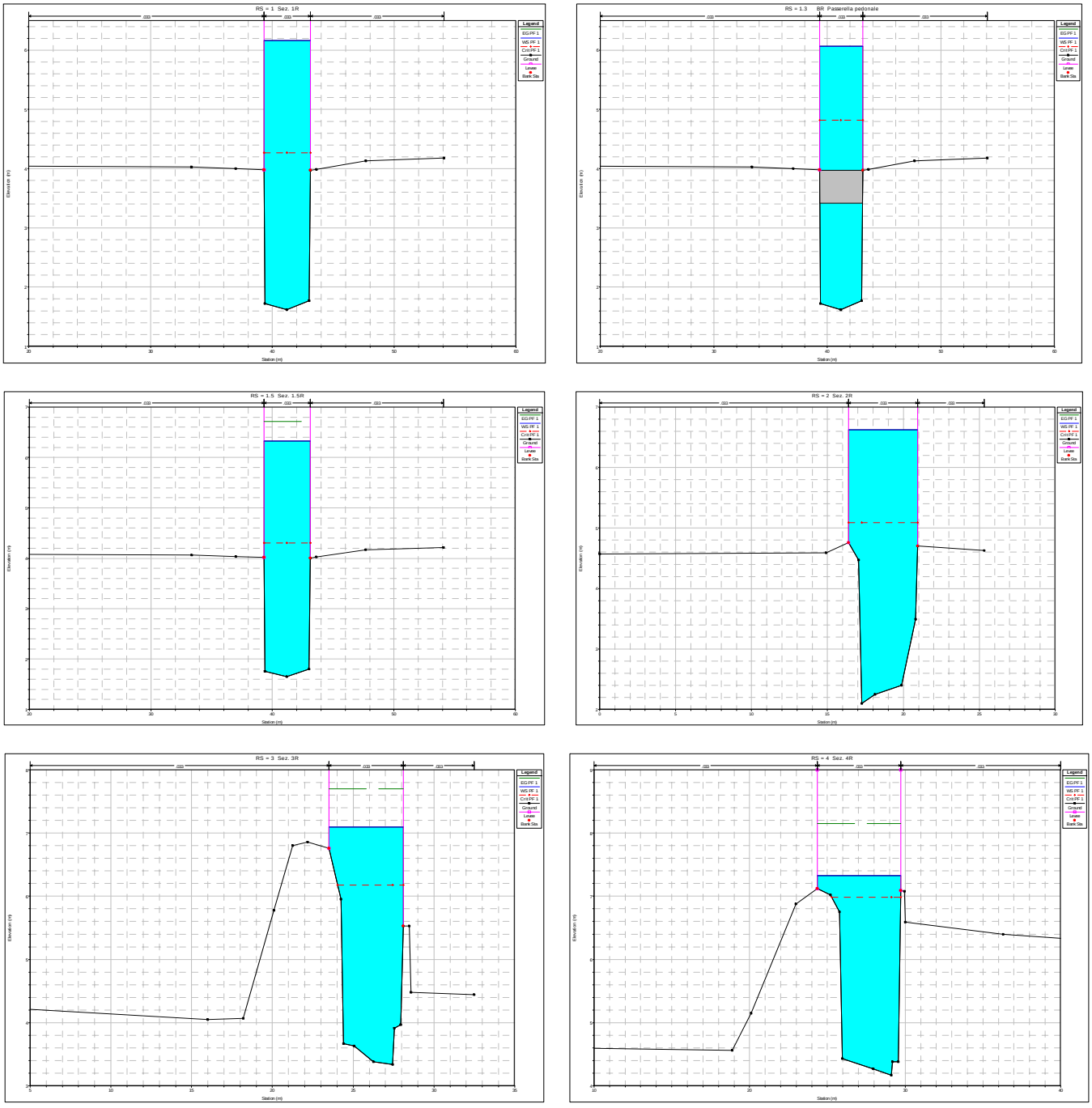


Figura 22: Sezioni idrauliche di **stato di fatto SCENARIO 2** : Entella in piena

Per dovere di completezza si sottolinea che nella modellazione dei due scenari la portata è stata costretta all'interno dell'alveo tramite l'artifizio dei levee (rappresentati nelle sezioni con una linea rosa verticale) poiché vista l'insufficienza generalizzata del rio il permetterne la fuoriuscita dell'acqua dall'alveo creava forte instabilità al modello. Il suddetto *modus operandi* non inficia però l'obiettivo della modellazione che consisteva nel mostrare una situazione di insufficienza generalizzata dell'alveo del Rezza non in grado di esitare la portata duecentennale, anche lo scenario di Entella in magra (meno gravoso dei due) manda infatti in crisi in maniera diffusa l'asta del Rezza con la portata duecentennale che esonda sia in sponda destra che in sponda sinistra con il completo sormonto dell'attuale passerella ciclabile ubicata alla sezione 1.3.

6.2.4 *Modellazioni di stato di progetto*

Per l'implementazione della geometria del corso d'acqua di **stato di progetto** sono state inserite 8 sezioni, ubicate come mostrato in Figura 23, le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella sottostante (Cfr Tabella 6-4). In pratica sono le stesse delle simulazioni dello Stato di Fatto con l'aggiunta di due ulteriori sezioni, 2.5 e 2.6, immediatamente a monte e a valle del salto di fondo che si viene a creare in conseguenza degli interventi di progetto.

Tabella 6-4: Caratteristiche geometriche principali delle sezioni di **stato di progetto** utilizzate per l'implementazione del modello numerico di calcolo

Sezione	Progressiva	Quota fondo	Sponda sinistra	Sponda destra
	(m)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)
4	181.12	4.17	7.20	7.09
3	145.31	3.34	7.20	5.53
2.6	131.23	3.22	7.20	5.41
2.5	130.73	2.22	7.20	4.41
2	70.08	1.76	4.57	4.70
1.5	6.98	1.28	4.07	4.01
1	2.08	1.24	4.03	3.97
0	0.00	1.24	2.50	2.50

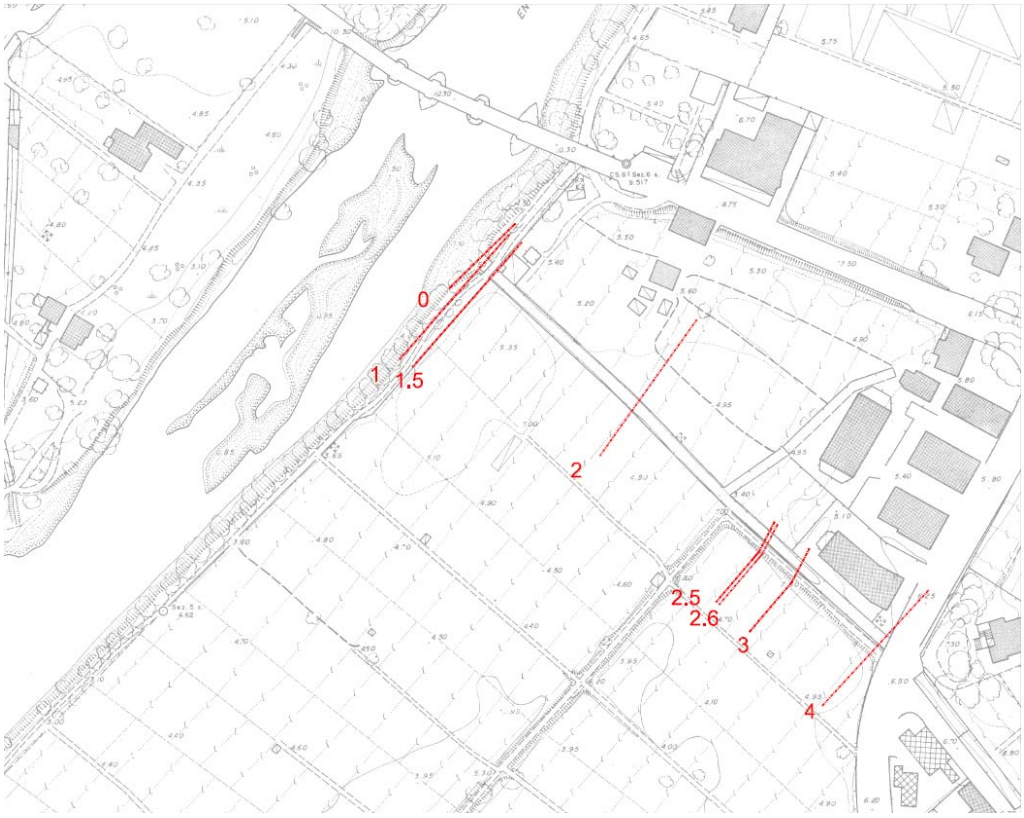


Figura 23: Ubicazione planimetrica delle 8 sezioni di **stato di progetto** utilizzate nell'implementazione del modello numerico di calcolo

Gli interventi in progetto sul Rezza consistono essenzialmente: nel tratto in golena (sezioni 1, 1.5 e 2) in un risezionamento dell'alveo o attraverso l'asportazione di materiale in sponda sinistra (in modo da preservare il muro presente in sponda destra) e la posa in opera di una mantellata in massi di cava poggiante su geotessuto sempre in sponda sinistra, in questo modo la sezione disponibile al deflusso (con ampiezza di base pari a 4 m) risulta ampliata (per la sezione 2 si passa da 7.49 m^2 dello stato di fatto ai 20.93 m^2 dello stato di progetto) nonché la sostituzione della passerella ciclo-pedonale esistente (ubicata tra le sezioni 1-1.5) con una nuova con intradosso rialzato posto a quota 4.44 m s.l.m. Nella parte a monte (sezioni 2.5, 2.6, 3 e 4) le sezioni verranno ampliate in sinistra attraverso l'asportazione di materiale di modo che la sponda sinistra del Rezza diventi quella dell'arginatura dell'Entella in progetto, con quota di sommità a 7.20 m s.l.m. A partire da valle (sezione 1) fino alla briglia (sezione 2.5) il talweg verrà abbassato e avrà pendenza 0.76%, a monte della briglia (dalla sezione 2.6 alla 4) il fondo alveo rimarrà quello dello stato di fatto [Cfr Tavole **PF01**: PROFILO

LONGITUDINALE F.Entella, Rio Rezza e canale di gronda e **SE02**: Sezioni trasversali d'alveo: stato di fatto e stato di progetto - Rio Rezza].

Le modellazioni di stato di progetto sono state condotte per i due scenari 1 e 2 sopra descritti.

La condizione al contorno di monte, quella di valle ed il valore di scabrezza di Strickler (k_s) sono state poste uguali ai valori utilizzati per la modellazione di stato di fatto.

Per lo **Scenario 1** di stato di progetto la modellazione, condotta come sopra esplicitato in regime di moto permanente in condizioni di *mixed flow*, ha portato ai risultati indicati in Tabella 6-5, Figura 24 e Figura 25.

Tabella 6-5: Quote idriche, velocità, energia e numero di Froude riferite alla portata con T=200 anni del Rezza, **stato di progetto SCENARIO 1**: Entella in magra.

Sezione	Portata	Quota di fondo	Quota del pelo libero	Altezza critica	Energia	Velocità	Numero di Froude
	(m^3/s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m/s)	(-)
4	47.85	4.17	6.48	6.63	7.25	3.90	1.23
3	47.85	3.34	6.01	5.86	6.44	2.91	0.83
2.6	47.85	3.22	5.73	5.73	6.30	3.33	1.00
2.5	47.85	2.22	4.20	4.73	6.14	6.18	2.46
2	47.85	1.76	4.01	3.68	4.49	3.05	0.75
1.5	47.85	1.28	3.44	3.25	4.06	3.48	0.85
1.3	**Passerella ciclabile in progetto**						
1	47.85	1.24	3.21	3.21	3.99	3.92	1.00
0	47.85	1.24	1.49	1.88	3.54	6.35	4.04

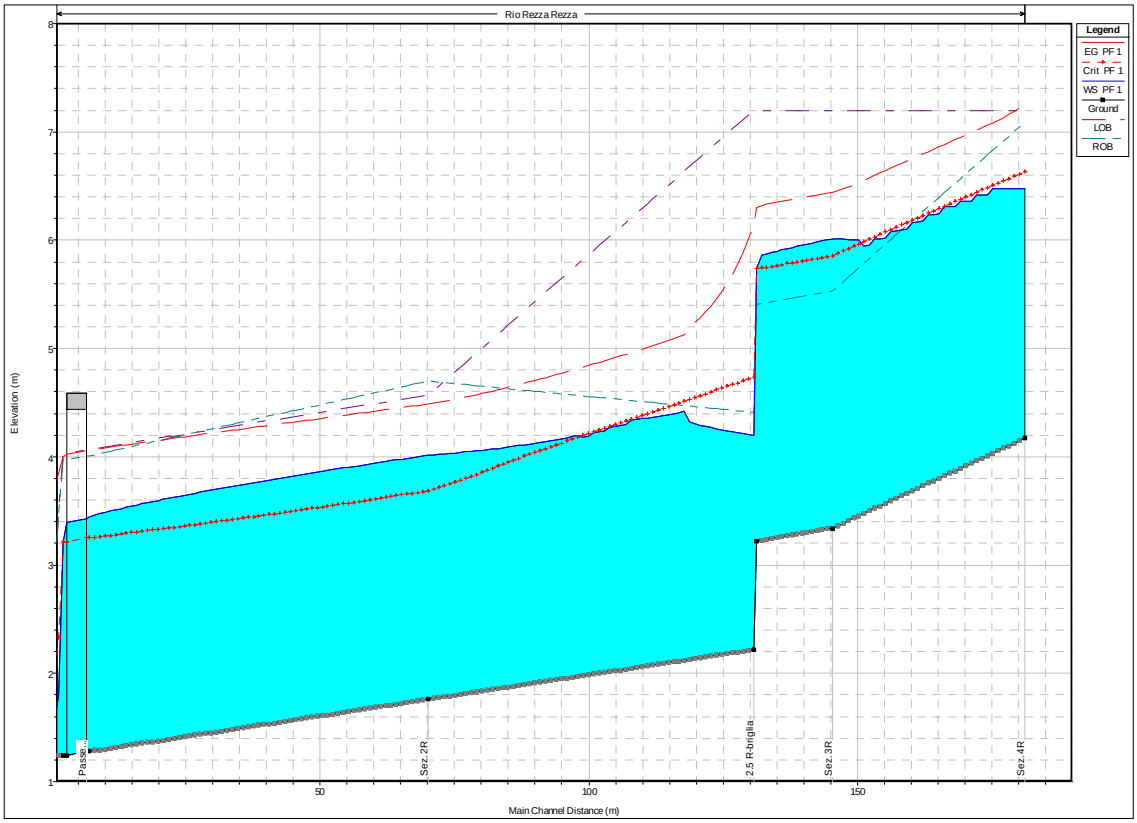
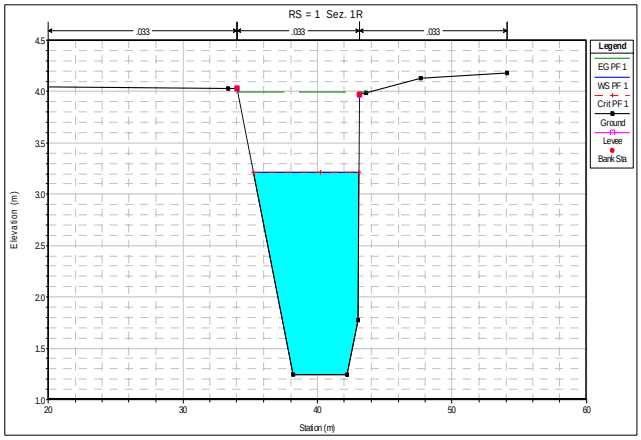
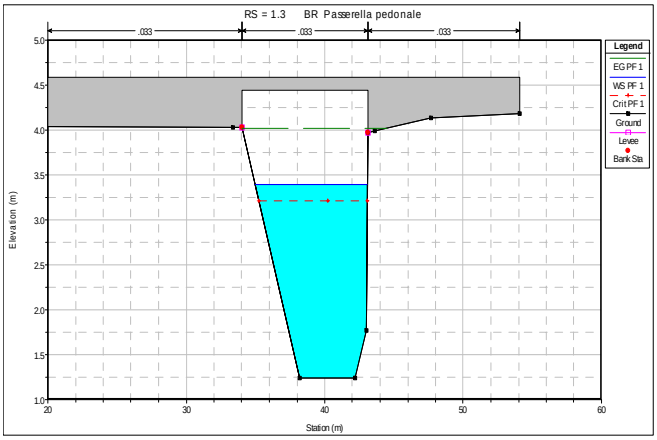


Figura 24: Profilo idraulico di **stato di progetto SCENARIO 1**: Entella in magra





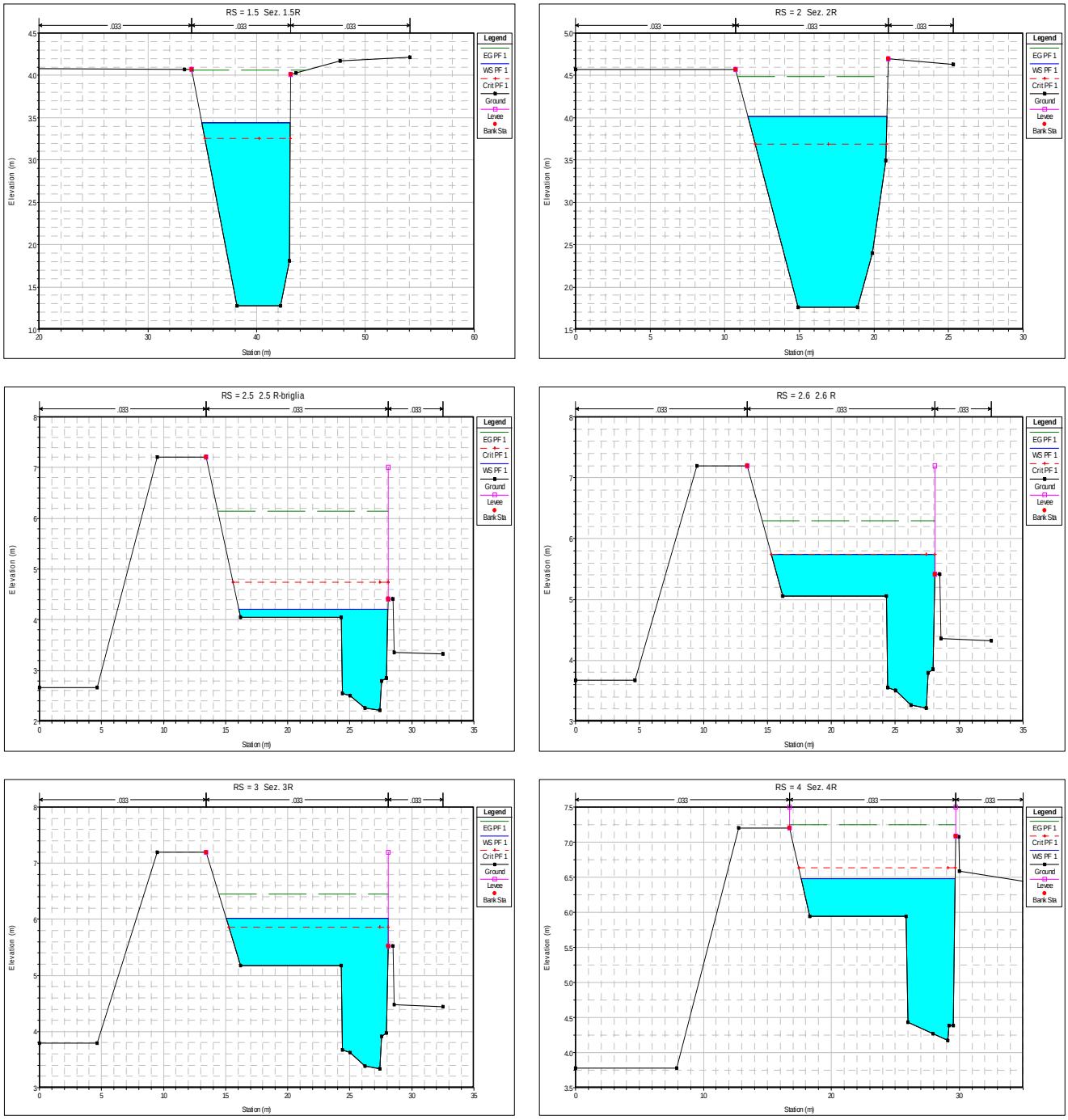


Figura 25: Sezioni idrauliche di **stato di progetto SCENARIO 1**: Entella in magra

Analogamente per lo **Scenario 2** di stato di progetto la modellazione ha portato ai risultati indicati in Tabella 6-6, Figura 26 e Figura 27.

Tabella 6-6: Quote idriche, velocità, energia e numero di Froude riferite alla portata con T=200 anni del Rezza, **stato di progetto SCENARIO 2**: Entella in piena

Sezione	Portata	Quota di fondo	Quota del pelo libero	Altezza critica	Energia	Velocità	Numero di Froude
	(m^3/s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m/s)	(-)
4	47.85	4.17	6.48	6.63	7.25	3.90	1.23
3	47.85	3.34	6.37	5.86	6.63	2.26	0.58
2.6	47.85	3.22	6.31	5.73	6.56	2.17	0.54
2.5	47.85	2.22	6.42	4.73	6.51	1.31	0.26
2	47.85	1.76	6.44	3.68	6.47	0.84	0.13
1.5	47.85	1.28	6.45	3.25	6.46	0.40	0.06
1.3	**Passerella ciclabile in progetto**						
1	47.85	1.24	6.45	3.21	6.46	0.39	0.06
0	47.85	1.24	6.45	1.88	6.45	0.31	0.04

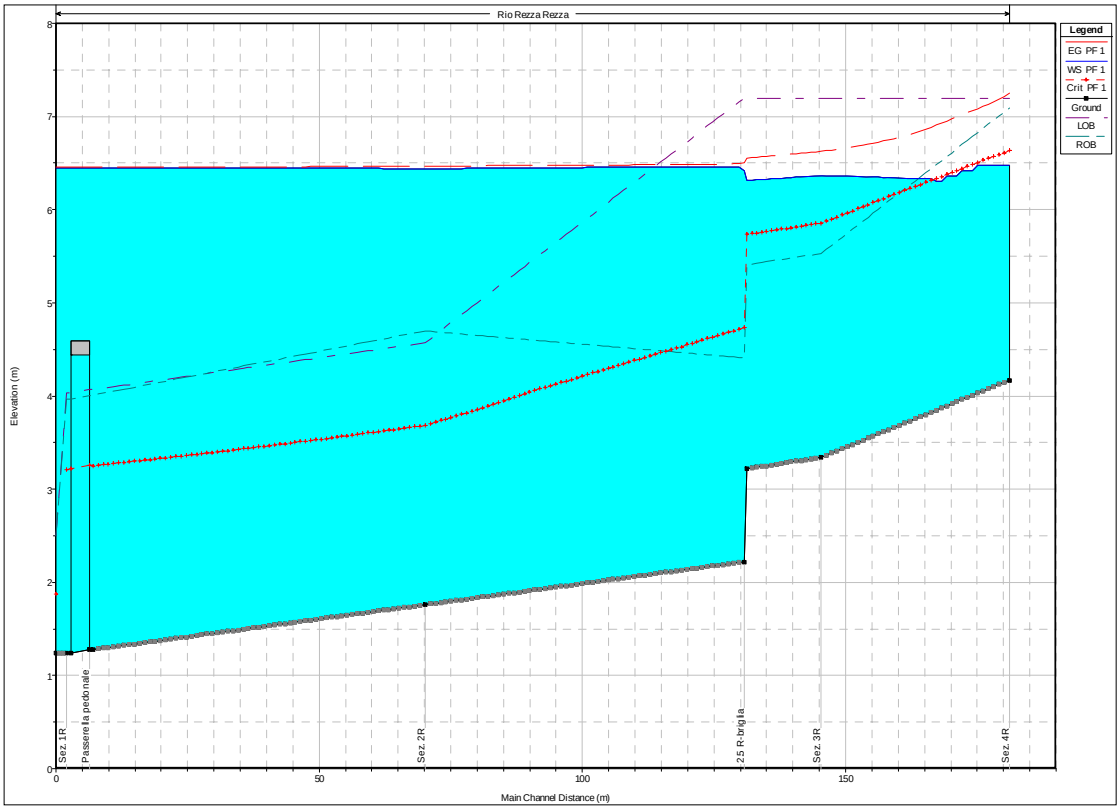
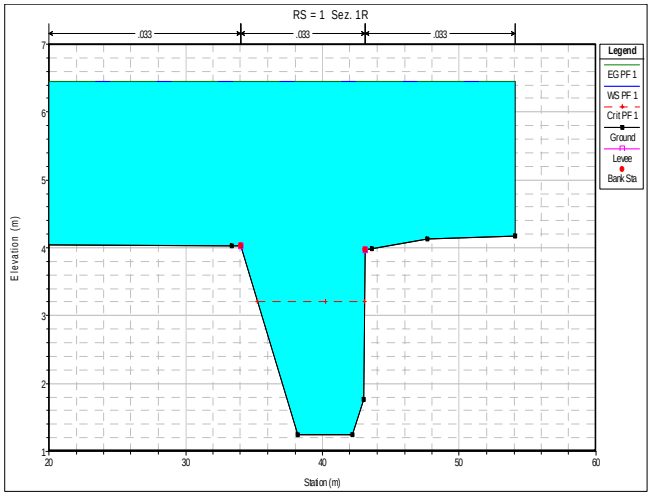
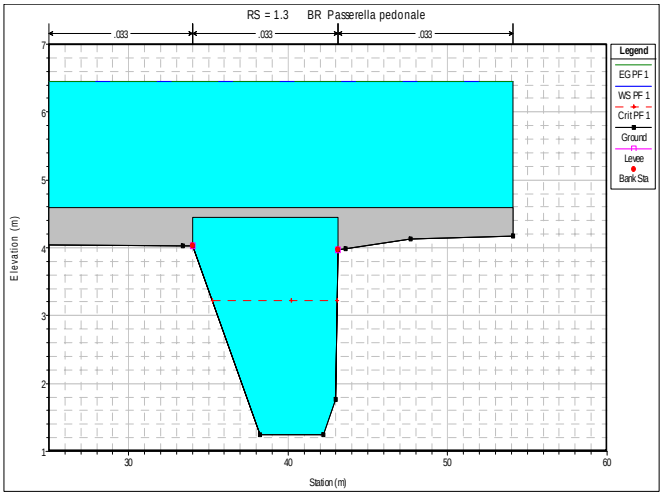


Figura 26: Profilo idraulico di **stato di progetto SCENARIO 2** : Entella in piena





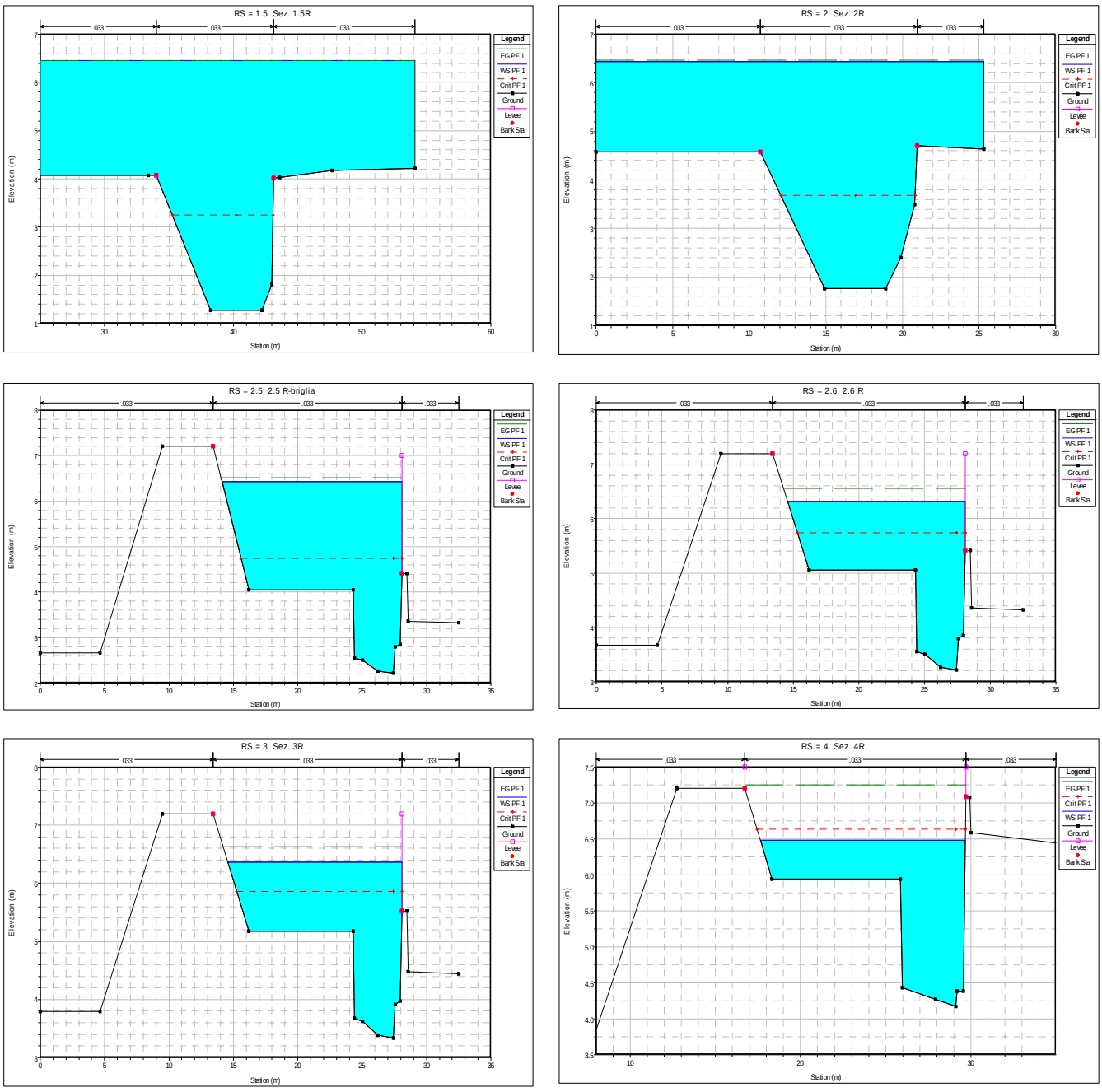


Figura 27: Sezioni idrauliche di **stato di progetto SCENARIO 2** : Entella in piena

Nel caso in cui (Scenario 1) (caso più verosimile rispetto alla concomitanza dei due eventi vista la differenza dei due bacini idrografici) il Rezza è sollecitato da una portata duecentennale mentre l'Entella è in condizioni di magra, con i presenti interventi di risistemazione, la portata viene esitata in condizioni di sicurezza con i franchi previsti da normativa (**D.G.R.1360 del 19.11.2010** "*Criteri dell'Autorità di Bacino regionale in relazione alla significatività idraulica dei corsi d'acqua nella pianificazione di bacino e alla normativa associata*") che per i bacini con area complessiva maggiore di 1Km^2 si traduce in un valore del franco idraulico pari al maggiore tra il valore del carico cinetico e: 0.5 m per gli argini o 1 m per i ponti. Quanto richiesto da normativa risulta quindi rispettato a meno della sponda destra nel tratto tra le sezioni 2.6 – 3 e poco a monte dove, poiché non oggetto di interventi, l'acqua continua ad uscire. A questa insufficienza porrà rimedio il progetto del Comune di Lavagna "*Lavori di regimazione idraulica del Rio Rezza tratto compreso tra il Polo Ospedaliero di Lavagna e via Fieschi"* a cura dello Studio Tecnico Associato ing. Sergio Brizzolara e ing. Stefano Sturla, attualmente in avanzata fase di progettazione, che oltre a prevedere un muro di contenimento in sponda destra rialzerà il piano viabile di via Fieschi a quota 7.20 m s.l.m. in analogia con il valore dell'arginatura di sponda sinistra.

Non devono poi trarre in inganno gli allagamenti che si riscontrano nello Scenario 2, dove il tratto di vallivo del Rio risulta insufficiente con esondazioni generalizzate a causa del rigurgito delle acque dell'Entella. Nel tratto di monte (da sezione 2.6 a sezione 4) l'arginatura di sponda sinistra garantisce il contenimento del deflusso con il rispetto dei franchi di sicurezza prescritti da normativa mentre per la sponda destra (vedi sezioni 2.6 e 3), non modificata dai presenti interventi, permane una condizione di insufficienza.

7. COLLETTORE SCATOLARE DI SPONDA SINISTRA

7.1 Opere in progetto

Per quanto riguarda il collettore di cui al presente progetto esso raccoglie le acque accumulate in golena a monte del ponte della Maddalena (bacino urbano 9, vedi CO01-Corografia generale), dove a causa di una depressione del terreno e dell'assenza di rete fognaria meteorica, storicamente si generano significativi allagamenti e ristagni. Il canale ha origine a monte del campetto di calcio posto a monte del ponte della Maddalena, attraversa con uno scatolare il campo di calcio e il rilevato di accesso al ponte della Maddalena fino al Rezza.

L'attraversamento del Rezza è previsto a gravità con sezione ribassata per portate ordinarie. Al crescere delle portate nel collettore si attiva un sifone che consente di convogliare a valle del Rezza le portate eccedenti. A monte del sifone è previsto l'inserimento di una paratoia di sezionamento quale limitatore di portata con lo scopo di evitare le acque esondate dall'Entella confluiscano nel collettore causandone la tracimazione attraverso i pozzetti nel tratto a valle del Rezza nel periodo transitorio fino a quando le arginature dell'Entella non saranno prolungate a monte fino al ponte Maddalena ed anche oltre. Tale problema sarà risolto a seguito del completamento degli interventi di messa in sicurezza dell'Entella per eventi duecentennali (2° lotto).

A valle del Rezza il canale prosegue con uno scatolare posto al di sotto della difesa che va a scaricare in Entella nei pressi di Via Garibaldi. Questo intervento è completato dalla realizzazione di due fossi in testa al canale per la raccolta delle acque accumulate in golena e dall'eventuale allaccio alla nuova condotta di uno scatolare che oggi scarica in Rezza tra le sezioni 2 e 3 in prossimità dell'argine del segiun e della fognatura meteorica di Via Garibaldi.

L'intervento descritto consente già in questa prima fase il drenaggio del bacino urbano 9, nonché lo scarico verso valle delle acque residue ed esondate dall'Entella a monte del ponte della Maddalena. Allorquando saranno estese verso monte le arginature ed il bacino 9 si troverà non più allagato da Entella, la funzione del collettore sarà quella di una normale rete fognaria meteorica al servizio del bacino urbano soggiacente le piene dell'Entella (bacino Urbano 9 appunto). Nel quadro di riassetto generale, con riferimento a T200 ed in cui potranno essere allacciate al medesimo collettore anche le reti meteoriche dell'abitato di Lavagna da via Garibaldi a valle, esso dovrà essere prolungato fino alla sezione 2 e quindi costituire il recapito meteorico delle aree poste tra il segiun e l'Aurelia. Viceversa non dovrà più raccogliere acque di Entella o altri Rivi di monte in quanto ciascuno di essi dovrà essere perfettamente adeguato alla portata propria di riferimento.

Il suddetto scatolare avrà dimensione 2.5x2.00 m nel primo tratto fino a monte di via Garibaldi e 4.5x2.5 m quello eventuale e futuro da valle di via Garibaldi fino allo sbocco (Cfr tavola PF01).

7.1.1 Dimensionamento idraulico dello scatolare

Il collettore in oggetto drena quella porzione di territorio di Lavagna denominata Urb 9 (Cfr CO01-Corografia generale) bacino a carattere prettamente urbano per il quale, procedendo in analoga con quanto previsto nella relazione idrologica, come valore di portata di riferimento si è assunta la media dei valori ottenuti con il modello cinematico e CN-SCS. Nella tabella sotto riportata si è riassunto il valore di portata di progetto per i tempi di riferimento tipici delle fognature meteoriche (2, 5 e 10 anni).

Tabella 7-1: Valore di portata per il bacino Urb 9 ottenuto con il modello cinematico, con il modello SCS ed il valore di progetto definito come media tra i due per tempi di ritorno di 2, 5 e 10 anni.

	Q (m^3/s)		
Tempo di ritorno (anni)	**Modello Cinematico**	**Modello CN-SCS**	**Valore medio**
2	2.92	2.38	**2.65**
5	4.24	3.92	**4.08**
10	5.11	4.96	**5.04**

Il dimensionamento del canale di gronda nel primo tratto di sezione 2.50x2.00 m avente pendenza del 0.1%è stato condotto in condizioni di moto uniforme, applicando la nota formula di Chèzy:

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

dove k è il coefficiente di scabrezza del canale secondo la formulazione di Gaukler-Strickler (trattandosi di calcestruzzo k_s è stato assunto pari a 70 $m^{1/3}/s$), R il raggio idraulico e i la pendenza longitudinale.

Il collettore in oggetto esita la portata con T pari a 2 anni con un tirante di 0.78 m (grado di riempimento del 39%), la portata con T pari a 5 anni con un tirante di 1.07 m (grado di riempimento del 53.5%) e la portata con T pari a 10 anni con un tirante di 1.25 m (grado di riempimento del 62.5%).

La verifica risulta soddisfatta anche qualora ci fosse un peggioramento delle condizioni del calcestruzzo (k_s = 45 $m^{1/3}/s$), nel caso suddetto la portata decennale risulta esitata con un tirante di 1.75 m (grado di riempimento pari al 87.5%) e la cinetica risulta contenuta all'interno dello scatolare.

7.1.2 Dimensionamento manufatto di attraversamento canale di gronda-Rio Rezza

Nella sezione in cui il canale di gronda sottopassa il rio Rezza non è possibile mantenere la medesima sezione dello scatolare a causa delle quote di fondo del corso d'acqua. Pertanto la soluzione progettuale individuata è quella di realizzare uno scatolare ribassato con sezione 2.50 m x 0.70 m. Poiché tale scatolare non è in grado di convogliare l'intera portata di progetto (**Q=5.04 m^3/s**, tempo di ritorno pari a 10 anni) è necessario prevedere anche la realizzazione di un sifone che convogli la quota parte di portata che lo scatolare non è in grado di convogliare.

Il manufatto di attraversamento è costituito da una camera di monte con quota di fondo pari a 0.86 m s.l.m. nella quale entra lo scatolare 2.50 m x 2.00 m con pendenza 0.1%. Per portate inferiori a 1.80 m^3/s corrispondenti ad un livello nella camera di 1.46 m s.l.m. l'intera portata viene convogliata a valle a gravità attraverso lo scatolare 2.50 m x 0.70 m, e successivamente entra in una camera a valle del Rezza (quota di fondo 0.83 m s.l.m.) dalla quale esce uno scatolare a sezione 2.50 m x 2.00 m con pendenza 0.1% che prosegue lungo la difesa dell'Entella.

Quando la portata supera 1.80 m^3/s si attiva una soglia sfiorante nella cameretta di monte e la portata sfiorata viene convogliata alla parte bassa della cameretta stessa con fondo a quota –0.53 m s.l.m. da cui parte un sifone ad una canna a sezione circolare realizzato in vetroresina turbocentrifugato con ϕ 1600 PN16 e lunghezza circa 27 metri, che convoglia le portate nella camera a valle dell'attraversamento; queste confluiscono con quelle scaricate a gravità dallo scatolare 2.50 m x 0.70 m e si immettono nello scatolare 2.50 m x 2.00 m in uscita.

In corrispondenza della portata di progetto il livello nel pozzetto di valle è pari a 2.08 m s.l.m. tale livello è superiore all'intradosso del tubo e dello scatolare ribassato pertanto entrambi presentano un funzionamento a sifone.

Le perdite di carico concentrate sono state assunte cautelativamente pari a 2 volte l'energia cinetica della corrente; essendo la velocità della corrente nel tubo pari a 1.36 m/s e quella nello scatolare pari a 1.30 m/s da cui il valore delle perdite concentrate risulta pari rispettivamente a 0.19 m e 0.17 m, mentre le perdite distribuite sono date dal prodotto della cadente piezometrica per la lunghezza della condotta e risultano complessivamente pari a 3 cm e 5 cm.

Le perdite totali sono quindi pari a 23 cm in entrambi i collettori.

Il livello quindi nella camera di monte è pari a 2.31 m s.l.m. con un'altezza relativa rispetto al fondo del collettore in arrivo di 1.45 m, mantenendo quindi un franco idraulico di 55 cm rispetto al cielo dello scatolare.

Il manufatto è rappresentato nella tavola PC02.

ALLEGATO 1

"Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del Fiume Entella relativamente al tratto terminale – 1° lotto dalla foce al ponte della Maddalena – 1°stralcio funzionale – Modellazioni settembre 2011 e proposta nuovi stralci funzionali" [Relazione del Gennaio 2012]

PROVINCIA DI GENOVA

DIREZIONE 4 - Lavori pubblici e Manutenzioni

Sezioni Progettazione e Manutenzione Viabilità ed Idraulica

A.T.I. :

SGI — STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI — projenia ENGINEERING & CONSULTING SERVICES — MED INGEGNERIA

LOCALITA':	**COMMESSA:**
Comuni di: Chiavari e Lavagna	*DSU 135-171*

TITOLO:	SCALE
Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del Fiume Entella relativamente al tratto terminale 1° lotto dalla foce al P.te Maddalena 1° stralcio funzionale Modellazioni sett. 2011 e proposta nuovi stralci funzionali	

PROGETTISTI	
Massimo Parravicini	SGI Studio Galli Ingegneria
Alberto Galli	SGI Studio Galli Ingegneria
Vincenzo Marsala	SGI Studio Galli Ingegneria
Ugo Majone	Studio Maione Ingg. Assoc.
Denis Cerlini	Studio Maione Ingg. Assoc.
Manuela Sciutto	PROJENIA - Engineering & Consulting Services
Maurizio Spallarossa	PROJENIA - Engineering & Consulting Services
Marco Gonella	MED Ingegneria

OGGETTO:	ELABORATO N°
RELAZIONE	*RR01*

Elaborato	*Verificato*	*Regolarità tecnica*	*Data*	*Rev.*
Denis Cerlini			Gennaio 2012	0

NOME FILE:	*RR03 rev3-SINTESI modellazioni sett 2011-R09-DC.doc*

INDICE

1. PREMESSA 2

2. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE FIUME ENTELLA 3

2.1 AREA DI ANALISI ED INFORMAZIONE TOPOGRAFICA 3
2.2 MESH DI CALCOLO 3
2.3 CONDIZIONI AL CONTORNO 4
2.3.1 Condizione al contorno di monte 4
2.3.2 Condizione al contorno di valle 7

3. ATTUALI CONDIZIONI DI ALLAGAMENTO 8

4. INTERVENTI DEL PROGETTO DEFINITIVO DI 1°LOTTO 1°STR ALCIO 13

4.1 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI 13
4.2 MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO OTTENUTO 13

5. SUCCESSIVI INTERVENTI PRIORITARI PROPOSTI 19

5.1 PROBLEMATICA 19
5.2 INTERVENTI DI 1°LOTTO 2°STRALCIO 19
5.3 MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO OTTENUTO CON GLI INTERVENTI DI 1°LOTTO 1°+2° STRALCIO 20
5.4 INTERVENTI DI 1°LOTTO 3°STRALCIO 22
5.5 MODIFICA AGLI INTERVENTI DI 1°LOTTO 1°STRALCIO E 1°LOTTO 2°STRALCIO 22
5.6 CONDIZIONI DI SICUREZZA RAGGIUNTE CON GLI INTERVENTI DI 1°LOTTO 1°+2° STRALCIO+M 23
5.7 CONDIZIONI DI SICUREZZA RAGGIUNTE CON GLI INTERVENTI DI 1°LOTTO 1°+2°+3° STRALCIO+M 25
5.8 STUDIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI PER LA REGIMAZIONE DEL FIUME ENTELLA E LA RIORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA VIARIO-INFRASTRUTTURAZIONE A MONTE DEL PONTE MADDALENA 28
5.9 CONDIZIONI DI ALLAGAMENTO DEI FABBRICATI PRESENTI IN GOLENA 32

6. CONCLUSIONI 37

1. PREMESSA

Il progetto degli *Interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del fiume Entella relativamente al tratto terminale – 1° lotto dalla foce al ponte della Maddalena – 1°stralcio funzionale* – è stato approvato con delibera della Giunta Provinciale n. 8 del 12 gennaio 2010 e sulla base di tali elaborati è stata attivata la Conferenza dei Servizi. L'obiettivo da perseguire in conferenza, era pertanto quello di approvare l'intervento proposto, verificando che lo stesso rispettasse i criteri di compatibilità al vigente Piano di Bacino e di rimandare a una fase successiva l'approvazione di una variante al Piano stesso (aggiornamento di fasce/ambiti), in occasione del completamento del dettaglio idraulico rientrante in altro intervento e che tratta lo Studio di Fattibilità di seguito descritto.

A seguito dell'inizio delle attività del connesso *Studio di Fattibilità per la regimazione del Fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario-infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate* avvenuto nel primo semestre 2010 nonché della forte opposizione da parte delle popolazioni interessate e dell'Amministrazione comunale di Lavagna alle opere di cui al progetto definitivo sopra citato, i funzionari di provincia e regione hanno congiuntamente valutato la necessità di studiare più approfonditamente le condizioni di deflusso delle piene del Fiume Entella nel tratto a valle del Ponte Maddalena attraverso apposite e più approfondite modellazioni matematiche.

Scopo dell'approfondimento risulta quindi, oltre alla costruzione degli strumenti necessari alla redazione degli Ambiti Normativi, ai sensi della D.G.R. Liguria 250/2005, la ricerca di eventuali ulteriori interventi da aggiungersi alle opere già previste nel progetto di 1°lotto 1°stralcio al fine di rimuovere ulteriormente gli attuali vincoli normativi pendenti sugli abitati di Lavagna e Chiavari che di fatto impediscono la realizzazione di qualsiasi intervento edilizio. Ciò anche allo scopo di individuare gli interventi da realizzare nel tratto a valle del Ponte Maddalena propedeutici a quelli da realizzare a monte del ponte medesimo e specificamente oggetto dello studio di fattibilità di cui sopra.

Si precisa fin d'ora che in questa sede non vengono presi in considerazione eventuali interventi di riduzione delle massime portate transitanti del tratto terminale dell'Entella in quanto, come si può immediatamente rilevare dall'analisi della seguente Figura *3*, i volumi in gioco sono tali da rendere necessari interventi di laminazione a monte da realizzarsi con sbarramenti di diverse decine di metri di altezza e volumi di invaso di oltre 12 milioni di mc (dighe di laminazione). Anche gli altri interventi previsti nel progetto in conferenza quali il tratto terminale del Rio Rezza ed il collettore di gronda non sono oggetto della presente relazione di approfondimento.

2. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE FIUME ENTELLA

Le nuove modellazioni sono state condotte utilizzando il software Basement (Basical Simulation Environment) sviluppato da VAW (laboratorio di idraulica idrologia e glaciologia di Zurigo) in collaborazione con ETH (laboratorio federale svizzero di tecnologia). Trattasi di uno dei migliori prodotti attualmente in commercio per lo studio di situazioni idrodinamiche come quella in esame.

2.1 Area di analisi ed informazione topografica

L'area di analisi del modello bidimensionale si estende longitudinalmente lungo il Fiume Entella da poco a monte della confluenza Lavagna-Graveglia fino alla foce; per le problematiche specifiche di cui alla presente relazione il tratto di interesse si sviluppa dal ponte Maddalena alla foce; trasversalmente all'alveo sono interessati gli abitati di Chiavari, in destra idrografica, fino all'alveo del Torrente Rupinaro e di Lavagna, in sinistra idrografica; il limite delle zone a monte area urbana è costituito dal sistema collinare. L'area sottoposta ad analisi con il modello Basement è individuata in Figura *1*.

L'informazione topografica prende origine dal rilievo a terra rilievo svolto nel 2006 nell'ambito della "*Progettazione e attività di direzione lavori degli interventi di mitigazione del rischio idraulico del bacino del fiume Entella relativamente al tratto terminale*". Tale rilievo ha riguardato l'asta del Fiume Entella dalla passerella di Rivarola fino al allo sbocco a mare. Sono state rilevate 30 sezioni del corso d'acqua e delle aree golenali e 7 tra ponti e attraversamenti.

Di questi ultimi sono stati rilevati gli elementi planimetrici e altimetrici necessari a consentire di schematizzare il prospetto e la pianta della struttura.

Il rilievo è stato integrato sia planimetricamente che altimetricamente con ulteriori rilievi già esistenti nonché con il recente DTM fornito dalla Regione Liguria e proveniente dal Ministero dell'Ambiente.

2.2 Mesh di calcolo

La *mesh* di calcolo è stata realizzata discretizzando il territorio in una serie di elementi quadrangolari e triangolari al fine di descriverne con semplificazione geometrica l'andamento plano-altimetrico, in modo il più attinente possibile alla realtà.

Tale discretizzazione risulta più di dettaglio nelle zone di maggiore variazione topografica (alveo e zone limitrofe) e di maggiore concentrazione insediativa e nelle zone dove il comportamento idrodinamico del corso d'acqua risulta più complesso.

Essa è stata costruita con il programma SMS (Surfacewater Modelling System) sviluppato dalla Brigham Young University, mediante tecniche di interpolazione, a

partire dai dati topografici disponibili e dal DTM recentemente fornito dalla Regione Liguria e proveniente dal Ministero dell'Ambiente.

Al fine di meglio descrivere il reale funzionamento in piena del corso d'acqua, in ottemperanza alle simulazioni a fondo mobile svolte nel progetto preliminare del medesimo intervento (agosto 2007 - Relazione Idraulica RR03 - *A valle del ponte Corso Buenos Aires si inizia ad avere erosione con totale asportazione della barra e, nel caso di foce attuale, formazione di una buca in corrispondenza della barra. Nelle simulazioni a fondo fisso è possibile quindi considerare l'asportazione completa della barra, in quanto l'asportazione della barra avviene in entrambe le configurazioni simulate e fin da valori di portata significativamente inferiori alla duecentennale.)* il fondo alveo nel tratto di foce è stato opportunamente sagomato.

La mesh utilizzata è costituita da oltre 46250 elementi; essa è riportata in Figura 2.

2.3 Condizioni al contorno

2.3.1 Condizione al contorno di monte

Nelle simulazioni eseguite è stato imposto, come condizione al contorno di monte, il deflusso delle portate di piena del Fiume Entella per i vari tempi di ritorno interessati (50, 100 e 200 anni), modulata tramite un idrogramma.

Le portate massime di riferimento sono pari a 1559 m^3/s per tempo di ritorno 50 anni, 2067 m^3/s per tempo di ritorno 100 anni, **2739 m^3/s per tempo di ritorno 200 anni**.

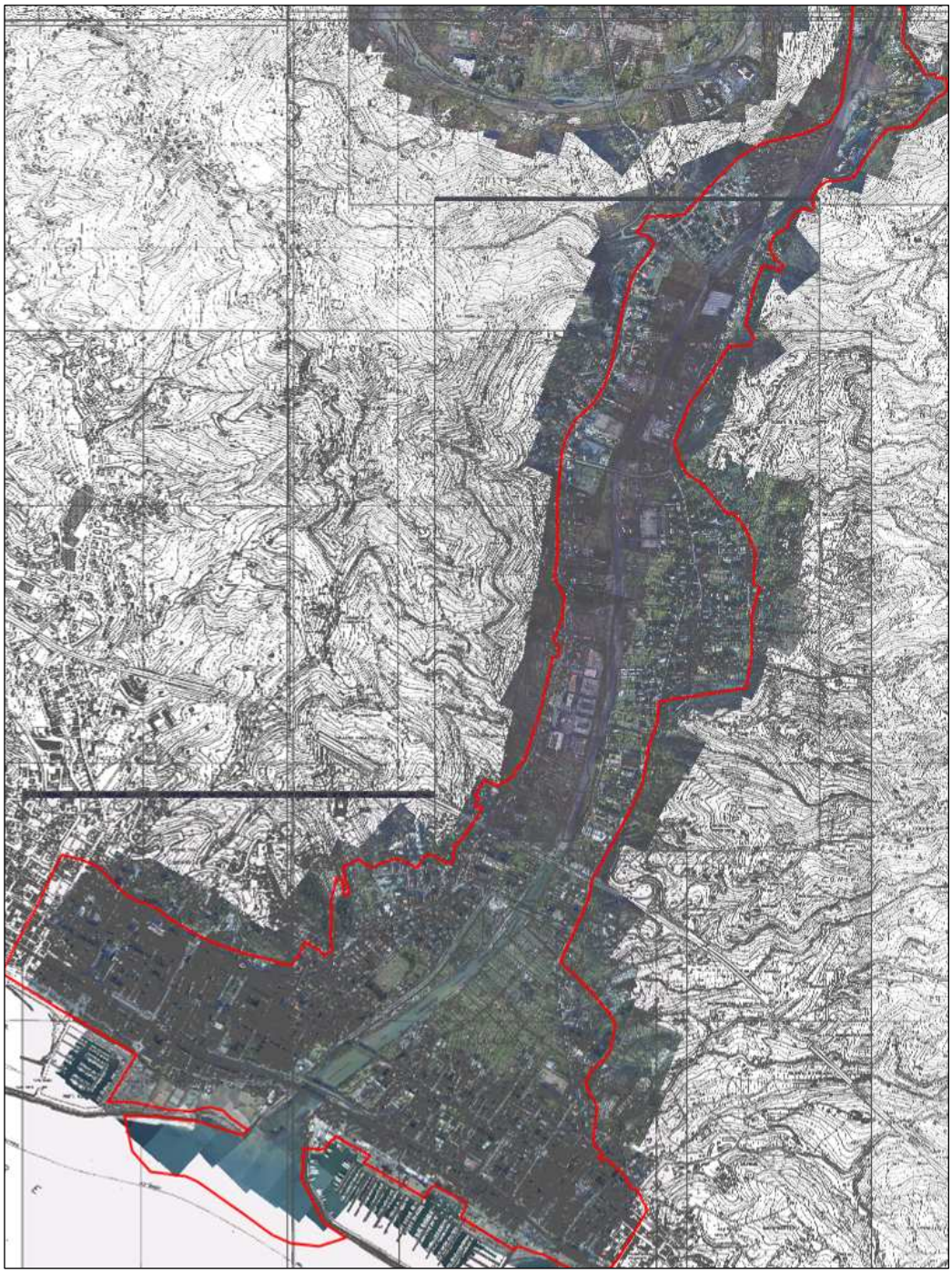


Figura *1* – Area di analisi modello Basement

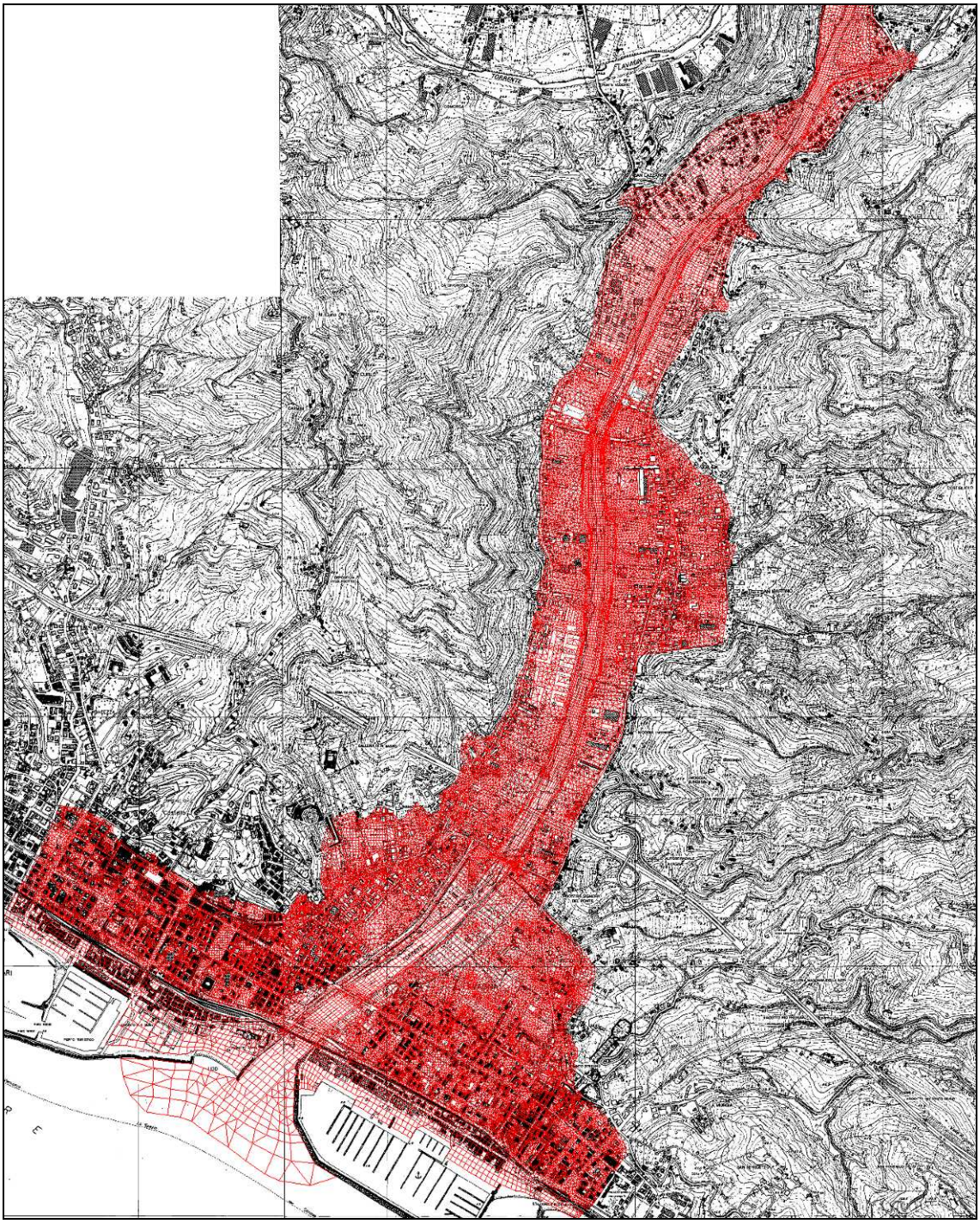


Figura *2* – *Mesh* di calcolo Basement

Nella Figura *3* si riportano gli idrogrammi di ingresso utilizzati per ciascun tempo di ritorno calcolati dai tecnici della Provincia con la metodologia definita nella DGR 357/08.

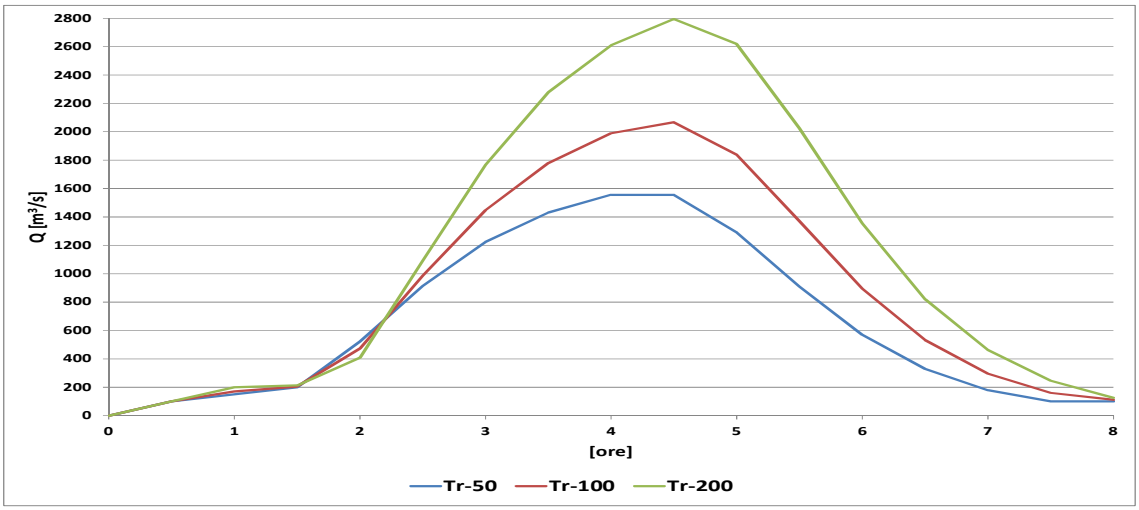


Figura *3* – Idrogrammi Fiume Entella per i tempi di ritorno 50, 100 e 200 anni

2.3.2 Condizione al contorno di valle

Nelle simulazioni eseguite è stato imposto, come condizione al contorno di valle, il livello del mare a quota 0.5 m s.m.m. sia in foce, che a valle della linea di litorale prospiciente gli abitati di Chiavari e Lavagna.

3. ATTUALI CONDIZIONI DI ALLAGAMENTO

Con riferimento al tratto di corso d'acqua a valle del ponte di Maddalena si osserva che il deflusso idrico comincia a fuoriuscire dall'alveo attivo di magra per portate di circa 1000 mc/s (vedi Figura 4). Il primo punto di tracimazione delle attuali difese avviene in sinistra idraulica, a monte del ponte Buenos Aires, mentre in destra idraulica l'allagamento avviene partendo da monte del Ponte Maddalena per portate di circa 1400 mc/s (vedi Figura 5).

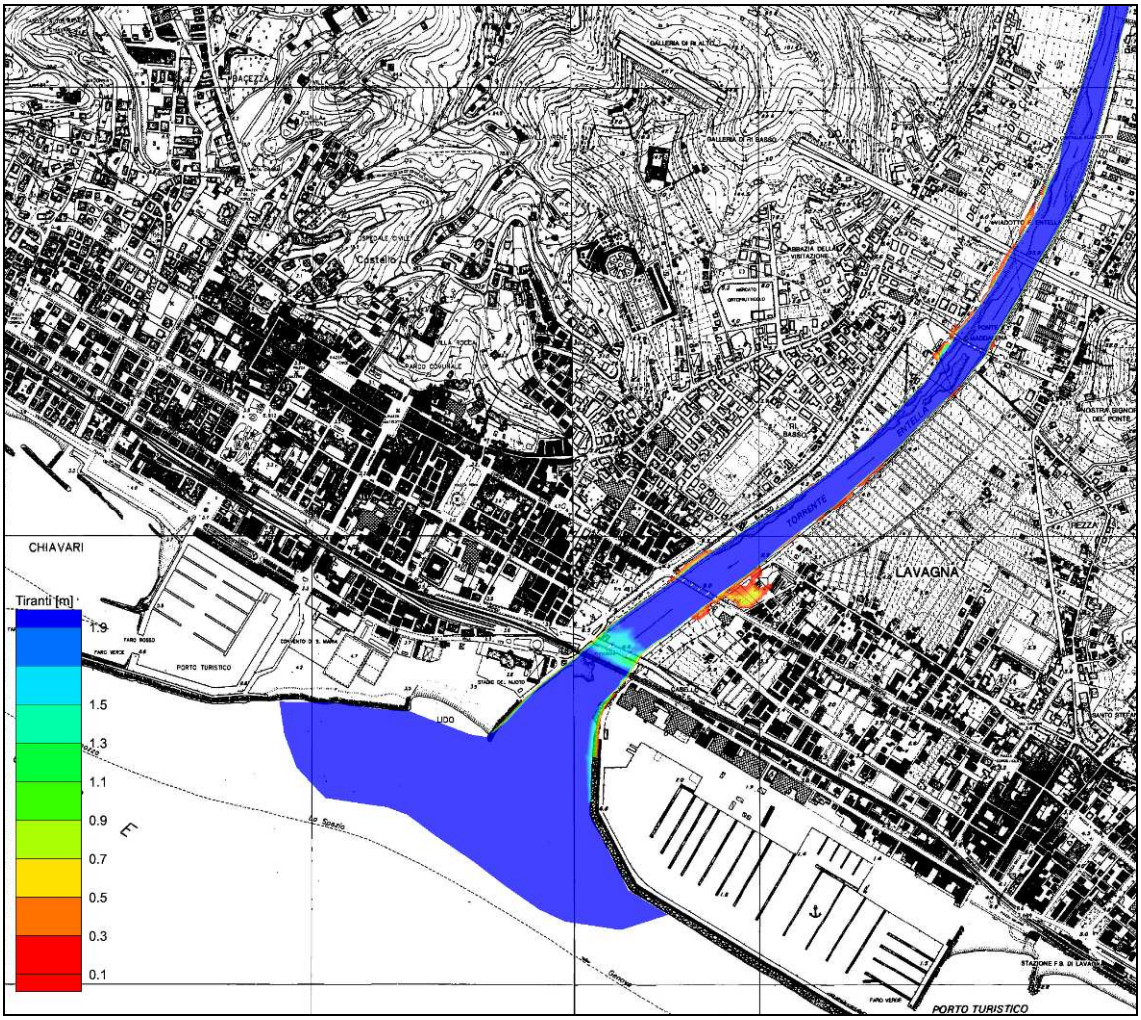


Figura 4 - Planimetria degli allagamenti istantanei per portate di circa 1000 mc/s

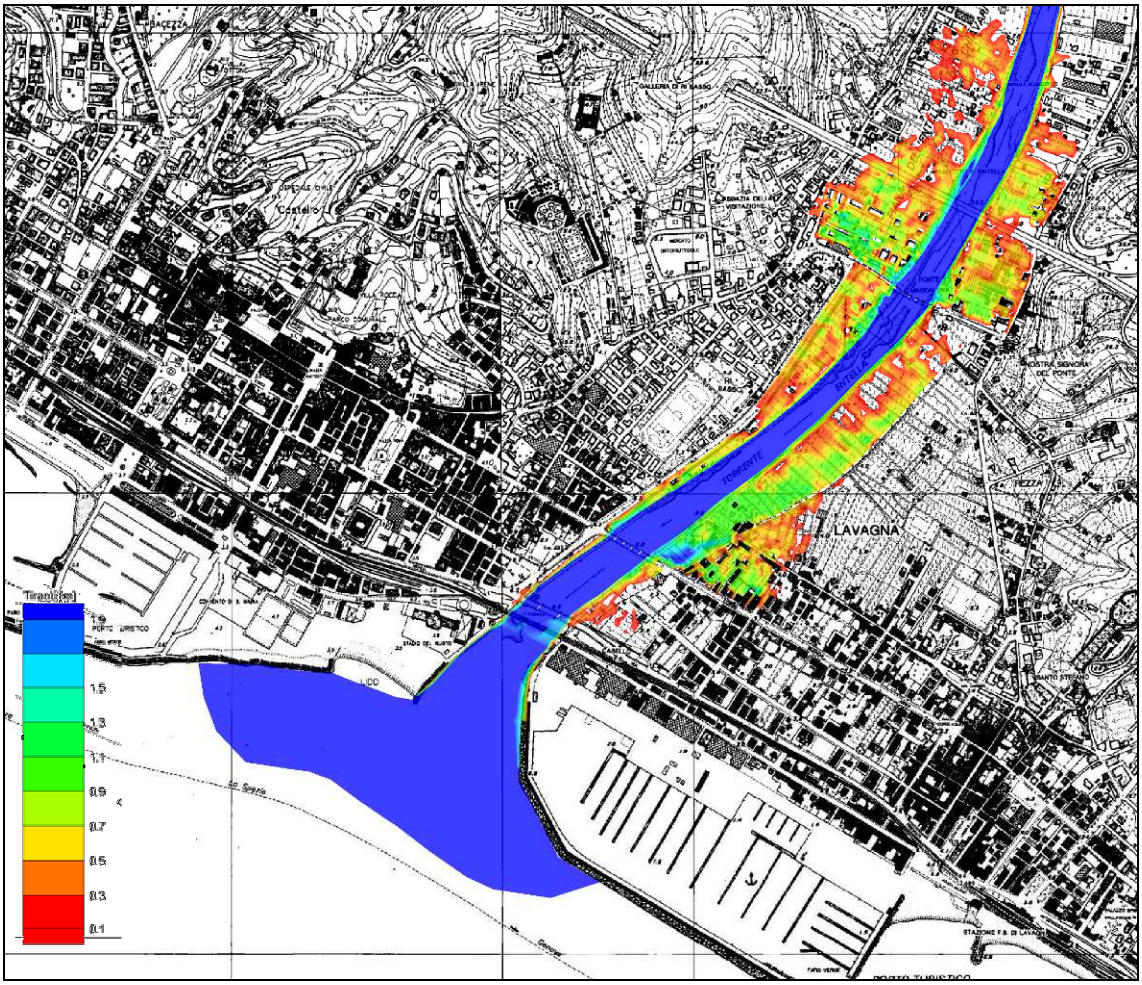


Figura 5 – Planimetria degli allagamenti istantanei per portate di circa 1400 mc/s

Lato Chiavari, fino alla portata di 2450 m^3/s, non si verificano ulteriori contributi all'allagamento in quanto la protezione dall'esondazione è assicurata dal rilevato del Viale Kasman; ciò ad eccezione del tratto in cui ha luogo l'abbassamento di quota della sommità della difesa come, ad esempio, fra i rilevati dei ponti di Via Previati e quello ferroviario.

Oltre tale portata sono sormontati anche altri tratti di tale rilevato, fino al quasi completo sormonto. La portata massima che sormonta viale Kasman è di circa 102 m^3/s mentre il volume complessivo che interessa l'abitato è di 1.83 milioni di m^3 di cui 1.24 milioni di m^3 provenienti da monte del ponte Maddalena, 0.59 milioni di m^3 dal sormonto di viale Kasman a monte di Buenos Aires.

Lato Lavagna, l'esondazione evolve dalle zone a monte e valle del Ponte Buenos Aires per poi svilupparsi lungo la piana verso l'abitato.

In seguito, l'acqua riesce a scavalcare il Segiun anche in punti più a monte, fino al completo sormonto al transito della portata di 2450 m^3/s. Si precisa che tale valutazione è effettuata nell'ipotesi, del tutto irreale, che il Segiun, anche dopo essere sormontato dalle acque, mantenga la sua attuale geometria e non venga invece progressivamente eroso ed asportato.

La portata massima che sormonta il Segiun è di circa 353 m^3/s per un volume di 2.52 milioni di m^3; la portata massima che esonda a valle del ponte Buenos Aires è di circa 202 m^3/s per un volume di 1.58 milioni di m^3.

Complessivamente Lavagna viene investita da un volume totale di 4.1 milioni di m^3

In Figura 6 sono rappresentate le massime aree inondabili per la piena cinquantennale; l'allagamento si estende fino a corso Garibaldi (escluso) lato Chiavari e fino all'altezza di Piazza Vittorio Veneto lato Lavagna. Quella rappresentata è di fatto la Fascia A (rossa) definita nelle norme del piano di Bacino e si stende per circa 0.42 kmq a Chiavari e circa 0.48 kmq a Lavagna.

Gli eventi di piena con tempo di ritorno superiore incrementano progressivamente, ma in misura limitata, l'area allagata, verso l'esterno; in Figura 7 sono rappresentate le massime aree allagabili per tempo di ritorno 200 anni. Quella rappresentata è di fatto la Fascia B (gialla) definita nelle norme del piano di Bacino e si stende per circa 0.75 kmq a Chiavari e circa 0.69 kmq a Lavagna comprendendo in tali superfici anche quelle di fascia A sopra descritta: praticamente tutti gli abitati.

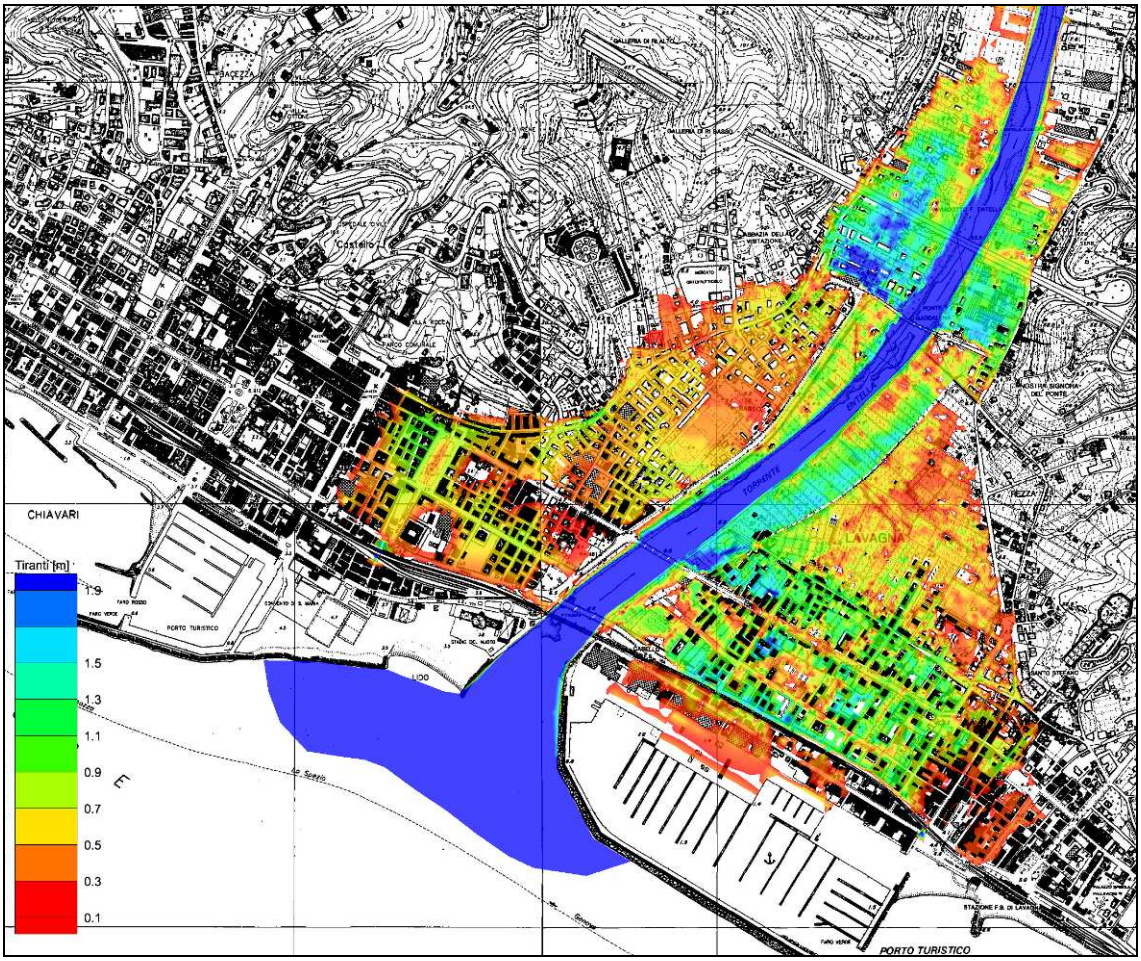


Figura 6 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=50 anni (Q=1559 mc/s)

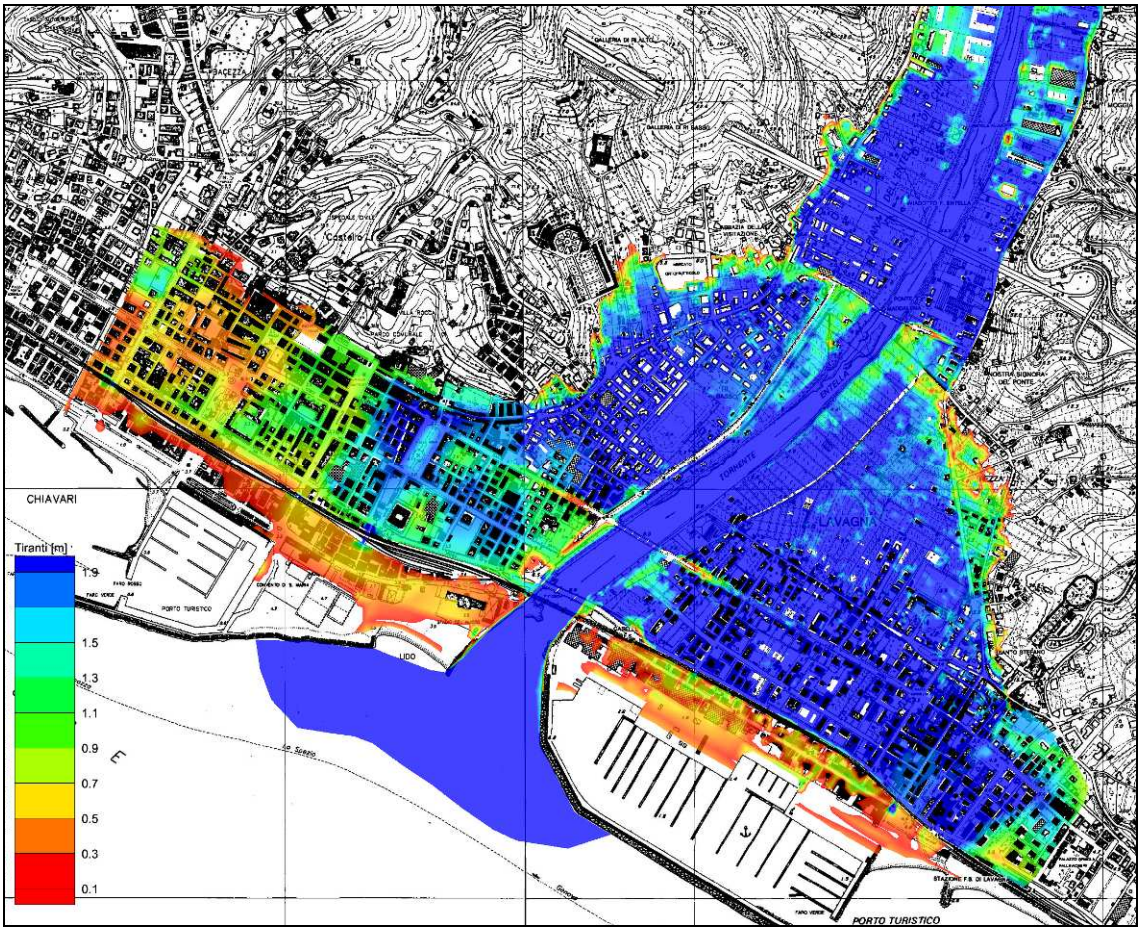


Figura 7 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s)

4. INTERVENTI DEL PROGETTO DEFINITIVO DI 1° LOTTO 1° STRALCIO

4.1 Descrizione degli interventi

Gli interventi che fanno parte del 1°lotto 1°stralcio funzionale sono:

- in sponda destra, adeguamento dei muri posti in allineamento alla spalla destra del ponte Ferroviario e del ponte di Via Peviati fino a raccordarsi a Viale Kasman – tratto posto a cavallo delle sezioni 3 Pr, 4a Pr e 4b Pr;
- in sponda sinistra, partendo da valle si prevede di realizzare un muro tra i ponti FS e via Previati, di innalzare il piano dei giardini nel tratto compreso tra il ponte di via Previati e quello di Buenos Aires (sezioni 4b Pr e 5a Pr), di realizzare una nuova difesa tra B.A, e poco a monte di via Garibaldi (sezione 5b Pr e 7 Pr lungo la linea già individuata nel PP2004) e di adeguare il segiun nel tratto compreso tra la sezione 7 Pr e il Rio Rezza.

A completamento dello stralcio sono stati previsti i seguenti interventi sul reticolo minore e sulla rete fognaria meteorica:

- adeguamento della sezione del rio Rezza nel suo tratto terminale a valle del segiun;
- arretramento dell'arginatura in sponda sinistra del rio Rezza nel tratto tra il segiun e via Fieschi per consentire un futuro adeguamento dell'alveo anche in questo tratto;
- realizzazione di un canale di gronda parallelo alla difesa sinistra dell'Entella per consentire lo scarico dell'area a monte del ponte Maddalena che soggiace i livelli di piena dell'Entella nonché della rete fognaria di Lavagna anche in condizioni di elevati livelli del ricettore.

Queste opere non alterano il funzionamento dell'Entella ma consentono di dare risposta alle problematiche connesse con la difficoltà di smaltimento delle acque in golena provenienti anche dall'Entella stesso.

4.2 Mitigazione del rischio idraulico ottenuto

La quota delle arginature di progetto in sinistra idraulica sono sufficienti al contenimento della portata con tempo di ritorno 50 e 100 anni con franco ridotto.

In Figura 8 sono rappresentate le massime aree inondabili per la **piena cinquantennale** a seguito della realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°stralcio; lato **Chiavari**

l'allagamento è identico a quello dello stato attuale (vedi precedente Figura 6) mentre **lato Lavagna non si ha più alcun allagamento:** pertanto, la Fascia A (rossa) definita nelle norme del P.d.B. risulta inalterata rispetto a quella attuale a Chiavari ed **è annullata a Lavagna.**

Considerazioni identiche possono essere condotte per le piene centennali.

Più precisamente occorre rilevare che per tempi di ritorno 50 e 100 anni gli allagamenti di Chiavari provengono esclusivamente da monte del ponte Maddalena dove i livelli non si modificano in conseguenza degli interventi di 1°lotto 1°stralcio mentre tra Maddalena e B. A., l'incremento di livello dovuto al contenimento delle acque in sinistra dal nuovo argine di progetto è contenuto al massimo in 20 cm per l'evento cinquantennale e 25 cm per l'evento centennale e quindi non in grado di tracimare l'attuale livello di difesa di viale Kasman.

Con riferimento agli ambiti normativi lato Lavagna a valle del Ponte Maddalena sono eliminate le aree in ambito AA e ridotte significativamente, come si vedrà in seguito, quelle in ambito BB.

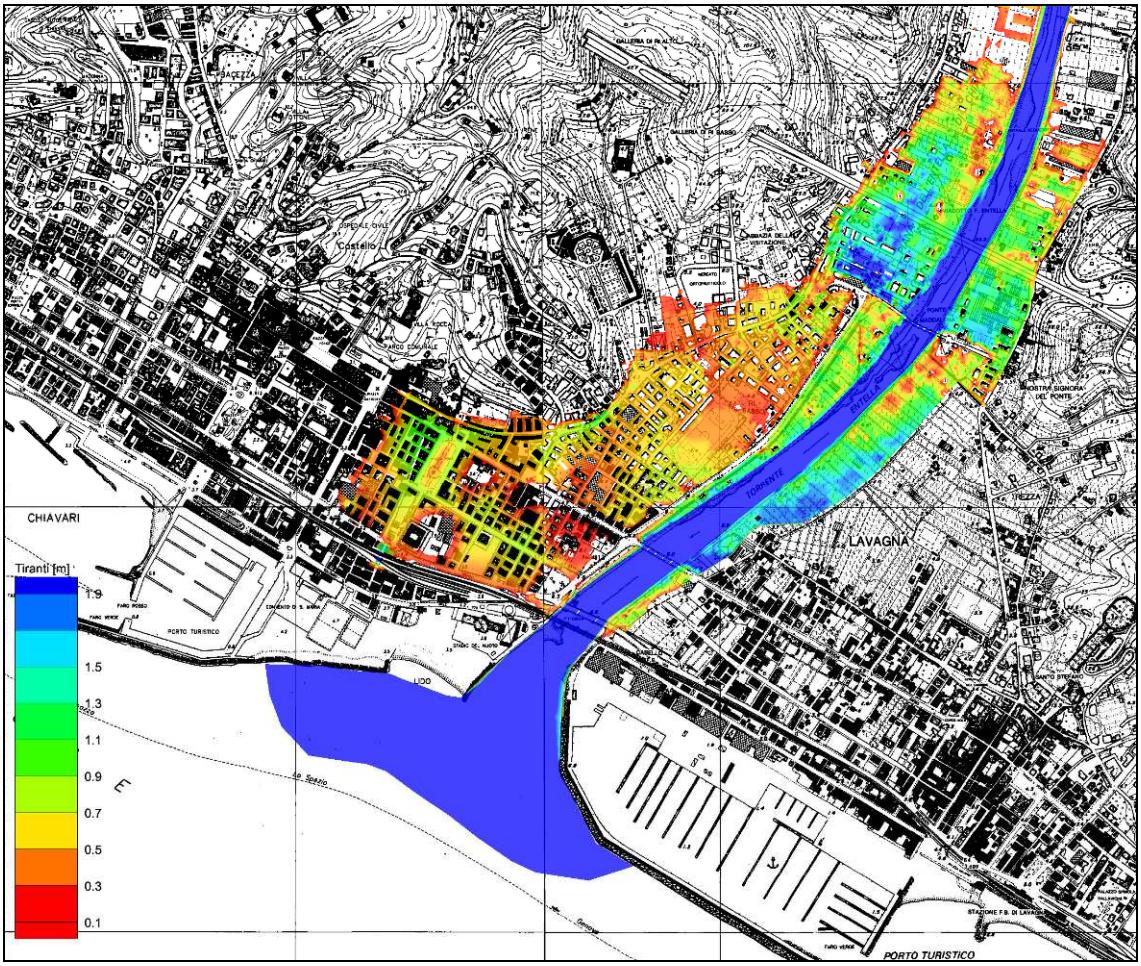


Figura 8 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=50 anni (Q=1559 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°stralcio

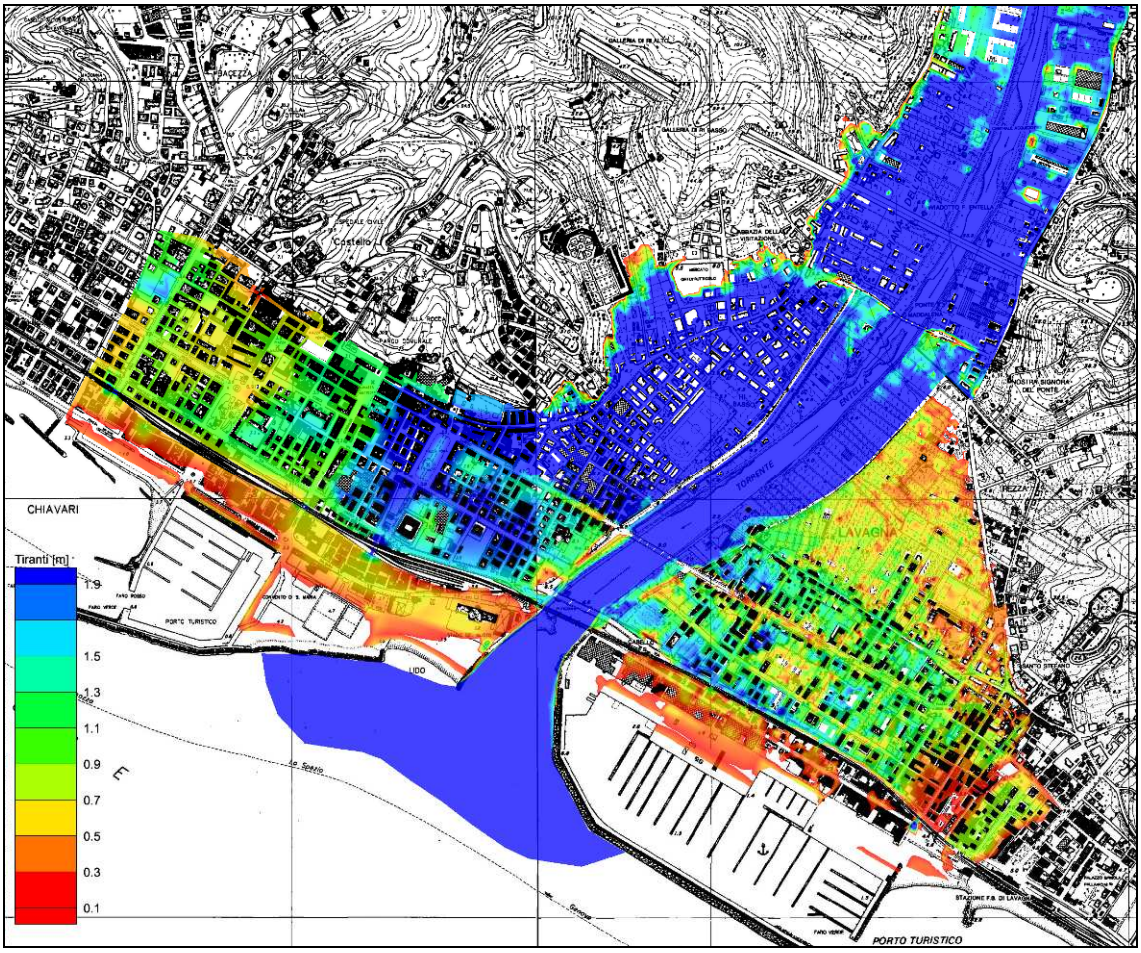


Figura 9 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°stralcio

In Figura 9 sono rappresentate le massime aree allagabili per la **piena duecentennale**. Lato Lavagna **le condizioni di allagamento migliorano sensibilmente per effetto degli interventi realizzati** passando dagli attuali 0.69 kmq a 0.54 kmq. Il tirante idrico si abbatte notevolmente, dato che nello stato attuale supera i 70 cm praticamente in tutto il territorio allagato mentre in questa configurazione supera tale valore solo in 0.29 kmq (circa 40% di quello attuale). Per inciso si ricorda che il valore di 70 cm costituisce, secondo le norme del P.d.B., il discriminante del cosiddetto basso tirante tale da consentire, previa verifiche idrauliche specifiche e l'adozione di appositi provvedimenti costruttivi, diverse tipologie di intervento edilizio. La portata massima che interessa gli allagamenti di Lavagna passa dall'attuale 555 m^3/s a 108 m^3/s; il volume totale dagli

attuali 4.1 milioni di m^3 passa a 0.37 milioni di m^3. La probabilità di accadimento di un evento alluvionale si riduce drasticamente: attualmente basta una piena cinquantennale per allagare l'abitato mentre dopo gli interventi ne serve una significativamente superiore alla centennale.

Il contenimento delle acque sul lato Lavagna aumenta i massimi livelli idrici di deflusso in alveo nel tratto tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires di un valore massimo di circa 50 cm; l'unico effetto tangibile di tale innalzamento dei livelli idrici in alveo riguarda l'aumento delle portate esondate verso Chiavari in caso di piena duecentennale dagli attuali 280 mc/s a 463 mc/s. In termini di volumi dagli attuali 1.83 milioni di mc a 3.23 milioni di mc. Ciò comporta generalmente un aumento dei livelli idrici massimi trascurabile (meno di 10 cm in un territorio che per la quasi totalità ha livelli idrici superiori a 70 cm); solo in un piccolo areale a tergo di viale Kasman (vedi Figura 10) di superficie complessiva pari a 0.16 kmq (meno del 20% di quella totale allagata) subisce un aumento dei tiranti fino a 45 cm. Tale areale comunque già nella situazione attuale è interessato da tiranti di oltre 2.00 metri.

Sempre lato Chiavari, sia la Fascia A (rossa) che la Fascia B (gialla) non modificano le loro dimensioni nonostante il contenimento delle acque sul lato Lavagna aumenti i livelli idrici in alveo nel tratto tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires.

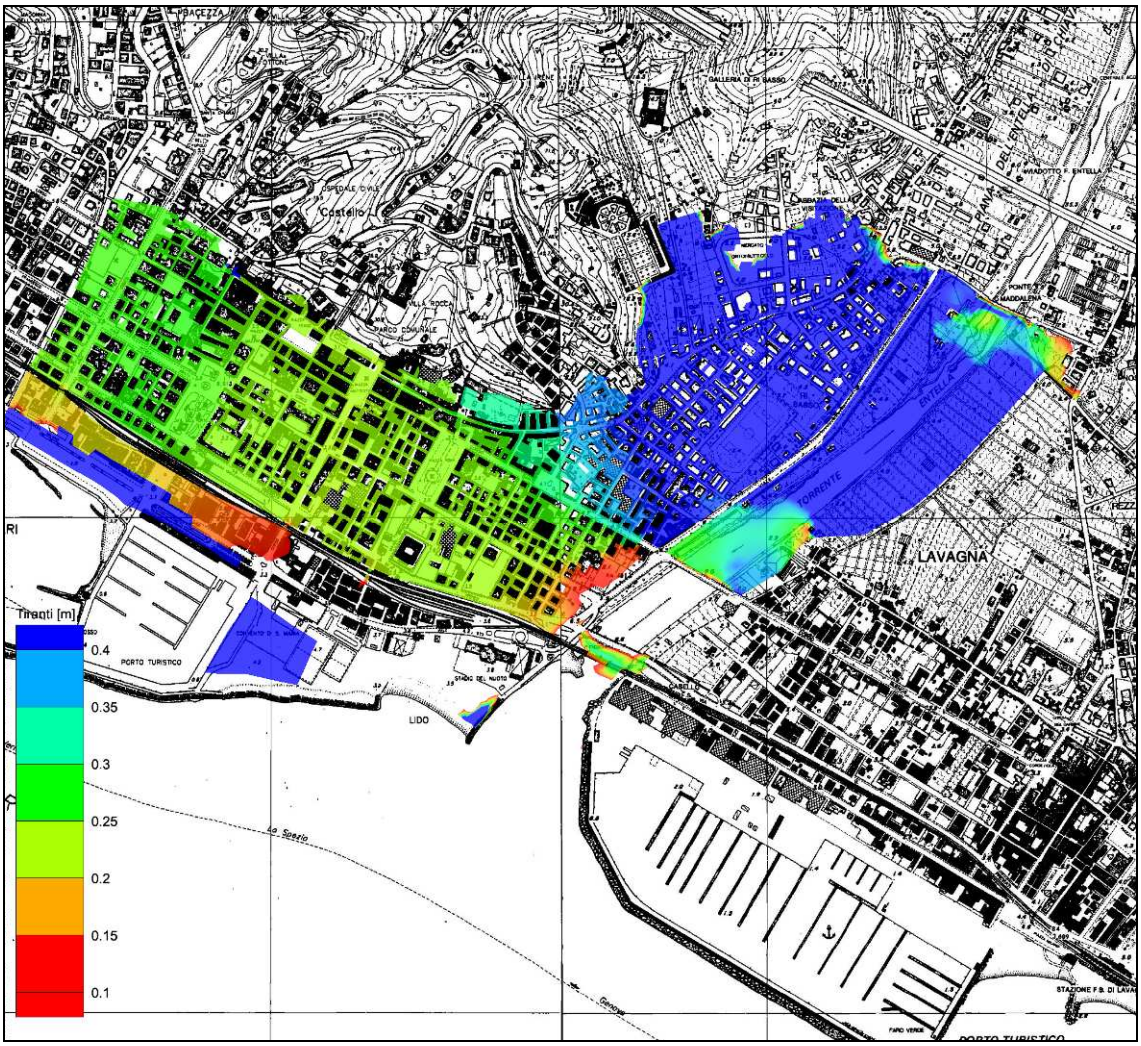


Figura 10 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti della zona in cui i tiranti aumentano fino a 45 cm per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°stralcio

5. SUCCESSIVI INTERVENTI PRIORITARI PROPOSTI

5.1 Problematica

Una lettura strettamente numerica e fisica delle simulazioni duecentennali riportate al paragrafo precedente senza una successiva lettura ed interpretazione ingegneristica delle fenomenologie potrebbe condurre a ritenere eccessivo l'aumento dei livelli in talune zone dell'abitato di Chiavari in conseguenza degli interventi di 1°lotto 1°stralcio. Al fine di eliminare tale **prima problematica**, e fermo restando il fatto che la probabilità che intervenga un evento con tempo di ritorno superiore a 100 anni nel periodo transitorio tra la fine dei lavori di 1°lotto 1°stralcio ed i successivi di completamento è praticamente nulla, si potrebbero far seguire alcuni ulteriori interventi che via via realizzati condurrebbero non solo alla compensazione della problematica sopra descritta per una piccola porzione dell'abitato di Chiavari ma anche al progressivo miglioramento delle condizioni di sicurezza e di mitigazione del rischio. Tali interventi, denominati di **1°lotto 2°stralcio**, sono stati individuati nell'ambito di quelli già previsti nel PP2006 di 1° lotto, parte dei quali già realizzati appunto con il 1°lotto 1°stralcio.

Una seconda problematica scaturita dai confronti con il territorio riguarda la possibilità di mettere in sicurezza l'abitato di Lavagna principalmente interessato dai lavori di 1°lotto 1°stralcio nonché migliorare considerevolmente le condizioni di sicurezza di Chiavari. A tal fine è stato definito un terzo set di interventi, denominati di **1°lotto 3°stralcio,** che, associati ad un leggero innalzamento di una parte delle difese di cui al progetto di 1°lotto 1°stralcio (max 50 cm) conduce ad ottenere l'obiettivo sopra indicato.

5.2 Interventi di 1°lotto 2°stralcio

L'intervento consiste nella realizzazione del muretto di contenimento su viale Kasman relativamente al tratto mediano tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires nonché a valle di quest'ultimo al fine di realizzare una quota di difesa uguale a quella prospiciente sulla sponda opposta (segiun/muro/giardini). L'altezza massima del manufatto e contenuta in 1.40 m e la sua tipologia è del tutto simile a quella già adottata nel progetto di 1°lotto 1°stralcio più a valle. Dal punto di vista architettonico si potrà valutare l'opportunità di realizzare un muretto a quota assoluta perfettamente uguale a quella della sponda opposta, e quindi ad altezza variabile da 0 a 1.40 m oppure se stabilire che l'altezza del muro non scenda mai al di sotto di un determinato valore realizzando quindi una difesa a quota talvolta superiore a quella della sponda opposta. In via preliminare, nelle more della definizione progettuale dell'intervento, si può prevedere che tale 2° stralcio di intervento necessiti di un finanziamento di circa 1.500.000 euro.

5.3 Mitigazione del rischio idraulico ottenuto con gli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio

In Figura 11 sono rappresentate le massime aree inondabili per la **piena cinquantennale** a seguito della realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio; lato **Chiavari l'allagamento continua a essere sostanzialmente identico a quello dello stato attuale** in quanto, come già rilevato, proveniente esclusivamente da monte del ponte di Maddalena (vedi precedente Figura 6); **lato Lavagna non si più nessun allagamento:** pertanto, la Fascia A (rossa) definita nelle norme del P.d.B. risulta inalterata rispetto a quella attuale a Chiavari ed **è annullata a Lavagna.**

Considerazioni identiche possono essere condotte per le piene centennali.

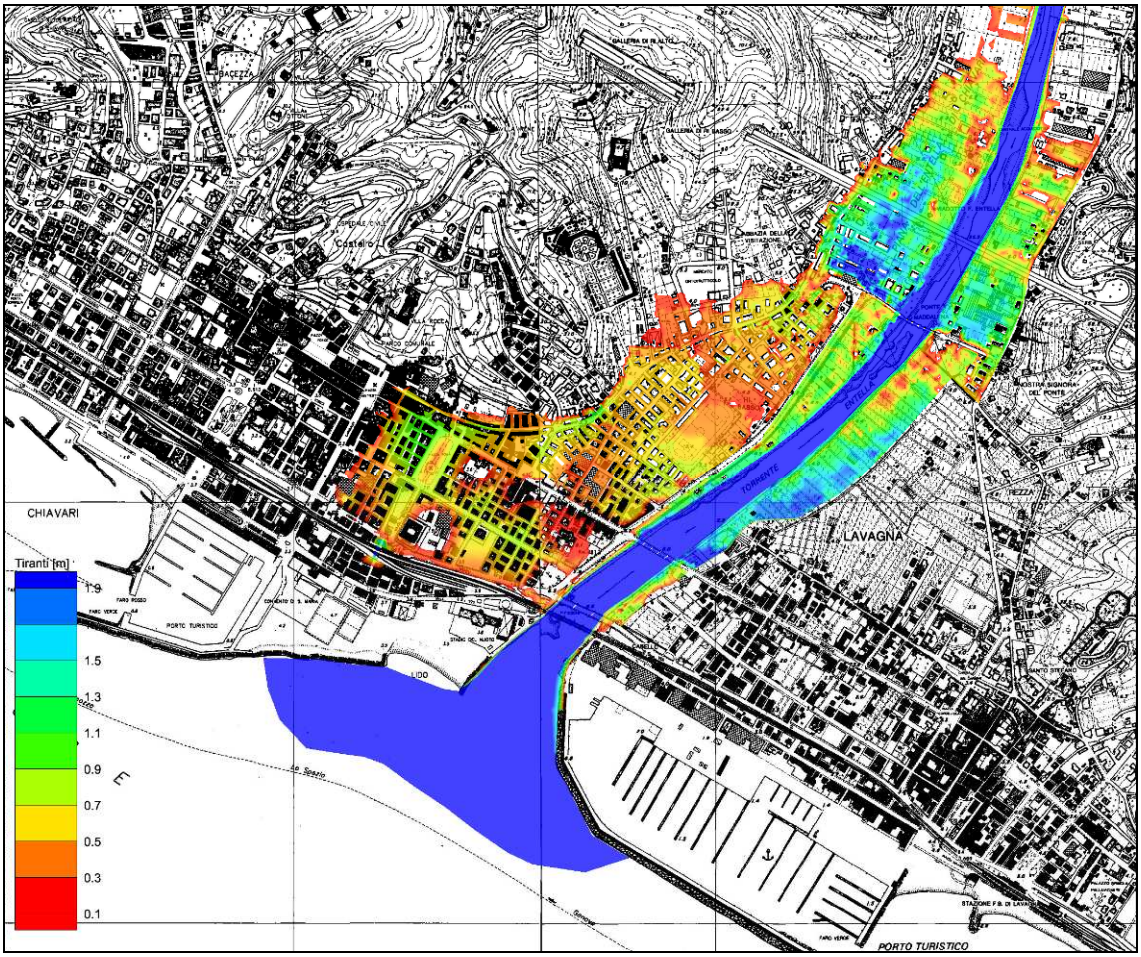


Figura 11 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=50 anni (Q=1559 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio

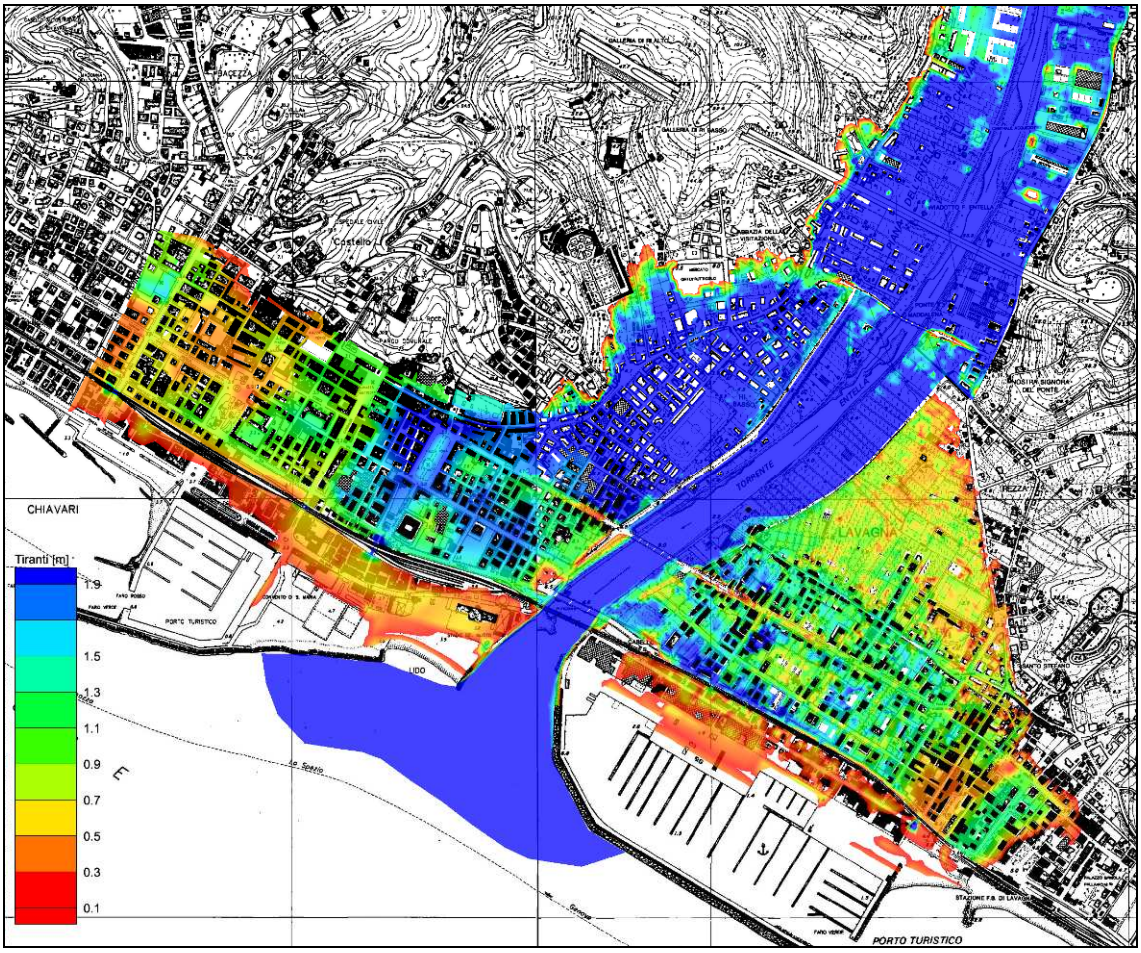


Figura 12 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio

In Figura 12 sono rappresentate le massime aree allagabili per la **piena duecentennale**. Lato Lavagna **le condizioni di allagamento migliorano sensibilmente per effetto degli interventi realizzati** passando dagli attuali 0.69 kmq a 0.52 kmq. Il tirante idrico massimo si riduce notevolmente, mentre nello stato attuale supera i 70 cm praticamente in tutto il territorio allagato, ivi supera tale valore solo in 0.29 kmq (circa 40 % di quello attuale). La portata massima che interessa gli allagamenti di Lavagna passa dall'attuale 555 m^3/s a 123 m^3/s; il volume totale dagli attuali i 4.1 milioni di m^3 a 0.49 milioni di m^3. La probabilità di accadimento un evento alluvionale si riduce drasticamente: attualmente basta una piena cinquantennale per allagare l'abitato mentre dopo gli interventi ne serve una significativamente superiore alla centennale.

Il contenimento delle acque aumenta i massimi livelli idrici di deflusso in alveo nel tratto dal ponte Maddalena a quello di Buenos Aires di un valore massimo di circa 60 cm; la realizzazione del contenimento idraulico in sponda destra evita l'aumento delle portate esondate in caso di piena duecentennale; anzi, dagli attuali 280 mc/s si riducono a 193 mc/s. Il miglioramento avviene anche in termini di volumi passando dagli attuali 1.83 milioni di m^3 a 1.29 milioni di m^3. In tale situazione si ottiene anche un leggero decremento dei livelli idrici massimi.

Sempre lato Chiavari, sia la Fascia A (rossa) che la Fascia B (gialla) non modificano le loro dimensioni.

5.4 Interventi di 1°lotto 3°stralcio

L'intervento consiste nella sostituzione del ponte Buenos Aires e relativi rilevati d'approccio che in relazione all'elevato ingombro trasversale ed alla ridotta quota dell'intradosso delle arcate costituisce un importate causa di innalzamento del livello idrico a monte. In questa fase, senza entrare nel merito della tipologia e caratteristiche del nuovo manufatto che sostituirà l'esistente, ci si limita a considerare una condizione di deflusso indisturbato che può essere tranquillamente ottenuta con un manufatto dotato di normali pile in alveo, campate di luce almeno doppia di quelle esistenti, ed intradosso pressoché rettilineo.

In via preliminare, nelle more della definizione progettuale dell'intervento, si può prevedere che tale 3° stralcio di intervento necessiti di un finanziamento variabile da 4 a 7 milioni di euro.

5.5 Modifica agli interventi di 1°lotto 1°stralcio e 1°lotto 2°stralcio

Le modellazioni effettuate con riferimento agli interventi di cui al paragrafo precedente, nonostante il significativo miglioramento non consentono di ottenere gli obiettivi richiesti, vale a dire la messa in sicurezza di Lavagna per T200. Tra l'altro, come meglio esposto al capitolo seguente, occorre creare le condizioni di fattibilità degli interventi in fase di studio a monte del ponte Maddalena affinché tali opere di difesa di monte non creino intollerabili aggravi della situazione di valle in assenza di idonee opere di contenimento laterale nonché della insufficienza del ponte di Buenos Aires che presenta un funzionamento in pressione per portate elevate. Anche in tale ottica si propone il modesto innalzamento (meno di 50 cm) di una parte delle difese individuate nei progetti di 1°lotto 1 °stralcio e 1°lotto 2°stralcio. Tale ulteriore intervento viene codificato con la lettera M. In via preliminare, nelle more della definizione progettuale dell'intervento, si

può prevedere che tale modifica agli interventi di 1° e 2° stralcio necessiti di una spesa di circa 500.000 euro.

5.6 Condizioni di sicurezza raggiunte con gli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio+M

Le massime aree inondabili per la **piena cinquantennale** a seguito della realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio M sono sostanzialmente le stesse di Figura 11; in effetti la "modifica" non comporta variazioni negli allagamenti con portata cinquantennale, rimanendo, ad ogni modo, il corpo idrico non esondabile sul lato Lavagna; lato **Chiavari l'allagamento continua a essere sostanzialmente identico a quello dello stato attuale** in quanto, come già rilevato, proveniente esclusivamente da monte di Maddalena (vedi precedente Figura 6); **lato Lavagna si continua a non avere nessun allagamento:** pertanto, la Fascia A (rossa) definita nelle norme del P.d.B. risulta inalterata rispetto a quella attuale a Chiavari ed **è annullata a Lavagna.**

Considerazioni identiche possono essere condotte per le piene centennali.

In Figura 13 sono rappresentate le massime aree allagabili per la **piena duecentennale**. Lato Lavagna, pur in presenza di un franco ridotto, **le condizioni di allagamento si riducono drasticamente.** In particolare le zone allagate con un tirante superiore a 70 cm (vedi Figura 14) passano dagli attuali 0.69 kmq circa (quasi tutta la piana) a 0.11 kmq (meno del 20 %); sensibilmente meno della metà rispetto alla medesima configurazione non modificata.

Il contenimento delle acque aumenta i massimi livelli idrici di deflusso in alveo nel tratto tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires di un valore massimo di 60 cm circa; La realizzazione del contenimento idraulico in sponda destra consente la significativa riduzione delle portate esondate a Chiavari in caso di piena duecentennale; dagli attuali 280 mc/s si passa 221 mc/s. Il miglioramento avviene anche in termini di volumi passando dagli attuali 1.83 milioni di m^3 a 1.36 milioni di m^3. In tale situazione si ottiene anche un minimo decremento dei livelli idrici massimi dell'ordine di qualche cm. La zona di Chiavari risulta comunque allagata, grossomodo nella medesima estensione dello stato attuale, ma solo da monte e non per tracimazione del rilevato di viale Kasman.

Tale configurazione non consente quindi ancora la difesa di Chiavari per portate duecentennali ma è propedeutica ed indispensabile per i successivi interventi di sistemazione idraulica più a monte.

Sempre lato Chiavari, sia la Fascia A (rossa) che la Fascia B (gialla) non modificano le loro dimensioni.

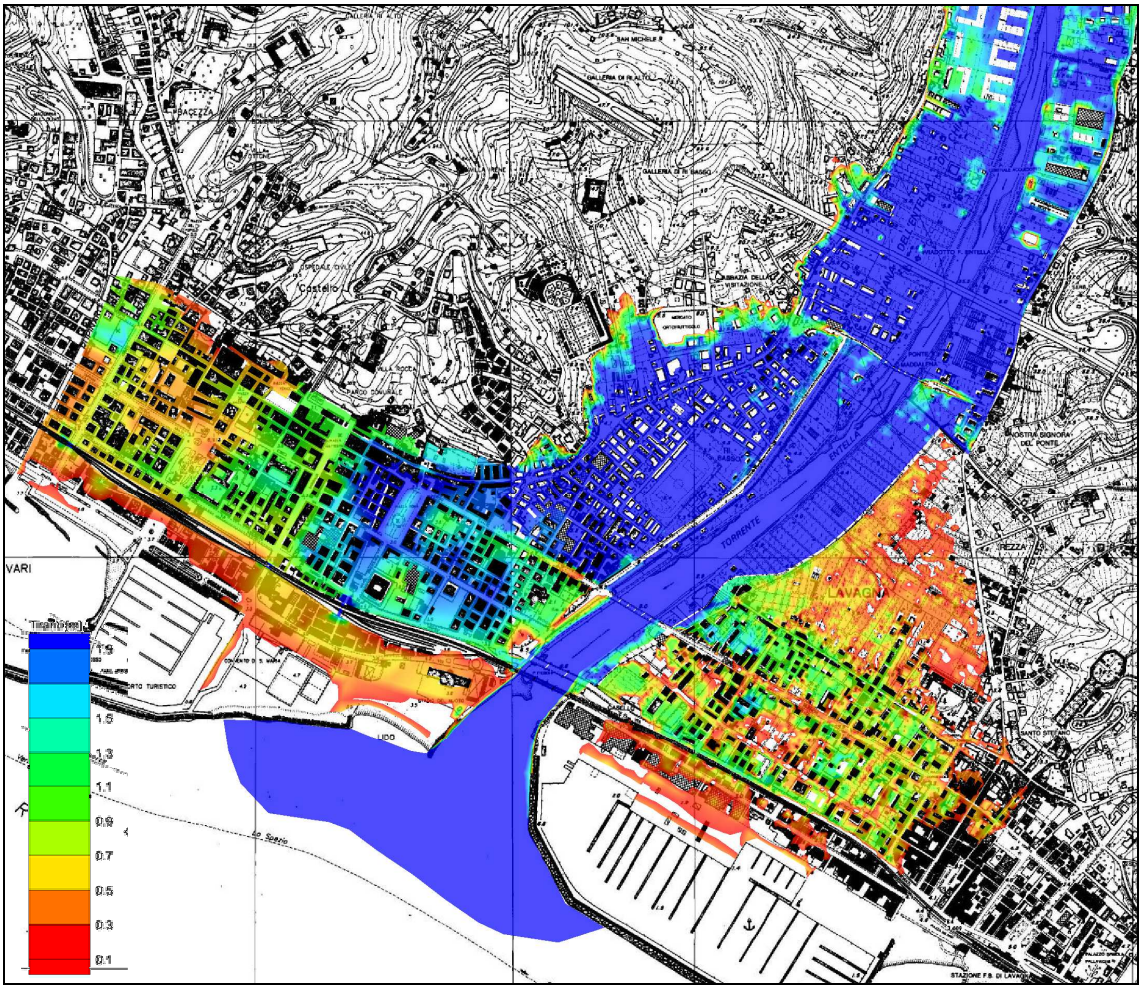


Figura 13 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio + M

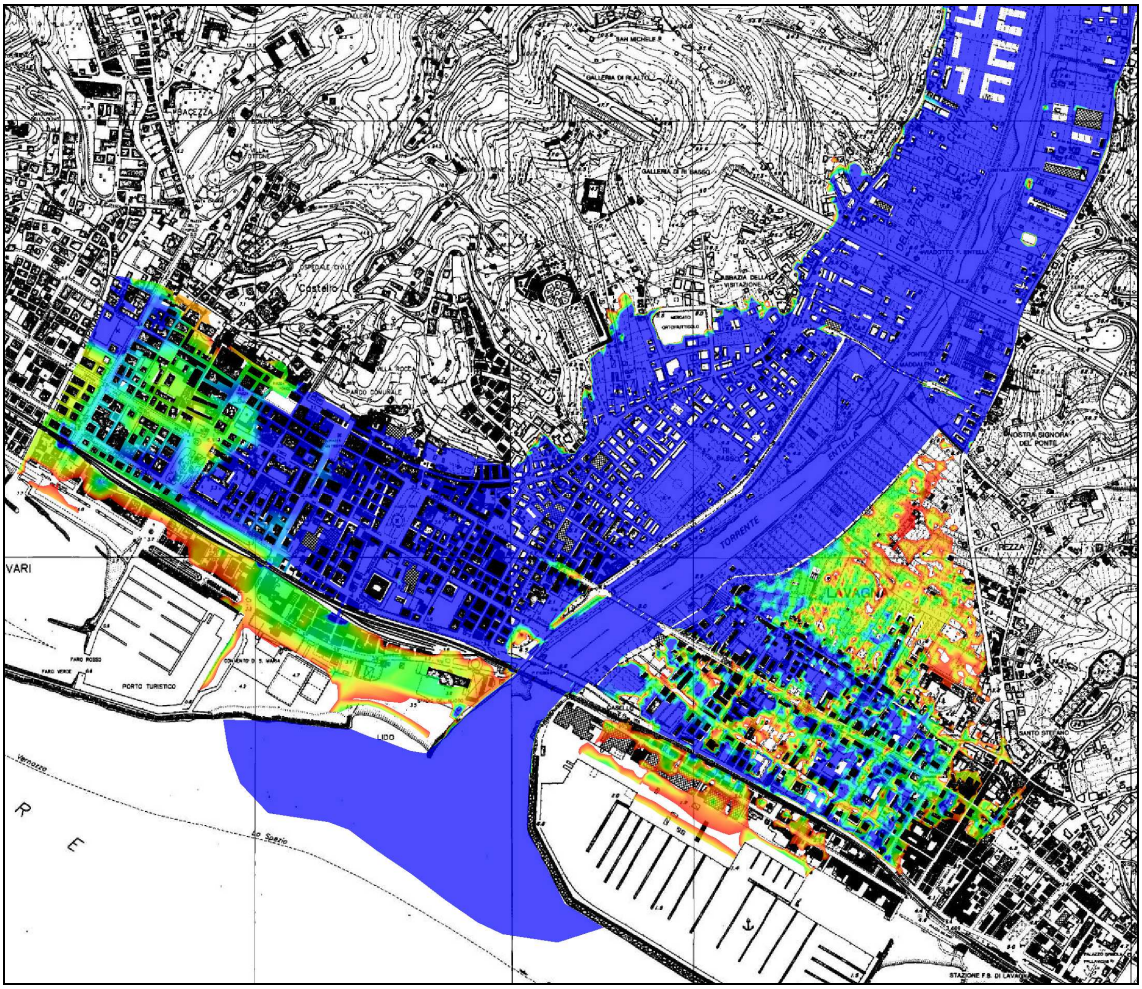


Figura 14 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°stralcio + M e tirante superiore a 70 cm; in blu i tiranti maggiori di 70 cm

5.7 Condizioni di sicurezza raggiunte con gli interventi di 1°lotto 1°+2°+3°stralcio+M

In Figura 15 sono rappresentate le massime aree inondabili per la **piena cinquantennale** a seguito della realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°+3°stralcio M; lato **Chiavari l'allagamento continua a essere sostanzialmente identico a quello dello stato attuale** in quanto, come già rilevato, proveniente esclusivamente da monte di Maddalena (vedi precedente Figura 6); **lato Lavagna si continua a non avere nessun**

allagamento: pertanto, la Fascia A (rossa) definita nelle norme del P.d.B. risulta inalterata rispetto a quella attuale a Chiavari ed **è annullata a Lavagna.**

Considerazioni identiche possono essere condotte per le piene centennali.

In Figura 16 sono rappresentate le massime aree allagabili per la **piena duecentennale**. Lato Lavagna, pur in presenza di un franco ridotto, **le condizioni di allagamento si annullano.**

Il contenimento delle acque aumenta i massimi livelli idrici di deflusso in alveo nel tratto tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires di un valore massimo di 60 cm; La realizzazione del contenimento idraulico in sponda destra e l'adeguamento del ponte di Buenos Aires consente la significativa riduzione delle portate esondate a Chiavari in caso di piena duecentennale; dagli attuali 280 mc/s si passa 179 mc/s. Il miglioramento avviene anche in termini di volumi passando dagli attuali 1.83 milioni di m^3 a 1.24 milioni di m^3.

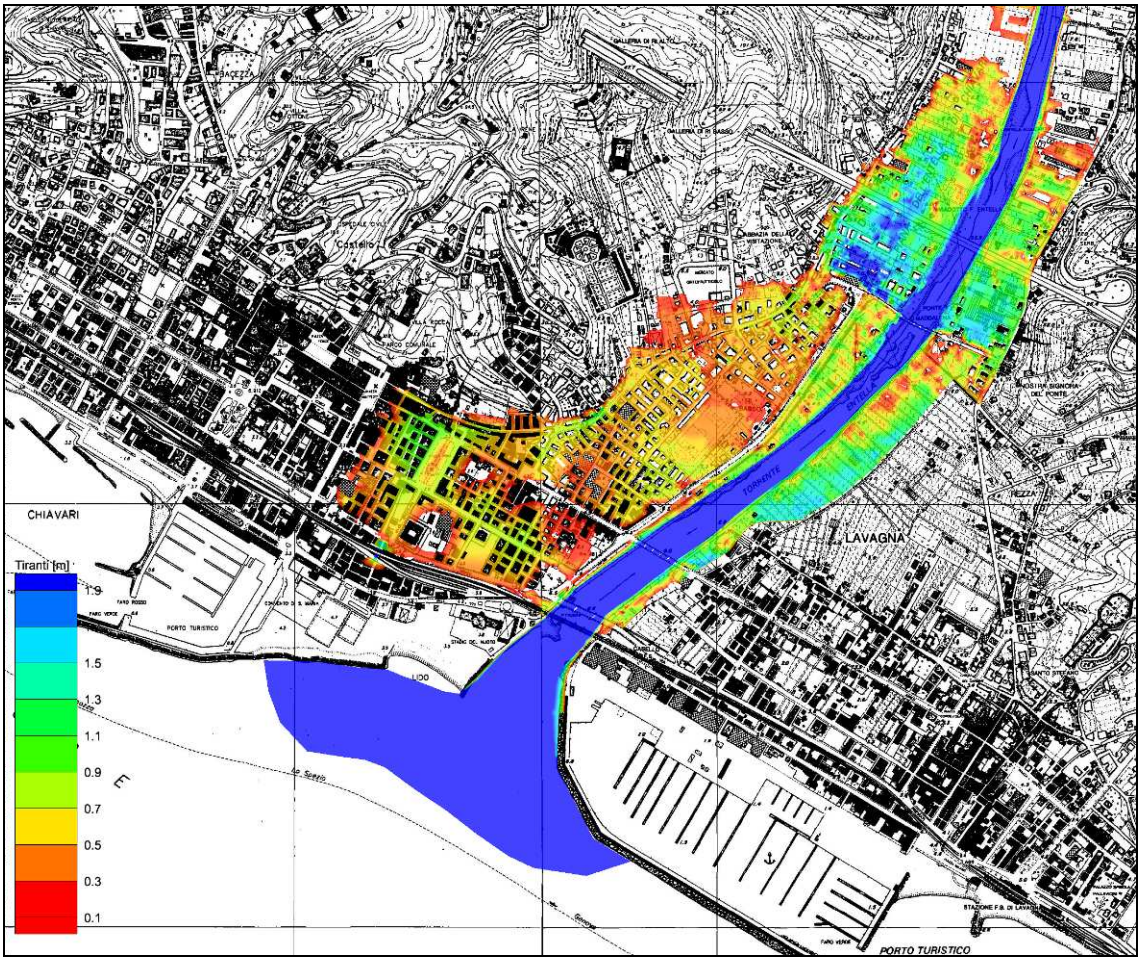


Figura 15 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=50 anni (Q=1559 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°+3°stralcio + M

In tale situazione si ottiene anche un minimo decremento dei livelli idrici massimi dell'ordine di qualche cm. La zona di Chiavari risulta comunque allagata, grossomodo nella medesima estensione dello stato attuale, ma solo da monte e non per tracimazione del rilevato di viale Kasman. Tale configurazione non consente la difesa di Chiavari tuttavia è preparatoria per tutte le attività di sistemazione idraulica più a monte.

Sempre lato Chiavari, sia la Fascia A (rossa) che la Fascia B (gialla) non modificano le loro dimensioni.

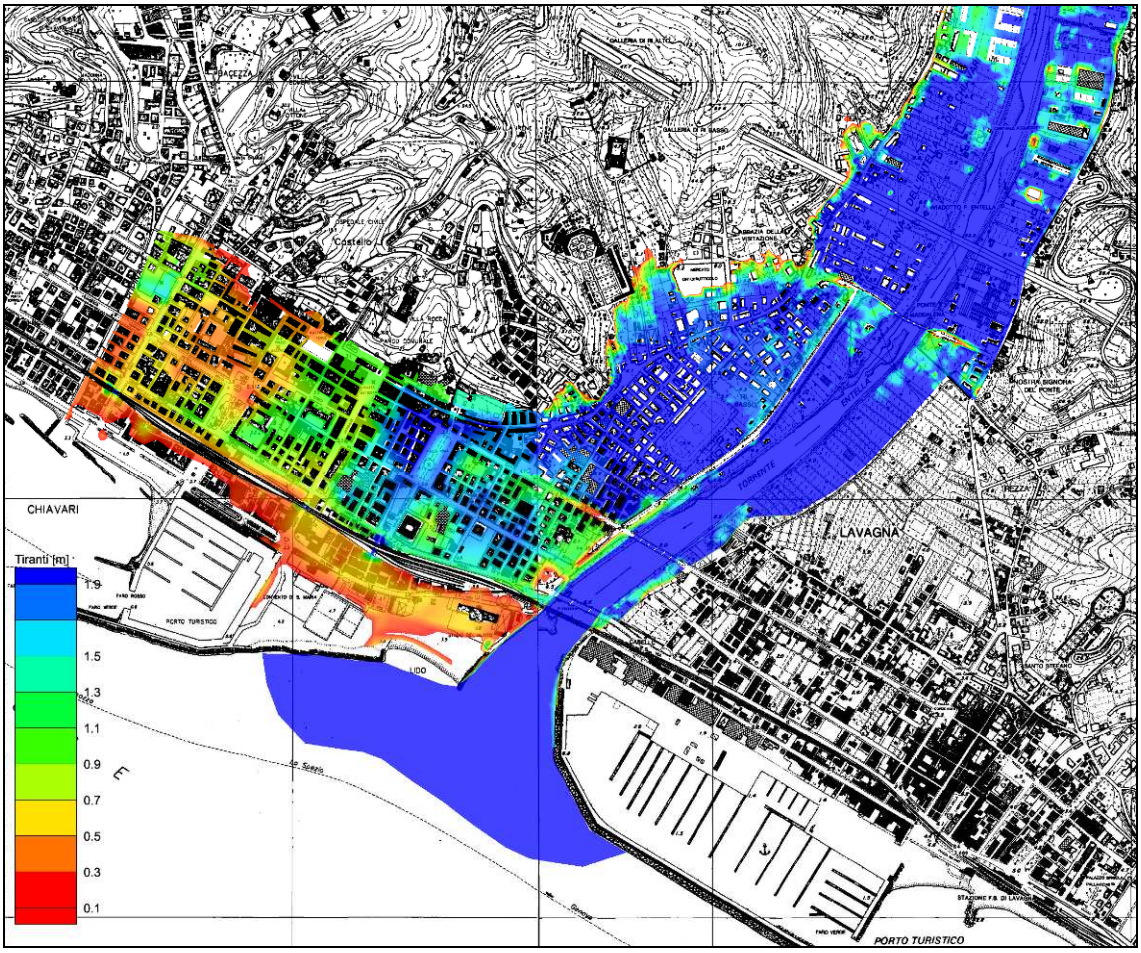


Figura 16 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°+3°stralcio + M

5.8 Studio di fattibilità degli interventi per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario-infrastrutturazione a monte del ponte Maddalena

Nell'ambito dello *"Studio di Fattibilità per la regimazione del fiume Entella e la riorganizzazione del sistema viario-infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate"* è stato implementato ed esteso il medesimo modello matematico volto a definire i parametri idrodinamici utili alla progettazione delle opere nonché verificare l'efficacia degli interventi di difesa progettati. Per una descrizione analitica della soluzione adottata si rimanda allo specifico capitolo della relazione descrittiva; in questa

sede ci si limita a ricordare che il posizionamento planimetrico delle arginature di difesa prende origine dal PP2004 ed ha subito una serie di modeste modifiche planimetriche conseguenti ad una prima "ingegnerizzazione" del PP2004 stesso sulla base dei rilievi topografici eseguiti.

Gli elementi salienti che hanno condotto alla soluzione proposta raccogliendo anche le indicazioni del gruppo di lavoro composto dai tecnici della Regione, della Provincia e di tutti i comuni interessati sono stati:

1. Normativa idraulica di riferimento
2. Coerenza con il progetto idraulico di 1°lotto 1°stralcio fra il ponte della Maddalena e la Foce
3. Dati di traffico
4. Impostazione progettuale del sistema arginatura – viabilità
5. Rivi secondari
6. Nuova soluzione progetto viale Kasman - casello autostradale
7. Edifici influenzati dall'argine o dalla strada
8. Ricollocazione delle attività produttive
9. Entella sito di importanza comunitaria
10. Ponte della Maddalena – Pedonalizzazione
11. Eliporto
12. Lavagna: Sottopasso davanti alla Chiesa Nostra Signora del Ponte
13. Chiavari: Interferenza Caserma Leone
14. Lavagna: borgata lungo l'Entella
15. Ponte di Caperana
16. Nuovo manufatto di attraversamento tra il comune di Cogorno e quelli di Carasco-Chiavari
17. Carasco: salita di san Lazzaro
18. Carasco: collegamento con la frazione di Rivarola e by pass dell'abitato
19. Norme urbanistiche per facilitare la realizzazione
20. Sottoservizi

Senza entrare nel merito delle singole problematiche resta evidente in questa sede come il mettere a sistema le diverse questioni possa da un lato consentire una visione progettuale più esaustiva e completa e dall'altro rendere maggiormente difficoltosa la definizione degli interventi.

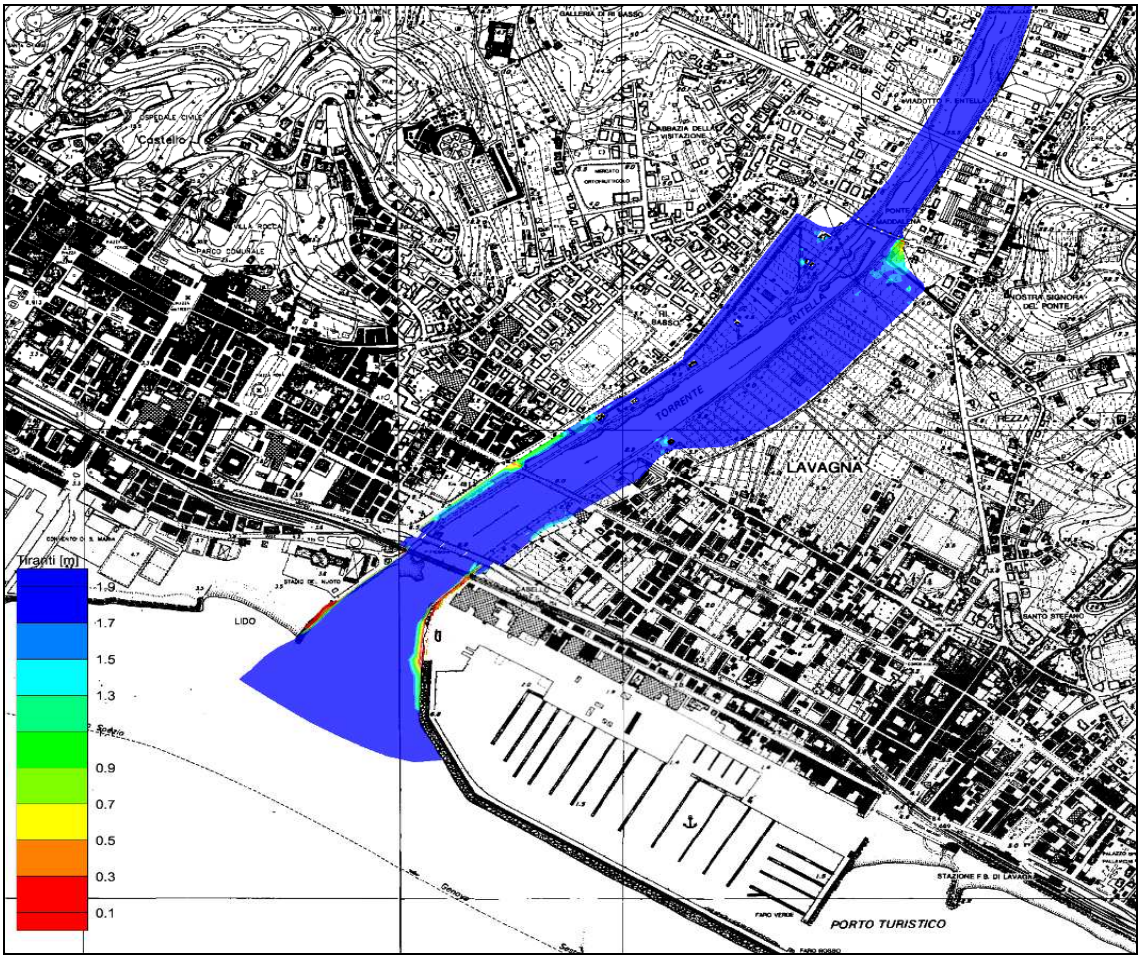


Figura 17 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°+3°stralcio+M e tutti gli interventi a monte di Maddalena (rappresentazione della zona di valle)

Venendo alle problematiche idrauliche, oltre alla localizzazione planimetrica delle arginature che talvolta è arretrata rispetto al PP2004 come ad esempio nella zona della Caserma Leone a Chiavari e talvolta avanzata verso fiume sempre comunque senza mai intaccare l'attuale alveo di magra del corso d'acqua e garantendo comunque una bancata/pista carrabile al di sopra della attuale sponda, si possono elencare i seguenti interventi volti al miglioramento della officiosità idraulica:

a) Ampliamento di una luce in sponda destra del Ponte Maddalena ad uso idraulico con relativi ampliamenti dell'alveo di magra, come peraltro già individuato nel PP2004 e nel PP2006;

b) Sostituzione del Ponte Caperana;

c) Ampliamento dell'alveo del'Entella in sponda destra per circa 350 m in prossimità del Ponte Caperana.

Le simulazioni condotte hanno quindi messo in luce il funzionamento idraulico di stato di fatto e di progetto con riferimento a tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Le simulazioni svolte hanno evidenziato la necessità di preliminari interventi nel tratto a valle di Maddalena, in particolare quelli di cui al progetto di 1°lotto 1°stralcio, 1°lotto 2°stralcio, 1°lotto 3°stralcio onde evitare che la maggiore portata che viene fatta transitare all'interno del Ponte Maddalena dalle opere di difesa di monte creino intollerabili aggravi della situazione di valle in assenza di idonee opere di contenimento laterale nonché della insufficienza del ponte di Buenos Aires che presenta un funzionamento in pressione per portate elevate.

Nella Figura 17 si può osservare che la configurazione così definita consente la messa in sicurezza di tutte le aree a tergo delle difese; con particolare riferimento all'abitato di Chiavari a valle di Maddalena, si evidenzia come la sua definitiva messa in sicurezza non può prescindere dagli interventi a monte di Maddalena.

Nella Figura 17 si può osservare la medesima configurazione per il tratto più a monte.

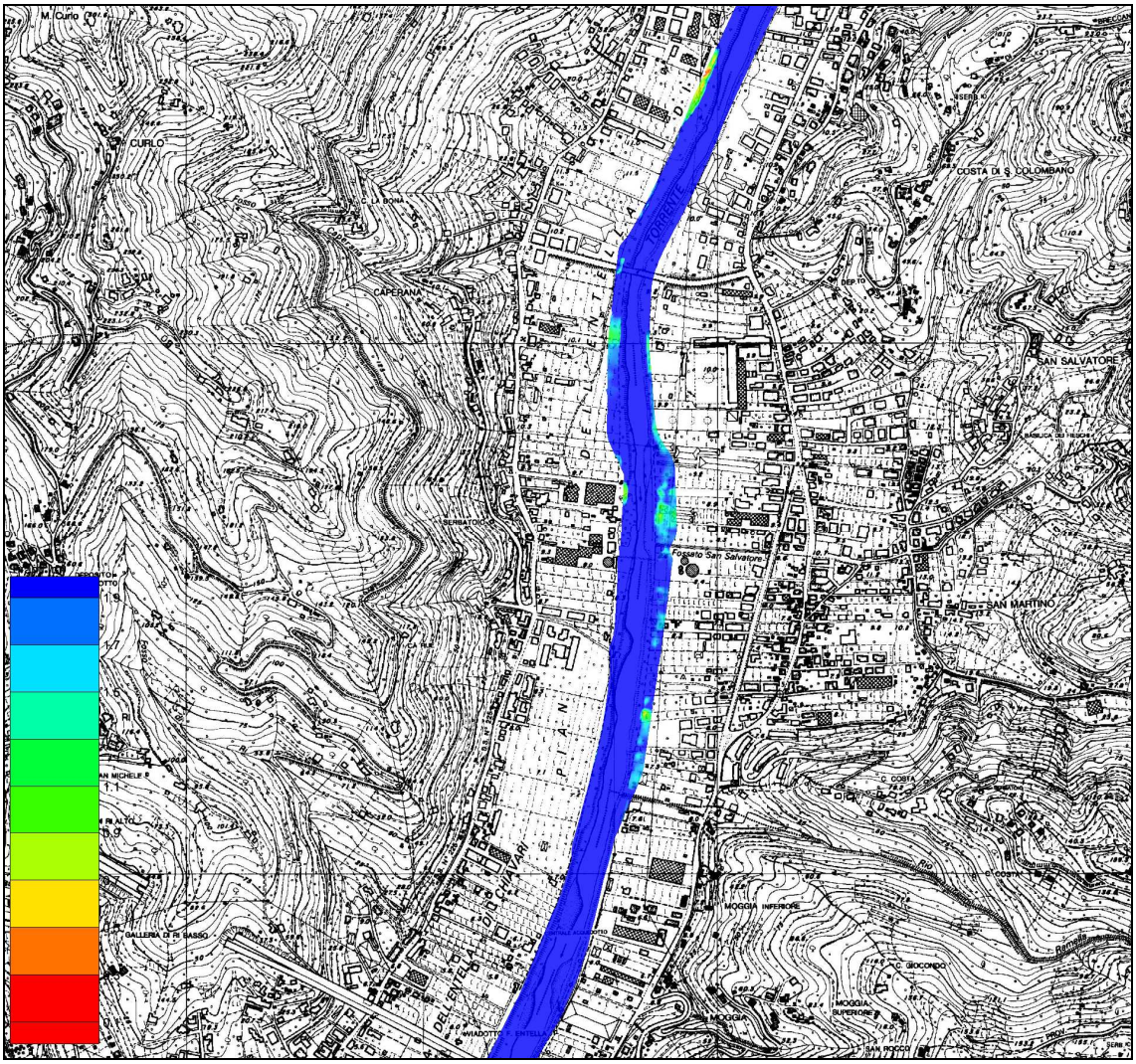


Figura 18 – Planimetria dell'inviluppo dei massimi allagamenti per portate con T=200 anni (Q=2739 mc/s) dopo la realizzazione degli interventi di 1°lotto 1°+2°+3°stralcio+M e tutti gli interventi a monte di Maddalena (rappresentazione della zona di monte).

5.9 Condizioni di allagamento dei fabbricati presenti in golena

Nel tratto di corso d'acqua tra il ponte Maddalena e Buenos Aires sono presenti diversi fabbricati, sia in sponda destra che sinistra, le cui condizioni di allagamento subiscono lievi modifiche al progredire dell'attuazione degli interventi descritti ai precedenti paragrafi (Figura 17).

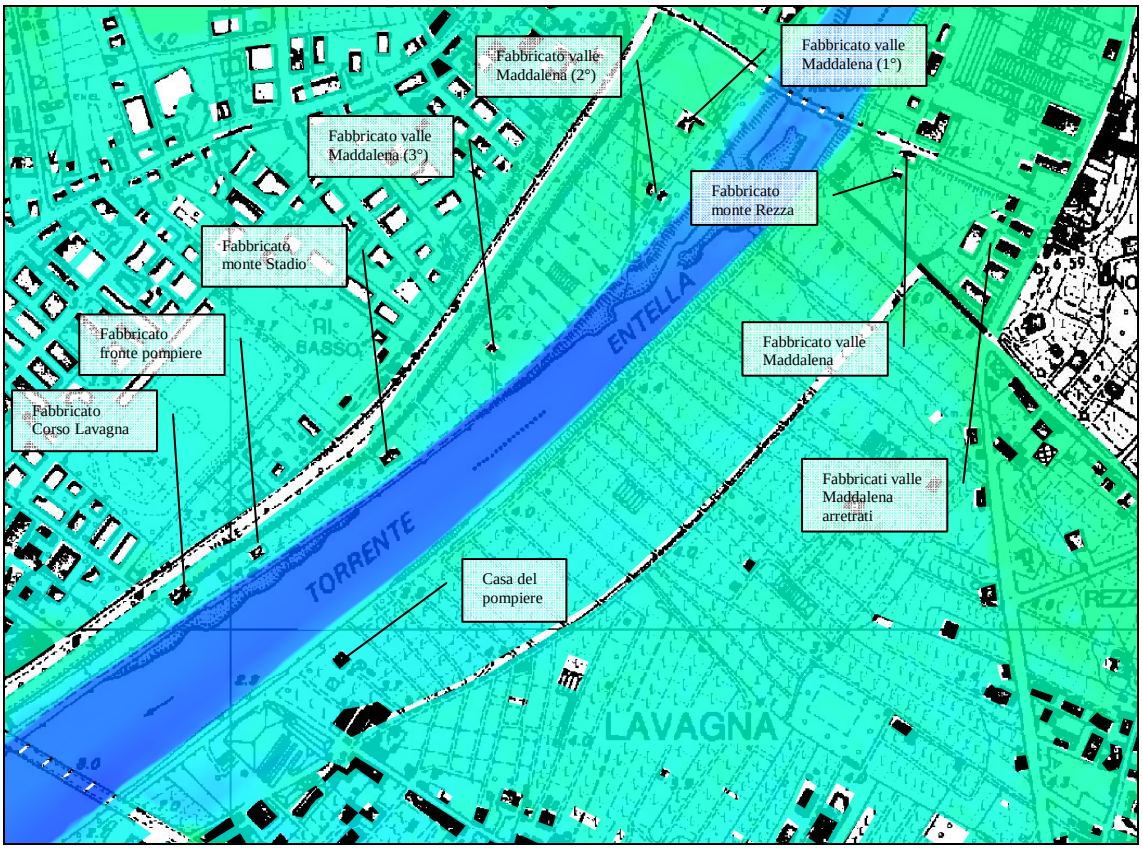
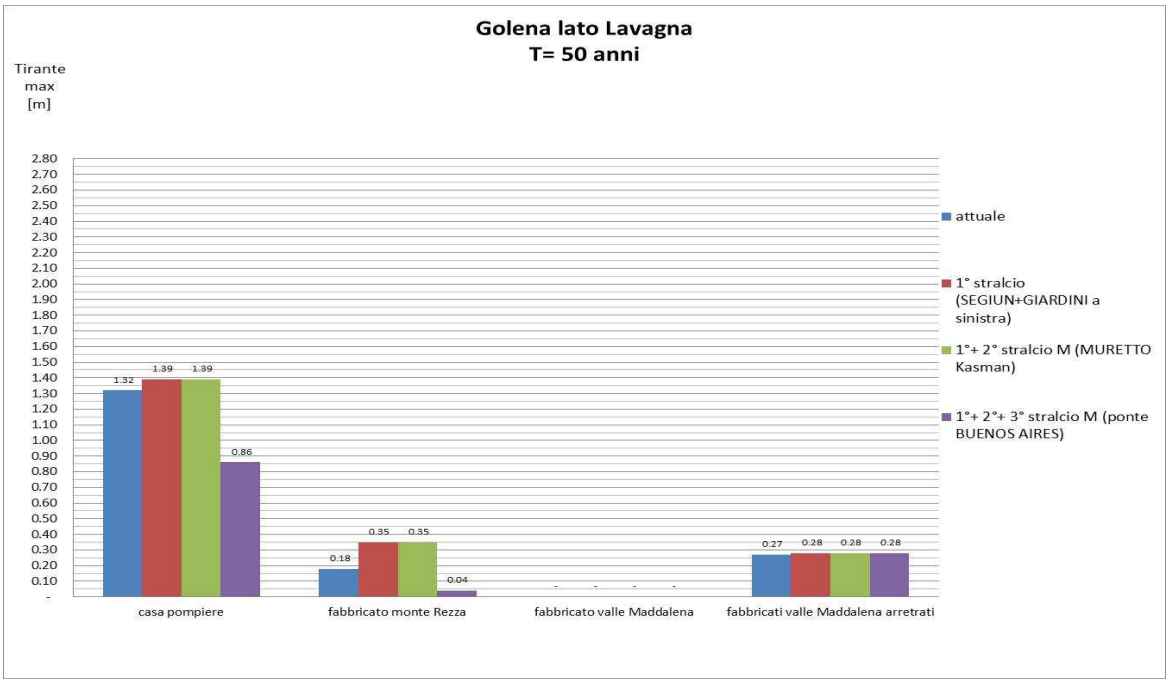
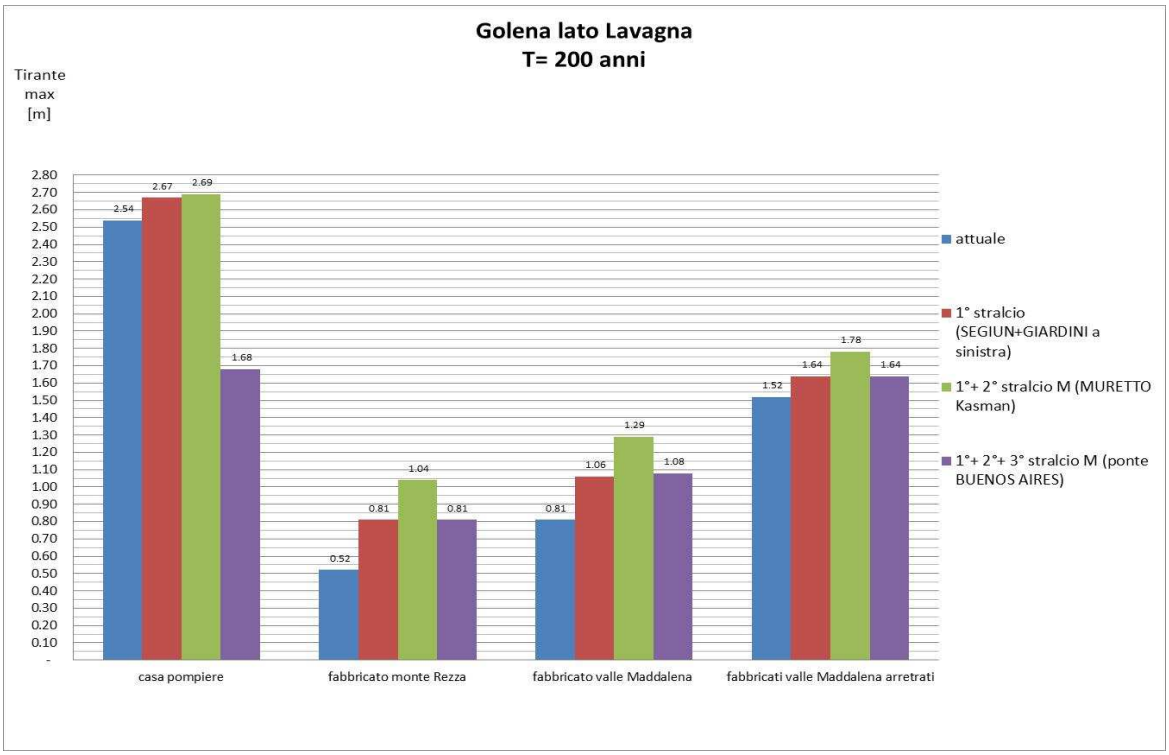
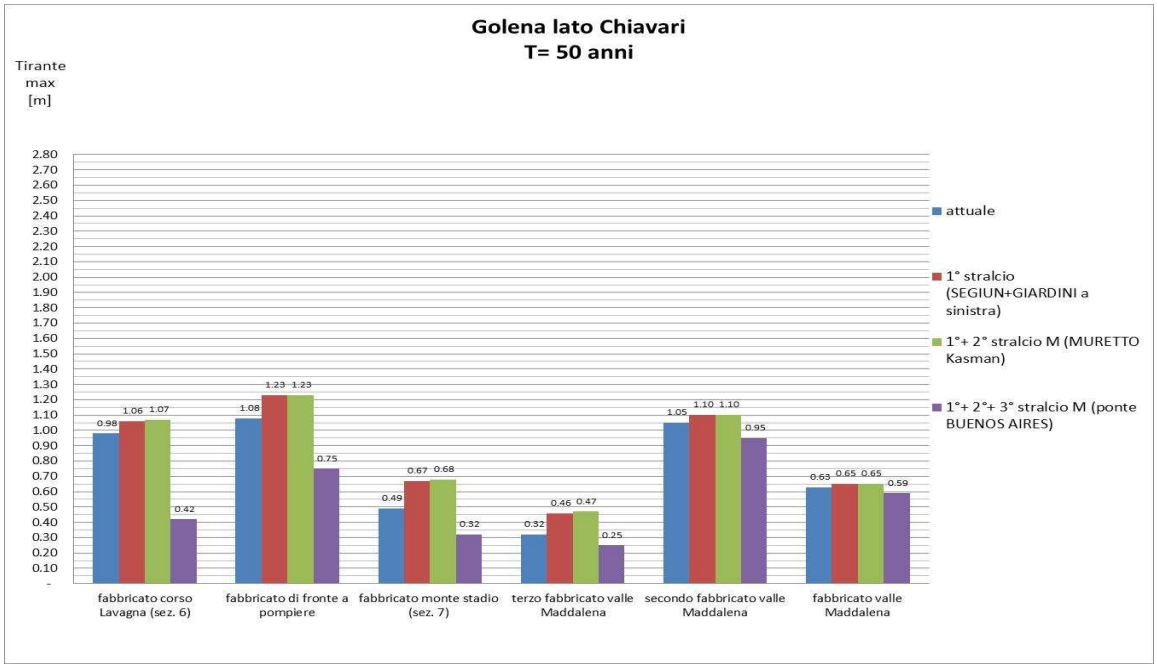


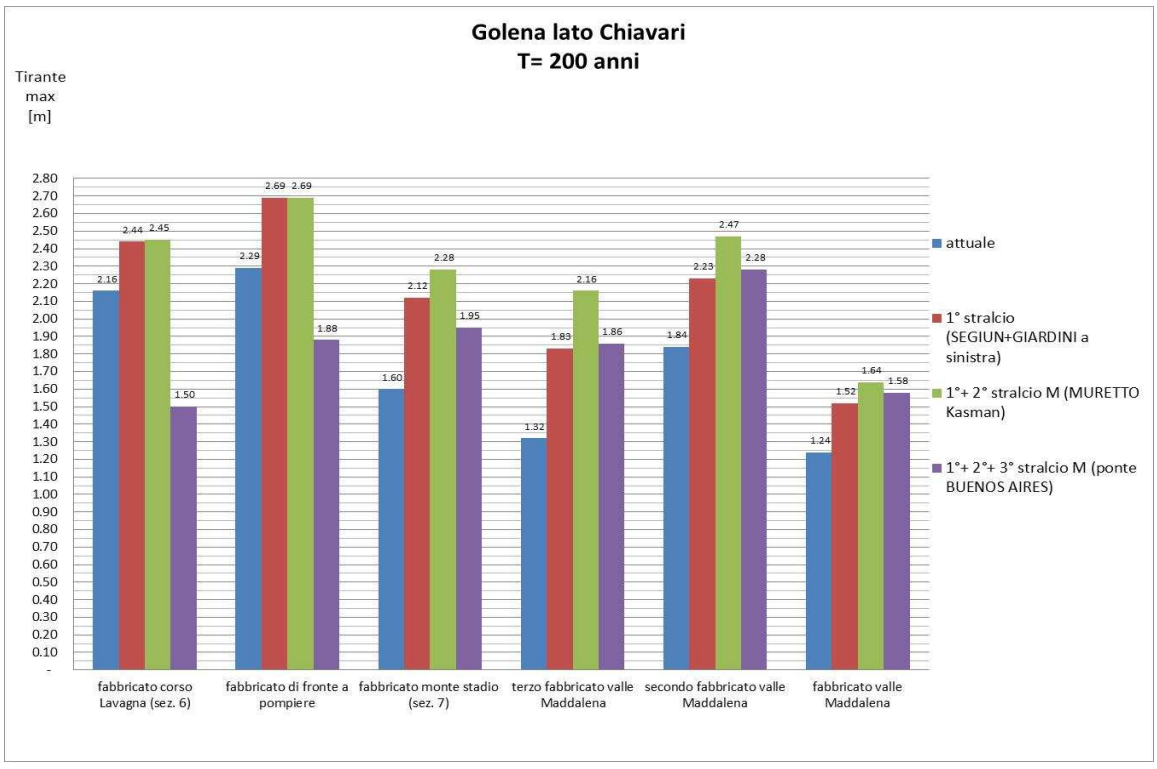
Figura 19 – Principali fabbricati presenti nella golena del corso d'acqua

Trattasi di fabbricati già attualmente in fascia A, all'interno del limite di riassetto fluviale fissato dal Piano di Bacino, le cui condizioni di allagamento sono già attualmente molto elevate tali da mettere a serio rischio le condizioni di stabilità dei fabbricati anche per piene con tempo di ritorno cinquantennale. Nelle tabelle e grafici seguenti vengono indicate le condizioni di deflusso cui sono soggette al avriare del grado di attuazione degli interventi; i valori indicati sono quelli medi sui quattro spigoli di ciascun fabbricato a partire dal piano golenale circostante. Alcuni di essi in realtà hanno un piano terra già rialzato rispetto al piano campagna per cui al situazione descritta non è rappresentativa dei reali tiranti rispetto al piano terra degli immobili.


Golena lato Lavagna
T= 50 anni
Tirante max [m]
2.80
2.70
2.60
2.50
2.40
2.30
2.20
2.10
2.00
1.90
1.80
1.70
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
-
1.32
1.39
1.39
0.86
0.18
0.35
0.35
0.04
0.27
0.28
0.28
0.28
casa pompiere
fabbricato monte Rezza
fabbricato valle Maddalena
fabbricati valle Maddalena arretrati
attuale
1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)
1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)
1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)


Golena lato Lavagna
T= 200 anni
Tirante max [m]
2.80
2.70
2.60
2.50
2.40
2.30
2.20
2.10
2.00
1.90
1.80
1.70
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
-
2.54
2.67
2.69
1.68
0.52
0.81
1.04
0.81
0.81
1.06
1.29
1.08
1.52
1.64
1.78
1.64
casa pompiere
fabbricato monte Rezza
fabbricato valle Maddalena
fabbricati valle Maddalena arretrati
attuale
1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)
1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)
1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)


Golena lato Chiavari
T= 50 anni
Tirante max [m]
2.80
2.70
2.60
2.50
2.40
2.30
2.20
2.10
2.00
1.90
1.80
1.70
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
-
0.98 1.06 1.07 0.42
1.08 1.23 1.23 0.75
0.49 0.67 0.68 0.32
0.32 0.46 0.47 0.25
1.05 1.10 1.10 0.95
0.63 0.65 0.65 0.59
fabbricato corso Lavagna (sez. 6)
fabbricato di fronte a pompiere
fabbricato monte stadio (sez. 7)
terzo fabbricato valle Maddalena
secondo fabbricato valle Maddalena
fabbricato valle Maddalena
attuale
1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)
1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)
1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)


Golena lato Chiavari
T= 200 anni
Tirante max [m]
2.80
2.70
2.60
2.50
2.40
2.30
2.20
2.10
2.00
1.90
1.80
1.70
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
-
2.16 2.44 2.45 1.50
2.29 2.69 2.69 1.88
1.60 2.12 2.28 1.95
1.32 1.83 2.16 1.86
1.84 2.23 2.47 2.28
1.24 1.52 1.64 1.58
fabbricato corso Lavagna (sez. 6)
fabbricato di fronte a pompiere
fabbricato monte stadio (sez. 7)
terzo fabbricato valle Maddalena
secondo fabbricato valle Maddalena
fabbricato valle Maddalena
attuale
1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)
1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)
1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)

GOLENA LATO LAVAGNA (T=50)

	attuale		1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)			1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)			1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)		
	Tirante max [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 1°-att [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° M - att. [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° 3° M att. [m]	Velocità max [m/s]
casa pompiere	1.32	0.89	1.39	0.07	1.29	1.39	0.07	1.29	0.86	- 0.46	1.61
fabbricato monte Rezza	0.18	0.01	*0.35*	0.17	0.01	0.35	0.17	0.01	0.04	- 0.14	0.01
fabbricato valle Maddalena	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
fabbricati valle Maddalena arretrati	0.27	1.47	0.28	0.01	1.47	0.28	0.01	1.47	0.28	0.01	1.48

GOLENA LATO LAVAGNA (T=200)

	attuale		1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)			1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)			1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)		
	Tirante max [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 1°-att [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° M - att. [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° 3° M att. [m]	Velocità max [m/s]
casa pompiere	2.54	1.37	2.67	0.13	1.81	2.69	0.15	2.24	1.68	- 0.86	2.64
fabbricato monte Rezza	0.52	0.62	0.81	0.29	0.66	1.04	0.52	0.62	0.81	0.29	0.53
fabbricato valle Maddalena	0.81	0.39	1.06	0.25	0.44	1.29	0.48	0.37	1.08	0.27	0.43
fabbricati valle Maddalena arretrati	1.52	1.55	1.64	0.12	1.43	1.78	0.26	1.25	1.64	0.12	1.41

GOLENA LATO CHIAVARI (T=50)

	attuale		1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)			1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)			1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)		
	Tirante max [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 1°-att [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° M - att. [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° 3° M att. [m]	Velocità max [m/s]
fabbricato corso Lavagna (sez. 6)	0.98	0.53	1.06	0.08	0.64	1.07	0.09	0.64	0.42	- 0.56	0.79
fabbricato di fronte a pompiere	1.08	1.24	1.23	0.15	1.41	1.23	0.15	1.42	0.75	- 0.33	1.58
fabbricato monte stadio (sez. 7)	0.49	0.95	0.67	0.18	0.97	0.68	0.19	0.98	0.32	- 0.17	1.06
terzo fabbricato valle Maddalena	0.32	0.92	0.46	0.14	0.93	0.47	0.15	0.93	0.25	- 0.07	1.01
secondo fabbricato valle Maddalena	1.05	2.62	1.10	0.05	2.64	1.10	0.05	2.64	0.95	- 0.10	2.64
fabbricato valle Maddalena	0.63	1.87	0.65	0.02	1.90	0.65	0.02	1.90	0.59	- 0.04	1.90

GOLENA LATO CHIAVARI (T=200)

	attuale		1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)			1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)			1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)		
	Tirante max [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 1°-att [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° M - att. [m]	Velocità max [m/s]	Tirante max [m]	Diff. 1° 2° 3° M att. [m]	Velocità max [m/s]
fabbricato corso Lavagna (sez.6)	2.16	0.59	2.44	0.28	1.06	2.45	0.29	1.44	1.50	- 0.66	2.12
fabbricato di fronte a pompiere	2.29	0.90	2.69	0.40	1.72	2.69	0.40	2.17	1.88	- 0.41	2.25
fabbricato monte stadio (sez. 7)	1.60	0.87	2.12	0.52	1.58	2.28	0.68	1.48	1.95	0.35	1.65
terzo fabbricato valle Maddalena	1.32	0.97	1.83	0.51	1.17	2.16	0.84	1.07	1.86	0.54	1.17
secondo fabbricato valle Maddalena	1.84	3.43	2.23	0.39	3.46	2.47	0.63	2.90	2.28	0.44	3.39
fabbricato valle Maddalena	1.24	2.53	1.52	0.28	2.56	1.64	0.40	2.59	1.58	0.34	2.62

6. CONCLUSIONI

Gli interventi di cui al presente progetto di 1°lotto 1°stralcio finanziati consentono di ottenere una elevata mitigazione del rischio per l'abitato di Lavagna eliminando gli allagamenti per tempo di ritorno pari a 50 e 100 anni, **eliminando cioè la fascia A**; ciò tuttavia non consente di usufruire liberamente del territorio in quanto la rimanente fascia B, pur essendo prodotta da allagamenti molto inferiori e molto meno frequenti di quelli attuali, è costituita da allagamenti con tiranti idrici superiori a 70 cm in gran parte dell'abitato, condizione questa che non consente di fatto alcun intervento edilizio. Per contro tale intervento di 1°lotto 1°stralcio non migliora le condizioni di Chiavari; anzi, una lettura strettamente numerica e fisica delle simulazioni duecentennali a seguito dei suddetti interventi senza una interpretazione ingegneristica delle fenomenologie potrebbe condurre a ritenere eccessivo il pur modesto aumento dei livelli in piccole zone dell'abitato di Chiavari rispetto alle condizioni attuali.

Fermo restando il fatto che la probabilità che intervenga un evento con tempo di ritorno superiore a 100 anni nel periodo transitorio tra la fine dei lavori di 1°lotto 1°stralcio ed i successivi di completamento è praticamente nulla, si sono individuati alcuni ulteriori **interventi denominati di 1°lotto 2°stralcio** nell'ambito di quelli già previsti nel Progetto preliminare generale del 2006 di 1° lotto.

Al fine poi di migliorare considerevolmente le condizioni di sicurezza anche a Chiavari, è stato individuato un **terzo set di interventi, denominati di 1°lotto 3°stralcio,** che sostanzialmente riguarda la sostituzione del ponte e spalle del ponte di Buenos Aires.

La composizione quindi degli interventi di 1°lotto 1°+2°+3° stralcio+M, associati cioè ad un leggero innalzamento di una parte delle difese di cui al progetto di 1°lotto 1°e 2°stralcio (max 50 cm), pur senza raggiungere i franchi di sicurezza previsti dal vigente PdB **consente di eliminare gli allagamenti duecentennali dall'abitato di Lavagna (fascia B**) e ridurre leggermente quelli di Chiavari. Tali interventi poi sono anche **necessari, propedeutici e sufficienti alla realizzazione degli interventi a monte del ponte di Maddalena i quali, oltre a consentire il riassetto idraulico e viabilistico di tale zona, consentiranno anche di eliminare gli allagamenti duecentennali dall'abitato di Chiavari (fascia B**).

Occorre poi infine rilevare che degli interventi di **1°lotto 1°+2° stralcio+M**, associati cioè ad un leggero innalzamento di una parte delle difese di cui al progetto di 1°lotto 1°e 2°stralcio (max 50 cm), pur senza raggiungere i franchi di sicurezza previsti dal vigente PdB consente di **ridurre significativamente gli allagamenti duecentennali dall'abitato di Lavagna e quindi limitare ad una piccola porzione dell'abitato livelli idrici superiori a 70 cm in cui non è possibile alcun intervento edilizio**.

La tabella di seguito riportata rende conto numericamente di quanto sopra sintetizzato ed ampiamente documentato e descritto nella presente relazione.

ESONDAZIONI A LAVAGNA

	attuale		1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)		1°+ 2° stralcio (MURETTO Kasman)		1°+ 2°+ 3° stralcio (ponte BUENOS AIRES)		1° stralcio M (SEGIUN+GIARDINI a sinistra)		1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)		1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS AIRES)	
	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]
Rezza*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segiun	353	2.52	108	0.37	123	0.49	25	0.06	55	0.18	43	0.16	0	0
valle Buenos Aires	202	1.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALE	**555**	**4.1**	**108**	**0.37**	**123**	**0.49**	**25**	**0.06**	**55**	**0.18**	**43**	**0.16**	**0**	**0**

* considerando già eseguiti gli interventi del Comune di Lavagna *Lavori di regimazione idraulica del Rio Rezza* a cura degli ingg. Brizzolara-Sturla

ESONDAZIONI A CHIAVARI

	attuale		1° stralcio (SEGIUN+GIARDINI		1°+ 2° stralcio (MURETTO Kasman)		1°+ 2°+ 3° stralcio (ponte BUENOS		1° stralcio M (SEGIUN+GIARDINI		1°+ 2° stralcio M (MURETTO Kasman)		1°+ 2°+ 3° stralcio M (ponte BUENOS	
	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]	Q max [m^3/s]	volume [Mm^3]
monte Maddalena	178	1.24	178	1.24	179	1.25	178	1.24	179	1.24	180	1.25	179	1.24
Kasman (monte BA)	102	0.59	285	1.99	14	0.04	0	0	322	2.13	41	0.11	0	0
TOTALE	**280**	**1.83**	**463**	**3.23**	**193**	**1.29**	**178**	**1.24**	**501**	**3.37**	**221**	**1.36**	**179**	**1.24**

Tabella 1 - Sintesi delle portate e dei volumi di esondazione, in concomitanza di eventi duecetennali, per le diverse configurazioni progettuali

ALLEGATO 2

Autorità di Bacino Regionale Comitato Tecnico di Bacino (seduta del 08/03/2012) - Contributo istruttorio in merito al progetto di sistemazione del Fiume Entella – 1° lotto

AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE
COMITATO TECNICO DI BACINO

Seduta del 08/03/2012

Contributo istruttorio in merito al progetto di sistemazione del Fiume Entella - 1° lotto

PREMESSA

La piana dell'Entella è ampiamente interessata dalle esondazioni del fiume e, in particolare, una significativa porzione degli abitati di Lavagna e Chiavari risulta inondabile per eventi con tempo di ritorno inferiore a 50 anni.

A seguito della concessione di uno specifico finanziamento regionale nel 2001 la Provincia di Genova ha affidato l'incarico per la progettazione preliminare complessiva degli interventi finalizzati alla messa in sicurezza del tratto terminale del fiume Entella.

Detto progetto complessivo, approvato, in linea tecnica dalla Provincia di Genova con deliberazione del Consiglio n° 474 del 26.10.2004, presenta un costo complessivo di 64,7 milioni di euro.

Successivamente la Provincia ha attivato un aggiornamento di detta progettazione relativamente a un 1° lotto funzionale, individuato nel tratto terminale dal Ponte della Maddalena alla foce, al fine di individuare anche gli interventi sui colatori minori non considerati nel progetto complessivo.

Il progetto preliminare del 1° lotto è stato approvato, in linea tecnica, dalla Provincia con deliberazione della Giunta n° 366 del 14.11.2007 e presenta un costo di 33 milioni di euro.

Sulla base dei finanziamenti nel frattempo assegnati la Provincia ha successivamente predisposto la progettazione definitiva di un primo stralcio del 1° lotto la cui approvazione è stata indetta apposita conferenza dei servizi nel 2011.

Nel 2011, nell'ambito dello studio di fattibilità per l'attuazione del progetto integrato di riqualificazione urbana relativo alla "Regimazione idraulica del fiume Entella e riorganizzazione del sistema viario infrastrutturale dell'intera area con connessione alle vallate" attivato nel 2009 con uno specifico protocollo d'intesa sottoscritto tra Regione, Provincia e Comuni di Chiavari, Lavagna, Carasco e Cogorno, la modellazione bidimensionale dell'intero tratto terminale dell'Entella è stata aggiornata utilizzando i dati topografici di dettaglio del rilievo Lidar messo a disposizione dal Ministro dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

L'analisi condotta congiuntamente dai competenti uffici di Regione e Provincia finalizzata all'istruttoria del 1° stralcio dell'intervento, anche ai fini dell'espressione del previsto parere di compatibilità di cui all'art. 5, comma 1, lettera d) della l.r. 58/2009 da parte del Comitato Tecnico di Bacino, ha evidenziato la necessità di realizzare, contestualmente alle opere già previste nel progetto, anche le opere di protezione in sponda destra al fine di non aggravare la pericolosità idraulica in una porzione dell'abitato di Chiavari.

Gli approfondimenti effettuati hanno portato ad individuare alcuni interventi che permettono di traguardare una sensibile mitigazione del rischio in sponda sinistra (Lavagna), con un miglioramento, seppur modesto, in termini di tiranti idrici in sponda destra (Chiavari).

In tal senso si è ritenuto opportuno, prima di attivare nuovamente la Conferenza dei Servizi, acquisire un parere preliminare da parte del Comitato Tecnico di Bacino, al fine di verificare la compatibilità delle scelte progettuali con il Piano di Bacino Ambito 16.

LE SOLUZIONI PROGETTUALI PROPOSTE

Gli interventi che fanno parte del 1°lotto 1°stralcio (già elaborati a livello di progetto definitivo) sono:

- in sponda destra, adeguamento dei muri posti in allineamento alla spalla destra del ponte Ferroviario e del ponte di Via Previati fino a raccordarsi a Viale Kasman;
- in sponda sinistra, partendo da valle si prevede di realizzare un muro tra i ponti FS e via Previati, di innalzare il piano dei giardini nel tratto compreso tra il ponte di via Previati e quello di Buenos Aires, di realizzare una nuova difesa tra B.A, e poco a monte di via Garibaldi (lungo la linea già individuata nel PP2004) e di adeguare il segiun nel tratto compreso tra la sezione 7 Pr e il Rio Rezza.

A completamento dello stralcio sono stati previsti i seguenti interventi sul reticolo minore e sulla rete fognaria meteorica:

- adeguamento della sezione del rio Rezza nel suo tratto terminale a valle del segiun;
- arretramento dell'arginatura in sponda sinistra del rio Rezza nel tratto tra il segiun e via Fieschi per consentire un futuro adeguamento dell'alveo anche in questo tratto;
- realizzazione di un canale di gronda parallelo alla difesa sinistra dell'Entella per consentire lo scarico dell'area a monte del ponte Maddalena che soggiace i livelli di piena dell'Entella nonché della rete fognaria di Lavagna anche in condizioni di elevati livelli del ricettore.

Al fine di garantire la funzionalità idraulica dello stralcio, ovvero di eliminare gli innalzamenti dei tiranti massimi che si determinavano nell'abitato di Chiavari a seguito della realizzazione degli interventi del 1° stralcio, (individuati tra quelli previsti nel progetto preliminare complessivo del 1° lotto) e di traguardare una sistemazione del tratto a valle del Ponte della Maddalena idonea a smaltire la portata duecentennale e quindi compatibile con le soluzioni previste nel tratto di monte sono stati quindi individuati i seguenti ulteriori interventi:

1° lotto – 2° stralcio

realizzazione di una difesa arginale lungo viale Kasman relativamente al tratto mediano tra il ponte Maddalena e quello di Buenos Aires nonché a valle di quest'ultimo al fine di realizzare una quota di difesa uguale a quella prospiciente sulla sponda opposta (segiun/muro/giardini).

Con la realizzazione di questi ulteriori interventi si ottengono i seguenti risultati:

- **fascia A:** rimane sostanzialmente invariata lato Chiavari (in quanto l'acqua proviene da monte del ponte della Maddalena) mentre viene annullata lato Lavagna;
- **fascia B:** lato Chiavari non si hanno modifiche significative all'estensione delle aree anche se si ha una riduzione delle portate esondanti lungo il tratto interessato dall'intervento che determina un lieve abbassamento dei tiranti massimi. Lato Lavagna le condizioni di allagamento migliorano sensibilmente con una riduzione dell'estensione delle aree (circa il 25% in meno) e una sensibile diminuzione dei tiranti massimi.

1° lotto – 3° stralcio

L'intervento consiste nella sostituzione del ponte Buenos Aires e relativi rilevati d'approccio che in relazione all'elevato ingombro trasversale ed alla ridotta quota dell'intradosso delle arcate costituisce un importate causa di innalzamento del livello idrico a monte. In questa fase, senza entrare nel merito della tipologia e caratteristiche del nuovo manufatto che sostituirà l'esistente, è stata considerata, ai fini delle verifiche idrauliche, una condizione di deflusso indisturbato che può essere ottenuta con un manufatto dotato di normali pile in alveo, campate di luce almeno doppia di quelle esistenti, ed intradosso pressoché rettilineo.

Anche a seguito della realizzazione del 3° stralcio permangono condizioni di criticità per il deflusso delle portate duecentennali in quanto, in alcuni tratti le quote delle difese previste nei primi due stralci di intervento non risultano adeguate.

È stata quindi prevista la modifica delle opere progettate negli stralci 1 e 2 che consiste in un modesto innalzamento (meno di 50 cm) di una parte delle difese. (intervento codificato con la lettera M)

Con la realizzazione dei tre stralci e con la modifica di per alcuni tratti delle quote selle sommità arginali si ottengono i seguenti risultati:

- **fascia A:** rimane sostanzialmente invariata lato Chiavari (in quanto l'acqua proviene da monte del ponte della Maddalena) mentre viene annullata lato Lavagna;
- **fascia B:** lato Chiavari non si hanno modifiche significative all'estensione delle aree per le esondazioni provenienti da monte; il contenimento delle portate due centennali lungo l'intero allineamento di viale Kasman determina tuttavia un decremento dei livelli idrici massimi dell'ordine di qualche cm. Lato Lavagna, pur in presenza di un franco ridotto, le condizioni di allagamento si annullano.

Viene quindi proposta come primo stralcio funzionale la realizzazione degli interventi previsti dagli stralci 1 e 2 con le quote delle sommità arginali adeguate (***1°lotto 1°+2°stralcio+M***).

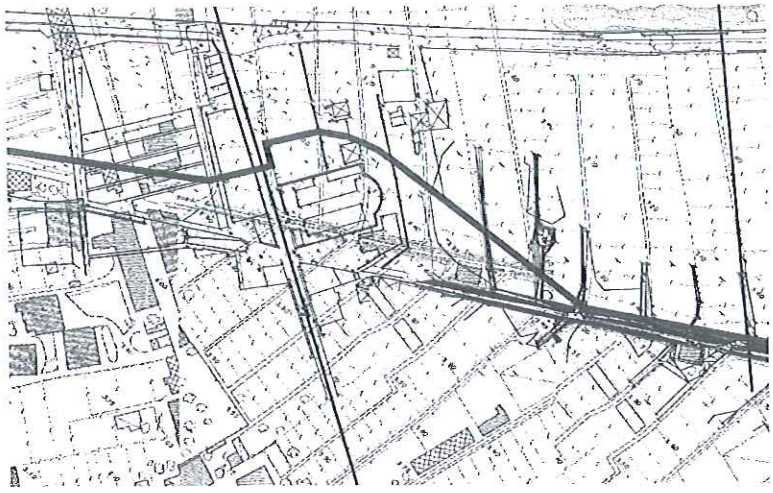
Con la realizzazione di questi stralci si ottengono i seguenti risultati:

- **fascia A:** rimane sostanzialmente invariata lato Chiavari (in quanto l'acqua proviene da monte del ponte della Maddalena) mentre viene annullata lato Lavagna;
- **fascia B:** lato Chiavari non si hanno modifiche significative all'estensione delle aree anche se si ha una significativa riduzione delle portate esondanti lungo il tratto interessato dall'intervento che determina un lieve abbassamento dei tiranti massimi. Lato Lavagna le condizioni di allagamento si riducono drasticamente con una riduzione dell'estensione delle aree e una sensibile diminuzione dei tiranti

massimi che rimangono maggiori di 70 cm solo per un'estensione di circa 0,11 km^2 (a fronte dell'attuale estensione pari a 0,69 km^2.

CONSIDERAZIONI ISTRUTTORIE

- Il presente contributo istruttorio è propedeutico all'espressione del parere di compatibilità che dovrà essere espresso sul progetto in coerenza agli "Indirizzi procedurali e modalità operative per l'espressione dei pareri di compatibilità degli interventi di sistemazione idraulica e geologica di cui all'art. 5, c. 1, lett. d) della l.r. 58/2009" approvati con D.G.R. 1361 del 19.11.2010.
- il progetto nel suo complesso appare coerente con i criteri e gli indirizzi dell'Autorità di Bacino, in quanto mirato alla messa in sicurezza del tratto terminane dell'Entella per il deflusso della portata duecentennale in un'area densamente urbanizzata;
- gli interventi prospettati risultano coerenti con le previsioni del "piano degli interventi per la mitigazione del rischio" del Piano di bacino sul rischio idrogeologico dell'Ambito 16 che aveva già recepito il progetto preliminare complessivo del 2004 e il successivo aggiornamento del 1° lotto relativo al tratto a valle del Ponte della Maddalena;
- si ritiene non ammissibile la realizzazione del solo 1° stralcio (sponda sinistra) in quanto, pur riducendo sensibilmente il rischio per l'abitato di Lavagna (viene eliminata la fascia A), determina un incremento del rischio in Comune di Chiavari e pertanto non costituisce un "lotto funzionale" come definito, tra l'altro, dalla D.G.R. 1361/2010;
- gli interventi minimi da realizzare per garantire la funzionalità idraulica dell'intervento sono quelli individuati nell'ipotesi progettuale comprendente gli stralci 1 e 2;
- risulta tuttavia opportuno, anche per economicità realizzativa, prevedere la realizzazione degli argini con le quote delle sommità arginali già adeguate al contenimento delle portate duecentennali dopo il rifacimento del ponte di corso Buenos Aires e quindi il primo stralcio funzionale da realizzare è quello che viene identificato con la dicitura **1° + 2° stralcio + M**;
- deve essere verificata la possibilità di modificare il tracciato della difesa arginale in corrispondenza dell'intersezione con Via Garibaldi al fine di limitare il restringimento della golena anche prevedendo la demolizione parziale del capannone che sembra determinare tale andamento;



- la modellazione idraulica nelle varie configurazioni è stata effettuata imponendo, come condizione al contorno di valle, il livello del mare a quota 0.5 m s.m.m. sia in foce, che a valle della linea di litorale prospiciente gli abitati di Chiavari e Lavagna; al fine di valutare gli effetti di possibili condizioni meteo-marine avverse in concomitanza con un evento di piena eccezionale sarebbe opportuno effettuare una verifica, almeno nella configurazione finale di progetto imponendo una condizione al contorno di valle più gravosa per il deflusso;
- deve essere verificato che tutte le opere siano tali da configurarsi come opere idrauliche ed in particolare come arginature a tutti gli effetti, con tipologie strutturali adeguate e con garanzie di sormontabilità senza cedimenti per tenere in debita considerazione la presenza di franchi idraulici ridotti e per la fase transitoria prima dell'adeguamento idraulico del ponte Buenos Aires;
- devono essere indicate le condizioni necessarie di manutenzione delle opere e dell'alveo ai fini del mantenimento delle condizioni di deflusso progettate, nonché, ai fini della successiva riperimetrazione, va individuato in termini espliciti il soggetto responsabile della manutenzione stessa. In particolare dovrà essere chiarito se lo scatolare previsto in adiacenza dell'arginatura lungo la sponda sinistra con funzioni di canale di gronda per consentire lo scarico dell'area a monte del ponte Maddalena che soggiace i livelli di piena dell'Entella nonché della rete fognaria di Lavagna anche in condizioni di elevati livelli del ricettore sia da considerare corso d'acqua o collettore fognario e chi dovrà quindi farsi carico della sua manutenzione;
- la principale criticità che si rileva è quella relativa al significativo numero di edifici, sia di civile abitazione che adibiti ad attività commerciali e/o artigianali, presenti nelle due aree golenali che si vengono a creare con la realizzazione delle arginature.

  Detti volumi edilizi risultano già allo stato attuale esposti ad elevato rischio di inondazione tuttavia dette condizioni risulteranno aggravate in quanto gli stessi verranno a essere confinati dalle nuove arginature e conseguentemente, in particolare per eventi di piena con tempo di ritorno duecentennale, si avrà un l'incremento dei tiranti idrici che, in alcuni casi, può raggiungere valori significativi.

  Si rileva peraltro che detto incremento dei tiranti, conseguente alla realizzazione degli interventi di 1° e 2° stralcio M, viene in parte recuperato con il rifacimento del ponte di Corso Buenos Aires che determina un miglioramento anche rispetto allo stato attuali per gli edifici più prossimi al manufatto stesso.

  Il mantenimento di detti edifici appare quindi incompatibile con la configurazione di progetto che ricomprende dette aree all'interno delle previste arginature e pertanto deve essere prevista la loro totale delocalizzazione attraverso specifici strumenti incentivanti.

  Nell'immediato si ritiene indispensabile:
  - l'adozione di specifici vincoli di tipo urbanistico su detti edifici, anche attraverso l'introduzione della fascia di riassetti fluviale nel piano di bacino;
  - l'adozione, da parte dei Comuni, delle necessarie azioni di protezione civile;
  - la mitigazione dell'esposizione al rischio attraverso idonei strumenti di auto-protezione e/o accorgimenti costruttivi anche imponendo, se del caso, limitazioni d'uso alle parti maggiormente esposte al pericolo
  - attivarsi per recuperare le risorse per il rifacimento del ponte di corso Buenos Aires in quanto l'adeguamento di detto attraversamento risulta necessario per:
    - ridurre in maniera significativa gli effetti, in termini di massimi tiranti idrici, che possono interessare le abitazioni che rimangono confinate all'interno

delle arginature andando altresì a ridurre detti tiranti anche rispetto agli attuali per gli edifici più prossimi al manufatto;

- garantire una ulteriore significativa mitigazione dei rischio in sponda sinistra;
- procedere alla realizzazione degli interventi previsti nella parte a monte del ponte della Maddalena che consentiranno, tra l'altro, la messa in sicurezza dell'abitato di Chiavari andando a eliminare l'esondazione in sponda destra nel tratto a monte del ponte della Maddalena.