ITEC engineering

Comune di Cogorno

Committente:
Comune di Cogorno

Livello di Progetto:
Definitivo

Titolo:

MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E MESSA IN SICUREZZA LOC. SAN SALVATORE-TRATTI TERMINALI FOSSATO SAN SALVATORE E RIO PESSA-LOTTO 2: RIO SAN SALVATORE E RIO PESSA 8tratto tombinato)

Oggetto:

Relazione idraulica

Codice Progetto:
P077-21

Nome File:
P077-21-D-RE-IDR-201-A.

Firme:



Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	Prima emissione	MI	21/01/22	DR	21/01/22

ITEC engineering S.r.l.
SEDE LEGALE E UFFICI
19038 SARZANA(SP)
Via B. P. U. Muccini, 54A
TEL. +39 0187 610532
FAX +39 0187 610775
info@itec-engineering.it

UFFICI
16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi, 7/9-10
TEL.+39 010 5959690
FAX +39 010 5848355
www.itec-engineering.it

Codice Fiscale e Partita IVA 01236860118
Numero Iscrizione CCIAA SP 01236860118
REA CCIAA SP112013
Capitale sociale Euro 100.000.00 i.v.

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA
efca
ACCREDIA
FIDIC
apave Certification
ISO 9001
N° SC 10-2588/IAF 34
ISO 14001
N° SCA 19-3491/IAF 34
ISO 45001
N° SCS 20-336/IAF 34

È vietata a norma di legge la riproduzione, anche parziale, non autorizzata di questo documento

INDICE

1 PREMESSA 2

2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 3

2.1 DESCRIZIONE 3
2.2 CRITICITÀ IDRAULICHE 5

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 6

4 INTERVENTI IN PROGETTO 12

4.1 STUDIO DI FATTIBILITA' 12
4.2 PROGETTO DEFINITIVO 12
4.2.1 Criteri progettuali 12
4.2.2 Descrizione degli interventi 13
4.2.3 Recepimento prescrizioni della conferenza del progetto preliminare 15

5 VERIFICHE IDRAULICHE 18

5.1 PORTATE DI RIFERIMENTO 18
5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 18
5.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA 18
5.4 RISULTATI 19
5.4.1 Stato attuale 19
5.4.2 Stato di progetto 20
5.4.2.1 Verifiche vasca di sedimentazione piena 21
5.4.2.2 Analisi di sensitività 22

6 STABILITA' A LUNGO TERMINE DELLA SOLUZIONE PROPOSTA 25

6.1 STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DEI SEDIMENTI 25
6.2 ANALISI DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO 25
6.3 PROFILI DI EQUILIBRIO 28

Allegati:

ALLEGATO A: Verifiche idrauliche

Appendici:

APPENDICE 1: Software di calcolo Hec-Ras 6.1

1 PREMESSA

La presente relazione fa parte del progetto definitivo del Lotto 2 per le opere volte alla *"Mitigazione rischio idraulico e messa in sicurezza in Località San Salvatore"* nel comune di Cogorno.

Essa contiene la verifica e il dimensionamento idraulico delle opere necessarie all'adeguamento idraulico dei tratti terminali coperti del fossato San Salvatore e del rio Pessa, suo affluente di sinistra.

Gli interventi di adeguamento si rendono necessari per ovviare alle attuali criticità idrauliche evidenziate dal Piano di Bacino ambito 16, che inserisce tutta l'area urbanizzata di Cogorno a cavallo dei due corsi d'acqua come inondabile per evento con tempo di ritorno 50-ennale (fascia A).

Il presente progetto costituisce un'integrazione e approfondimento dello Studio di fattibilità tecnica ed economica redatto nel 2017 dallo Studio Tecnico Associato Brizzolara-Sturla per conto del Comune di Cogorno.

Rispetto allo studio di fattibilità, che prevedeva la realizzazione a breve termine di interventi "minimali" sui tratti esistenti, rimandando la messa in sicurezza definitiva alla realizzazione di un canale scolmatore del rio Pessa, il presente progetto ha sviluppato una soluzione che consenta per tutti i tratti il deflusso della portata 200-ennale, con franchi minimi compatibili con i vincoli imposti dalla complessità dell'area attraversata.

In particolare per i tratti tombinati si sono traguardati valori del franco compresi tra 1.0 m e 1.5 m con il carico totale inferiore all'intradosso, mentre per i tratti a cielo aperto il franco minimo rispetto agli argini è stato assunto pari a 0.5 m sempre con carico contenuto.

Gli interventi di progetto consentono una sensibile riduzione del rischio idraulico delle aree urbane attraversate dai due corsi d'acqua, senza la necessità di ricorrere alla realizzazione del canale scolmatore, che è un'opera complessa e costosa sia da un punto di vista realizzativo che della sua manutenzione.

Le analisi numeriche sulla sensitività del modello e sulla stabilità della soluzione proposta, hanno consentito di verificare la sua efficacia sia in termini di rischio residuale che di suo mantenimento nel tempo.

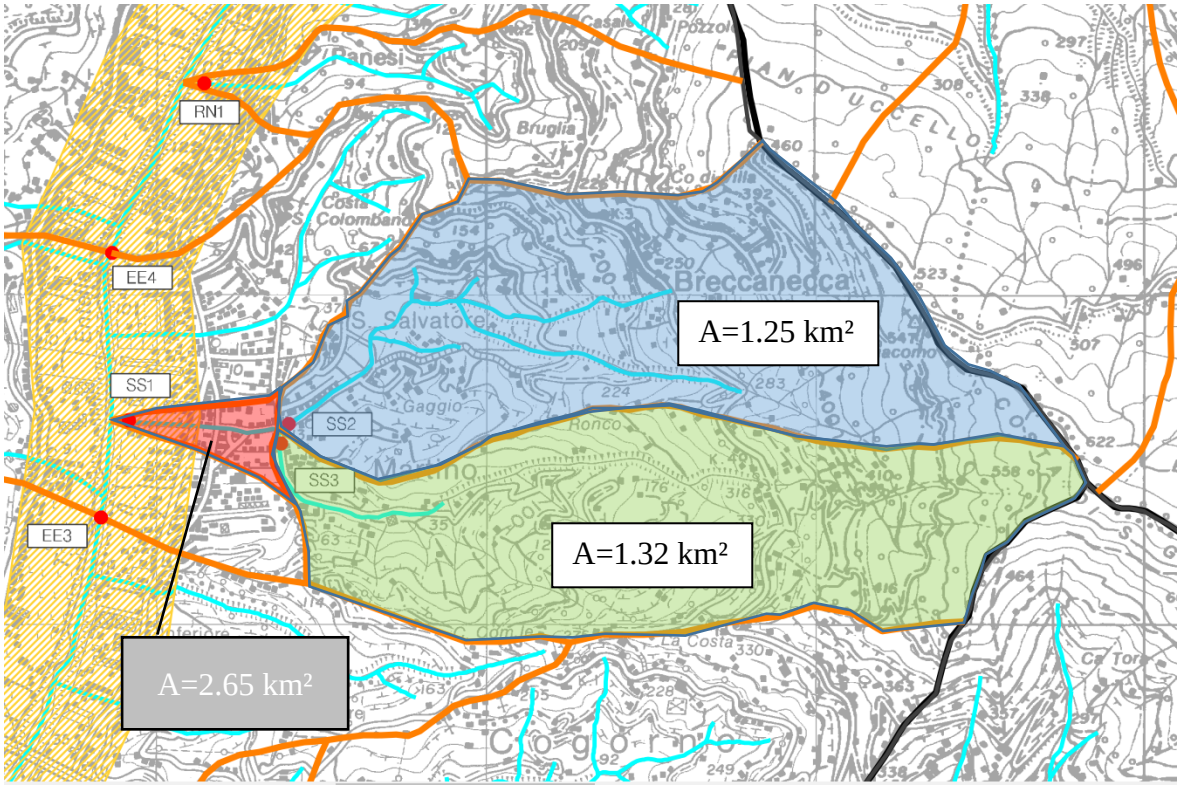
2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE

2.1 DESCRIZIONE

Il fossato San Salvatore, con il suo affluente principale rio Pessa, è un affluente di sponda sinistra del fiume Entella, in cui confluisce in prossimità dell'abitato di San Salvatore di Cogorno.

L'area del bacino chiuso alla sezione di sbocco nell'Entella è di 2.65 km^2, quella del rio Pessa è di 1.25 km^2, mentre quella del fossato San Salvatore a monte della confluenza con il rio Pessa è di 1.32 km^2.

Nella figura seguente è riportato il bacino del fossato San Salvatore con l'indicazione dei due sottobacini principali, estratto dalla cartografia del Piano di Bacino ambito 16.



L'asta principale ha una lunghezza di circa 3.0 km con una pendenza media del 20% circa.

Il fossato San Salvatore risulta tombinato nel suo tratto terminale da loc. Gaggio (in corrispondenza della basilica dei Fieschi) sino all'altezza della SP 33, per una lunghezza di circa 600 m.

Il tratto a cielo aperto a monte della tombinatura ha una sezione rettangolare di larghezza 6 m circa delimitato da muri d'argine in pietra dell'altezza di 3 m circa; il fondo alveo ha una pendenza media del 5.0% circa ed è costituito prevalentemente da ciottoli e ghiaia.

Prima dell'imbocco della tombinatura è presente una vasca di sedimentazione con una briglia a pettine, con un volume utile di circa 200 m^3.

Il tratto tombinato tra la vasca e la confluenza con il rio Pessa, della lunghezza di circa 390 m, è costituito da uno scatolare in c.a. di larghezza variabile tra 2.5 m e 5.3 m (media 3.9 m) e altezza compresa tra 2.2 m e 3.0 m circa (media 2.5 m), con pendenza media pari al 3.0% circa.

Esso si sviluppa al di sotto di via Bertulla, strada a doppio senso di marcia della larghezza di circa 6.5 m, sino all'incrocio con via alla Basilica dei Fieschi e via San Martino.

Il tratto tombinato a valle della confluenza con il rio Pessa, della lunghezza di circa 250 m, è costituito da uno scatolare in c.a. di larghezza variabile tra 3.1 m e 4.8 m (media 4.1 m) e altezza compresa tra 1.8 m e 2.9 m circa (media 2.3 m), con pendenza media pari all' 1.1% circa.

Esso si sviluppa al di sotto di Via alla Basilica dei Fieschi nel tratto compreso tra l'incrocio con Via San Martino e la SP. 33, strada a doppio senso di marcia con parcheggi, della larghezza di circa 9.0 m, delimitata per gran parte del suo sviluppo da edifici di civile abitazione su entrambi i lati.

Il tratto terminale a cielo aperto di valle, della lunghezza di circa 180 m, ha sezione rettangolare delimitata da muri parte in pietra parte in cls, con larghezza variabile tra 2.6 m e 3.5 m (media 3.2 m) e altezza compresa tra 2.2 m e 4.0 m circa (media 3.0 m), con pendenza media pari all' 1.1% circa.

Il tratto è caratterizzato dalla presenza di una viabilità pedonale lungo la sponda destra e da aree private sulle sponda sinistra.

In corrispondenza dello sbocco nel fiume Entella il corso d'acqua è attraversato da un ponticello in c.a. di larghezza 4.3 m circa e luce libera 3.3 m, con fondo plateato.

Il rio Pessa presenta un primo tratto di monte a cielo aperto, della lunghezza di circa 300 m, caratterizzato da sezioni di forma trapezia delimitate da muri d'argine in pietra e in cls e da versante naturale, con larghezze al fondo variabili tra 2.6 m e 4.2 m (media 3.6 m) e altezza compresa tra 1.3 m e 2.8 m (media 2.0 m), con pendenza media pari al 3.0% circa; il fondo alveo è naturale, costituito da ciottoli e ghiaia.

Prima dell'imbocco del tratto terminale tombinato è presente una vasca di sedimentazione con una briglia a pettine, con un volume utile di circa 70 m^3. Tale vasca è oggetto dell'intervento Lotto 1.

Il tratto tombinato del rio Pessa si sviluppa al di sotto di via San Martino, strada carrabile a due sensi di marcia di larghezza variabile tra 5.0 m e 8.0 m circa.

Il tratto di monte della tombinatura, realizzato più recentemente, per una lunghezza di circa 150 m, ha una sezione scatolare di dimensioni medie 4.9x3.0 m, con pendenza pari al 2.8% circa.

Il seguente tratto di tombinatura, della lunghezza di 230 m circa, ha larghezza variabile da 2.9 m a 4.3 m (media3.5 m), altezza compresa tra 2.0 m e 2.8 m (media 2.2 m), con pendenza 1.8 %.

2.2 CRITICITÀ IDRAULICHE

Il tratto tombinato del fossato San Salvatore risulta insufficiente al deflusso di portate inferiori alla 50-ennale, indipendentemente dai livelli di piena nel fiume Entella.

Ciò provoca inondazioni e allagamenti lungo Via Bertulla e Via alla Basilica dei Fieschi e delle aree urbane adiacenti, dove è presente anche una scuola, oltre alla sede del Comune.

Anche il tratto terminale tombinato del rio Pessa risulta insufficiente al deflusso della portata 50-ennale, con conseguente rischio di allagamento lungo Via San Martino e nelle aree urbane adiacenti; l'insufficienza permane anche nel tratto a cielo aperto di monte con allagamento della strada comunale, dei terreni privati e delle abitazioni lungo il suo sviluppo.

La criticità è confermata dalla mappatura delle aree inondabili e delle aree storicamente inondate del Piano di Bacino Ambito 16, che riporta in fascia A (zona rossa) tutte le aree a cavallo dei due corsi d'acqua.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico Ambito 16[1],e dal Regolamento Regionale n°3 del 14/07/2011[2] così come modificato dalla DGR n°181 del 11/03/2016 e dalla DGR n. 1205 del 27/12/2019 (indirizzi in materia di autorizzazioni idrauliche).

Il fossato San Salvatore e il rio Pessa sono inseriti tra i corsi d'acqua significativi nella cartografia del Piano e nel reticolo idrografico della Regione Liguria[3].

Nelle figure seguenti sono riportati gli estratti cartografici del PdB, della cartografia regionale.

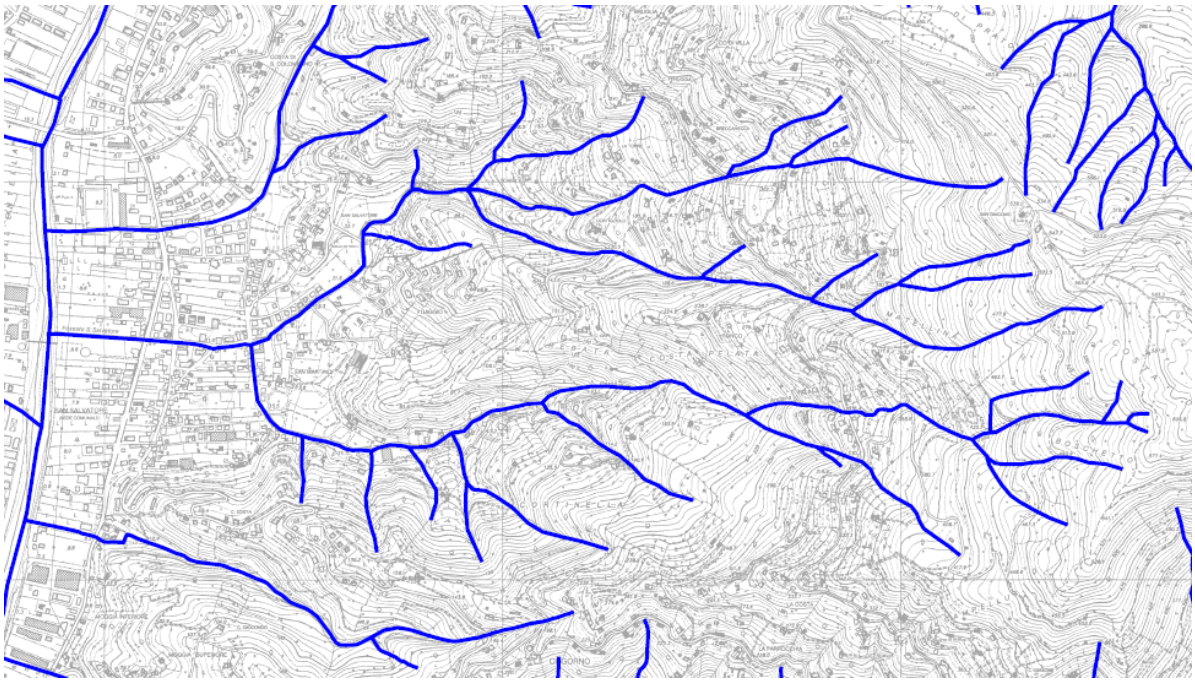


Figura 3.1 : Estratto Carta reticolo significativo del PdB

[1] approvato con DCP n. 3 del 29/01/2003, ultima variante approvata DDG n. 2093 del 12/04/2021 entrata in vigore 28/04/2021

[2] *Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua*

[3] DGR n.507 del 21/06/2019

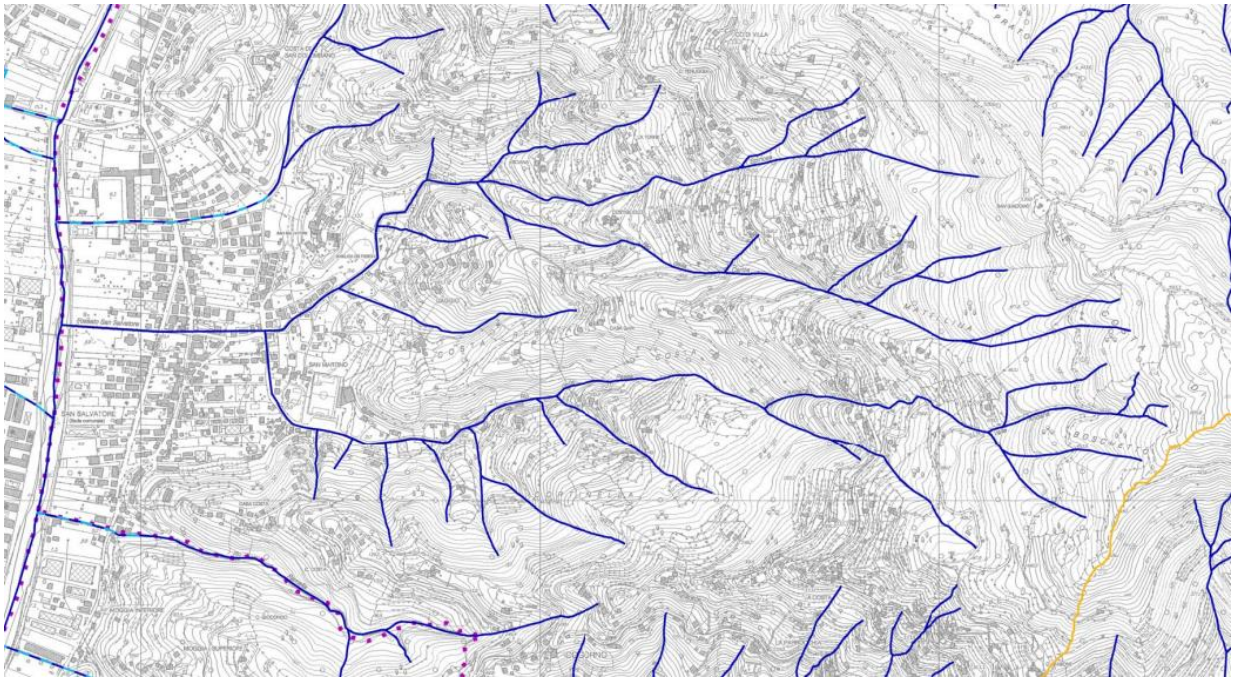


Figura 3.2 : Estratto Carta del reticolo regionale

Il rio risulta indagato nel PdB e dalla cartografia catastale risulta con sedime demaniale.

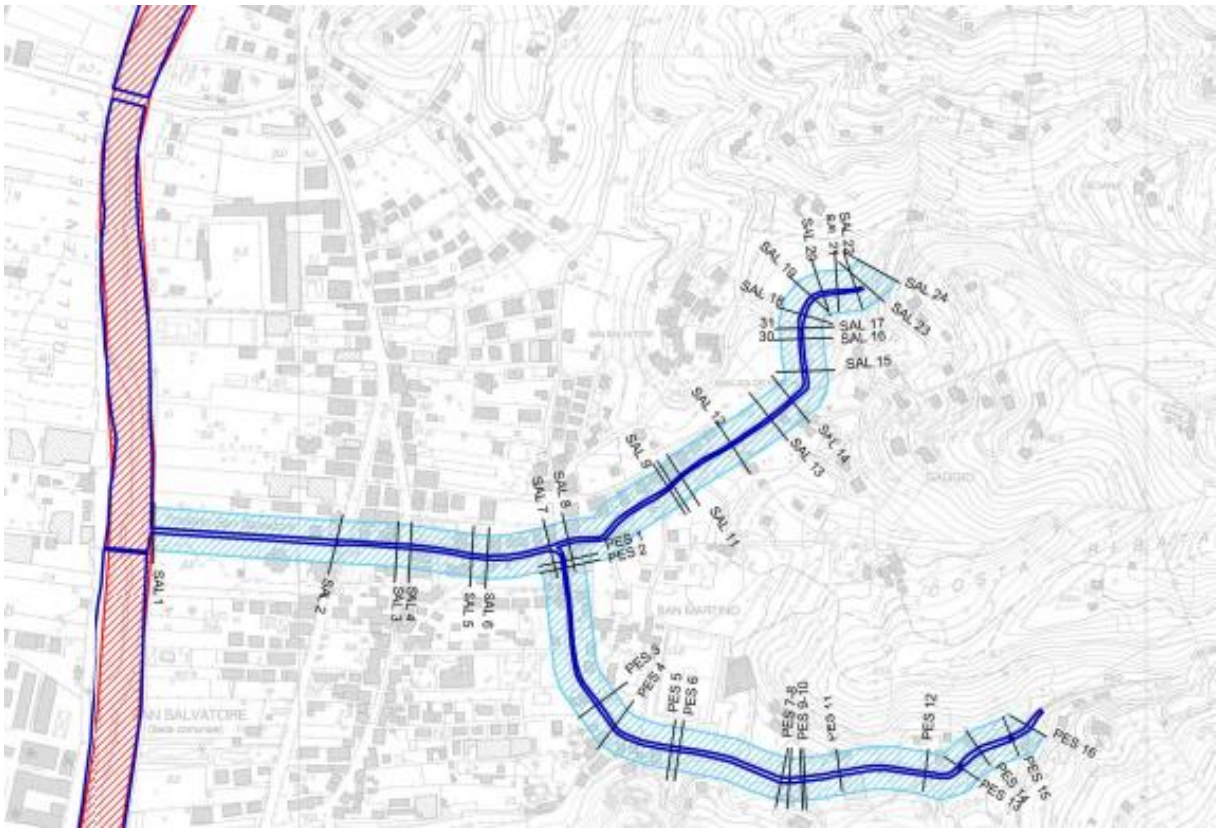


Figura 3.3: Estratto Carta delle tracce delle sezioni idrauliche e dei tratti indagati del PdB

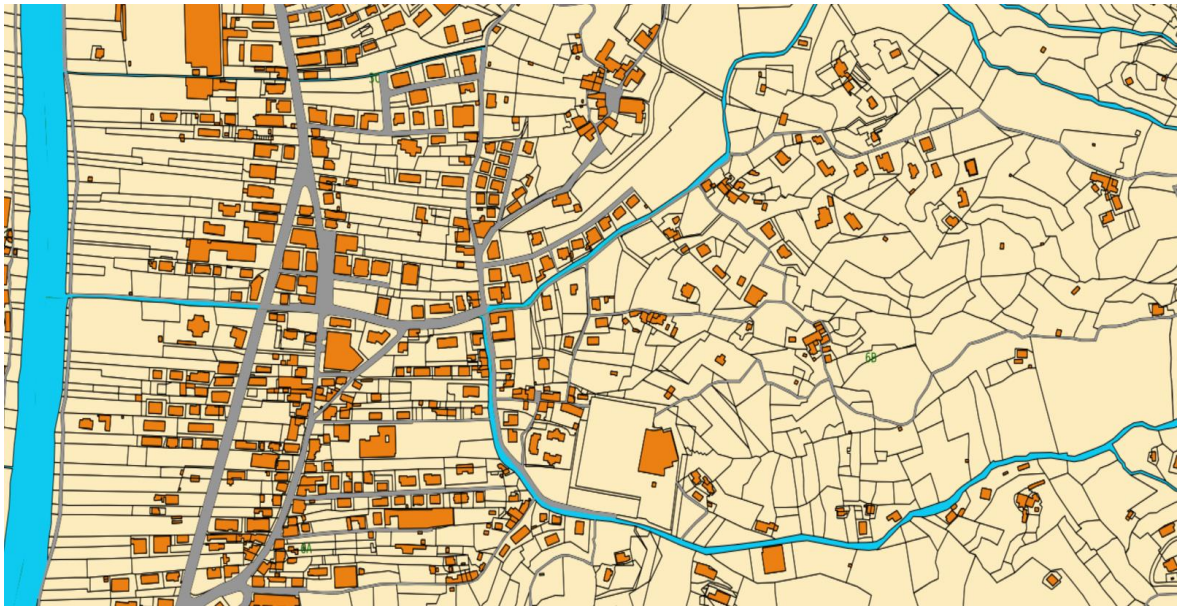


Figura 3.4: Estratto carta catastale comune di Cogorno fogli 3 e 6

Il Piano di Bacino inserisce tutta l'area terminale del fossato San Salvatore da monte della confluenza con il rio Pessa e tutto il rio Pessa da monte del campo sportivo fra quelle in Fascia A come mostra l'estratto della carta delle Fasce fluviali riportato nella figura seguente.

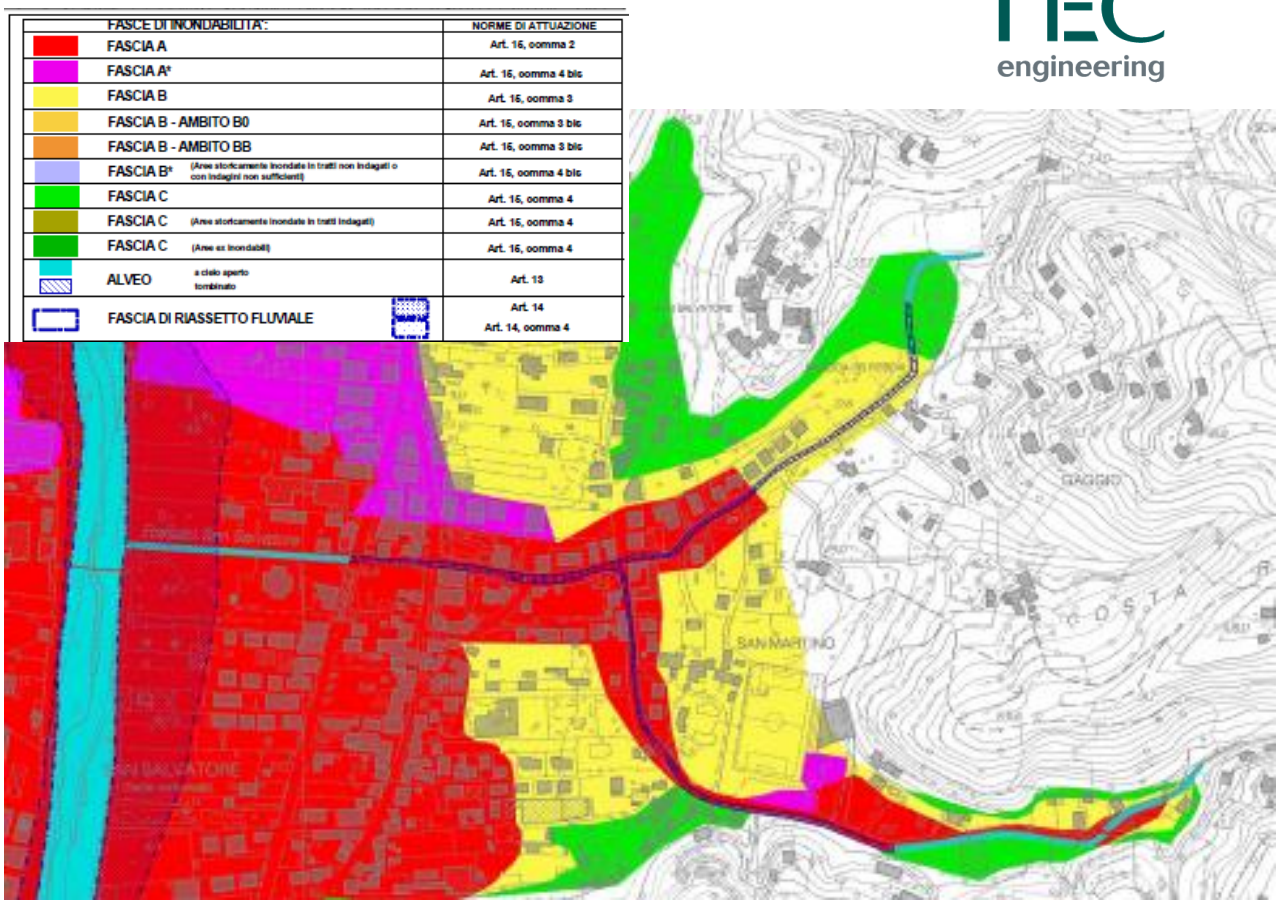


Figura 3.5: Estratto Carta delle fasce di indondabilità

In base al Regolamento sia il fossato san salvatore che il rio Pessa sono classificabili come corsi d'acqua di primo livello (bacino sotteso compreso superiore a 1.0 km^2).

Il Regolamento definisce i franchi minimi ammissibili tra il livello di piena e la sommità degli argini/intradosso dei ponti, e i parametri di scabrezza da assumere nelle verifiche idrauliche.

Per il reticolo idrografico di primo, secondo e terzo livello i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra i valori della tabella seguente:

	Tipologia di opera	1° e 2° livello	3° livello
I	Argini e difese spondali	cm 50/100 H_c	cm 50 $0.5 \cdot H_c$
II	Ponti e strutture di attraversamento fino ad estensioni longitudinali di 12 m	cm 100/150 H_c	cm 75 $0.5 \cdot H_c$
III	Coperture e tombinature, ponti e strutture di attraversamento oltre 12 m	cm 150/200 H_c	cm 100 $0.5 \cdot H_c$

Tabella 3.I

Dove H_c è il carico cinetico della corrente definito come $U^2/2g$, con $U[m/s]$ velocità media della corrente e $g[m \cdot s^{-2}]$ accelerazione di gravità, e i due valori estremi corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati e molto dissestati.

Per le opere di cui al punto III della prima colonna (primo e secondo livello), nel caso di modesta rilevanza dell'opera e di bacini sistemati, il franco può essere derogato dall'amministrazione competente fino a 100 cm.

Il coefficiente di scabrezza da utilizzare nelle verifiche idrauliche, deve essere desunto dalla seguente tabella.

Descrizione	Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corso d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tabella 3.II

Il Piano di Bacino prevede per il fossato San Salvatore il seguente intervento SS:

Sebbene l'intera tombinatura non risulti adeguata allo smaltimento della portata duecentennale, è possibile prevedere, quale intervento di riduzione del rischio a breve termine, l'eliminazione della strozzatura costituita dal primo tratto della tombinatura del rio della Pessa; in tal caso, pur non raggiungendo il franco previsto rispetto al carico cinetico, si ottiene una notevole riduzione del rigurgito a monte dell'imbocco con complessivo beneficio del deflusso della piena. In ogni caso, appare comunque utile prevedere a lungo termine la progettazione di un intervento complessivo di sistemazione dell'intera area volto all'eliminazione del rischio idraulico. Infine appare indispensabile ricordare l'importanza di mantenere in perfetta funzionalità le vasche di sedimentazione esistenti all'imbocco delle due tombinature, mediante costante manutenzione periodica a cura del concessionario delle stesse.

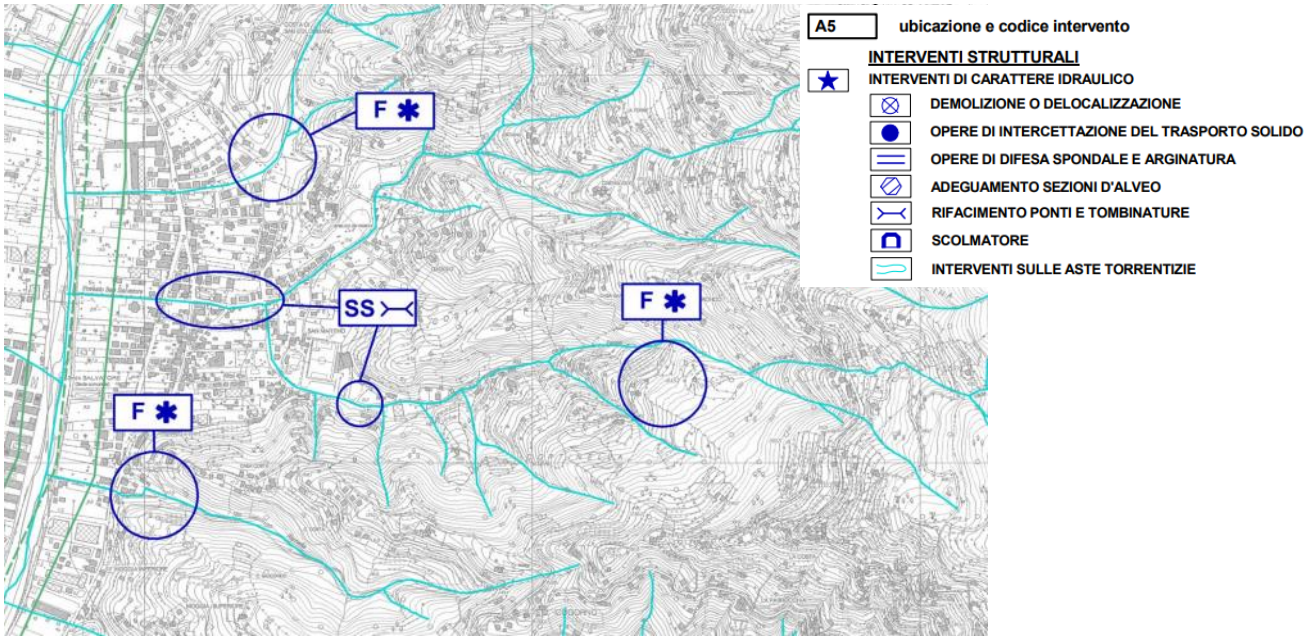


Figura 3.6: Estratto Carta degli interventi

4 INTERVENTI IN PROGETTO

4.1 STUDIO DI FATTIBILITA'

Il progetto di fattibilità tecnica ed economica è stato redatto nel 2017 dallo Studio Tecnico Associato Ing. Sergio Brizzolara e Ing. Stefano Sturla per conto del Comune di Cogorno.

Il progetto proponeva di suddividere gli interventi in due "livelli":

- mitigazione del rischio idraulico (contenimento piena 200-ennale con franchi idraulici ridotti)
- scenario progettuale (contenimento portata 200-ennale con franco idraulico di legge).

Il progetto ha sviluppato solo gli interventi relativi al primo livello, mentre per il raggiungimento dell'obiettivo del secondo livello si proponeva la realizzazione di uno scolmatore delle portate di piena del rio Pessa.

Gli interventi di mitigazione del rischio idraulico prevedevano in sintesi:

- sistemazione del tratto a cielo aperto del rio Pessa con rifacimento tratti di arginatura e risagomatura alveo, oltre a interventi di consolidamento e/o sottomurazione arginale a tratti;
- spostamento verso monte del pettine selettivo esistente;
- realizzazione di un parapetto al di sopra delle arginature realizzate in somma urgenza in corrispondenza dell'imbocco del rio Pessa;
- rifacimento del tratto coperto del fossato San Salvatore a valle della confluenza con il rio Pessa e di un breve tratto a monte della confluenza stessa;
- allargamento in sinistra idraulica del tratto terminale a cielo aperto e l'abbassamento del salto di fondo esistente immediatamente a monte dell'immissione del fiume Entella.

Il progetto non prevedeva alcun intervento sul tratto tombinato del rio Pessa al di sotto di Via San Martino.

4.2 PROGETTO DEFINITIVO

4.2.1 Criteri progettuali

In accordo con quanto indicato nel Piano di Bacino (intervento SS) la sistemazione prevista si propone di consentire il deflusso della portata 200-ennale, compatibilmente con i vincoli imposti dalla complessità dell'area attraversata.

Quest'ultima è caratterizzata dalla presenza di un tessuto urbano molto denso (centro abitato di Cogorno) con una viabilità principale (SP 33) ed una ordinaria (Via alla Basilica dei Fieschi, Via Bertulla, Via San Martino) e la presenza di edifici di civile abitazione su entrambi i lati della viabilità (tra cui una scuola elementare e la sede del Comune di Cogorno), oltre alla presenza di numerosi sottoservizi.

In tale contesto si è cercato per quanto possibile di mantenere il tracciato attuale del corso d'acqua allargando e/o approfondendo la sezione di deflusso per il raggiungimento dell'obiettivo proposto.

L'unico modo per garantire il deflusso della portata di piena senza esondazioni è quello di approfondire il fondo alveo, con larghezze compatibili con lo spazio disponibile; tale soluzione comporta un diverso allineamento del fondo con un approfondimento di circa 1.0 m rispetto al fondo attuale.

Tale soluzione è resa possibile dalla quota di sbocco nel fiume Entella, superiore di alcuni metri rispetto al fondo di quest'ultimo; si è comunque preferito limitare tale abbassamento al fine di non compromettere la funzionalità dello sbocco in concomitanza dei livelli di piena del fiume Entella.

Le sezioni dei tratti tombinati sotto via alla Basilica dei Fieschi e Via Bertulla per il rio San Salvatore e sotto via San Martino per il rio Pessa sono state dimensionate per consentire il deflusso della portata 200-ennale con i franchi massimi possibili dettati dagli spazi disponibili tra gli edifici e dalle quote del piano campagna.

In particolare, compatibilmente con i vincoli presenti (quota piano viabile, presenza di edifici argine, limitazione degli approfondimenti del fondo) si è traguardato come riferimento un franco minimo rispetto all'intradosso di 1.5 m per la portata 50-ennale e di 1.0 m per quella 200-ennale, verificando che la linea dei carichi si mantenesse sempre inferiore all'intradosso nei tratti tombinati e alla sommità degli argini nei tratti a cielo aperto, nel rispetto dei vincoli di carattere urbanistico e viabilistico esistenti nelle aree interessate dal progetto.

Tali assunzioni sono supportate dalla presenza di due vasche di sedimentazione nei tratti a cielo aperto di monte, in aree facilmente accessibili per lo svuotamento e la pulizia.

Il tratto a cielo aperto del rio Pessa a monte della tombinatura è caratterizzato dalla presenza di Via San Martino lungo tutta la sponda destra, che occupa parte della area demaniale.

In tale tratto si è adottata una soluzione che consenta di mantenere il livello della portata di piena 200-ennale e il relativo carico totale inferiore alla quota del piano viabile mantenendo inalterata la viabilità in sponda destra, peraltro già stretta.

Si è quindi mantenuto il limite della strada esistente come argine di sponda destra, allargando l'alveo, dove possibile, sulla sponda sinistra.

4.2.2 Descrizione degli interventi

Gli interventi sono stati studiati al fine di garantire lo smaltimento della portata 200-ennale rispettando per quanto possibile, i vincoli urbanistici e viabilistici presenti, oltre alla salvaguardia delle strutture esistenti e della pubblica incolumità.

Gli interventi di sistemazione individuati riguardano il tratto urbano del fossato San Salvatore e del rio Pessa, compreso principalmente da Via alla Basilica dei Fieschi allo sbocco nel torrente Entella e il tratto compreso tra il campo sportivo e la confluenza.

Gli interventi individuati in tale tratto risultano sinteticamente i seguenti:

- *Fossato San Salvatore - tratto terminale a cielo aperto (L=220 m)*
  Allargamento in sponda sinistra delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare 5.7x4.0 m circa con pendenza dello 0.8% con quota di confluenza a 3.70 m s.l.m, inferiore di 1.30 m rispetto allo stato attuale;
  Rifacimento passerella ciclopedonale in corrispondenza della confluenza con Entella con sezione rettangolare 5.7x4.8 m;
- *Fossato San Salvatore - tratto tombinato a valle della confluenza con il rio Pessa (L=254 m)*
  Allargamento delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare 5.7x4.0 m fino alla sezione 2.45 con pendenza dello 0.8%, per una lunghezza di 36 m circa;
  Raccordo tra sez. 2.45 e sez. 2.6 passaggio da 5.7 m di larghezza a 7.5 m con scivolo della lunghezza di 18 m con pendenza dello 4.5 % e dislivello di 0.8 m;
  Allargamento delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare 7.5x3.0 m circa dalla sezione 2.6 alla sezione 7 con pendenza dello 1.1% per una lunghezza di 200 m circa;
- *Fossato San Salvatore - tratto tombinato a monte della confluenza con il rio Pessa (L=365 m)*
  Allargamento delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare 4.0x4.0 m dalla confluenza fino alla sezione 10 con regolarizzazione delle quote del fondo alveo con pendenza del 2% per una lunghezza di 155 m circa;
  Raccordo tra sez. 10 e sez. 11 (stato attuale) con scivolo della lunghezza di 10 m con pendenza del 15% e dislivello di 1.5 m;
  Allargamento delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare 7.5x3.0 m circa dalla sezione 2.6 alla sezione 7 con pendenza dello 1.1% per una lunghezza di 200 m circa;
- *Fossato San Salvatore - Confluenza con rio Pessa (L=17 m)*
  Raccordo plano-altimetrico tra sez. 7 e sez. 7.5 (monte e valle confluenza rio Pessa) con briglia dell'altezza di 1 m;
- *rio Pessa – tratto tombinato (L=290 m)*
  Allargamento delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare 5.0x2.8 m circa dalla confluenza fino alla sezione 104.6 con regolarizzazione delle quote del fondo alveo con pendenza del 1.6%;
- *rio Pessa – vasca di sedimentazione* (L=30 m circa)
  Prolungamento della vasca di sedimentazione attuale con aumento della capacità per un totale di circa 70 m^3 (11 m^3 della vasca attuale + 60 m^3 della vasca di progetto); intervento Lotto 1
- *rio Pessa - tratto a cielo aperto (L=225 m)*
  Allargamento delle sezioni di deflusso con sezione rettangolare con larghezza variabile da 5 m a 3.8 m con sistemazione con tre briglie dell'altezza di 1.0 m circa con pendenza tra i salti dell'1% nel primo tratto di valle e del'1.6% per i due di monte. intervento Lotto 1

La vasca di sedimentazione sul rio Pessa è ubicata a monte del tratto tombinato, in tale tratto la larghezza delle sezioni è pari a 5 m.

La vasca attuale nel Lotto 1 è stata prolungata verso monte di circa 16 m con larghezza di 5 m con un dente di altezza 0.7 m a valle, sormontato da profilati metallici disposti a pettine di altezza 0.7 m a interasse 1.25 m per la trattenuta del materiale flottante. La vasca attuale trattiene un volume di 11 m³, la nuova vasca è in grado di trattenere un volume di circa 60 m³, per un totale di circa 70 m^3.

La quota di fondo del manufatto è pari a +18.50 m s.l.m. coincidente con la quota della vasca attuale.

4.2.3 Recepimento prescrizioni della conferenza del progetto preliminare

Nell'ambito dell'iter di approvazione del progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo all' "*Intervento di mitigazione del rischio idraulico e messa in sicurezza del centro abitato di San Salvatore in comune di Cogorno - tratti terminali fossato San Salvatore e rio Pessa*", la Regione Liguria, Settore Assetto del Territorio, a seguito della DGR 254/2017, con DDG AM-121/2018 ha espresso parere di compatibilità (ex art. 17 c. 2 della Normativa di Piano di Bacino) favorevole, con lacune prescrizioni.

Le prescrizioni riguardano in particolare:

- le nuove arginature devono essere realizzate al di fuori dell'area demaniale, eccetto laddove si tratti di modesti adeguamenti finalizzati ad un più razionale adeguamento delle sezioni ovvero sia tecnicamente motivato nell'ottica della messa in sicurezza complessiva e degli elementi a rischio presenti;
- le nuove arginature non devono provocare un incremento del livello di pericolosità idraulica nelle zone circostanti e pertanto la quota sommitale delle opere arginali previste sulle due sponde dovrà essere coincidente;
- l'efficacia dell'intervento di riprofilatura del fondo nel tratto terminale deve essere verificata alla luce dei risultati del calcolo del profilo di equilibrio del corso d'acqua, al fine di valutare la stabilità nel tempo della soluzione prescelta.

Si raccomanda, inoltre, di approfondire i seguenti aspetti:

- deve essere meglio dettagliata, negli elaborati progettuali, la risagomatura dell'alveo del rio Pessa, indicata nella planimetria di progetto tra le sezioni 115 e 113;
- tenuto conto che nella copertura non si raggiunge il franco previsto dalla normativa, si ritiene necessario valutare se sia possibile riportarne a cielo libero alcuni tratti.

Area demaniale

La sistemazione del tratto a cielo aperto del rio Pessa, a monte della tombinatura, prevede un modesto allargamento e approfondimento delle sezioni di deflusso, e la realizzazione di salti di fondo che mantengono il profilo di equilibrio.

Il tratto è delimitato in sponda destra dalla viabilità comunale (Via San Martino), che collega il centro con le frazioni collinari, che ricade per buona parte in area demaniale.

Il progetto prevede la realizzazione di una sezione di deflusso che consenta di mantenere il livello della portata di piena 200-ennale e il relativo carico totale inferiore alla quota del piano viabile mantenendo inalterata la viabilità in sponda destra, peraltro già stretta.

Si è quindi mantenuto il limite della strada esistente come argine di sponda destra, allargando l'alveo, dove possibile, sulla sponda sinistra.

Tale soluzione rientra nell'ottica di una messa in sicurezza idraulica complessiva del corso d'acqua che salvaguardi per quanto possibile l'infrastruttura esistente, non altrimenti localizzabile.

Quota arginature

Nei tratti a cielo aperto si è cercato di mantenere il più possibile la stessa quota di sommità arginale su entrambe le sponde, salvo i casi in cui il livello del piano campagna non lo consenta, come nel breve tratto del fossato San Salvatore a valle della SP 33, dove il piano campagna in sponda sinistra è più alto di quello in sponda destra, dove è presente un tracciato pedonale con accessi a edifici di civile abitazione.

In tale tratto tuttavia il pelo libero della portata 200-ennale e la corrispondente linea del carico totale rimangono sempre contenuti al di sotto del piano campagna con franco adeguato; in tale condizione si è preferito non prevedere la realizzazione di un parapetto in sponda destra, che comporterebbe rischi maggiori in caso di allagamento delle aree circostanti (ad esempio per effetto del fiume Entella), con le acque confinate all'esterno delle arginature, senza possibilità di smaltimento all'interno dell'alveo.

Stabilità nel tempo della soluzione proposta

Nel capitolo seguente è riportata l'analisi morfodinamica dei tre tratti oggetto di intervento.

L'analisi ha dimostrato anche da un punto di vista quantitativo la stabilità nel tempo della soluzione proposta.

Risagomatura alveo tra sezioni 113 e 115

L'incarico di progettazione prevedeva l'intervento sul rio Pessa sino a valle del ponte di Via San Martino (sez. 113). Su richiesta dell'Amministrazione Comunale lo studio idraulico è stato esteso sino a circa 80 m a monte del ponte.

La sistemazione del tratto a cielo aperto del rio Pessa è stata redatta tenendo conto delle verifiche inclusive del tratto di monte, che rimane comunque escluso dal presente progetto definitivo.
Tale intervento fa parte del Lotto 1.

Eventuali tratti a cielo aperto

I tratti terminali coperti del fossato San Salvatore e del rio Pessa si sviluppano lungo le viabilità principali costituite da Via Bertulla e Via alla Basilica dei Fieschi per il fossato San

Salvatore e da Via San Martino per il rio Pessa, con edifici pubblici e privati ai lati delle strade.

In tale contesto non è quindi possibile la sostituzione di tratti di tombinatura con tratti a cielo aperto.

5 VERIFICHE IDRAULICHE

5.1 PORTATE DI RIFERIMENTO

Le portate di riferimento sono quelle riportate nel Piano di bacino Ambito 16 e precisamente:

	A [km²]	T= 50 anni [m³/s]	T=200 anni [m³/s]	T=500 anni [m³/s]
SS1 – San Salvatore	2.65	37.6	59.1	78.5
SS2 – San Salvatore	1.32	18.7	29.4	39.1
SS3 – rio Pessa	1.25	17.7	27.9	37.0

Tabella 5.I

5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state eseguite mediante l'ausilio di un *software*[4] per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.

La metodologia di calcolo è riportata in Appendice 1.

5.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

Il calcolo è stato effettuato con le portate 50-ennale, 200-ennale e 500-ennale per il tratto d'alveo del fossato San Salvatore compreso tra via Bertulla e la confluenza col torrente Entella , per una lunghezza di circa 900 m e del rio Pessa per il tratto compreso tra il ponte di via San Martino e la confluenza col fossato ,per una lunghezza di circa 850 m

Ai fini del calcolo è stato utilizzato un valore del coefficiente di scabrezza *n* di Manning pari a 0.03 (33 di Strickler) corrispondente a tratti di corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo per la condizione attuale, mentre per lo stato di progetto si è adottato un coefficiente di scabrezza *n* di Manning pari a 0.025 (40 di Strickler) per tutti i tratti tombinati, pari a 0.028 (36 di Strickler) per il tratto terminale a cielo aperto del fossato San Salvatore e pari a 0.03 (33 di Strickler) per il tratto a cielo aperto del rio Pessa.

La verifica è stata eseguita integrando il profilo nelle due condizioni di corrente lenta da valle verso monte e di corrente veloce da monte verso valle, imponendo come condizioni al contorno la profondità critica nella sezione di estremità a monte e di valle.

Il calcolo è stato effettuato nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superasse le quote di sommità arginali.

[4] HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers

Lungo l'intero tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali (sezioni idrauliche di calcolo) in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.), numerate da valle verso monte da 0 a 18 per il fossato san salvatore e da 101 a 200 per il rio Pessa.

La verifica idraulica è stata effettuata per le seguenti configurazioni:

Stato attuale

E' una configurazione relativa allo stato attuale dell'alveo e delle sponde così come risulta dal rilievo effettuato con realizzati gli interventi del Lotto 1 (vasca sedimentazione e tratto a cielo aperto rio Pessa).

Stato di Progetto

E' relativa alla configurazione conseguente agli interventi del Lotto 2 di sistemazione individuati.
La verifica di progetto è stata effettuata nelle due configurazioni di vasche di sedimentazione vuote e di vasche piene.

Entrambe le configurazioni sono state effettuate anche imponendo come condizione al contorno di valle del fossato San Salvatore il livello di piena del torrente Entella, riportato del Pian di Bacino, per ciascuna portata esaminata.

Inoltre al fine di analizzare la sensitività delle verifiche idrauliche dello stato di progetto, in caso di franco in corrispondenza dei manufatti interferenti inferiore a 1.5. m, è stata effettuata la parziale occlusione delle sezioni della tombinatura.

5.4 RISULTATI

In Allegato A sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche in moto permanente gradualmente variato del rio per i vari tempi di ritorno esaminati.

5.4.1 Stato attuale

I risultati confermano le verifiche del Piano di Bacino.

Essi mostrano che lo stato attuale è insufficiente al deflusso dei portate anche inferiori a quella 50-ennale, con rischio di allagamento di tutto il centro urbano di Cogorno.

I tratti più critici risultano quelli tombinati del fossato San Salvatore e del rio Pessa.

Ulteriori criticità risultano nel tratto a cielo aperto del rio Pessa a monte del tratto tombinato e nel tratto a cielo aperto terminale del fossato San Salvatore.

5.4.2 Stato di progetto

Portata 50-ennale

Lungo il tratto tombinato del fossato San Salvatore il deflusso della portata 50-ennale avviene a pelo libero in corrente lenta (Fr<1) per il tratto di valle a pendenza dell'0.8% (tra sez. 2.1 e sez. 2.45) e in corrente veloce (Fr>1) fino alla vasca di sedimentazione, con altezze variabili da 1.9 a 0.6 m circa e velocità variabili da 5.9 a 1.7 m/s.

I franchi rispetto all'intradosso sono superiori a 1.5 m, la linea dei carichi risulta ovunque inferiore all'intradosso.

Nel tratto terminale a cielo aperto del fossato San Salvatore il deflusso avviene in corrente in corrente lenta (Fr<1) con altezze di 1.9 m circa e velocità pari a circa 3.5 m/s.

I franchi rispetto alle sommità arginali risultano superiori 0.5 m, la linea dei carichi risulta ovunque inferiore all'intradosso.

Lungo il tratto tombinato del rio Pessa il deflusso della portata 50-ennale avviene a pelo libero in corrente veloce (Fr>1) fino alla vasca di sedimentazione, con altezze variabili da 1.0 a 0.6 m circa e velocità variabili da 6.0 a 3.5 m/s.

I franchi rispetto all'intradosso sono superiori a 1.5 m, la linea dei carichi risulta ovunque inferiore all'intradosso.

La vasca crea una disconnessione tra monte e valle con la perdita di quasi tutto il carico cinetico e deflusso in corrente lenta con velocità modeste; il franco minimo rispetto agli argini risulta superiore al metro, con carico contenuto.

Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale è del tutto simile a quello della portata 50-ennale con altezze maggiori di 0.7 m circa rispetto a quest'ultima per il fossato San Salvatore e di circa 0.3 m per il rio Pessa.

Lungo il tratto tombinato del fossato San Salvatore il deflusso della portata 200-ennale avviene a pelo libero in corrente lenta (Fr<1) per il tratto di valle a pendenza dell'0.8% (tra sez. 2.1 e sez. 2.45) e in corrente veloce (Fr>1) fino alla vasca di sedimentazione, con altezze variabili da 2.6 a 0.7 m circa e velocità variabili da 6.5 a 2.4 m/s.

I franchi rispetto all'intradosso sono variabili da un minimo di circa 1.0 m in corrispondenza di corso Risorgimento a 1.5 m a monte della confluenza con il rio Pessa, la linea dei carichi risulta ovunque inferiore all'intradosso.

Nel tratto terminale a cielo aperto del fossato San Salvatore il deflusso avviene in corrente in corrente lenta (Fr<1) con altezze di 2.6 m circa e velocità pari a circa 4.0 m/s.

I franchi rispetto alle sommità arginali risultano superiori 0.5 m, la linea dei carichi risulta ovunque inferiore all'intradosso.

Lungo il tratto tombinato del rio Pessa il deflusso della portata 200-ennale avviene a pelo libero in corrente veloce (Fr>1) fino alla vasca di sedimentazione, con altezze variabili da 1.3 a 0.9 m circa e velocità variabili da 6.6 a 4.9 m/s.

I franchi rispetto all'intradosso sono superiori a 1.5 m, la linea dei carichi risulta ovunque inferiore all'intradosso.

La vasca crea una disconnessione tra monte e valle con la perdita di quasi tutto il carico cinetico e deflusso in corrente lenta con velocità modeste; il franco minimo rispetto agli argini risulta superiore al metro, con carico contenuto.

Gli interventi proposti consentono quindi il deflusso della portata di piena 200-ennale con franchi con un notevole miglioramento rispetto alla configurazione attuale.

Portata 500-ennale

Il deflusso della portata 500-ennale è del tutto simile a quello della portata 200-ennale con altezze maggiori di 0.3 m circa rispetto a quest'ultima per il rio Pessa e il tratto di monte del fossato San Salvatore e di circa 0.6 m per il tratto terminale del fossato San Salvatore.

5.4.2.1 Verifiche vasca di sedimentazione piena

La verifica idraulica è stata effettuata anche nella condizione di stato di progetto ipotizzando piena la vasca di sedimentazione del rio Pessa.

In tale configurazione il deflusso della portata risulta inferiore nella vasca e corrispondente nel tratto di monte e di valle.

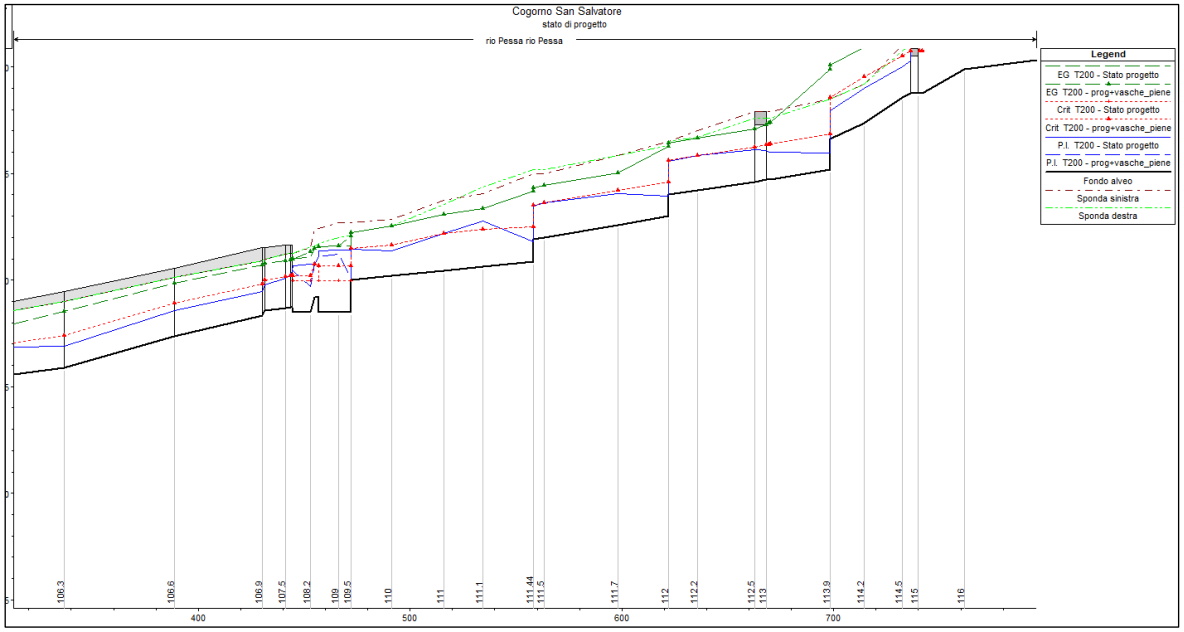


Figura 5.1: Profilo confronto vasca piena / vuota

5.4.2.2 Analisi di sensitività

Sulla base delle verifiche descritte al punto precedente è stata condotta un'analisi di sensitività del modello di calcolo, al fine di valutare il reale rischio idraulico residuale a seguito del franco inferiore a quello da normativa in alcune sezioni e/o tratti limitati del corso d'acqua in oggetto.

Al fine di valutare la variazione del profilo a seguito di una più cautelativa condizione di scabrezza, è stata effettuata un'ulteriore verifica aumentando i coefficienti di scabrezza come segue:

Tratto	Coefficiente di scabrezza n[$m^{-1/3}$ s]	
	Progetto	Valore aumentato
San Salvatore		
Tratto a cielo aperto di valle	0.028	0.030
Tratto tombinato a valle della con fluenza con il rio Pessa	0.025	0.028
Tratto tombinato a monte della confluenza con il rio Pessa	0.025	0.028
Rio Pessa		
Tratto tombinato	0.025	0.028
Tratto a cielo aperto	0.030	0.033

Tabella 5.II

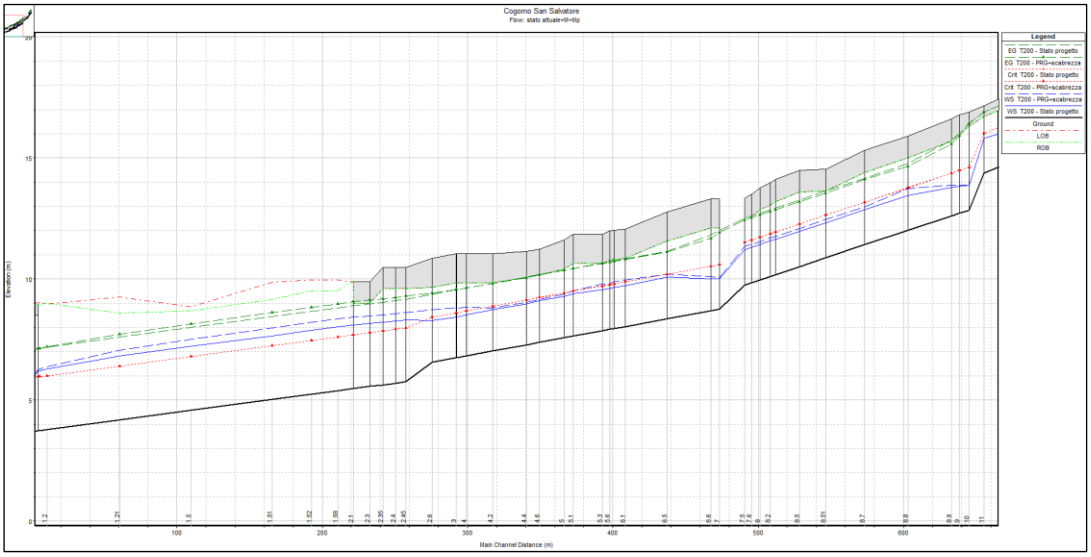


Figura 5.2: Profilo San Salvatore - confronto scabrezze diverse

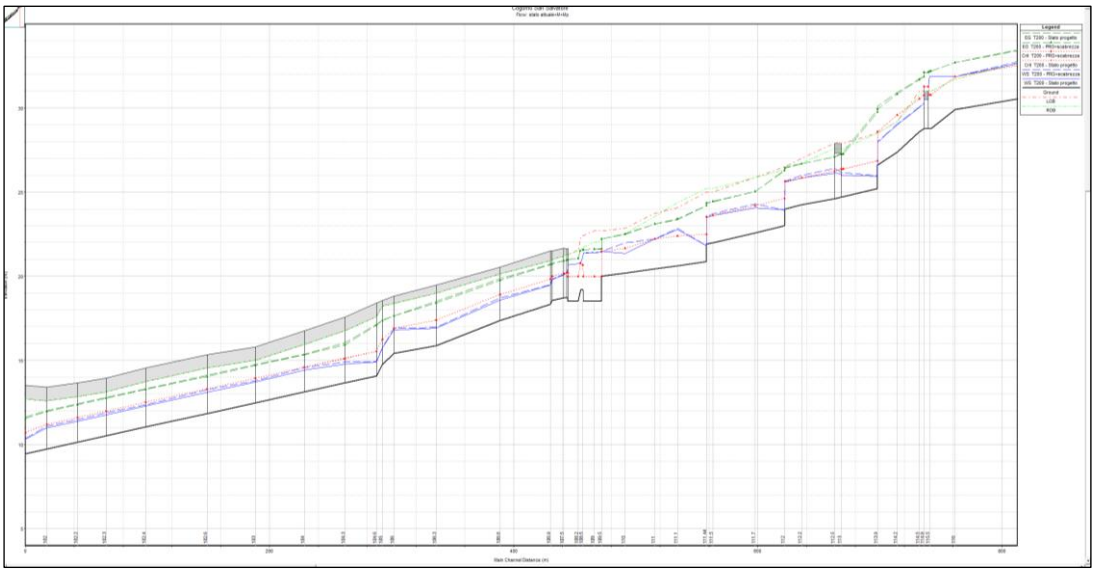


Figura 5.3: Profilo rio Pessa - confronto scabrezze diverse

I risultati mostrano che la maggiore scabrezza non induce variazioni significative delle caratteristiche del moto per la portata 200-ennale, con variazioni della quota del pelo libero dell'ordine di 10 cm circa, mentre la linea dei carichi è meno sensibile a tali variazioni.

I franchi rispetto all'intradosso nei tratti coperti restano superiori a 0.9 m e a 0.5 m rispetto agli argini nei tratti a cielo aperto, con la linea dei carichi sempre inferiore all'intradosso e/o alla sommità arginale.

A integrazione e completamento dell'indagine di sensitività del modello e di verifica dell'efficacia della soluzione proposta, si è inoltre proceduto al ricalcolo dei relativi profili di rigurgito nella configurazione che prevede una possibile ostruzione delle sezioni di deflusso; in particolare si è considerato un grado di ostruzione generalizzato lungo tutti i tratti tombinati come segue:

Tratto	Aumento della quota del fondo Dz [m]
San Salvatore	
Tratto tombinato a valle della con fluenza con il rio Pessa	0.50
Tratto tombinato a monte della confluenza con il rio Pessa	0.30
Rio Pessa	
Tratto tombinato	0.10

Tabella 5.III

I valori adottati sono stati ricavati "spalmando" il valore massimo del volume medio annuo dei sedimenti per ciascun tratto (vedi capitolo 7) nell'ipotesi di vasca piena a monte, secondo il seguente schema:

Tratto	Volume atteso dei sedimenti V [m^3/anno]	Superficie disponibile S=BxL [m^2]	Altezza media dei sedimenti h=V/S [m]	Valore assunto h_{ass} [m]
Tratto tombinato del fossato San Salvatore a valle della con fluenza con il rio Pessa	370	200x7.5=1500	0.25	0.3
Tratto tombinato del rio San Salvatore a monte della confluenza con il rio Pessa	270	150x4.0=600	0.45	0.5
Tratto tombinato del rio Pessa	100	280x5.0=1400	0.07	0.1

Tabella 5.IV

Tali valori corrispondono ad una ostruzione media delle sezioni di deflusso pari al 15% circa.

In Allegato A sono riportati i risultati dei calcoli del deflusso della portata 200-ennale per tale ulteriore condizione. Essi mostrano come i livelli in tale condizione risultino superiori di una quantità variabile da 0.1 m a 0.5 m circa rispetto alla condizione "normale" di assenza di ostruzione.

Il profilo risultante non comporta nessuna esondazione e mantiene comunque un franco residuo rispetto all'intradosso di oltre 0.6 m.

Le verifiche hanno quindi confermato l'efficacia della sistemazione di progetto anche in presenza di tali ostruzioni.

v

6 STABILITA' A LUNGO TERMINE DELLA SOLUZIONE PROPOSTA

6.1 STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DEI SEDIMENTI

Nella relazione geologica del Dott. Geol. D.Tassisto sono riportati i valori medi annui di sedimenti potenzialmente disponibili per erosione all'interno dei bacini del fossato San Salvatore e del rio Pessa.

Le stime conducono a valori del trasporto torbido totale pari a circa

- t_u = 3000 – 7000 t/anno per il San Salvatore
- t_u = 900 – 1500 t/anno per il Pessa

Il bacino del rio Pessa presenta quindi una minor capacità erosiva ed una minore disponibilità di materiale.

Il trasporto solido al fondo è pari a circa il 10% del trasporto torbido complessivo.

Per tali assunzioni risulta quindi un volume medio annuo di trasporto solido potenzialmente disponibile pari a :

Vs = 115 - 270 m^3 per il fossato San Salvatore
Vs = 35 - 60 m^3 per il rio Pessa.

A monte dei tratti tombinati sono ubicate due vasche di sedimentazione: una esistente, sul fossato San Salvatore, della capacità di circa 200 m^3, l'altra in progetto, sul rio Pessa, della capacità di 70 m^3 circa, dotate entrambe di una briglia a pettine per la trattenuta del materiale flottante.

6.2 ANALISI DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO

A monte dei tratti tombinati sono ubicate due vasche di sedimentazione: una esistente, sul fossato San Salvatore, della capacità di circa 200 m^3, l'altra in progetto, sul rio Pessa, della capacità di 70 m^3 circa, dotate entrambe di una briglia a pettine per la trattenuta del materiale flottante.

Al fine di verificare l'efficienza della soluzione proposta anche sotto il profilo della sua stabilità nel tempo, trattandosi principalmente di tombinature costituite da scatolari chiusi in c.a., indipendentemente dalla presenza ed efficacia delle vasche di monte, è stata effettuata un'analisi della variazione delle tensioni tangenziali al fondo e delle conseguenti capacità di trasporto solido al fondo per i singoli tratti dei corsi d'acqua interessati dal progetto di sistemazione.

I calcoli sono stati effettuati con riferimento ai contenuti della DGR 226/2009 e della DGR 357/08.

In particolare la capacità di trasporto solido è stata valutata con riferimento alla formulazione di Mayer-Peter e Müller che fornisce la portata volumetrica di materiale solido al fondo q_{sf} per unità di larghezza in funzione della tensione tangenziale esercitata dal fluido sul fondo dell'alveo.

In termini adimensionali tali relazioni forniscono un legame tra la portata solida volumetrica Φ e la tensione di Shields θ nella forma:

$$\Phi = 8 \cdot (\theta - \theta_{crit})^{\frac{3}{2}}$$

$$\theta_{crit} = 0.047$$

con:

$$\Phi = \frac{q_{sf}}{\sqrt{(s-1) \cdot g \cdot D^3}}$$

$$\theta = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) \cdot D}$$

dove τ_0 è la tensione tangenziale al fondo, γ_s e γ sono i pesi specifici del sedimento e dell'acqua, s il loro rapporto e D il diametro di riferimento dei granuli, solitamente assunto pari al d_{50}.

Il calcolo è stato effettuato secondo le seguenti fasi:

- calcolo delle caratteristiche del moto per ciascun valore di portata dell'idrogramma con scansione temporale di 5 minuti (per un totale di 22 valori di portata);
- calcolo della tensione tangenziale al fondo adimensionale θ e della portata solida q_{sf} per ciascun valore di portata;
- costruzione dei relativi sedimentogrammi corrispondenti all'evento definito dagli idrogrammi di cui al paragrafo precedente.

I calcoli del profilo sono stati condotti nella configurazione di progetto con gli stessi parametri riportati nel capitolo relativo alle *verifiche idrauliche* della presente relazione.

I calcoli sono stati eseguiti assumendo quale valore rappresentativo del diametro dei granuli D=0.01, rappresentativo dei sedimenti in alveo nei tratti a cielo aperto di monte.

Data la regolarità delle sezioni di deflusso sia in termini geometrici che di pendenza del fondo, i calcoli sono stati effettuati considerando le condizioni di moto uniforme per le tre portate di riferimento costituite dalla portata indice o portata efficace (Qi), portata 50-enanle (Q50) e portata 200-ennale (Q200).

In accordo con la DGR 357/08 il valore della portata indice è stato ricavato dividendo il valore della portata 200-ennale per il coefficiente 5.17 (fattore di portata, funzione del tempo di ritorno).

Le condizioni di verifica risultano pertanto le seguenti:

Tratto		B [m]	if [-]	Qi [m^3/s]	Q50 [m^3/s]	Q200 [m^3/s]
San Salvatore-valle	tratto a cielo aperto	5.7	0.008	11.4	37.6	59.1
San Salvatore-valle	tratto tombinato	7.5	0.011	11.4	37.6	59.1
San Salvatore monte		4.0	0.020	5.7	18.7	29.4
Pessa		5.0	0.016	5.4	17.7	27.9

Tabella 6.I

Nella tabella seguente sono riportati i risultati del calcolo ed in particolare il valore di portata solida al fondo associato a ciascun tratto per i tre valori di portata di riferimento:

Portata liquida		Qi	Q50	Q200
Tratto		Portata solida [m^3/s]		
San Salvatore-valle	tratto a cielo aperto	0.030	0.074	0.110
San Salvatore-valle	tratto tombinato	0.036	0.100	0.150
San Salvatore monte		0.035	0.090	0.124
Pessa		0.027	0.075	0.107

Tabella 6.II

I risultati mostrano quindi una sostanziale uniformità dei valori di trasporto per tutti i rami per le diverse condizioni di portata; il valore unitario di trasporto tende ad aumentare spostandosi dai rami di monte verso valle; tale situazione induce a ritenere che la quantità di materiale che riesce ad entrare nella tombinatura a monte riesce a essere smaltita dai tratti successivi, mantenendo quindi pulita la sezione di deflusso.

Tali valori costituiscono come detto un ordine di grandezza idoneo a descrivere il fenomeno in esame anche da un punto di vista quantitativo.

Essi non variano in maniera significativa al variare del diametro medio dei sedimenti e/o del coefficiente di scabrezza assunto.

Il volume medio annuo di sedimenti movimentabile può essere in prima approssimazione stimato dal valore di trasporto solido corrispondente alla portata indice per una durata dell'ordine del doppio del tempo di corrivazione del bacino.

Nel caso in esame, stimando il tempo di corrivazione dei due bacini affluenti in circa 30 minuti risulterebbero i seguenti valori del trasporto medio annuo per i due corsi d'acqua:

- fossato San Salvatore Vs=0.035*3600 = 126 m^3
- rio Pessa Vs=0.027*3600 = 97 m^3

Per l'evento 200-ennale risulterebbe invece:

- fossato San Salvatore Vs=0.124*3600 = 450 m^3
- rio Pessa Vs=0.107*3600 = 380 m^3

Anche in questo caso va ribadito che tali valori sono valori potenziali il corso d'acqua sarebbe in grado di movimentare se disponibili da monte.

Essi risultano comunque in buon accordo con la quantità di materiale disponibile per erosione sull'intero bacino stimata con metodi empirici in base alle caratteristiche dei bacini stessi.

6.3 PROFILI DI EQUILIBRIO

Al fine di comprendere la tendenza evolutiva dell'alveo nelle diverse configurazioni di progetto, è stato identificato l'assetto di equilibrio del fondo del tratto di corso d'acqua oggetto di intervento.

La determinazione dei profili di equilibrio è stata effettuata secondo la procedura semplificata riportata nella normativa DGR 226/2009.

Tale procedura prevede il calcolo della portata solida Q_S in ingresso nella sezione di monte per i diversi valori della portata liquida Q considerati assumendo le condizioni di moto uniforme locale e mantenendo costante lungo tutto il tratto la portata solida in ingresso.

Note le portate liquida e solida, a partire dalla sezione di valle dove sono note la portata Q e il carico totale H, è stato determinato l'assetto di equilibrio integrando l'equazione del moto attraverso i seguenti passi:

- calcolo iterativo della profondità Y_i che soddisfa contemporaneamente la conservazione delle portate liquide e solide (soluzione stazionaria);
- calcolo della quota del fondo di equilibrio essendo noto il carico totale di partenza: $\eta i = Hi - Yi - \frac{Q^2}{2g \cdot \Omega^2}$
- calcolo della perdita di carico per unità di lunghezza in funzione della profondità Yi;
- calcolo del carico totale nella sezione precedente: $H_{i-1} = H_i + j_i \cdot \Delta x_i$ dove Δx_i è la distanza tra le due sezioni;
- ripetizione dei passi precedenti fino a raggiungere la sezione successiva.

Il calcolo dei profili è stato effettuato con il valore della portata "indice" che risulta, con buona approssimazione, la *portata morfodinamicamente significativa* in quanto in grado di riprodurre gli effetti morfodinamici degli eventi (idrogramma) di piena che, nel tempo, hanno condotto all'attuale configurazione del fondo alveo.

Ai fini del calcolo si è assunto quale valore rappresentativo del diametro dei granuli è stato assunto il valore d=0.01 m risultante dalle prime analisi sul materiale costituente l'alveo (ciottoli).

I valori della portata indice per i tre tratti esaminati sono quelli già riportati al paragrafo precedente e cioè:

Qi=11.4 m^3/s per il fossato San Salvatore valle
Qi= 5.7 m^3/s per il fossato San Salvatore monte
Qi= 5.4 m^3/s Per il rio Pessa

La tendenza evolutiva del tratto di corso d'acqua analizzato è stata sintetizzata attraverso l'elaborazione dei grafici seguenti che mostrano, per il valore della portata indice, per la configurazione di progetto, l'andamento del profilo di equilibrio rispeto al fondo di progetto.

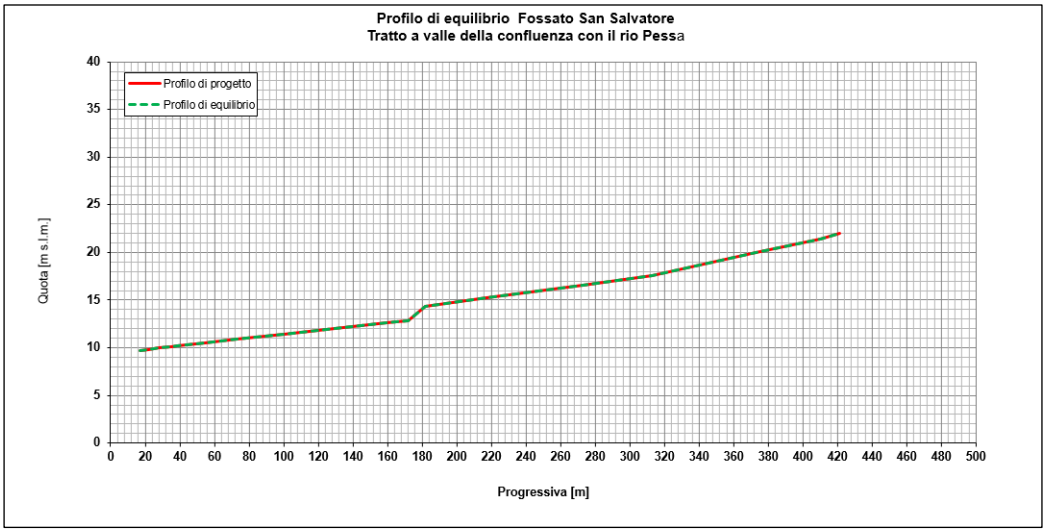


Figura 6.1: Profilo di equilibrio San Salvatore monte

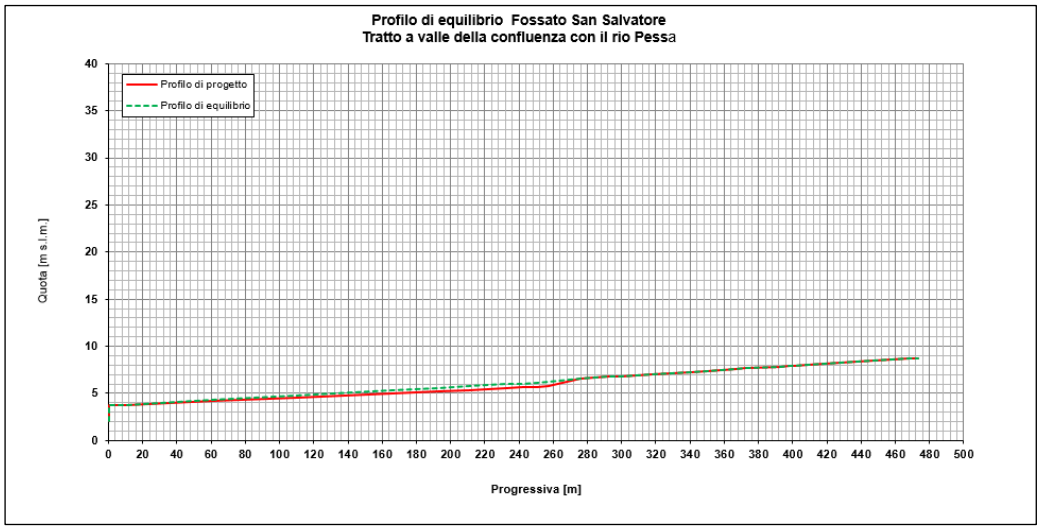


Figura 6.2: Profilo di equilibrio San Salvatore valle

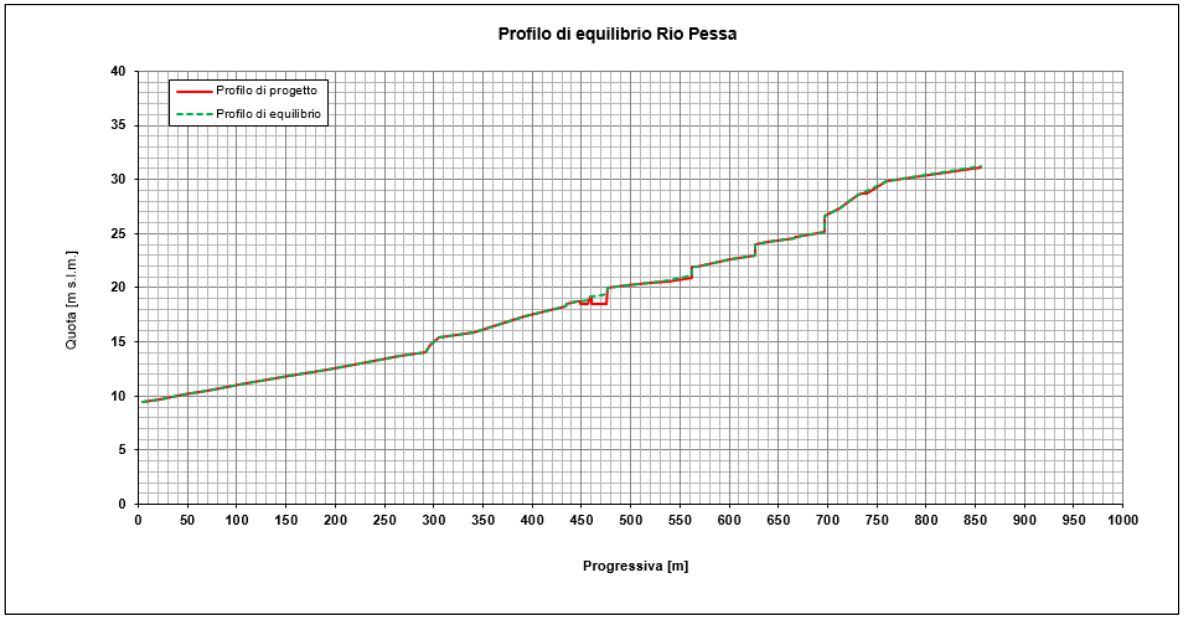


Figura 6.3: Profilo di equilibrio rio Pessa

Naturalmente la quota del fondo nei tratti tombinati è vincolata dalla quota della platea, che fissa il limite inferiore possibile per il fondo alveo.

Con il termine profilo di equilibrio si intende quindi in questo caso la disposizione del fondo nel lungo periodo tenendo conto dell'artificialità dei tratti tombinati.

I grafici mostrano come la sistemazione di progetto risulti prossima al profilo di equilibrio per il tratto in esame e risulti quindi stabile nel tempo.

ALLEGATO A

VERIFICHE IDRAULICHE

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 6.1

Il software di calcolo *Hec-Ras* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K}\right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3}\ s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 $[m/s]$ sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro *n* di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature (*bridge* and *culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalcamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A[m^2]$, $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.