

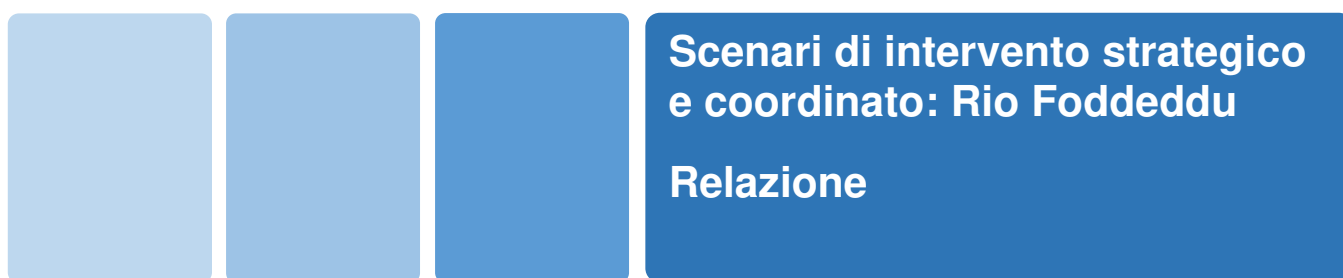


REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDÈNZIA
PRESIDENZA
AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

Piano di gestione del rischio di alluvioni

secondo ciclo di pianificazione



Allegato alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/12/2021



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDÈNZIA
PRESIDENZA
AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

Autorità di Bacino della Sardegna

DIREZIONE GENERALE DELL'AGENZIA REGIONALE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA

Direttore Generale: Antonio Sanna

Direttore del Servizio difesa del suolo, assetto idrogeologico e gestione del rischio alluvioni: Marco Melis

Coordinamento tecnico-amministrativo: Gianluigi Mancosu

Coordinamento operativo: Luisa Manigas

Elaborazioni GIS: Gian Luca Marras

Gruppo di lavoro: Giuseppe Canè, Piercarlo Ciabatti, Nicoletta Contis, Andrea Lazzari, Giovanni Luise, Maria Antonietta Murru Perra, Michela Olivari, Alessandra Pillai, Corrado Sechi, Riccardo Todde

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI – Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura

Responsabile Scientifico: Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni GIS: Giovanni Cocco

Gruppo di lavoro: Alessio Cera, Clorinda Cortis, Pino Frau, Saverio Liberatore, Mauro Piras, Emanuela Sassu

Con il contributo, per le parti di competenza, di:

DIREZIONE GENERALE DELLA PROTEZIONE CIVILE

Direttore Generale: Antonio Pasquale Belloi

Direttore del Servizio pianificazione e gestione delle emergenze: Mauro Merella

Direttore del Servizio previsione rischi e dei sistemi informativi, infrastrutture e reti: Federico Ferrarese Ceruti

Gruppo di lavoro: Salvatore Cinus, Daniela Pani, Fabrizia Soi, Antonio Usai.

DIREZIONE GENERALE DEI LAVORI PUBBLICI

Direttore Generale: Piero Dau

Direttore del Servizio opere idriche e idrogeologiche: Costantino Azzena

Gruppo di lavoro: Roberta Daino, Alberto Spano

Il presente documento costituisce un elaborato del Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) della Sardegna aggiornato per il Secondo ciclo di pianificazione. Esso conferma i contenuti del corrispondente elaborato facente parte della prima stesura del PGRA, che è stata oggetto di approvazione con Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino regionale della Sardegna n. 2 del 15/3/2016 e con DPCM del 27 ottobre 2016 (GURI n. 30 del 6 febbraio 2017).

Per tutti gli approfondimenti: www.regione.sardegna.it/pianogestionerischioalluvioni



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Sommario

1	Premesse	7
2	Descrizione sintetica del sistema idrografico.....	10
3	Bacino del rio Riu Foddeddu: Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF.....	22
3.1	Sintesi dei risultati delle simulazioni	30
4	Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale	37
4.1	Portate massime compatibili con la situazione attuale	67
4.2	Volume di piena e aree esondate	71
5	Procedura operativa per il calcolo del danno di piena nel Bacino del Riu Foddeddu.....	72
5.1	Danno di piena relativo allo stato attuale.....	74
6	Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno	76
6.1	Metodologia di individuazione degli interventi	76
6.2	Inquadramento dello stato di fatto delle opere di salvaguardia idraulica.....	78
6.3	Definizione tipologica delle opere di sistemazione idraulica	82
6.4	Descrizione degli interventi a salvaguardia delle aree esondate.....	84
6.5	Stima del costo di realizzazione degli interventi.....	90
7	Scenari di intervento	92
7.1	Criteri di individuazione	92
7.2	Scenario 0 (stato attuale).....	93
7.3	Scenario 1.....	94
7.4	Scenario 2.....	96
8	Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento	98
8.1	Premesse	98
8.2	Interazioni tra PGRA e Piani di emergenza	98
8.3	Analisi economica degli scenari d'intervento ipotizzati.....	100



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Indice delle Figure

Figura 3.2–Ponte località Parendadai in località Ardalase.....	25
Figura 3.3– Ponte strada vicinale in località Serra Pellai.....	26
Figura 3.4–Ponte strada vicinale in località Serra Pellai con tiranti PSFF	27
Figura 3.5–Ponte SS 125 con tiranti PSFF.....	28
Figura 3.6– Ponte Garibaldi (Ponte di Ferro) con tiranti PSFF	29
Figura 3.7 – Fasce fluviali del Foddeddu stralciate dal formato digitale delle perimetrazioni (FONTE PSFF).....	36
Figura 4.1 –Rilievo di dettaglio alveo a valle della SS 125.....	38
Figura 4.2 –Via delle Lavandaie prima e dopo l'intervento di realizzazione del muro d'argine	39
Figura 4.3 – Via Foddeddu prima e dopo l'intervento di realizzazione del ripristino e sovrizzo del muro d'argine.....	40
Figura 4.4 – Argine sinistro alla foce prima e dopo l'intervento di ripristino e sovrizzo	41
Figura 4.5 – Sezioni idrauliche analizzate nel PSFF e nella nuova modellazione con DTM 1 m.....	44
Figura 4.6 – Schema adottato per la simulazione dello scenario 0 per T50: in rosso la posizione dei levee	45
Figura 4.7 – Aree di allagamento aggiornate per T50.....	46
Figura 4.8 – Aree di allagamento per T100 con modellazione intermedia ad argini completamente tracimabili.....	47
Figura 4.9 – Schema adottato per la simulazione dello scenario 0 per T100: in rosso la posizione dei levee	47
Figura 4.10 – Aree di allagamento aggiornate per T100.....	48
Figura 4.11 – Schema adottato per la simulazione dello scenario 0 per T200: in rosso la posizione dei levee	49
Figura 4.12 – Aree di allagamento aggiornate per T200.....	49
Figura 4.13 – Profilo T50 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto tra i due ponti.	52
Figura 4.14 – Profilo T50 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto valle del ponte di ferro	52
Figura 4.15 – Profilo T100 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto tra i due ponti.	53
Figura 4.16 – Profilo T100 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto valle del ponte di ferro	53
Figura 4.17 – Profilo T200 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto tra i due ponti.	54
Figura 4.18 – Profilo T200 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto valle del ponte di ferro	54
Figura 4.19 – Franchi idraulici per T50 sull'argine destro e sinistro	55
Figura 4.20 – Franchi idraulici per T100 sull'argine destro e sinistro	56
Figura 4.21 – Franchi idraulici per T200 sull'argine destro e sinistro	57
Figura 4.22 – T50: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a monte della S.S.125.....	58
Figura 4.23 – T50: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125	58



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Figura 4.24 – Aree e battenti idrici ottenuti per T50 nel centro abitato con modellazione aggiornata	59
Figura 4.25 – T100: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a monte della S.S.125.....	60
Figura 4.26 – T100: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125.....	60
Figura 4.27 – Aree e battenti idrici ottenuti per T100 nel centro abitato con modellazione aggiornata.....	61
Figura 4.28 – T200: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a monte della S.S.125.....	62
Figura 4.29 – T200: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125.....	62
Figura 4.30 – Aree e battenti idrici ottenuti per T200 nel centro abitato con modellazione aggiornata.....	63
Figura 4.31 – Profilo T200 ottenuto con modello aggiornato – gli argini vallivi hanno franchi minimi di 60 cm (argine sx).....	63
Figura 4.32 – Schema adottato per la simulazione per T200 ad argini vallivi completamente sormontabili.....	64
Figura 4.33 – T200: modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125 ad argini ovunque tracimabili.....	64
Figura 4.34 – Ponte di ferro con franchi idraulici insufficienti per tutti i tempo di ritorno considerati	65
Figura 4.35 – Ponte S.S. 125 sufficiente per tutti i tempi di ritorno considerati.....	65
Figura 4.36 – Ponte strada vicinale in loc. Serra Pellai sufficiente per tutti i tempi di ritorno considerati.....	66
Figura 4.37 – Ponte strada vicinale in Loc. Parendai insufficiente per tutti i tempi di ritorno considerati.....	66
Figura 4.38 – Sezione idraulica di progressiva 3592.49 a franco minimo sulla sponda destra.....	69
Figura 4.39 – Sezione idraulica di progressiva 2954.13 a franco minimo sulla sponda destra.....	70
Figura 5.1 - Procedura di calcolo per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso.....	73
Figura 5.2 – Stato Attuale: grafico dell’andamento del danno da piena rispetto alla crescita dell’area allagata.....	75
Figura 6.1 – Tratto regimato: In giallo muro Lavandaie, in rosso muro via Foddeddu, in magenta argini.....	79
Figura 6.2 – Rilevato arginale sx in terra a valle del ponte di ferro.....	79
Figura 6.3 – Rilevato arginale Sx alla foce.....	80
Figura 6.4 – Sbocco sul rio Foddeddu (via delle Lavandaie) di un canale tombato di raccolta acque meteoriche.....	81
Figura 6.5 – Ponte di ferro in via Garibaldi da demolire.....	86



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Figura 6.6 – Edificio da delocalizzare e area interessata dalla risagomatura della sezione (in rosso nuova arginatura).....	87
Figura 6.7 –Risagomatura della sezione in destra idraulica a monte del ponte di ferro	87
Figura 6.8 – Area che richiede sistemazione idraulica a ridosso degli argini (485 ha).....	88
Figura 6.9 – Canale secondario sponda destra rio Foddeddu	89
Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per $Tr=5$ anni	102



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Indice delle Tabelle

Tabella 3.2–Valori di livello idrico e franco in corrispondenza delle arginature (fonte PSFF 2013)	32
Tabella 3.3–Valori di livello idrico e franco in corrispondenza degli attraversamenti (fonte PSFF 2013)	33
Tabella 4.4–Valori di portata utilizzati nella modellazione (fonte PSFF 2013)	42
Tabella 4.5 - Volumi di allagamento allo stato attuale	71
Tabella 5.6 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo	72
Tabella 5.7 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....	75
Tabella 6.8 – Valutazione economica degli interventi	91
Tabella 7.9 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0"	93
Tabella 7.10 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....	93
Tabella 7.11 - Valutazione dei costi relativi allo “Scenario 1”	94
Tabella 7.12 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno	95
Tabella 7.13 - Valutazione dei costi relativi allo “Scenario 2”	97
Tabella 7.14 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno	97
Tabella 8.15 – Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno.....	101
Tabella 8.16 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno	102
Tabella 8.17 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno	103



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Elenco degli Allegati

ZONA IDROGRAFICA 6 - Sud Orientale
BACINO: 17 - Minori tra il Cedrino ed il Flumendosa
RIU FODEDDU

ELABORATI DI RELAZIONE

Elenco allegati

1	6.17.FO.R1.0	Relazione	
2	6.17.FO.R2.0	Relazione dello studio idraulico	
3	6.17.FO.R3.0	Sezioni trasversali	
4	6.17.FO.R4.0	Profili longitudinali	
5	6.17.FO.R5.0	Tabelle analitiche	
6	6.17.FO.R6.0	Quaderno delle opere tipo e stima dei costi	

TAVOLE

scala

1	6.17.FO.00-0	Quadro di unione delle tavole	
2	6.17.FO.01-0	Atlante cartografico delle Fasce Fluviali (Delibera Com. Ist. n.1 del 20.06.2013)	1:10.000
3	6.17.FO.02-0	Modellazione STATO ATTUALE: mappe di pericolosità idraulica con Tr=50 anni	1:10.000
4	6.17.FO.03-0	Modellazione STATO ATTUALE: mappe di pericolosità idraulica con Tr=100 anni	1:10.000
5	6.17.FO.04-0	Modellazione STATO ATTUALE: mappe di pericolosità idraulica con Tr=200 anni	1:10.000
6	6.17.FO.05-0	Cartografia di uso del suolo per i territori interessati da pericolosità idraulica	1:10.000
7	6.17.FO.06-0	Cartografia con aggregazione per Categorie degli elementi esposti ai danni da piena	1:10.000
8	6.17.FO.07-0	Modellazione SCENARIO di INTERVENTO 1: mappe di pericolosità idraulica con Tr=50 anni	1:10.000
9	6.17.FO.08-0	Modellazione SCENARIO di INTERVENTO 1: mappe di pericolosità idraulica con Tr=100 anni	1:10.000
10	6.17.FO.09-0	Modellazione SCENARIO di INTERVENTO 1: mappe di pericolosità idraulica con Tr=200 anni	1:10.000
11	6.17.FO.10-0	Modellazione SCENARIO di INTERVENTO 2: mappe di pericolosità idraulica con Tr=50 anni	1:10.000
12	6.17.FO.11-0	Modellazione SCENARIO di INTERVENTO 2: mappe di pericolosità idraulica con Tr=100 anni	1:10.000
13	6.17.FO.12-0	Modellazione SCENARIO di INTERVENTO 2: mappe di pericolosità idraulica con Tr=200 anni	1:10.000



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

1 Premesse

L'Accordo di collaborazione tra l'Agenzia Regionale di Distretto Idrografico (ARDIS) della Regione Sardegna e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università degli Studi di Cagliari, formalizzato con convenzioni in data 23 Dicembre 2013 e 31 Marzo 2014, è finalizzato alla realizzazione di studi e ricerche per la *“predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni sui principali corsi d'acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49”*.

Nelle convenzioni i principali obiettivi della collaborazione scientifica sono definiti sinteticamente nei seguenti quattro punti:

- a. esame dell'attività di pianificazione già svolta in merito alla definizione delle mappe di pericolosità e del rischio di alluvioni;
- b. esame ed eventuale integrazione della pianificazione già svolta nel censimento delle opere di difesa idraulica e delle opere interferenti esistenti;
- c. studio e valutazione degli interventi non strutturali e delle azioni strutturali per la riduzione della pericolosità, e di conseguenza del rischio, comprese le azioni strutturali che si rende necessario effettuare nelle opere che interferiscono con i corsi d'acqua;
- d. definizione dell'ordine di priorità degli interventi sia per i diversi corsi d'acqua e tratti costieri analizzati e soggetti ad allagamento, che nell'ambito del singolo corso d'acqua.

In sintesi, con l'accordo ARDIS e DICAAR si sono impegnati a collaborare per la realizzazione di tutte le attività e le prestazioni di interesse comune finalizzate alla **predisposizione del Piano di gestione del rischio di alluvione** relativo al Distretto Idrografico della Regione Autonoma della Sardegna (art. 7 e Allegato I del D.L. 23 febbraio 2010 n. 49 e art. 7 della Direttiva 2007/60/CE). Pertanto, per le zone a pericolosità di esondazione a seguito di alluvione, così come definite negli studi già realizzati, l'accordo tra ARDIS e DICAAR prevede di **individuare e definire in termini dimensionali le azioni strutturali per la mitigazione dei danni di piena, nonché il loro grado di priorità**, al fine della riduzione delle conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

Altro aspetto di comune interesse, nella realizzazione dello Studio, **riguarda l'analisi puntuale delle criticità evidenziate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)**, determinando le **massime portate** convogliabili in tronchi fluviali omogenei e i corrispondenti **tempi di ritorno** attesi per gli eventi critici di piena che determinano l'esondazione. Ovviamente quest'ultimo aspetto è anche da mettere in relazione con gli opportuni provvedimenti di Protezione Civile da porre in atto quando sono preannunciati eventi meteorologici di corrispondente criticità.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Le attività previste dall'Accordo rappresentano la **fase successiva (3° fase)** all'attività di pianificazione già svolta dall'Agenzia di Distretto Idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, che ha portato alla definizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni contenute nel Piano di Assetto idrogeologico (PAI) e nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF). Pertanto, in questa terza fase gli elementi conoscitivi e modellistici contenuti in **PAI e PSFF si intendono acquisiti come definitivi** per le valutazioni di caratterizzazione idrologica e per la definizione dei vincoli sul territorio derivanti dall'assetto di pericolosità allo stato attuale e non sono oggetto di ulteriori indagini se non, eventualmente, limitatamente alla variazione nella possibilità di laminazione delle onde di piena negli invasi, come sarà meglio definito nel seguito, ovvero per aggiornamenti specificatamente indicati da ARDIS e riscontrabili direttamente nelle modellazioni idrauliche già predisposte.

Dal punto di vista metodologico, al fine di tarare la metodologia di analisi, ARDIS e DICAAR hanno concordato di procedere prioritariamente all'analisi del **bacino idrografico pilota della bassa valle del fiume Coghinas** ricadente nel Sub-Bacino 3. Pertanto, nella presente relazione monografica del Riu Foddeddu si utilizzeranno procedure e metodologie di analisi che sono più estesamente illustrate nella Relazione metodologica già sviluppata e consegnata per il bacino pilota del fiume Coghinas.

Ai fini operativi, come sarà meglio precisato nel seguito, si è concordato di realizzare una **prima fase di modellazione** replicando il funzionamento del modello HEC-RAS di simulazione idraulica utilizzato in PSFF e considerando la base dati disponibile in tale studio. Saranno quindi esaminati i principali elementi di criticità evidenziati ai diversi tempi di ritorno nel bacino in esame. Nelle fasi successive di modellazione idraulica, finalizzata alla pianificazione degli interventi di mitigazione del rischio di alluvione, **si utilizzerà comunque di regola HEC-RAS**. Ovviamente, in tali fasi successive saranno introdotti nel modello tutti quegli elementi conoscitivi, in particolare il modello digitale del terreno, che consentono una maggiore aderenza e dettaglio nella caratterizzazione delle aree di esondazione e nelle valutazioni tecnico economiche. In specifico, la modellazione idraulica dovrà essere in grado di definire i battenti idrici nelle aree soggette ad alluvione per ottenere un'adeguata valutazione del danno atteso.

Si ricorda che in convenzione è previsto che nei tronchi idrici esaminati saranno individuati e studiati, a livello di fattibilità, gli interventi di sistemazione idraulica che si rendono necessari realizzare ex-novo, ovvero gli interventi necessari per adeguare e integrare le opere di difesa esistenti, di modo da riportare nel territorio limitrofo al corso d'acqua le condizioni di pericolosità a livello compatibile con il corretto sviluppo del territorio.

Il presente studio è propedeutico alla realizzazione finale del Piano ed è previsto che gli interventi siano esaminati a livello di **progetto di fattibilità** delle opere, per ognuno dei tronchi critici analizzati. Dovrà pertanto essere prodotta la descrizione degli interventi di cui si prevede la realizzazione, oneri conseguenti e eventuali soluzioni alternative esaminate considerando differenti **Scenari di intervento** che siano funzionalmente efficienti e possibilmente inseriti in un contesto di eventuale realizzazione anche per step funzionali successivi, ma che comunque mantengano, esaminati singolarmente, adeguata efficienza tecnica nel mitigare la pericolosità da eventi di piena.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Con riferimento ai contenuti della relazione monografica, di seguito si darà una descrizione sintetica dell'idrografia e principali caratteristiche del rio Riu Foddeddu, principali criticità riscontrate, elementi di documentazione della modellazione idraulica, scenari di intervento previsti e loro giustificazione tecnico-economica.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

2 Descrizione sintetica del sistema idrografico

Il riu Foddeddu trae origine dalle sorgenti del monte Tare (550 m s.m.), tra i comuni di Ilbono e Lanusei, dove è conosciuto e denominato come fiume Cardedu. Il corso d'acqua corre per circa 15 km in direzione sud-nord prima, ed ovest-est poi e, dopo aver attraversato la piana alluvionale di Tortolì, defluisce al mare a sud di Capo Bellavista, Arbatax.

Sono numerosi i nomi che l'asta assume nel suo percorso verso mare: da monte verso valle è denominato prima fiume Cardedu, poi fiume di Ardalas, fiume Corongiu ed infine, in corrispondenza di Tortolì, assume il nome di fiume Foddeddu

Dal punto di vista geomorfologico (Figura 2.1 - Figura 2.2), per tutto il tratto d'interesse, (da monte, in località Ardalase, fino a sfociare in mare in prossimità della spiaggia di San Gemiliano,) il rio presenta un tipo di alveo monocursale sinuoso tendente al meandriforme; a monte scorre per un breve tratto in una valle a forte pendenza per poi procedere il suo corso con andamento regolare e basse pendenze attraversando la piana alluvionale di Tortolì; il tratto terminale del corso d'acqua (di circa 4 km) è completamente artificializzato e chiuso all'interno di rilevati arginali continui fino alla foce in mare.

A valle dell'attraversamento della Strada Comunale Parendadai (Figura 2.1 e Figura 2.3), in corrispondenza della confluenza con il riu Baunuxi e il riu di Coxina in sponda sinistra l'asta segue una deviazione verso est e si allarga leggermente, mantenendo tuttavia una modesta sezione di deflusso. In prossimità della località Truncu Putzolu l'alveo disegna una doppia curva, restringendosi e scorrendo ben definito tra i versanti vallivi dei rilievi paleozoici fino alla confluenza con il riu Truculle; in corrispondenza di quest'ultima confluenza il corso d'acqua scorre moderatamente stretto e poco inciso tra due scarpate.

Più a valle l'asta fluviale continua con il suo andamento sinuoso e perviene in località Truncone (Figura 2.4), dove curvando verso est tende ad allargare la fascia golenale in sponda destra in cui sono riconoscibili alcune forme di erosione fluviale.

A valle della confluenza con il riu Campu S'Alimu, l'alveo risulta confinato da due versanti vallivi a pendenza elevata. Tale andamento viene interrotto tra le località Molimenta e Bardella, in corrispondenza della confluenza del riu Arcu Donna Ittoria, dove si riscontra un consistente allargamento della piana alluvionale che ospita numerose forme di erosione, testimoniando il passaggio delle correnti di piena anche al di fuori delle sponde.

Procedendo verso valle, l'asta compie una seconda ansa e la pianura alluvionale continua ad allargarsi fino a raggiungere un'ampiezza massima di circa metri 350 in località Tanca Suergiu (Figura 2.5); in questo tratto sono visibili le tracce di erosione lasciate dal passaggio delle correnti di piena e il fiume palesa la tendenza ad assumere un assetto pluricursale.

Nel tratto finale (Figura 2.2 e Figura 2.6) che attraversa la piana alluvionale di Tortolì, il rio presenta lunghi tratti regolarizzati lungo entrambe le sponde, in prossimità dell'abitato.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Le arginature a protezione del centro abitato di Tortolì si sviluppano per circa 4 km hanno inizio in sinistra idrografica a valle del ponte della S.S.125, mentre in sponda destra l'asta fluviale, fino al ponte interno all'abitato (Ponte di Ferro), è delimitata da una scarpata naturale. La continuità nel contenimento dei deflussi in sinistra idrografica viene garantita dalla presenza lungo un tratto d'asta dal muro via delle Lavandaie (giallo in figura 2.2), quindi dal muro via Foddeddu (rosso), per proseguire fino a mare con l'arginatura in terra (magenta). In sponda destra l'arginatura artificiale si innesta subito a valle del ponte di ferro e prosegue verso valle interrompendosi in prossimità del colle in località Sa Nugi per poi riprendere fino alla foce. Nell'ultimo tratto, quello più vallivo di circa 2 km, le due arginature in terra corrono parallele sino alla foce dando all'alveo un andamento rettilineo, ben diverso da quello meandrizzato naturale, come evidenziato nell'ortofoto risalente al 1948, data in Figura 2.7).

Esternamente alle sponde attuali, dalle ortofoto sono visibili le tracce del passaggio di antichi eventi alluvionali come solchi di erosione difficilmente riattivabili anche in caso di eventi di piena eccezionali grazie alla presenza delle arginature.

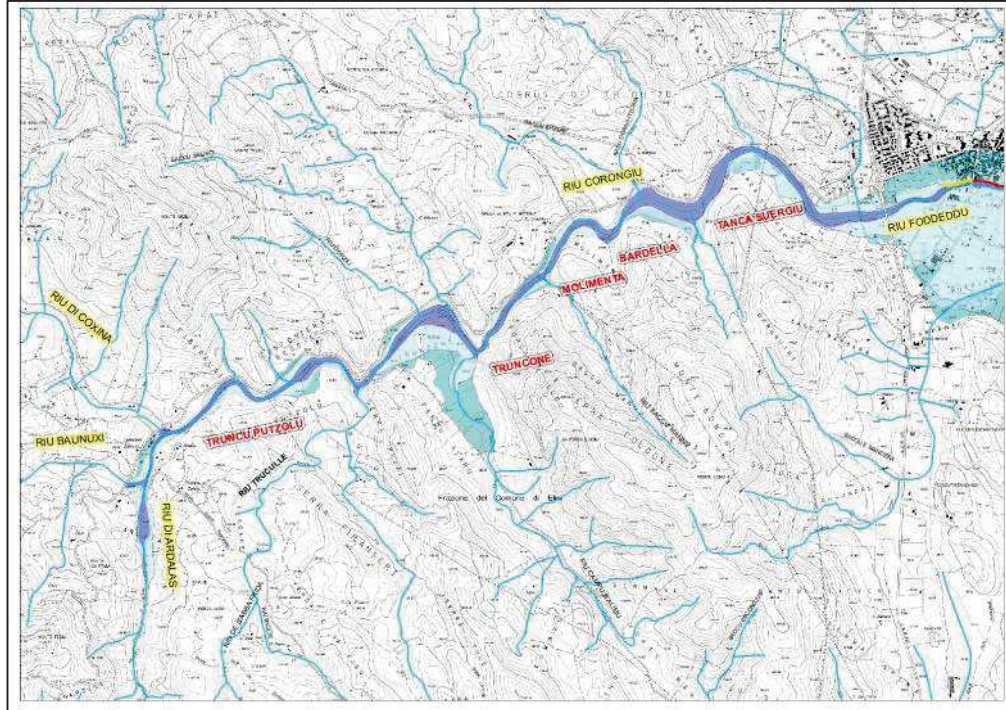


Figura 2.1 – Riu Foddeddu – primo tratto rettificato, secondo naturale

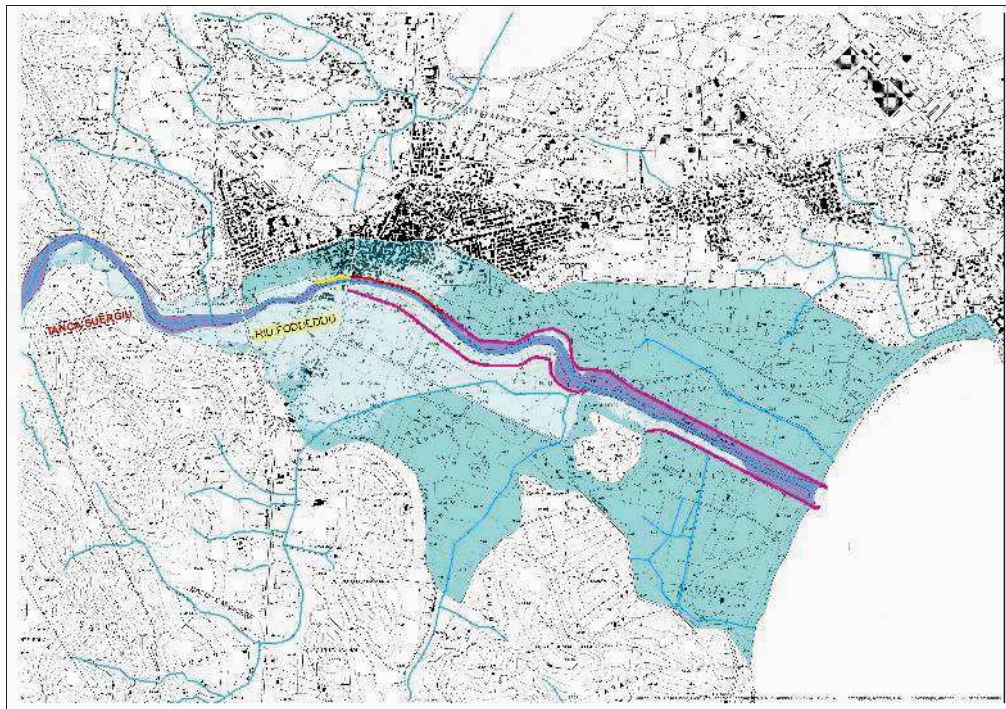


Figura 2.2 – Tratto regimato: In giallo muro Lavandaie, in rosso muro via Foddeddu, in magenta argini IN TERRA

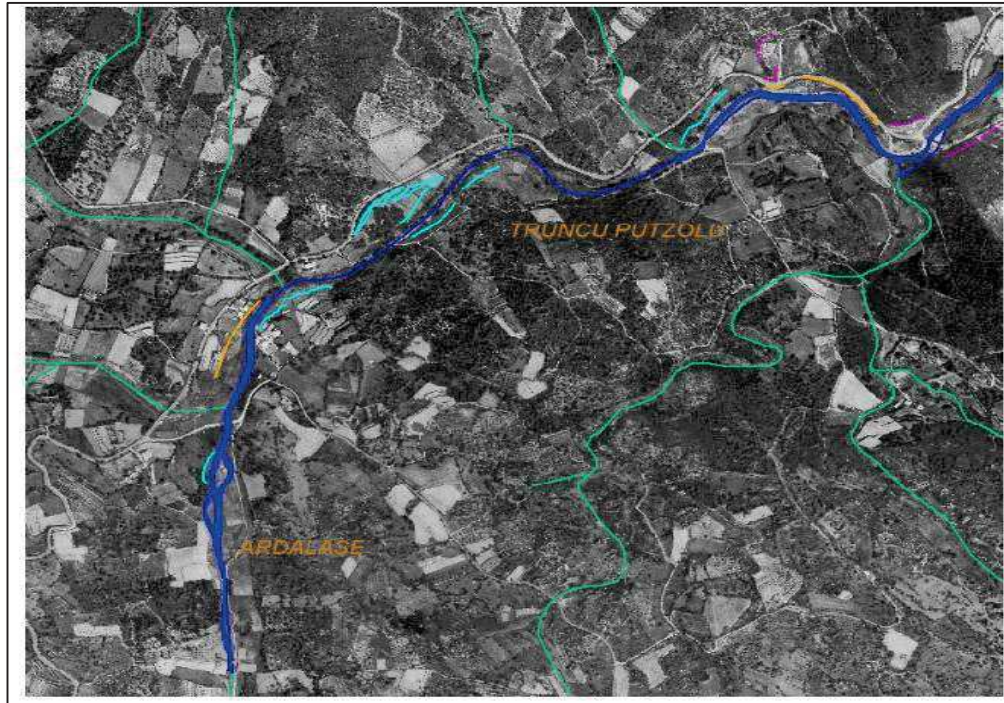


Figura 2.3 – Tratto montano: canali di erosione (celeste), difese spondali (arancio) (fonte PSFF 2013);



Figura 2.4 – Tratto montano: canali di erosione (celeste), difese spondali (arancio), scarpate (viola) (fonte PSFF 2013);

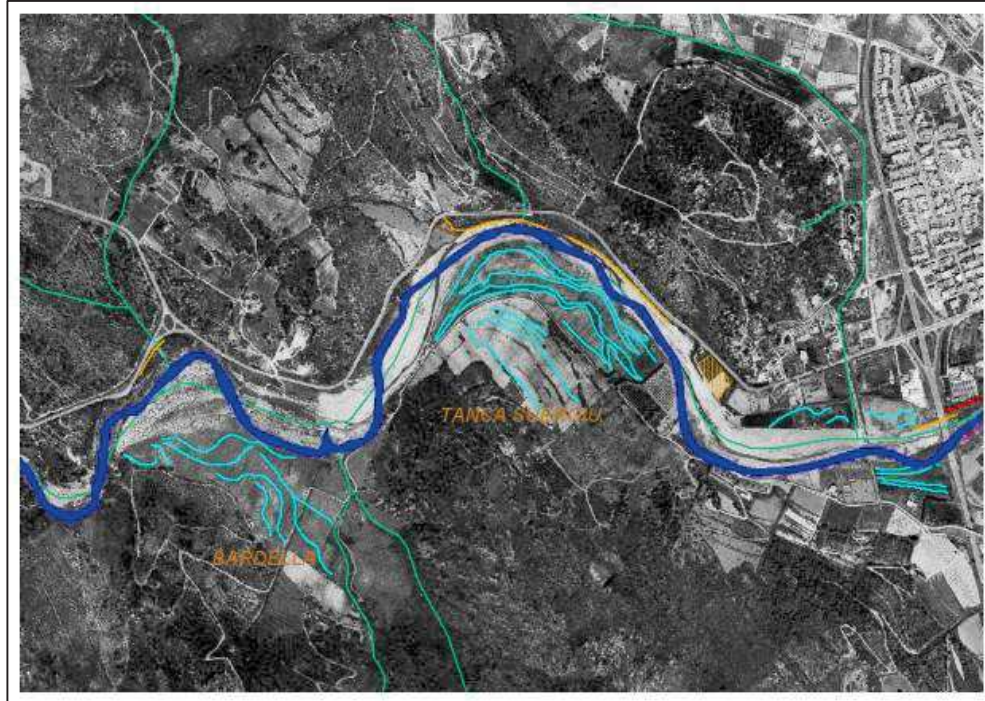


Figura 2.5 – Tratto a monte dell'abitato: canali di erosione (celeste), difese spondali (arancio) (fonte PSFF 2013);

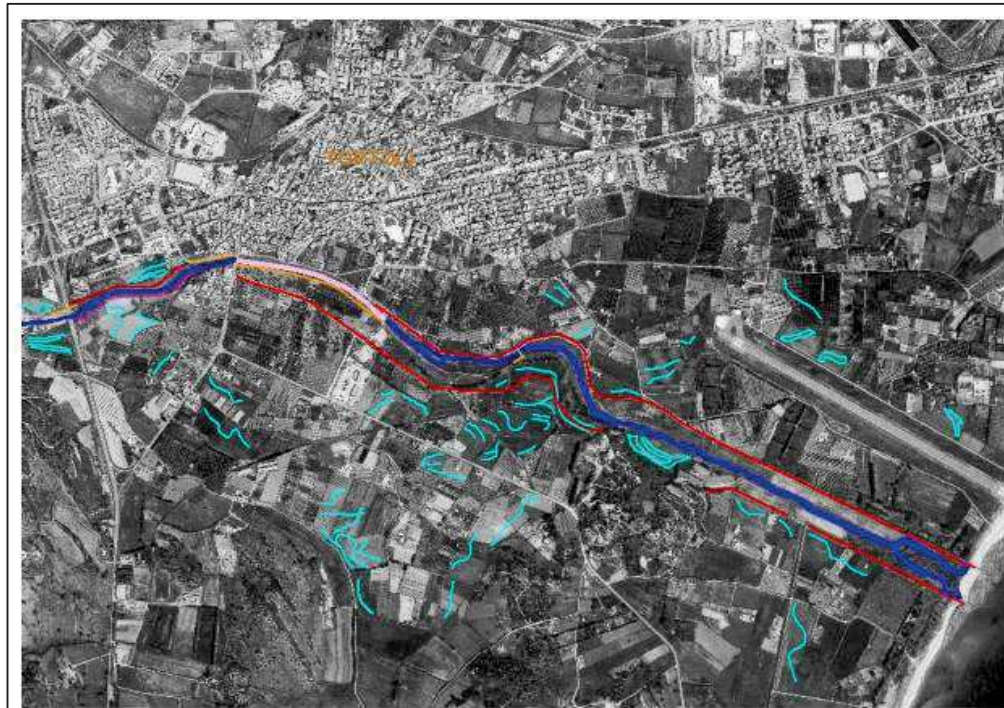


Figura 2.6 – Tratto valle SS 125: canali di erosione (celeste), difese spondali (arancio), rilevati arginali (rosso - rosa);



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

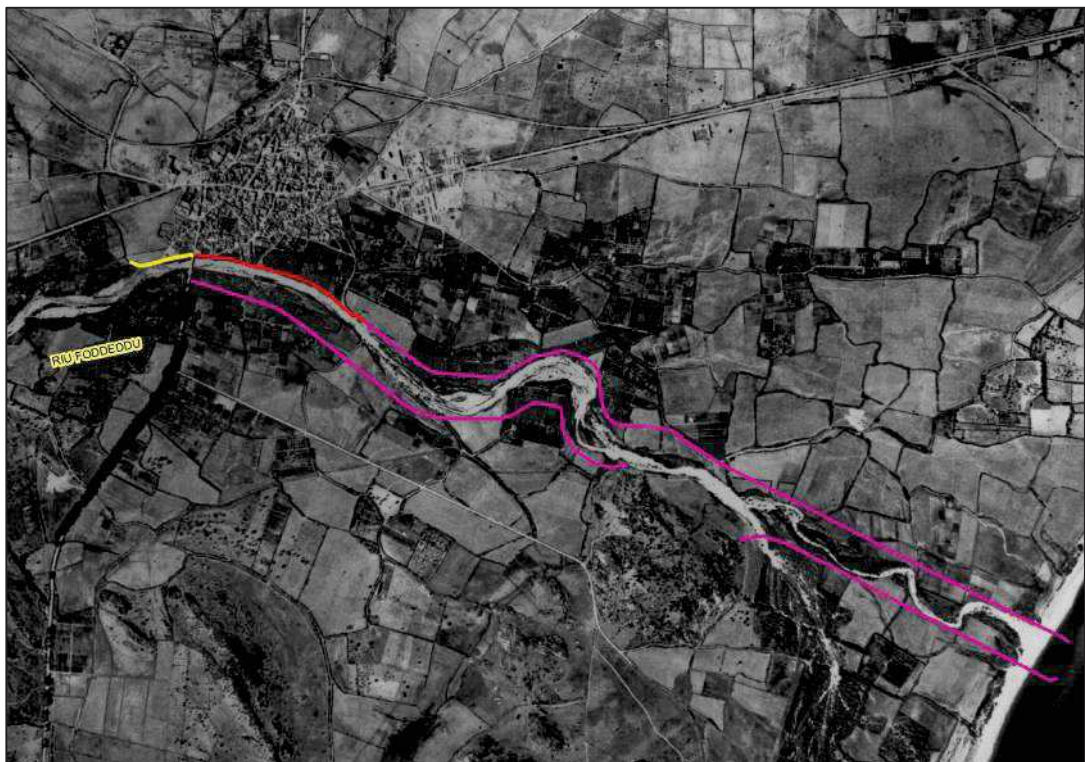
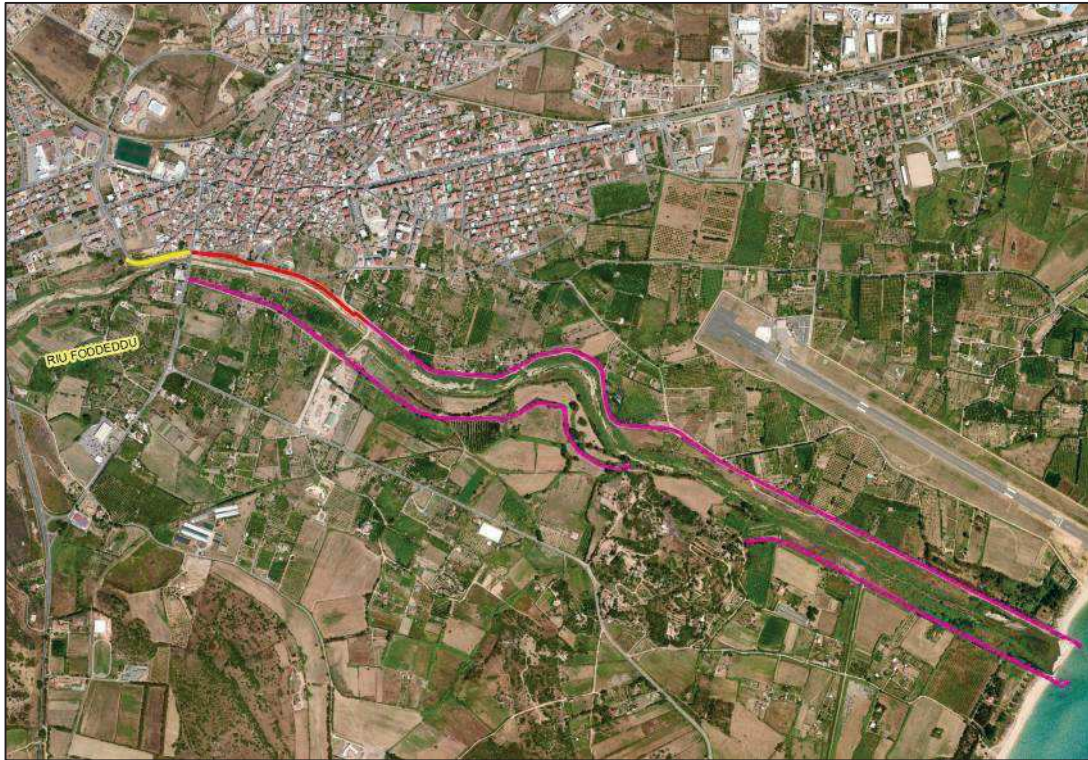


Figura 2.7 – Effetto delle opere di regimazione a valle del ponte di ferro: ortofoto 2013 – ortofoto 1958;



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Rilievo opere idrauliche - Dovendoci soffermare solo sulle opere idrauliche, la cui efficacia andrà sarà valutata proprio nell'ambito di questo studio, si evidenzia che il rio nel tratto a monte della SS 125 presenta delle condizioni naturali con sporadiche difese longitudinali a protezione della SS 198 (Figura 2.8 e Figura 2.9), mentre a valle del ponte sulla SS 125 presenta in sequenza

- a) Un muro arginale sinistro in via delle Lavandaie (Figura 2.10);
- b) Un muro arginale sinistro in via Foddeddu (Figura 2.11);
- c) Un argine sinistro in terra che si intesta sul muro arginale fino alla foce (Figura 2.12);
- d) Una scarpata naturale in destra tra il ponte della SS 125 e il ponte di Ferro (Figura 2.13);
- e) Un argine destro in terra che parte dal ponte di ferro fino alla foce interrompendosi localmente in prossimità del colle in località Sa Nugli (Figura 2.14);



Figura 2.8 – Tratto di monte a bassa pendenza in condizioni naturali – incisione alveo di magra



Figura 2.9 – Tratto monte SS 125: difesa spondale sx in gabbioni a protezione della SS 198 in località Tanca Suergiu;

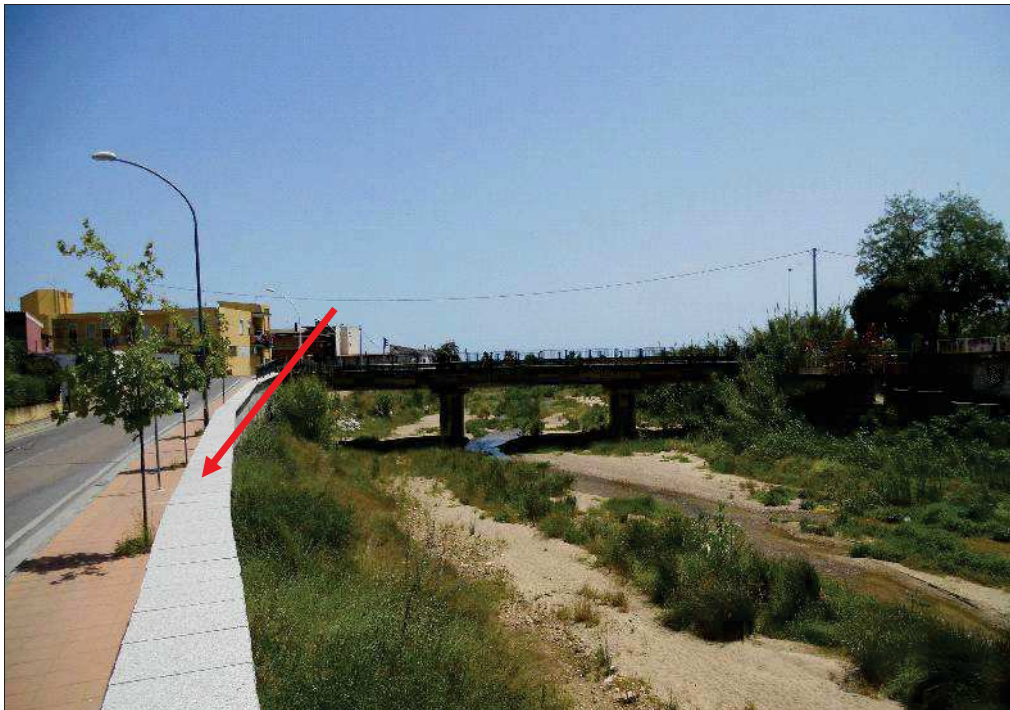


Figura 2.10 – Tratto urbano tra il ponte sulla SS 125 e il ponte di ferro (in primo piano): muro sx di via delle Lavandaie;



Figura 2.11 – Tratto urbano a valle del ponte di ferro: muro sx di via Foddeddu;



Figura 2.12 – Tratto focivo: argine sinistro in terra rivestito sul paramento interno – visibile la barra dunale;



Figura 2.13 – Tratto urbano tra il ponte SS 125 e il ponte di ferro: scarpata naturale destra;



Figura 2.14 – Tratto a valle del ponte di ferro: argine in terra destro (notare le pessime condizioni del rilevato);



Analisi Idrologica

Dal punto di vista idrologico il rio Foddeddu rappresenta senza dubbio uno dei più importanti corsi d'acqua della Sardegna Orientale in grado di drenare alla foce, definita dalla sezione 06_FO_001 del PSFF e corrispondente alla chiusura del sottobacino H (Figura 2.15), i deflussi di un bacino di 72.2 kmq. Le stime delle portate di piena attese ai diversi tempi di ritorno sono riassunte nella Tabella 2.1 (fonte PSFF 2013).

Si tratta di deflussi rilevanti che interessano la parte valliva del corso d'acqua e determinano diverse criticità legate alla presenza di infrastrutture viarie importanti (SS 198, SS 125) e, soprattutto, al centro abitato che si sviluppa in sponda sinistra.

Tabella 2.1–Portate del Riu Foddeddu alla foce (PSFF)

Tempo di ritorno	50	100	200	500
Q (mc/s)	466	579	696	856

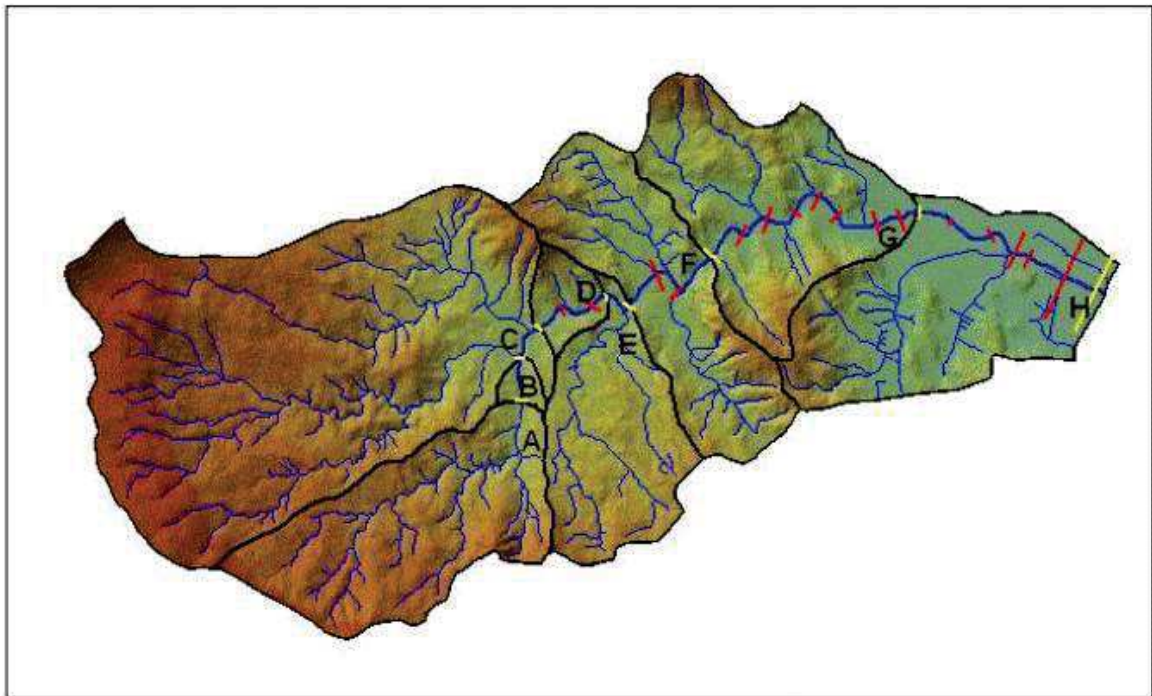


Figura 2.15 – Il bacino del Riu Foddeddu e i relativi sottobacini (fonte PSFF 2013)

Per quanto riguarda gli aspetti di modellazione idraulica, nell'ambito dello Studio delle Fasce Fluviali il Riu Foddeddu è stato studiato per una lunghezza di circa 12 km interessato da 4 opere di attraversamento, sulla base del rilievo di 23 sezioni trasversali ricostruite con rilievo topografico strumentale (Figura 2.16 e Figura 2.17), di cui 15 nella parte a monte della SS 125 e 8 a valle.

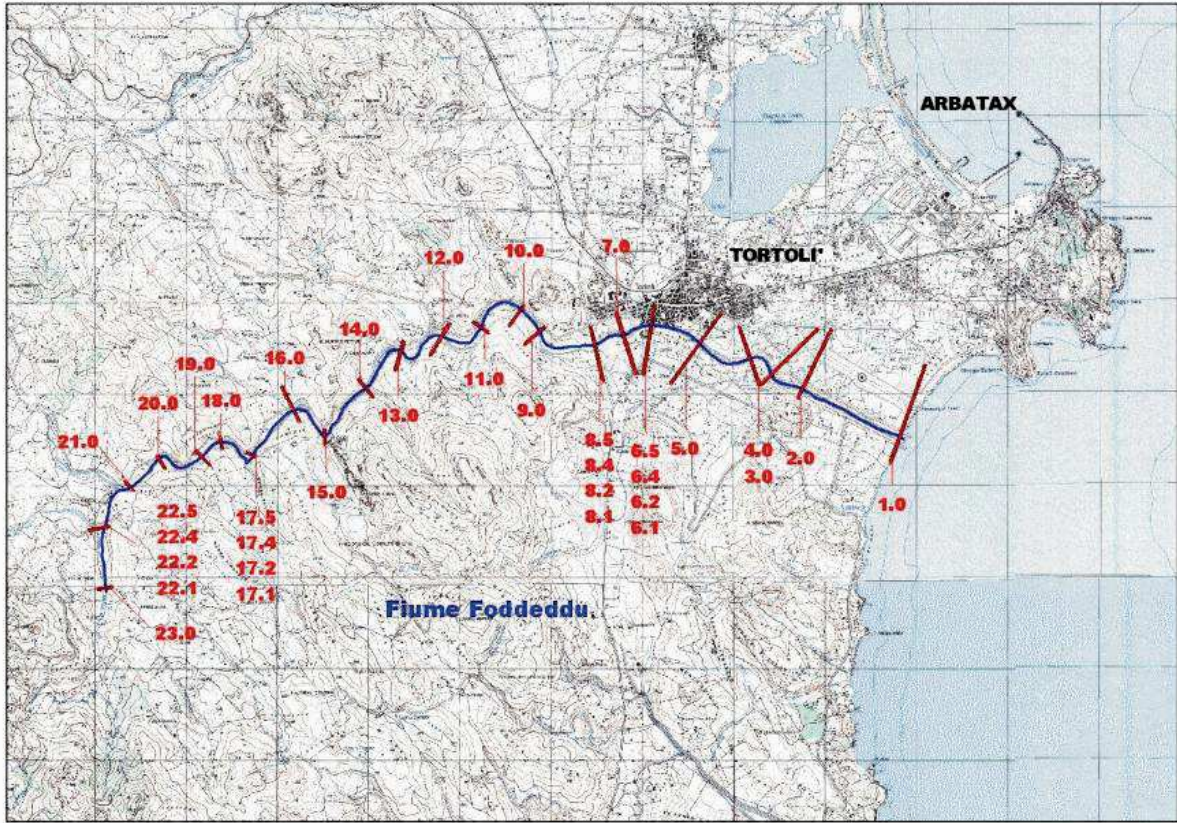


Figura 2.16 – Le 23 sezioni trasversali del PSFF (fonte PSFF 2013)



Figura 2.17 – Le 23 sezioni trasversali del PSFF - modello HEC



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3 Bacino del rio Riu Foddeddu: Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF

Come è più ampiamente illustrato nella relazione metodologica generale, ai fini operativi, si è concordato di realizzare una **prima fase di modellazione** replicando nel presente studio il funzionamento del modello HEC-RAS di simulazione idraulica utilizzato in PSFF, considerando pertanto la base dati disponibile in tale studio. In tal modo è possibile verificare la congruità tra i risultati PSFF e quelli ottenuti con i modelli utilizzati dal DICAAR nella stessa situazione. In particolare si è esaminata e riscontrata in questa fase di verifica l'estensione delle aree di pericolosità idraulica ai diversi tempi di ritorno.

Il tratto di interesse, come detto, è quello di circa 12 km compreso tra la **località Ardalase e la foce**; nei primi 8 km, fino alla intersezione con la SS 125, la pressione antropica sul territorio è pressochè nulla e l'unico elemento infrastrutturale importante interessato dal deflusso è la SS 198 lambita dalle piene del rio; nei restanti 4 km e soprattutto nei primi 2 subito a valle del ponte sulla SS 125 si concentrano invece le maggiori criticità in termini di infrastrutture interessate dai fenomeni di alluvione.

Si riassumono di seguito le caratteristiche di questi tratti.

Il tratto montano, di circa 8 km, scorre dapprima con alveo tipo monocursale sinuoso, mantenendo un andamento irregolare in una valle mediamente stretta e scarsamente antropizzata. In sinistra idrografica l'alveo è affiancato, ma mai attraversato, dalla strada statale S.S.198. Il tratto monocursale si estende sino in prossimità dell'incrocio tra la S.S.198 e la S.P.27 per Villagrande, all'altezza della sezione topografica 06_FO_012. Oltrepassato il tratto più inciso, la valle del Foddeddu si allarga e il fiume assume caratteristiche di alveo tipo ramificato sino all'altezza di Tortoli, la pendenza media al fondo diminuisce e i versanti sono meno acclivi.

Il tratto vallivo dopo l'attraversamento della S.S.125 Orientale Sarda, 4 km a monte dello sbocco a mare, affianca Tortoli, che si sviluppa tra il fiume Foddeddu, a sud e lo stagno omonimo a nord. In corrispondenza di Tortoli, il tronco compreso tra il primo ponte della statale e quello denominato Garibaldi (Ponte di Ferro), posto 600 m a valle, è, in sinistra, controllato da un rilevato in terra e dal muro arginale di via delle Lavandaie, in destra dalla sola scarpata naturale. Sempre in sinistra, le spalle di entrambi i ponti sono difese mediante opere longitudinali. Oltrepassato il ponte Garibaldi, l'alveo è stato recentemente risagomato mentre il letto presenta un alveo di magra naturale dopo che l'alluvione del 28/11/2008 ha rimosso il rivestimento in calcestruzzo per una lunghezza di circa 600 m (Figura 3.1). L'intero tronco a valle del ponte Garibaldi sino a mare è arginato lungo entrambe le sponde; l'alveo inciso ha una larghezza media di 60 m, mentre la distanza tra le arginature è variabile tra 130 e 140 m.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 3.1 – Effetto alluvione 28/11/2008 a valle del ponte di ferro (confronto 2008 – 2012)



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Dal punto di vista infrastrutturale si rileva la presenza di 4 ponti 3 comunali e uno statale, sulla S.S.125, ubicato a circa 4 km a monte della foce. Il primo ponte della strada comunale Parendadai in località Ardalase (Figura 3.2), è sormontato già con piene cinquantenarie; il secondo su strada vicinale in località Serra Pellai è sufficiente per tutti i tempi di ritorno (Figura 3.3 e Figura 3.4); il ponte sulla SS 125 è correttamente dimensionato (Figura 3.5) al pari di quello di ferro (Figura 3.6) che tuttavia è responsabile di un evidente profilo di rigurgito anche per via del forte restringimento della sezione a monte.

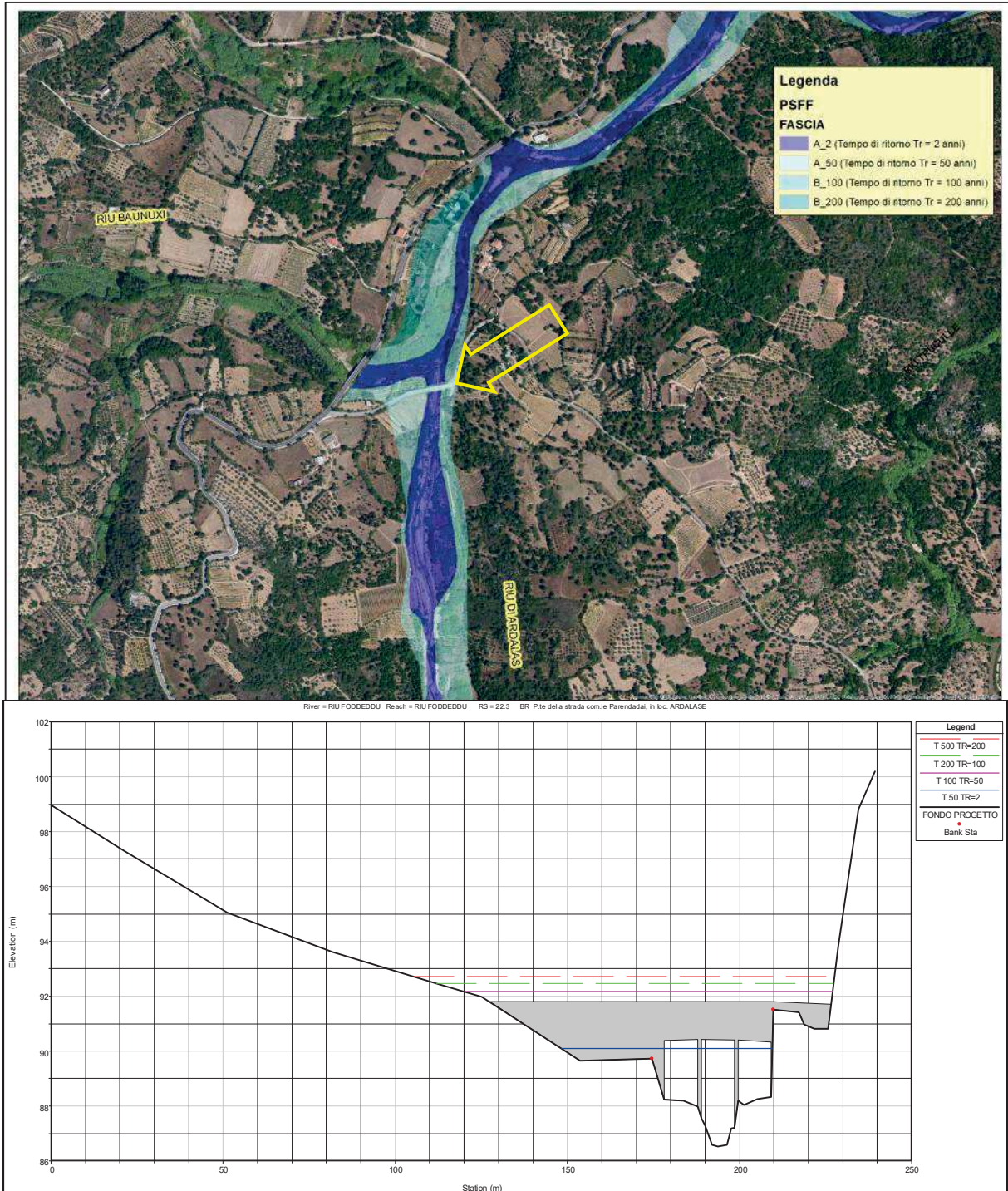


Figura 3.2–Ponte località Parendadai in località Ardalase



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

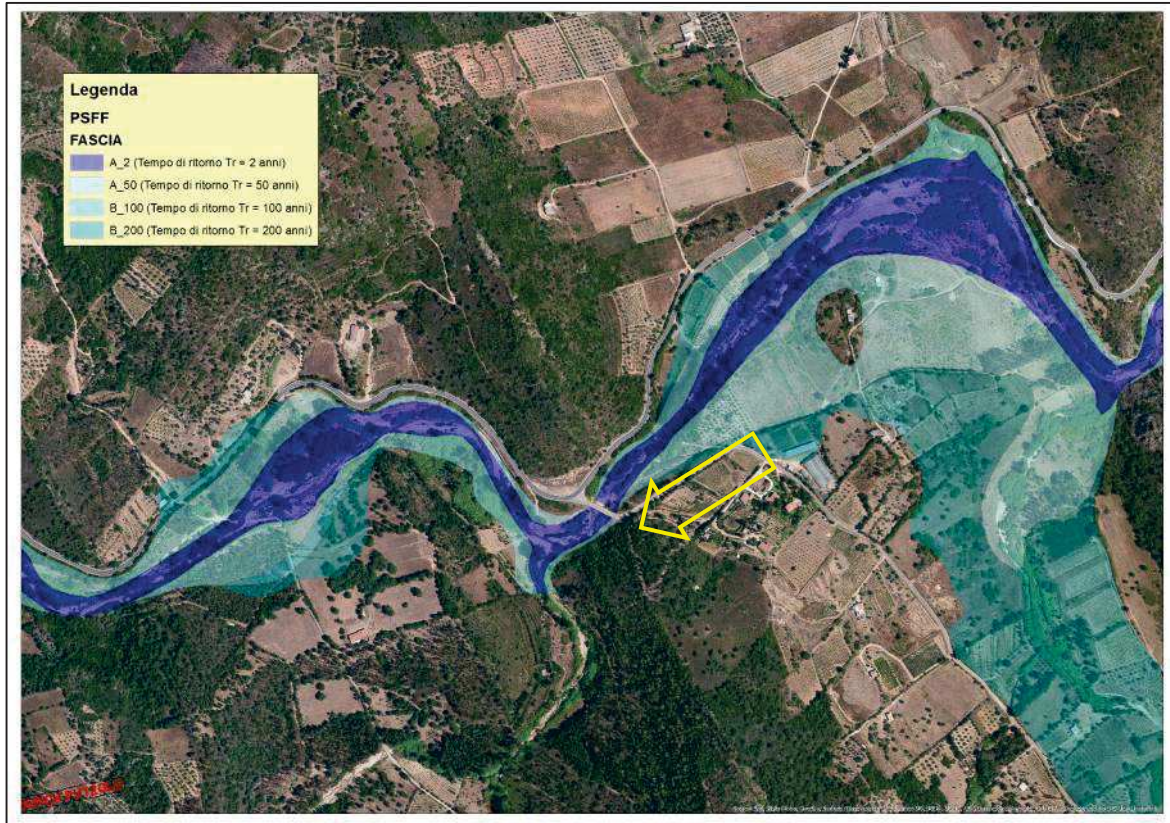


Figura 3.3– Ponte strada vicinale in località Serra Pellai



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

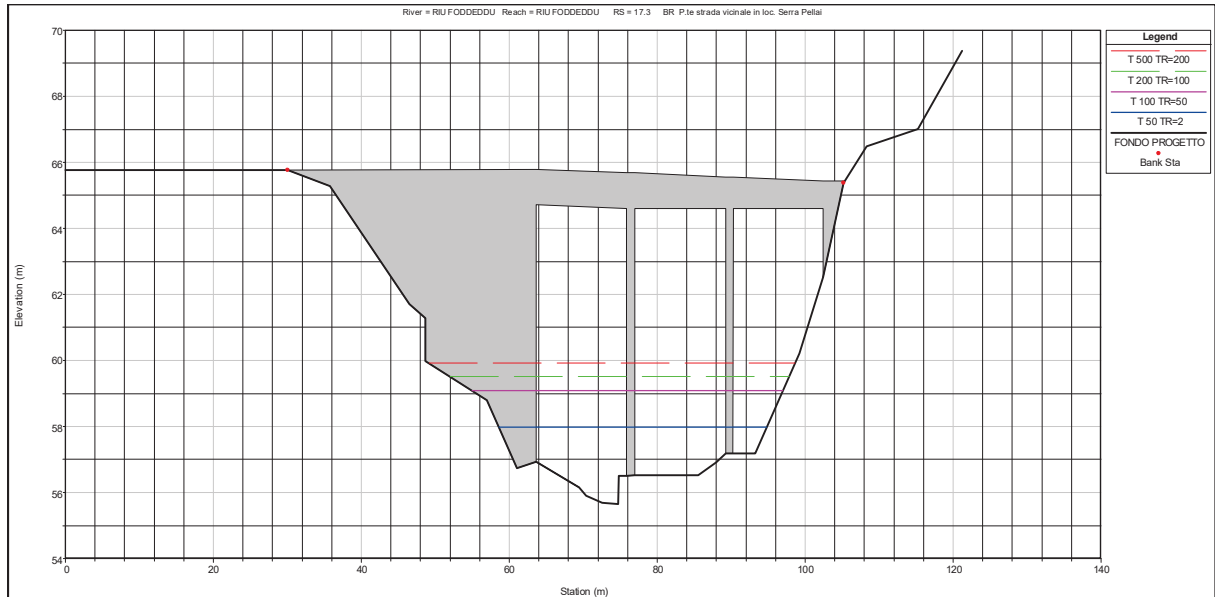


Figura 3.4—Ponte strada vicinale in località Serra Pellai con tiranti PSFF



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

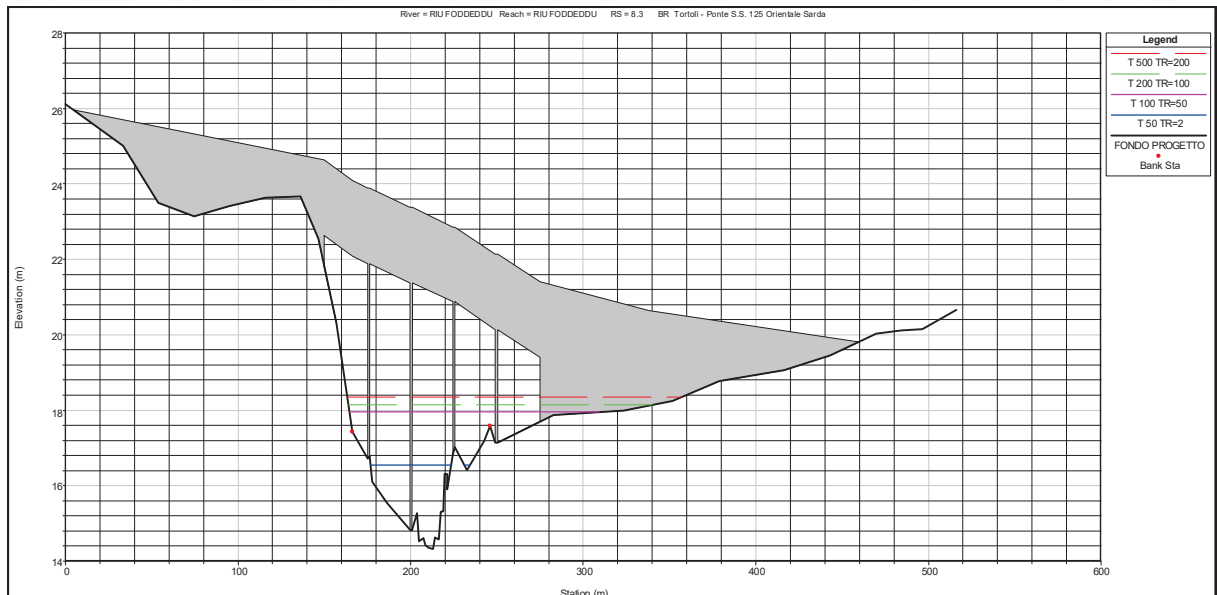
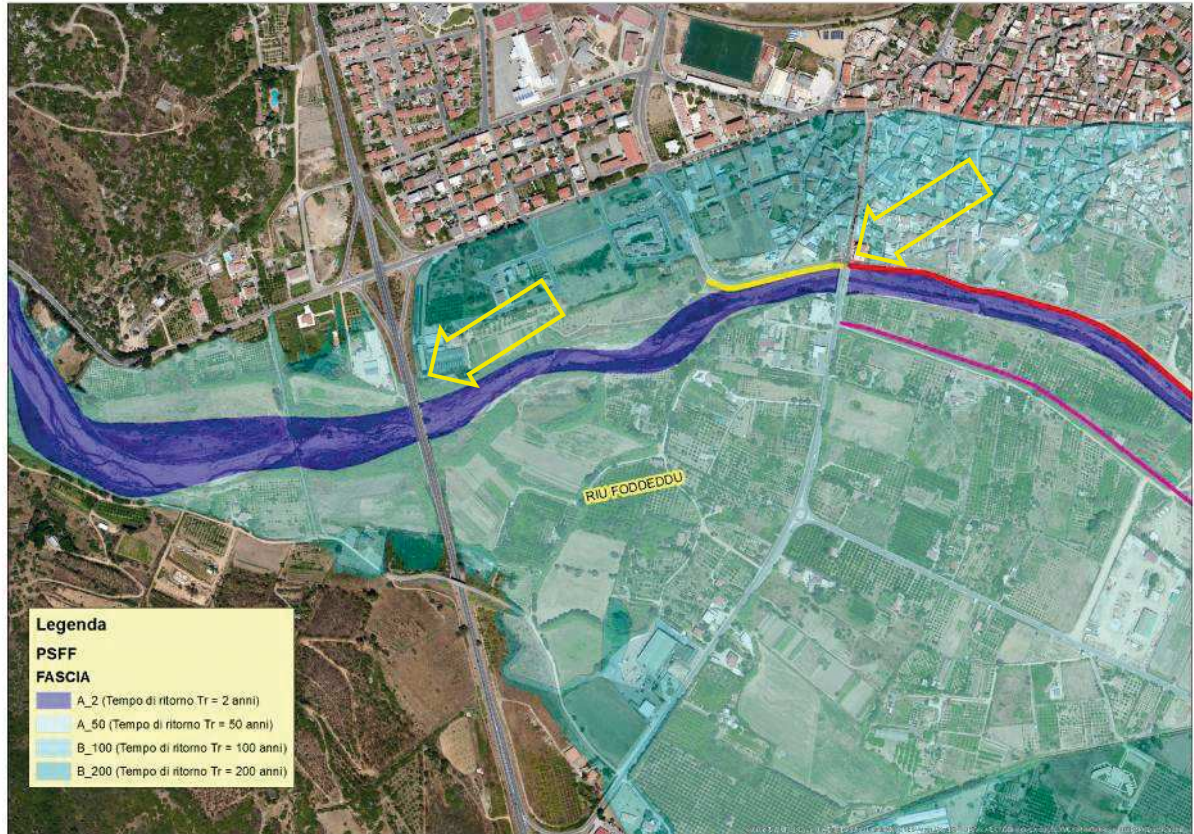


Figura 3.5–Ponte SS 125 con tiranti PSFF



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

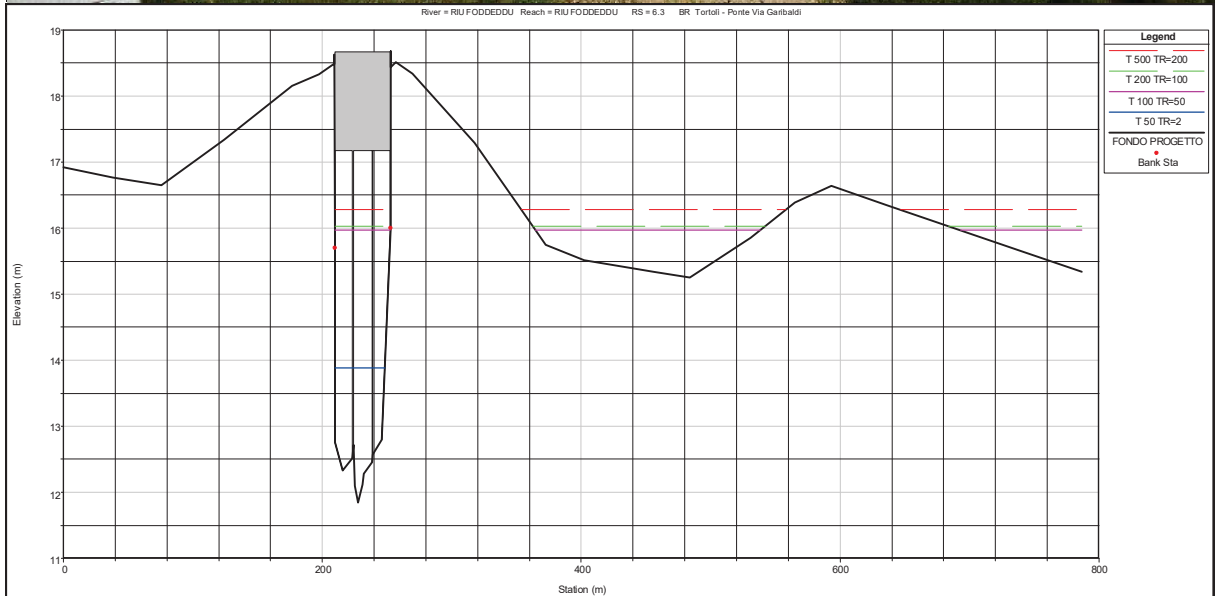


Figura 3.6– Ponte Garibaldi (Ponte di Ferro) con tiranti PSFF



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3.1 SINTESI DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Come già detto, il Riu Foddeddu nel tratto di interesse per circa 8 km scorre su un alveo naturale, mentre per i restanti 4 km è interamente arginato sia in sponda destra che sinistra con opere di varia natura la cui efficacia sarà valutata nel presente studio (Figura 2.2).

La geometria dell'asta oggetto di analisi è stata schematizzata tramite 23 sezioni trasversali di cui 15 a monte della SS 125 e 8 a valle.

Nell'applicazione del modello di simulazione idraulica, funzionante in condizioni di moto stazionario, si pone il problema di come analizzare il comportamento idraulico in piena nei tratti arginati, nei casi in cui la portata defluente comporti livelli idrici che superano la quota di sommità delle arginature. Tale condizione si verifica nel modello PSFF nel tratto a valle della SS 125 fino alla foce.

Tenendo conto che lo schema di calcolo di moto stazionario non consente di simulare i fenomeni transitori che si manifestano al momento della tracimazione e, eventualmente, della rotta arginale, per i tratti arginati si impiegano i due scenari con assenza o presenza di tracimazione:

- **assenza di tracimazione:** si ipotizza che l'altezza degli argini sia comunque adeguata al contenimento dei livelli idrici, indipendentemente dal valore reale delle quote di sommità arginale; secondo tale schema le portate defluenti sono comunque contenute all'interno della sezione arginata del corso d'acqua; la differenza in quota (franco) tra il profilo di corrente per le diverse portate e quello della sommità arginale evidenzia la capacità di contenimento in quota di ciascuna sezione del corso d'acqua e, nel caso risulti negativa, il rialzo arginale necessario;
- **presenza di tracimazione:** lo schema di riferimento considera le condizioni di moto che si possono instaurare dopo che sia avvenuta la tracimazione degli argini e quindi in assenza della funzione di contenimento dei rilevati arginali; la sezione interessata al deflusso è quindi estesa all'intera porzione di piano campagna allagata, fino al limite morfologico naturale o artificiale che può contenere l'inondazione; lo schema indicato viene applicato solo alla portate che, nello schema di calcolo precedente, comportano livelli superiori a quelli delle sommità arginali e i livelli idrici ottenuti con tale schema di simulazione sono utilizzati per il tracciamento delle fasce fluviali relative alle portate che comportano tracimazione.

Nel caso specifico la modellazione con argini non sormontabili ha evidenziato, sul tratto a valle della SS 125, livelli idrici che risultano superiori alla quota di sommità delle arginature per tempi di ritorno **superiori ai 100 anni**: per gli eventi con tempo di ritorno 200 e 500 e solo per il tratto di 4 km regimato, si è proceduto pertanto a costruire ed implementare anche lo scenario con argini sormontabili per e giungere al tracciamento delle mappe di allagamento.

I risultati delle simulazioni sono rappresentati di seguito per le condizioni ad argini non sormontabili e sormontabili



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Argini non sormontabili

L'asta fluviale può essere divisa in due tronchi: il tratto montano, che parte dalla sezione 23 e arriva alla sezione 8, poco a monte di Tortolì, per una lunghezza di circa 8 km, e il tratto di pianura, dalla sezione 8 fino allo sbocco in mare, che coinvolge i rimanenti 4 km di asta.

Il tratto montano, dove la modellazione ad argini non sormontabili è quella rappresentativa dell'effettivo comportamento idraulico del rio, si sviluppa mantenendo una pendenza media di fondo pari a circa l'1% senza interessare abitati, la corrente defluisce prevalentemente in condizioni subcritiche anche se alcuni tronchi vallivi stretti e incisi possono indurre profili di corrente veloce.

L'alveo si presenta in condizioni prevalentemente naturali e stabili; gli elementi artificiali interagenti con l'assetto naturale del corso d'acqua sono costituiti da 2 attraversamenti e dalle opere spondali presenti in sponda sinistra a difesa della S.S.198, strada che affianca il fiume per tutto il tratto montano.

L'alveo si presenta regolare, caratterizzato da una pendenza costante ed una larghezza media di alveo inciso di circa 80 m; solo in prossimità di Tortolì la valle tende ad allargarsi e l'alveo tipo da monocursale passa a ramificato, con larghezza media crescente sino oltre i 110 m.

Le caratteristiche idrauliche dei deflussi intensi testimoniano, procedendo da monte verso valle, un progressivo incremento della larghezza media della sezione bagnata, che raggiunge i 130 m, e dei tiranti idrici; le velocità di conseguenza decrescono da monte verso valle passando da 3,5 a 1,5 m/s in prossimità di Tortolì.

I due attraversamenti stradali della comunale Parendadai e della vicinale di serra Pellai inducono effetti opposti rispetto agli eventi alluvionali: il primo risulta fortemente inadeguato e viene sormontato già per l'evento con tempo di ritorno pari a 50 anni, mentre il secondo, di recente realizzazione, appare adeguato per tutti gli eventi simulati.

Il tratto vallivo regimato a valle del ponte della S.S.125, ha carattere prettamente artificiale. I piani di bonifica del territorio hanno infatti attuato, nel tratto in esame, successivi interventi di regimazione e controllo degli eventi di piena mediante la realizzazione delle arginature. Tuttavia la discontinuità delle opere realizzate non garantisce, in particolar modo nel tratto prospiciente Tortolì, una adeguata sicurezza al centro abitato.

La pendenza di fondo media del tratto è pari a circa il 3‰; le condizioni di deflusso sono subcritiche per tutti gli eventi considerati; le velocità medie raggiungono, per le portate più elevate, valori prossimi a 2,5 m/s, mentre la larghezza media della sezione bagnata, determinata dagli argini, è pari a 140 m.

Nel tratto focivo la quota media di coronamento dei corpi arginali è sormontata per eventi paragonabili all'evento **duecentennale** in tal caso il comportamento in piena è rappresentato nella configurazione ad argini sormontabili; gli eventi intensi possono indurre l'allagamento della piana alluvionale compresa tra alveo e litorale, con criticità per i numerosi insediamenti abitativi e produttivi.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Argini - Dall'analisi dei livelli idrici derivanti dalle simulazioni effettuate, appare l'inadeguatezza delle strutture di contenimento idraulico per eventi confrontabili con l'evento duecentennale.

Tabella 3.2–Valori di livello idrico e franco in corrispondenza delle arginature (fonte PSFF 2013)

fiume Foddeddu – Livelli idrici e franco in corrispondenza delle arginature (argini non tracimabili)												
Descrizione	ID Sez.	Quota argini [m s.m.]	Livello idrico [m s.m.]					Franco [m]				
			T=2	T=50	T=100	T=200	T=500	T=2	T=50	T=100	T=200	T=500
Argine sinistro	7	18,61	15,15	17,24	17,64	18,03	19,50	3,46	1,37	0,97	0,58	-0,89
	5	14,01	10,58	12,38	12,63	13,14	13,76	3,43	1,63	1,38	0,87	0,25
	4	11,86	8,37	10,54	10,99	11,41	11,9	3,49	1,32	0,87	0,45	-0,04
	3	11,62	8,23	10,37	10,82	11,24	11,74	3,39	1,25	0,80	0,38	-0,12
	2	11,52	6,94	8,67	8,91	9,14	9,53	4,58	2,85	2,61	2,38	1,99
	1	4,47	1,81	1,9	1,95	2,03	2,15	2,66	2,57	2,52	2,44	2,32
Argine destro	5	14,12	10,58	12,38	12,63	13,14	13,76	3,54	1,74	1,49	0,98	0,36
	4	11,88	8,37	10,54	10,99	11,41	11,9	3,51	1,34	0,89	0,47	-0,02
	3	11,6	8,23	10,37	10,82	11,24	11,74	3,37	1,23	0,78	0,36	-0,14
	1	4,21	1,81	1,9	1,95	2,03	2,15	2,40	2,31	2,26	2,18	2,06

Infrastrutture - Il tratto di 12 km è interessato da quattro attraversamenti stradali che sono interessati da livelli idrici e franchi riportati in Tabella 3.3.

Il primo ponte-guado della strada comunale località Ardalase ha due pile e i rilevati di accesso che restringono significativamente la sezione, oltre che una quota di intradosso relativamente bassa rispetto al fondo alveo. L'opera interferisce con i deflussi di piena in modo rilevante, causando un rigurgito a monte che favorisce l'allagamento delle aree circostanti: già per l'evento con tempo di ritorno pari a **50 anni** si verifica il sormonto dell'impalcato.

Il nuovo ponte della strada vicinale in località Serra non evidenzia specifiche criticità, risultando compatibile, in termini di livelli al colmo, anche al deflusso della portata cinquecentennale.

Il ponte sulla S.S.125 si caratterizza per una pendenza della livelletta stradale in direzione della sponda destra: in corrispondenza dell'alveo, la quota dell'intradosso si abbassa di circa 3,2 m passando dalla sponda sinistra alla destra. Il franco idraulico è stato pertanto valutato rispetto alla quota minima di intradosso (19,4 m s.m.). Va inoltre sottolineato come il rilevato di accesso al ponte sulla sponda destra provochi una significativa contrazione della sezione trasversale di deflusso che comporta, per portate elevate, un rilevante effetto di rigurgito.

L'attraversamento a Tortolì di via Garibaldi detto anche ponte di ferro appare con franco insufficiente per la portata con tempo di ritorno **100** anni, mentre diventa completamente inadeguato per il tempo di ritorno di 500 anni che comporterebbe la tracimazione dell'impalcato. Va però tenuto presente che in questo tratto i rilevati arginali esistenti non sono sufficienti al contenimento dei livelli della piena di 200 anni; lo scenario di simulazione ad argini non tracimabili



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

non è pertanto significativo per tali condizioni di portata e quindi il grado di sollecitazione idraulica del ponte è meglio rappresentato dalle simulazioni “con argini tracimabili”.

Tabella 3.3–Valori di livello idrico e franco in corrispondenza degli attraversamenti (fonte PSFF 2013)

fiume Foddeddu – Livelli di corrente e valori del franco in corrispondenza degli attraversamenti												
Descrizione	ID Sez.	Quota Intradosso [m s.m.]	Livello idrico [m s.m.]					Franco [m]				
			T=2	T=50	T=100	T=200	T=500	T=2	T=50	T=100	T=200	T=500
P.te della strada com.le Parendadai, in loc. ARDALASE	22.3	90,33	90,12	92,17	92,47	92,72	93,05	0,21	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
P.te strada vicinale in loc. Serra Pellai	17.3	64,61	58,06	59,99	60,59	61,16	61,87	6,55	4,62	4,02	3,45	2,74
Tortoli - Ponte S.S. 125 Orientale Sarda	8.3	19,40	16,57	17,94	18,17	18,49	19,60	2,83	1,46	1,23	0,91	Sor.
Tortoli - Ponte Via Garibaldi	6.3	17,17	13,91	16,15	16,53	16,80	18,81	3,26	1,02	0,64	0,37	Sor.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Argini sormontabili

L'esigenza di stimare l'estensione delle aree inondabili e i relativi tiranti idrici verificabili in corrispondenza di tratti arginati continui, inadeguati al contenimento dei livelli delle piene più gravose, ha portato alla definizione di un'ulteriore schematizzazione della geometria dell'alveo: le simulazioni sono state implementate mantenendo la geometria già adottata ed eliminando l'opzione *levee*, precedentemente posta in corrispondenza delle arginature.

Il tratto interessato dalle simulazioni idrauliche per tale scenario è compreso tra la sez. 8 (ponte della S.S. 125 Orientale Sarda) e la foce; le portate considerate sono quelle relative **ai tempi di ritorno di 200 e 500 anni.**

I risultati delle simulazioni effettuate evidenziano che, come atteso, una buona parte del flusso avviene oltre gli argini, interessando porzioni di golena assai estese, con tiranti che possono superare, nelle aree più depresse, 1,5 m di altezza. Tuttavia la presenza di bassi rilevati stradali e di numerosi canali irrigui nel territorio retrostante i corpi arginali può determinare differenziate distribuzioni di livello idrico. In virtù di tale considerazione, l'effettiva estensione della parte di territorio contribuente al deflusso risulta di assai difficile determinazione e i livelli idrici nelle sezioni d'alveo risultano pertanto necessariamente affetti da notevole incertezza.

Le aree a maggiore criticità appaiono essere i quartieri di Tortolì prospicienti il fiume e la pianura presso l'area aeroportuale; per tali aree appare difficile valutare con certezza l'effettiva estensione dell'allagamento provocato dagli eventi alluvionali più gravosi. L'analisi della cartografia fornita sembra tuttavia indicare quote dell'aeroporto mediamente più alte rispetto a quelle del piano campagna circostante.

Il risultato delle simulazioni è rappresentato dalle mappe di allagamento in Figura 3.7.

Fascia T50 e T100 - La fascia d'inondazione connessa al transito di un evento T100 è sostanzialmente analoga alla fascia A_50, in quanto l'innalzamento medio dei tiranti idrici è modesto in termini assoluti (inferiore mediamente a 30 cm) e comunque non determina variazioni significative in termini di aree inondate. Nel tratto compreso tra sez. FO 23 e sez. FO 17, le fasce, limitate in sinistra dalla S.S.198 e in destra da ripidi versanti, coinvolgono l'intero fondovalle e presentano una larghezza variabile da 50 a 100m; la pressione antropica è modesta e la principale criticità, connessa al transito della portata cinquantennale, è il sormonto dell'attraversamento del ponte della strada comunale Parendadai (sez. FO 22). Superato il ponte in località Pella Serrai (sez. FO 17), la valle progressivamente si allarga, il corso d'acqua tende ad assumere un assetto pluricursale ed in piena amplia notevolmente la propria sezione di deflusso, finendo per interessare l'intero fondovalle, senza peraltro coinvolgere abitati o infrastrutture. Raggiunto il centro di Tortolì, l'alveo è regimato attraverso arginature e difese spondali, inadeguate già al transito dell'evento TR50; in sinistra le fasce si allargano abbracciando il quartiere più meridionale dell'abitato, mentre in destra superano la strada Consorziale raggiungendo il canale di bonifica Baccu Mandra. Le fasce coinvolgono numerosi insediamenti residenziali e produttivi tanto in sinistra quanto in destra.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Fascia T200 - La fascia B_200 è stata tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici; la delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate. La portata con $T = 200$ anni sollecita il sistema fluviale in modo evidente:

- nel tratto montano le esondazioni sono comunque limitate, in virtù della morfologia del corso d'acqua, vincolato da ripidi versanti, tuttavia in alcuni tratti i livelli idrici raggiungono il piano stradale della S.S.198 (sez. FO 19 e 14) e alcuni insediamenti isolati (sez. FO 21, loc. Cantoniera Baunuxi);
- nel tratto focivo, a partire dall'abitato di Tortoli (sez. FO 8), la fascia d'esondazione si amplia: a monte del ponte di via Garibaldi, sormontato dall'evento T200, i livelli idrici raggiungono via Pirastru in sinistra e determinano l'inondazione delle aree coltivate in destra, fino alla strada consorziale Cortiaccas; in corrispondenza del manufatto (sez. FO 6) gli insediamenti, compresi tra via Umberto e il corpo idrico, possono essere interessati da esondazioni con tiranti non superiori a 0,5 m mentre, più a valle (sez. FO 4 e 3), il sormonto del rilevato arginale determina l'inondazione dell'area aeroportuale in sinistra e delle terre basse presenti in destra, fino alla strada consorziale Orri. La fascia si amplia progressivamente da Tortoli al mare passando da una larghezza di 800-900 m a circa 2km.

A chiusura di questa sintesi sui risultati della modellazione del PSFF si rileva che il **modello idraulico utilizzato presenta alcune criticità** riguardanti la geometria dell'asta fluviale e il numero e disposizione ed estensione delle sezioni trasversali di modello. In particolare, per una corretta predisposizione delle sezioni di calcolo è necessario che esse siano disposte ortogonalmente alla direzione della corrente e quindi quasi mai esse appariranno come elementi geometrici lineari, ma più spesso avranno un andamento curvilineo approssimabile da una spezzata. Inoltre, le sezioni devono avere una estensione tale da intercettare, in caso di esondazione, la superficie del pelo libero, evitando che il software di calcolo, non riuscendo a confinare la piena, eriga degli argini virtuali che portano inevitabilmente ad una sovrastima dei livelli idrici e delle aree di allagamento. Una terza criticità riguarda il fatto che le sezioni del PSFF sono mediamente distanti circa 500/600 m per cui ad esempio il tratto a valle ponte sulla SS 125 è modellato con appena 8 sezioni di calcolo. In questo modo aumenta la probabilità che non vengano considerate nel modello di simulazione informazioni topografiche importanti come ribassi arginali, confluenze di rii minori, variazioni di sezione o altri elementi che, generando discontinuità locali, provocano conseguenze sugli allagamenti e sulle aree pericolose.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

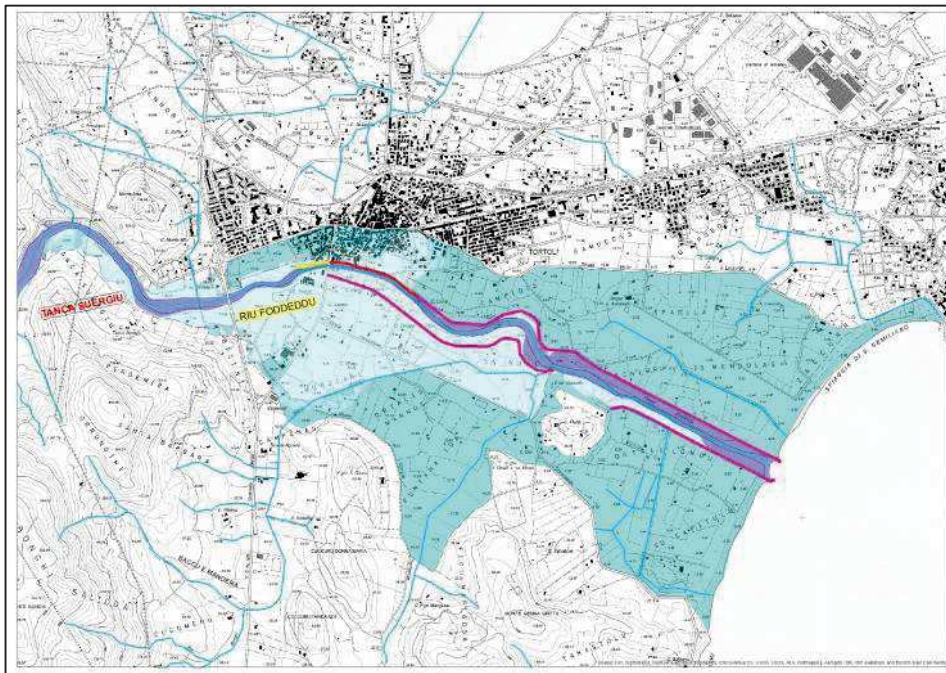
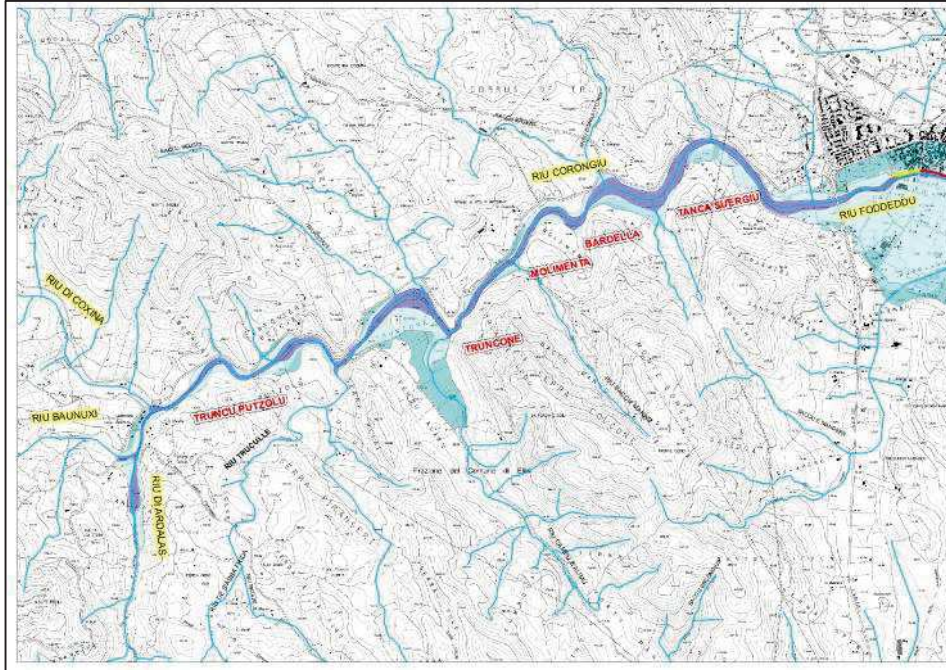


Figura 3.7 – Fasce fluviali del Foddeddu stralciate dal formato digitale delle perimetrazioni (FONTE PSFF)



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

4 Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale

La necessità di aggiornare la modellazione idraulica nello stato attuale, introducendo integrazioni rispetto a quella sviluppata dal PSFF, trova giustificazione in parte nelle considerazioni svolte nel paragrafo precedente relativamente alla disposizione, numero e estensione delle sezioni, in parte nello sviluppo metodologico dell'analisi costi-benefici che sarà sviluppata di seguito nello studio per dare giustificazione degli interventi previsti. Come già detto, il presente studio si propone, infatti, di **valutare il danno di piena prendendo in considerazione le effettive quote idriche di allagamento riscontrabili ai diversi tempi di ritorno degli eventi nel territorio caratterizzato sulla base dell'uso**. Ovviamente, questa informazione non è presente nello studio del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali che ha prodotto esclusivamente le perimetrazioni delle pericolosità idrauliche ai diversi tempi di ritorno.

Inoltre, è necessario evidenziare che la modellazione idraulica stato attuale riportata di seguito ha potuto considerare ulteriori aspetti qualificanti:

1. la disponibilità di una migliore e più puntuale descrizione della morfologia e della topografia del territorio grazie a due nuovi rilievi topografici che integrati opportunamente consentono di descrivere in modo dettagliato l'andamento del terreno e di delineare con maggior precisione sia la geometria delle sezioni da implementare nel modello che le aree allagabili e i relativi battenti idrici:
 - a. il rilievo LIDAR con risoluzione spaziale a maglia di 1 m per la fascia costiera del bacino e per il territorio percorso dal corso d'acqua;
 - b. il rilievo di dettaglio dell'alveo tra i due ponti eseguito con GPS topografico a doppia frequenza che affina ulteriormente le informazioni topografiche (Figura 4.1);
2. la recente realizzazione di alcuni interventi di mitigazione della pericolosità in sinistra idraulica a valle del ponte sulla SS 125 in seguito all'alluvione del 28/29 novembre 2008 e in particolare:
 - a. La realizzazione del muro di via delle Lavandaie (Figura 4.2);
 - b. Il sovrizzo del muro di via Foddeddu (Figura 4.3);
 - c. Il ripristino del rilevato arginale in terra nel tratto focivo (Figura 4.4);

Evidentemente il rilievo eseguito nell'ambito del PSFF, essendo datato 2006, non poteva tenere conto di opere realizzate nel 2009, (ad esempio il certificato di regolare esecuzione del sovrizzo del muro in via Foddeddu è datato settembre 2009), e pertanto la modellazione eseguita nello studio fasce fluviali non poteva implementare e valutare l'effetto degli interventi sulle mappe di allagamento. Peraltro una modellazione aggiornata allo stato attuale, come quella richiesta dal PGRA, deve implementare queste nuove opere e i rilievi più aggiornati disponibili.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 4.1 –Rilievo di dettaglio alveo a valle della SS 125



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 4.2 –Via delle Lavandaie prima e dopo l'intervento di realizzazione del muro d'argine



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 4.3 – Via Foddeddu prima e dopo l'intervento di realizzazione del ripristino e sovrizzo del muro d'argine



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

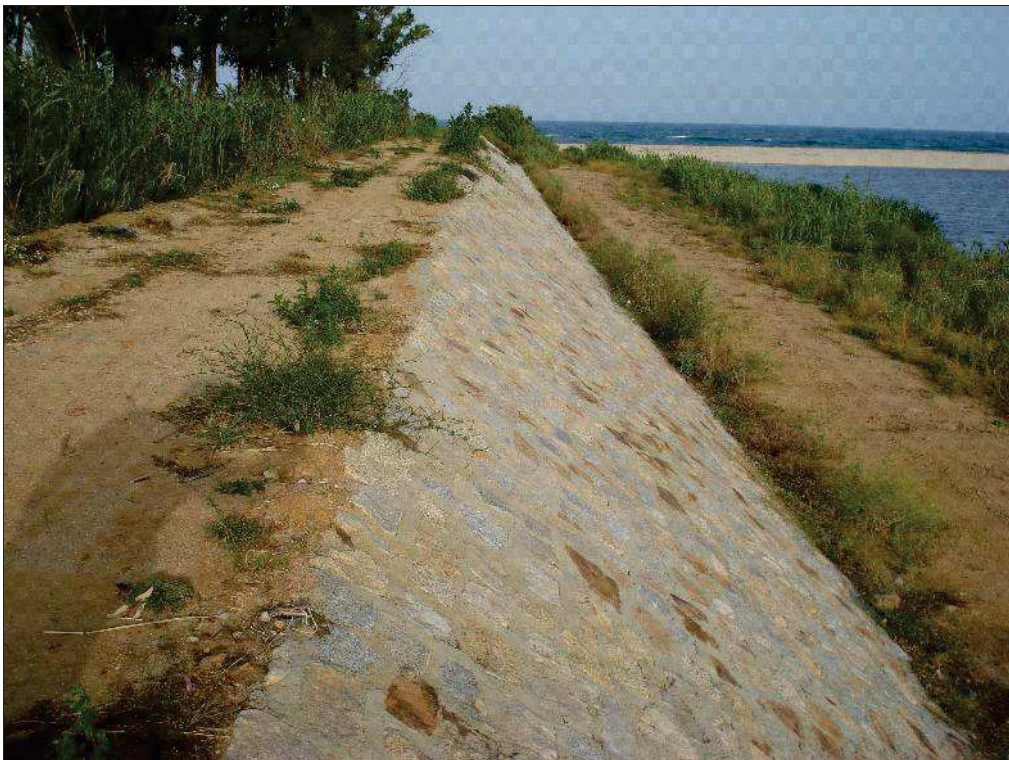


Figura 4.4 – Argine sinistro alla foce prima e dopo l'intervento di ripristino e sovrizzo



In termini di aggiornamento dei dati di input, il nuovo modello monodimensionale ha considerato il medesimo tronco fluviale analizzato dal PSFF dalla località Ardalase alla foce, che comprendeva n. **23** sezioni trasversali, ma le stesse sezioni sono state estratte dal DTM 1 m integrato con il rilievo su GPS nel tratto urbano, estese fino a intercettare il pelo libero e incrementate per un totale di **122** sezioni (Figura 4.5).

In questo modo la modellazione può considerare in modo adeguato i seguenti aspetti:

1. Attuale conformazione topografica del territorio;
2. Raggi di curvatura relativamente piccoli dell'asta fluviale;
3. Tracciati planimetrici dei corpi arginali;
4. Discontinuità generate da confluenze o cambi di sezione

Sempre in termini di dati input, nel nuovo modello idraulico predisposto in questo studio si sono mantenuti invariati sia l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza, come considerati nel PSFF, sia le condizioni al contorno, le quali sono state mantenute a monte (altezza di moto uniforme corrispondente alla pendenza dello 1.8 per cento) come a valle (quota pari a +1.80 sul livello medio mare). Anche la geometria delle strutture trasversali di attraversamento, come gli impalcati dei ponti in quanto dichiaratamente originata da un rilievo locale, è stata conservata.

Dal punto di vista idrologico sono state considerate le stesse portate già adottate nel PSFF con la stessa successione di incrementi da monte verso valle.

Tabella 4.4–Valori di portata utilizzati nella modellazione (fonte PSFF 2013)

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates				
	River	Reach	RS	T2	T50	T100	T200	T500
1	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	12428.6	22	86	111	136	171
2	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	11858.12	60	267	342	422	533
3	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	11254.45	66	276	353	433	544
4	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	9966.997	70	320	408	500	626
5	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	9507.576	80	360	457	558	697
6	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	7552.506	100	412	516	624	772
7	RIU FODDEDDU	RIU FODDEDDU	3233.161	108	466	579	696	856

L'analisi idraulica, come nel caso del Piano Stralcio Fasce Fluviali, è stata eseguita per eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni nella configurazione ad argini non tracimabili, mentre la simulazione ad argini tracimabili è stata adottata per tracciare le mappe di allagamento per i soli tempi di ritorno che determinano un sormonto arginale.

Riguardo alla presenza delle arginature, il modello aggiornato ha valutato che gli stessi siano adeguati al contenimento della corrente di piena a condizione che la quota del pelo libero non superi quella corrispondente al franco di 20 cm rispetto al colmo arginale. Nel caso di quote idriche maggiori della soglia indicata, l'argine viene considerato sovrastato (opzione levee non applicata).



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Si evidenzia in proposito che nel PSFF si aveva sormonto arginale e relativa modellazione ad argini tracimabili solo per la portata T200, mentre **nella nuova modellazione DICAAR il sormonto arginale si ha già con la portata T100**, per cui è stato necessario implementare lo scenario ad argini tracimabili sia per la portata con tempo di ritorno 100 anni che con quella con tempo di ritorno 200 anni.

I due scenari ad argini tracimabili sono stati ricostruiti tenendo conto della tipologia delle opere di mitigazione in parte realizzate in cemento armato e in parte in terra, nonché dello sviluppo di queste in termini planoaltimetrici.

In particolare la mappatura aggiornata in stato attuale è stata ottenuta in modo diverso a seconda del tempo di ritorno:

1. **per il tempo T50** si è considerato l'output dello scenario ad argini non tracimabili, implementato senza considerare l'effetto dell'argine in terra destro a valle del ponte di ferro per tutto il primo tratto fino alla sua interruzione in quanto i sopralluoghi effettuati hanno evidenziato l'assoluta inadeguatezza di questo argine a fungere da opere di contenimento delle portate. Questo soprattutto in ragione dei numerosi ribassi e corde molli rilevate e di alcune strade che tagliano trasversalmente l'opera compromettendo qualunque effetto di contenimento. Per contro in sponda sinistra è stato inserito sia il muro di via delle lavandaie che quello di via Foddeddu che insieme all'argine in terra vallivo consentono di contenere con franco superiore al metro le portate cinquantenaria;
2. **per il tempo T100** si è considerato l'output dello scenario ad argini tracimabili, implementato ancora senza considerare l'effetto dell'argine in terra destro a valle del ponte di ferro fino alla sua interruzione e senza considerare l'effetto del muro di via Foddeddu che presenta, nella configurazione ad argini non tracimabili, franchi di appena 16 cm. Resta invece attivo il ruolo dei due argini in terra rimanenti sia sinistro fino alla foce che destro residuo;
3. **per il tempo T200** si è considerato l'output dello scenario ad argini tracimabili, implementato ancora senza considerare l'effetto dell'argine in terra destro a valle del ponte di ferro fino alla sua interruzione e senza considerare l'effetto del muro di via Foddeddu che presenta, nella configurazione ad argini non tracimabili, franchi negativi. Resta invece attivo il ruolo dei due argini in terra rimanenti sia sinistro fino alla foce che destro residuo;

Premesso dunque che valutazione del danno è legata al battente idrico, è fondamentale sottolineare la peculiarità di questa nuova modellazione che, sfruttando la possibilità di interfacciare l'output del software di calcolo idraulico con il modello di terreno in ambiente GIS, consente l'attribuzione del relativo battente idrico, con risoluzione spaziale di 1 m, ai circa **2.5 km²** di aree allagate (di cui **1.6 km²** a valle della SS 125) e in definitiva la quantificazione del danno atteso su tutto il tratto di interesse.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 4.5 – Sezioni idrauliche analizzate nel PSFF e nella nuova modellazione con DTM 1 m



Analisi delle criticità conseguenti ai risultati del modello aggiornato

La nuova modellazione idraulica per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni ha dato risultati che evidenziano differenze, in alcuni ambiti significative, rispetto quelli del PSFF per tutti i tempi di ritorno, cosa peraltro prevedibile per il fatto che, come detto, sono state inserite nuove opere ed è stato utilizzato un nuovo rilievo dettagliato dell'alveo.

Infatti la modellazione ad argini non tracimabili ha evidenziato alcuni aspetti che poi hanno dato le indicazioni su come strutturare lo scenario ad argini sormontabili, in dettaglio:

1. La portata cinquantenaria a valle della SS 125 risulta contenuta dalle attuali opere arginali (in terra o in calcestruzzo) con franco minimo di 45 cm sul muro di via Foddeddu (Figura 4.14 e Figura 4.19). Il ponte di ferro in questa configurazione ha un franco di 58 cm (Figura 4.34). Per il tempo di ritorno T50 la configurazione ad argini non tracimabili risulta rappresentativa del reale comportamento del rio, pertanto questa è stata assunta come configurazione di scenario 0, ma con una modifica che va a vantaggio della sicurezza: poiché a valle del ponte di ferro l'argine in terra esistente in sponda destra presenta diverse corde molli ed è in pessimo stato di manutenzione (Figura 2.14), non gli è stata attribuita alcuna funzione di contenimento, ma è stato considerato tracimabile per tutto il suo sviluppo sino all'innesto sul colle in località Sa Nugi. Lo scenario 0 per T50 ha di conseguenza lo schema indicato in Figura 4.6 e la mappa di allagamento riportata in Figura 4.7.

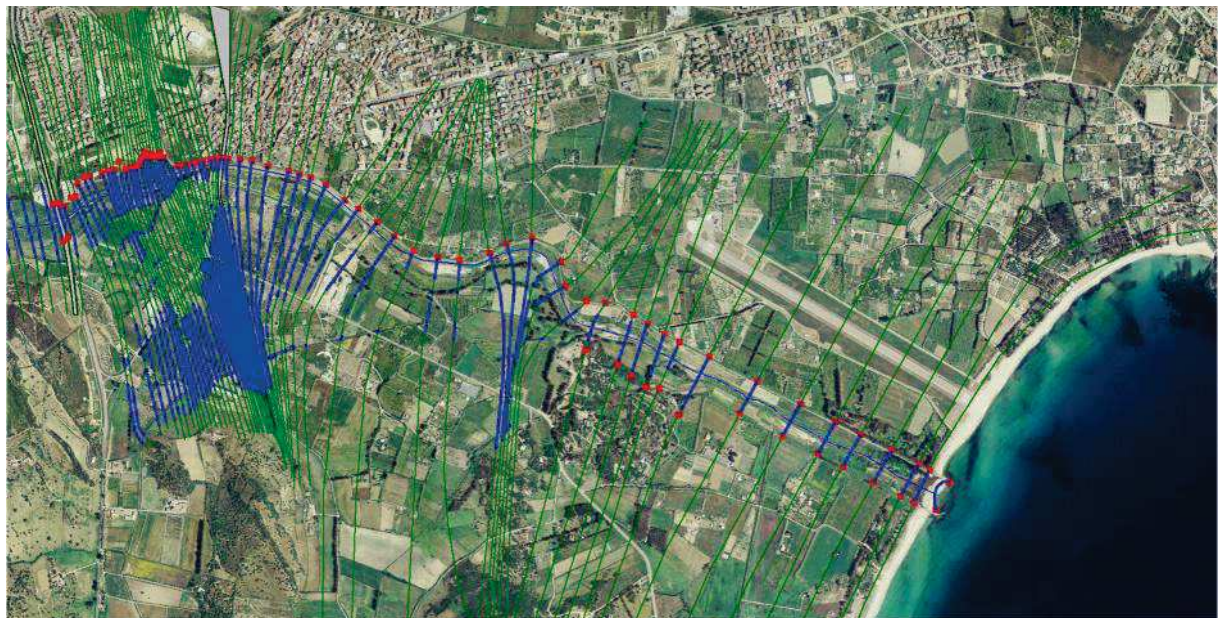


Figura 4.6 – Schema adottato per la simulazione dello scenario 0 per T50: in rosso la posizione dei levee



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 4.7 – Aree di allagamento aggiornate per T50

2. La portata centenaria a valle della SS 125 risulta contenuta dalle attuali opere arginali (in terra o in calcestruzzo) con franco minimo di 16 cm sul muro di via Foddeddu (Figura 4.16 e Figura 4.20). Il ponte di ferro in questa configurazione ha un franco di 9 cm (Figura 4.34) con un evidente profilo di rigurgito verso monte. Poiché il franco di 16 cm, per quanto su un muro in cls, non dà alcuna garanzia dal punto di vista idraulico, si è ritenuto che, per il tempo di ritorno T100, la configurazione ad argini insormontabili non fosse più rappresentativa del reale comportamento del rio, pertanto come configurazione di scenario 0 è stata adottata quella che prevede la tracimazione del muro di via Foddeddu verso l'abitato, fermo restando l'assunzione, già fatta per la T50, di non considerare l'azione di contenimento dell'argine in terra esistente in sponda destra per tutto il suo sviluppo sino all'innesto sul colle vallivo in località Sa Nugi. Il problema di stabilire l'estensione dell'area interessata dall'esonazione in sinistra a valle del ponte di ferro è stato affrontato considerando una modellazione intermedia ad argini completamente sormontabili (sia muro che argine in terra) che ha evidenziato il comportamento idraulicamente indipendente dell'allagamento dovuto al sormonto del muro rispetto a quello causato dall'argine in terra delineando una porzione di territorio che disconnette fisicamente i due allagamenti (Figura 4.8). Pertanto è parso più



verosimile assumere l'ipotesi di argine tracimabile per il solo muro di via Foddeddu, ripristinando l'opzione levee sull'argine in terra vallivo che assicura ancora per questa portata la sua azione di contenimento. Lo scenario 0 per T100 ha di conseguenza lo schema indicato in Figura 4.9 e la mappa di allagamento riportata in Figura 4.10.



Figura 4.8 – Aree di allagamento per T100 con modellazione intermedia ad argini completamente tracimabili

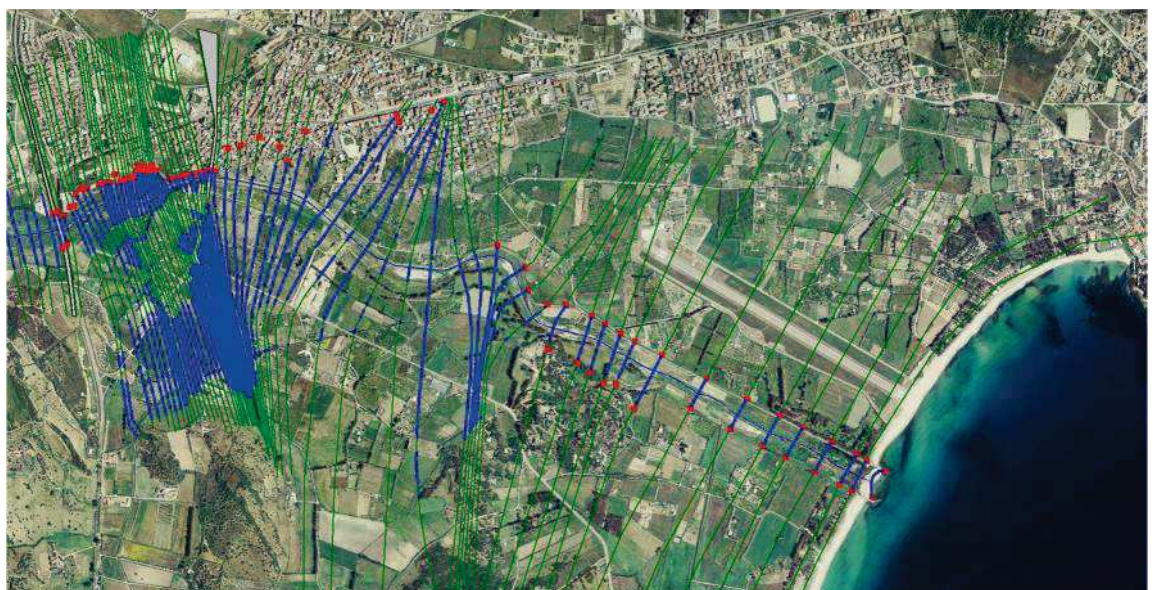


Figura 4.9 – Schema adottato per la simulazione dello scenario 0 per T100: in rosso la posizione dei levee



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 4.10 – Aree di allagamento aggiornate per T100

3. La portata bicentenaria a valle della SS 125 non risulta più contenuta dalle attuali opere arginali in calcestruzzo di via Foddeddu: il franco è negativo pari a -0.10 cm (Figura 4.18 e Figura 4.21). Il ponte di ferro in questa configurazione va in pressione (Figura 4.34) con un evidente profilo di rigurgito verso monte. Per il tempo di ritorno T200, la configurazione ad argini insormontabili non è rappresentativa del reale comportamento del rio, pertanto come configurazione di scenario 0 è stata adottata quella che prevede la tracimazione della corrente sul muro di via Foddeddu verso l'abitato. E' ovviamente mantenuta l'assunzione, già fatta per la T50 e T100, di non considerare efficace l'azione di contenimento dell'argine in terra esistente in sponda destra. Il problema di stabilire l'estensione della tracimabilità in sinistra a valle del ponte di ferro è stato risolto come nel caso della portata T100 con una modellazione intermedia ad argini completamente sormontabili (sia muro che argine in terra) che ha confermato, anche per questo tempo di ritorno, il comportamento idraulicamente indipendente dell'allagamento dovuto al muro rispetto a quello causato dall'argine in terra. Pertanto si è assunta l'ipotesi di argine tracimabile per il solo muro di via Foddeddu, ripristinando l'opzione levee sull'argine in terra vallivo che sviluppa in pieno la sua azione di contenimento. Lo scenario 0 per T200 ha di conseguenza lo schema indicato in Figura 4.9 e la mappa di allagamento riportata in Figura 4.12.

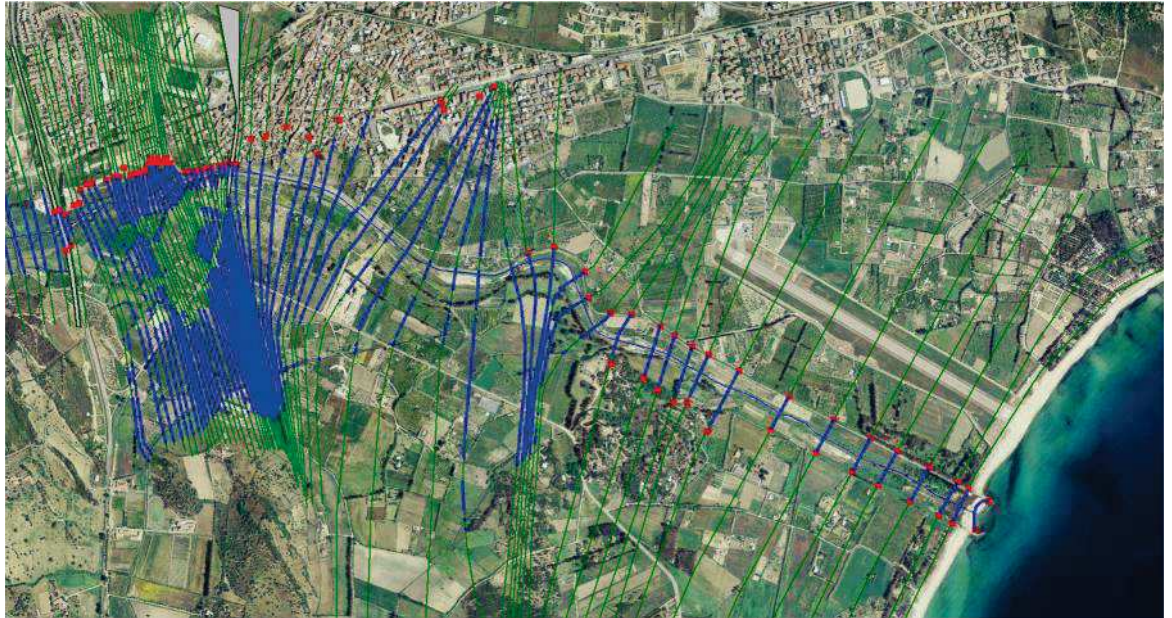


Figura 4.11 – Schema adottato per la simulazione dello scenario 0 per T200: in rosso la posizione dei levee



Figura 4.12 – Aree di allagamento aggiornate per T200



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

I risultati della modellazione aggiornata sono riassunti di seguito.

Per il tempo di ritorno T50 (Figura 4.22, Figura 4.23 e Figura 4.24), i muri esistenti lato abitato sono in grado di contenere la portata di verifica con franchi ridotti, ma sufficienti, tenendo conto anche del fatto che si tratta di opere in cemento armato. Gli argini in terra vallivi sono anche essi in grado di contenere la portata cinquantenaria con franchi superiori al metro. Rispetto al PSFF (in rosso in Figura 4.22 e Figura 4.23) a monte della SS 125 si evidenziano localmente modeste differenze per l'aggiornamento della base topografica utilizzata nella costruzione della geometria delle sezioni trasversali e nella fase di restituzione sul terreno dei tiranti idrici e delle aree allagabili.

A valle della SS 125 invece le perimetrazioni sono piuttosto diverse con la completa scomparsa della pericolosità H4 verso l'abitato come conseguenza della tenuta del muro d'argine di via Foddeddu e di via delle Lavandaie. Relativamente ai battenti idrici i calcoli mostrano che questi si attestano in sponda destra mediamente intorno 1.10 cm con massimi di 5.60 m nelle zone più incise dell'alveo, anche se vi sono porzioni dell'agro che sono interessate da altezze d'acqua inferiori a 0.2 metri.

Per il tempo di ritorno T100 (Figura 4.25, Figura 4.26 e Figura 4.27), il muro esistente di via Foddeddu non è in grado di contenere la portata di verifica; si origina un'area allagata che va a interessare le zone più basse dell'abitato limitrofe al rio: via Cedrino, via Foddeddu, via Temo, via Pramaera e via Tirso. In destra sia tra i due ponti che a valle del ponte di ferro si ha una ampia esondazione del corso d'acqua che non risulta arginato da alcuna opera di contenimento. Rispetto al PSFF (in rosso in Figura 4.25 e Figura 4.26) a monte della SS 125 si evidenziano localmente modeste differenze per l'aggiornamento della base topografica utilizzata nella costruzione della geometria delle sezioni trasversali e nella fase di restituzione sul terreno dei tiranti idrici e delle aree allagabili.

A valle della SS 125 le mappe sono confrontabili, nel senso che evidenziano criticità simili, ma sono differenti in estensione per via del diverso modello di terreno implementato nel calcolo. Relativamente ai battenti idrici i calcoli mostrano che questi si attestano in sponda destra mediamente intorno 1.10 cm con massimi di 6.00 m nelle zone più incise dell'alveo, anche se vi sono porzioni dell'agro che sono interessate da altezze d'acqua inferiori a 0.2 metri.

Per il tempo di ritorno T200 (Figura 4.28, Figura 4.29 e Figura 4.30), la modellazione evidenzia perimetrazioni abbastanza simili a quelle relative al tempo di ritorno centenario: il muro di via Foddeddu conferma la sua criticità, mentre quello di via delle Lavandaie si comporta piuttosto bene anche per via dell'effetto di richiamo dovuto alla esondazione valliva del rio. L'area interessata dagli allagamenti diventa via via più ampia sia verso l'abitato che in destra verso l'agro, tuttavia gli argini in terra vallivi continuano a contenere le portate T200 con franchi minimi di 60 cm (Figura 4.31). Rispetto al PSFF (in rosso in Figura 4.22 e Figura 4.23) a monte della SS 125 si evidenziano localmente modeste differenze per l'aggiornamento della base topografica utilizzata nella costruzione della geometria delle sezioni trasversali e nella fase di restituzione sul terreno dei tiranti idrici e delle aree allagabili.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

A valle della SS 125 invece le perimetrazioni sono piuttosto diverse proprio in virtù del buon comportamento idraulico degli argini in terra vallivi già oggetto di ripristino nel 2009 (Figura 2.12); viene dunque a mancare la pericolosità derivante dal sormonto di questi argini già ipotizzata nel PSFF e di conseguenza non si riscontra più l'ampia fascia B200 verso l'aeroporto e verso la zona agricola valliva in destra. Una incongruenza così rilevante tra i due studi può essere sanata solo ipotizzando come nel PSFF un sormonto anche degli argini vallivi peraltro, come detto, ripristinati di recente: si origina così una fascia H2 (B200) valliva sia in destra che in sinistra che somiglia a grandi linee a quella del PSFF, ma abbastanza inverosimile in quanto non confinata verso le aree depresse dello stagno di Tortoli e verso quelle agricole a sud. Per ragioni meramente di confronto si riportano anche le perimetrazioni con relative batimetrie relative a questa configurazione ad argini ovunque sormontabili (Figura 4.32 e Figura 4.33). Relativamente ai battenti idrici i calcoli mostrano che questi si attestano in sponda destra mediamente intorno 1.16 cm con massimi di 6.22 m nelle zone più incise d'alveo, anche se vi sono porzioni dell'agro che sono interessate da altezze d'acqua inferiori a 0.2 metri.

Ponti stradali (Figura 4.34, Figura 4.35, Figura 4.36 e Figura 4.37)- Relativamente al comportamento delle infrastrutture stradali si deve far riferimento cautelativamente alla modellazione ad argini non tracimabili che mostra come per le quattro interferenze viarie solo il ponte sulla SS 125 e quello in località Serra Pellai abbiano un franco sufficiente, mentre gli altri due ponti sono sormontati o funzionano in pressione (ponte di ferro).

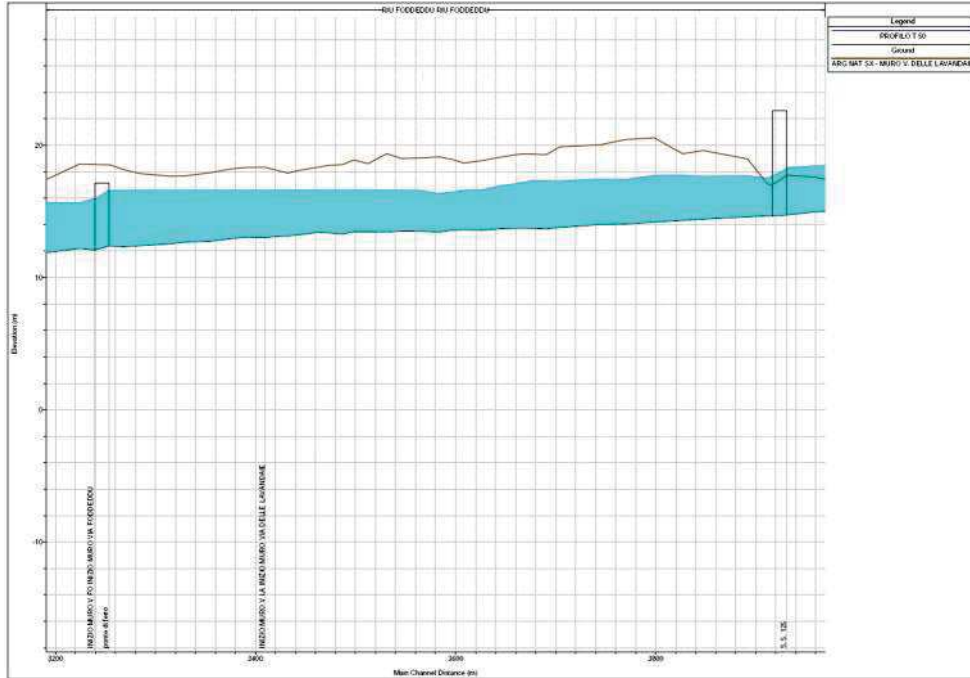


Figura 4.13 – Profilo T50 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto tra i due ponti.

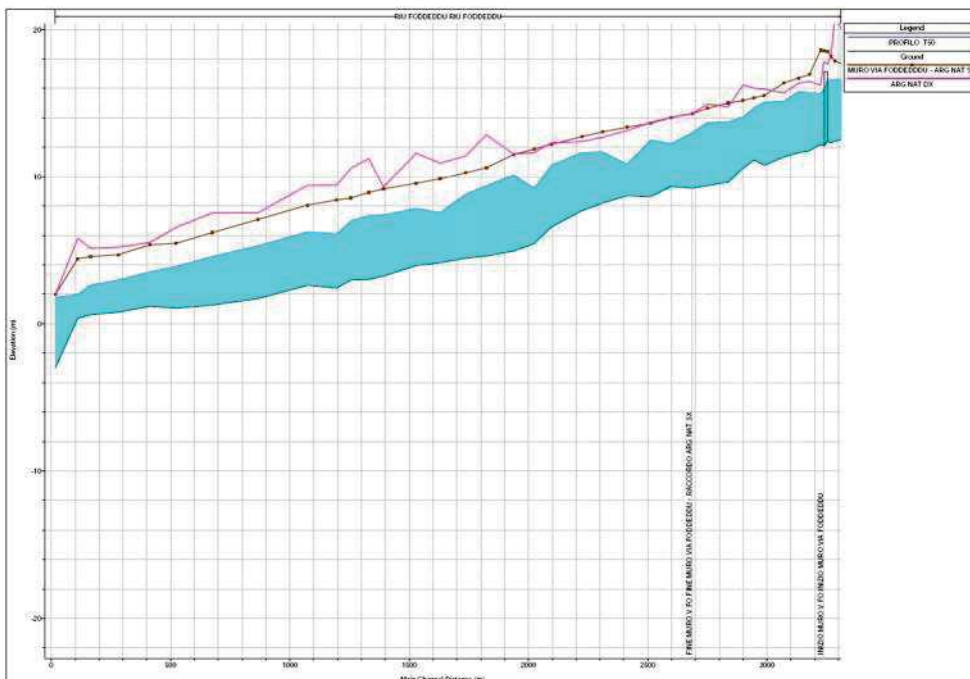


Figura 4.14 – Profilo T50 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto valle del ponte di ferro

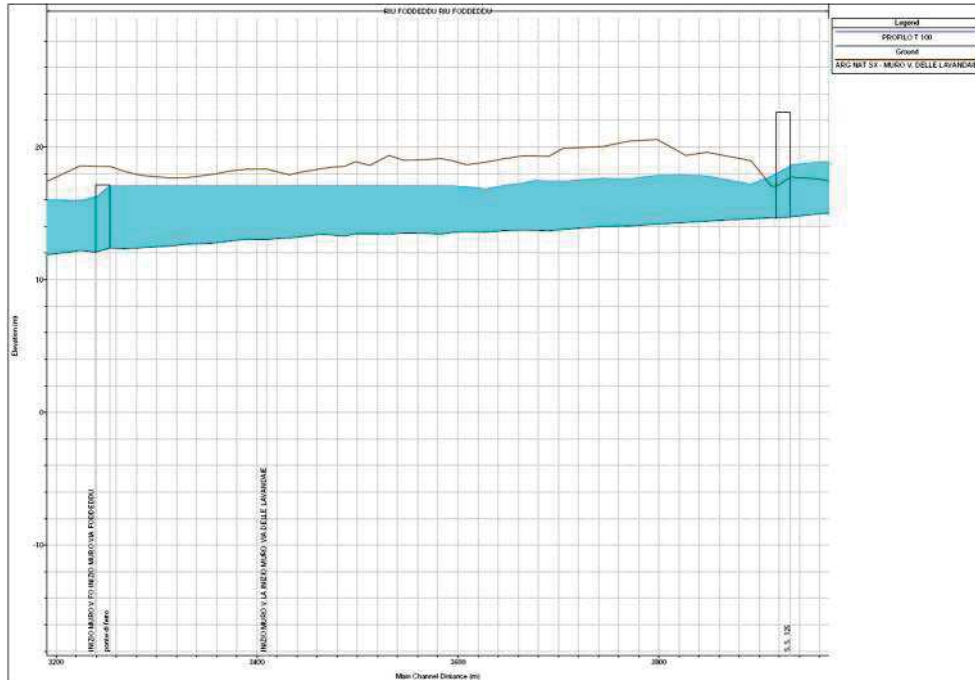


Figura 4.15 – Profilo T100 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto tra i due ponti.

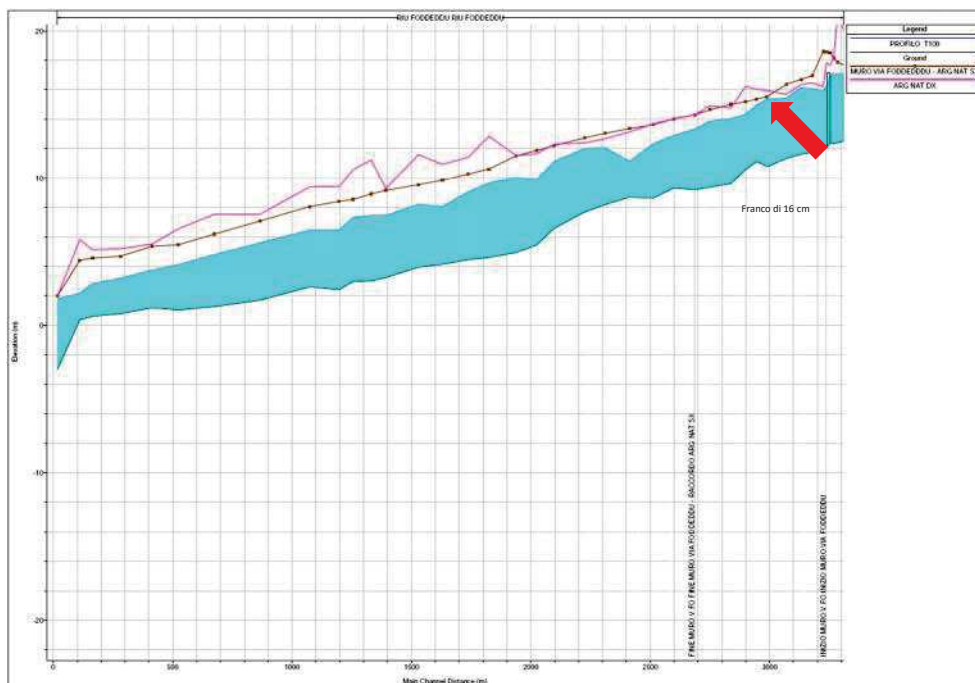


Figura 4.16 – Profilo T100 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto valle del ponte di ferro

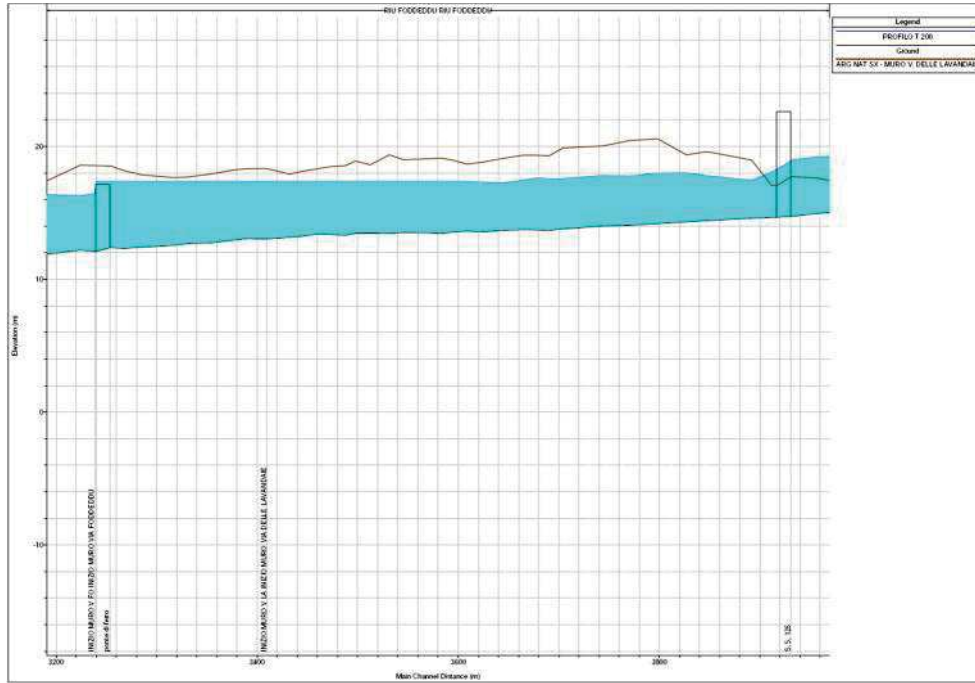


Figura 4.17 – Profilo T200 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto tra i due ponti.

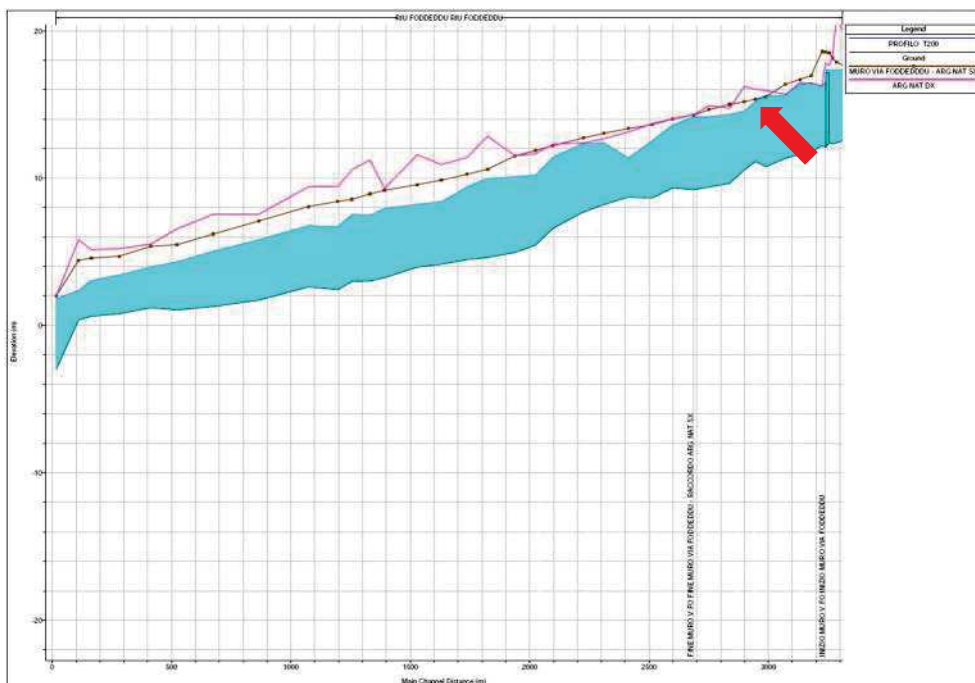


Figura 4.18 – Profilo T200 rispetto alla quota degli argini esistenti tratto valle del ponte di ferro

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA
 Direzione Generale Agenzia Regionale del
 Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
 ARCHITETTURA
 SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

RIVER STATION	T50	Q ARG SX	FRANCO SX	RIVER STATION	T50	Q ARG DX	FRANCO DX
3880 PONTE S.S. 125				3880 PONTE S.S. 125			
3876.894	17.53	24.75	7.22	3876.894	17.53		
3856.484	17.7	18.98	1.28	3856.484	17.7		
3812.637	17.66	19.61	1.95	3812.637	17.66		
3791.969	17.74	19.37	1.63	3791.969	17.74		
3763.571	17.72	20.57	2.85	3763.571	17.72		
3735.21	17.44	20.45	3.01	3735.21	17.44		
3709.289	17.47	20.04	2.57	3709.289	17.47		
3669.406	17.29	19.89	2.6	3669.406	17.29		
3655.408	17.32	19.3	1.98	3655.408	17.32		
3641.743	17.34	19.34	2	3641.743	17.34		
3629.422	17.15	19.34	2.19	3629.422	17.15		
3610.279	16.95	19.11	2.16	3610.279	16.95		
3592.49	16.65	18.86	2.21	3592.49	16.65		
3573.639	16.6	18.67	2.07	3573.639	16.6		
3560.929	16.47	18.95	2.48	3560.929	16.47		
3548.47	16.35	19.13	2.78	3548.47	16.35		
3529.802	16.59	19.05	2.46	3529.802	16.59		
3510.834	16.61	19.01	2.4	3510.834	16.61		
3496.433	16.62	19.37	2.75	3496.433	16.62		
3477.529	16.63	18.62	1.99	3477.529	16.63		
3463.173	16.62	18.9	2.28	3463.173	16.62		
3452.325	16.63	18.55	1.92	3452.325	16.63		
3438.323	16.63	18.49	1.86	3438.323	16.63		
3426.678	16.62	18.34	1.72	3426.678	16.62		
3409.195	16.62	18.12	1.5	3409.195	16.62		
3397.424	16.62	17.91	1.29	3397.424	16.62		
3374.728 INIZIO MURO VIA DELLE LAVANDAIE	16.61	18.34	1.73	3374.728 INIZIO MURO VIA DELLE LAVANDAIE	16.61		
3354.707	16.61	18.33	1.72	3354.707	16.61		
3341.51	16.6	18.23	1.63	3341.51	16.6		
3320.246	16.6	17.94	1.34	3320.246	16.6		
3295.551	16.6	17.7	1.1	3295.551	16.6		
3279.912	16.6	17.67	1.07	3279.912	16.6		
3249.846	16.6	17.87	1.27	3249.846	16.6		
3233.161	16.59	18.17	1.58	3233.161	16.59		
3219.338	16.59	18.53	1.94	3219.338	16.59		
3205 PONTE DI FERRO	Bridge			3205 PONTE DI FERRO	Bridge		
3203.443 INIZIO MURO VIA FOD	15.96	18.56	2.6	3203.443 INIZIO MURO VIA FOD	15.96	17.82	1.86
3189.246	15.67	18.59	2.92	3189.246	15.67	16.22	0.55
3142.802	15.71	16.95	1.24	3142.802	15.71	16.48	0.77
3096.952	15.8	16.72	0.92	3096.952	15.8	16.35	0.55
3035.269	15.13	16.37	1.24	3035.269	15.13	15.69	0.56
2954.135	15.08	15.53	0.45	2954.135	15.08	15.96	0.88
2911.09	14.7	15.38	0.68	2911.09	14.7	16.02	1.32
2864.312	14.06	15.19	1.13	2864.312	14.06	16.25	2.19
2802.716	13.74	15.01	1.27	2802.716	13.74	14.76	1.02
2715.755	13.69	14.65	0.96	2715.755	13.69	14.93	1.24
2651.563 FINE MURO VIA FOD INNESTO ARG NAT	12.99	14.3	1.31	2651.563 FINE MURO VIA FOD INNESTO ARG NAT	12.99	14.31	1.32
2562.784	12.25	14.02	1.77	2562.784	12.25	14.03	1.78
2476.787	12.5	13.63	1.13	2476.787	12.5	13.69	1.19
2377.972	10.85	13.37	2.52	2377.972	10.85	13.14	2.29
2275.756	11.7	13.05	1.35	2275.756	11.7	12.68	0.98
2189.172	11.65	12.73	1.08	2189.172	11.65	12.39	0.74
2062.699	10.8	12.21	1.41	2062.699	10.8	12.32	1.52
1989.422	9.2	11.88	2.68	1989.422	9.2	11.66	2.46
1903.147	10.11	11.51	1.4	1903.147	10.11	11.53	1.42
1789.272	9.38	10.62	1.24	1789.272	9.38	12.85	3.47
1702.707	8.8	10.27	1.47	1702.707	8.8	11.41	2.61
1594.64	7.56	9.85	2.29	1594.64	7.56	10.93	3.37
1494.62	7.84	9.55	1.71	1494.62	7.84	11.6	3.76
1357.418	7.39	9.16	1.77	1357.418	7.39	9.29	1.9
1296.208	7.37	8.92	1.55	1296.208	7.37	11.24	3.87
1221.492	6.98	8.54	1.56	1221.492	6.98	10.58	3.6
1162.243	6.1	8.41	2.31	1162.243	6.1	9.42	3.32
1039.144	6.24	8.06	1.82	1039.144	6.24	9.4	3.16
830.7683	5.29	7.08	1.79	830.7683	5.29	7.53	2.24
640.6978	4.57	6.19	1.62	640.6978	4.57	7.53	2.96
489.0379	3.9	5.46	1.56	489.0379	3.9	6.55	2.65
379.3799	3.53	5.36	1.83	379.3799	3.53	5.52	1.99
246.245	2.98	4.69	1.71	246.245	2.98	5.2	2.22
129.3258	2.62	4.56	1.94	129.3258	2.62	5.13	2.51
75.98136	1.99	4.42	2.43	75.98136	1.99	5.81	3.82
17.46891	1.8	2		17.46891	1.8	2	

Figura 4.19 – Franchi idraulici per T50 sull'argine destro e sinistro

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA
 Direzione Generale Agenzia Regionale del
 Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
 ARCHITETTURA
 SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

RIVER STATION	T100	Q ARG SX	FRANCO SX	RIVER STATION	T100	Q ARG DX	FRANCO DX
3880 PONTE S.S. 125				3880 PONTE S.S. 125			
3876.894	17.81	24.75	6.94	3876.894	17.81		
3856.484	17.2	18.98	1.78	3856.484	17.2		
3812.637	17.82	19.61	1.79	3812.637	17.82		
3791.969	17.9	19.37	1.47	3791.969	17.9		
3763.571	17.88	20.57	2.69	3763.571	17.88		
3735.21	17.6	20.45	2.85	3735.21	17.6		
3709.289	17.67	20.04	2.37	3709.289	17.67		
3669.406	17.43	19.89	2.46	3669.406	17.43		
3655.408	17.46	19.3	1.84	3655.408	17.46		
3641.743	17.49	19.34	1.85	3641.743	17.49		
3629.422	17.28	19.34	2.06	3629.422	17.28		
3610.279	17.1	19.11	2.01	3610.279	17.1		
3592.49	16.84	18.86	2.02	3592.49	16.84		
3573.639	17.02	18.67	1.65	3573.639	17.02		
3560.929	17.07	18.95	1.88	3560.929	17.07		
3548.47	17.08	19.13	2.05	3548.47	17.08		
3529.802	17.08	19.05	1.97	3529.802	17.08		
3510.834	17.09	19.01	1.92	3510.834	17.09		
3496.433	17.1	19.37	2.27	3496.433	17.1		
3477.529	17.1	18.62	1.52	3477.529	17.1		
3463.173	17.1	18.9	1.8	3463.173	17.1		
3452.325	17.1	18.55	1.45	3452.325	17.1		
3438.323	17.1	18.49	1.39	3438.323	17.1		
3426.678	17.09	18.34	1.25	3426.678	17.09		
3409.195	17.09	18.12	1.03	3409.195	17.09		
3397.424	17.09	17.91	0.82	3397.424	17.09		
3374.728 INIZIO MURO VIA DELLE LAVANDAIE	17.09	18.34	1.25	3374.728 INIZIO MURO VIA DELLE LAVANDAIE	17.09		
3354.707	17.08	18.33	1.25	3354.707	17.08		
3341.51	17.08	18.23	1.15	3341.51	17.08		
3320.246	17.08	17.94	0.86	3320.246	17.08		
3295.551	17.08	17.7	0.62	3295.551	17.08		
3279.912	17.08	17.67	0.59	3279.912	17.08		
3249.846	17.08	17.87	0.79	3249.846	17.08		
3233.161	17.07	18.17	1.1	3233.161	17.07		
3219.338	17.07	18.53	1.46	3219.338	17.07		
3205 PONTE DI FERRO	Bridge			3205 PONTE DI FERRO	Bridge		
3203.443 INIZIO MURO VIA FOD	16.25	18.56	2.31	3203.443 INIZIO MURO VIA FOD	16.25	17.82	1.57
3189.246	15.96	18.59	2.63	3189.246	15.96	16.22	0.26
3142.802	16.05	16.95	0.9	3142.802	16.05	16.48	0.43
3096.952	16.15	16.72	0.57	3096.952	16.15	16.35	0.2
3035.269	15.44	16.37	0.93	3035.269	15.44	15.69	0.25
2954.135	15.37	15.53	0.16	2954.135	15.37	15.96	0.59
2911.09	14.98	15.38	0.4	2911.09	14.98	16.02	1.04
2864.312	14.33	15.19	0.86	2864.312	14.33	16.25	1.92
2802.716	14.05	15.01	0.96	2802.716	14.05	14.76	0.71
2715.755	13.89	14.65	0.76	2715.755	13.89	14.93	1.04
2651.563 FINE MURO VIA FOD INNESTO ARG NAT	13.35	14.3	0.95	2651.563 FINE MURO VIA FOD INNESTO ARG NAT	13.35	14.31	0.96
2562.784	12.91	14.02	1.11	2562.784	12.91	14.03	1.12
2476.787	12.34	13.63	1.29	2476.787	12.34	13.69	1.35
2377.972	11.14	13.37	2.23	2377.972	11.14	13.14	2
2275.756	12.07	13.05	0.98	2275.756	12.07	12.68	0.61
2189.172	12.01	12.73	0.72	2189.172	12.01	12.39	0.38
2062.699	11.14	12.21	1.07	2062.699	11.14	12.32	1.18
1989.422	9.89	11.88	1.99	1989.422	9.89	11.66	1.77
1903.147	10.04	11.51	1.47	1903.147	10.04	11.53	1.49
1789.272	9.68	10.62	0.94	1789.272	9.68	12.85	3.17
1702.707	9.05	10.27	1.22	1702.707	9.05	11.41	2.36
1594.64	8.06	9.85	1.79	1594.64	8.06	10.93	2.87
1494.62	8.21	9.55	1.34	1494.62	8.21	11.6	3.39
1357.418	7.46	9.16	1.7	1357.418	7.46	9.29	1.83
1296.208	7.47	8.92	1.45	1296.208	7.47	11.24	3.77
1221.492	7.32	8.54	1.22	1221.492	7.32	10.58	3.26
1162.243	6.47	8.41	1.94	1162.243	6.47	9.42	2.95
1039.144	6.47	8.06	1.59	1039.144	6.47	9.4	2.93
830.7683	5.6	7.08	1.48	830.7683	5.6	7.53	1.93
640.6978	4.81	6.19	1.38	640.6978	4.81	7.53	2.72
489.0379	4.11	5.46	1.35	489.0379	4.11	6.55	2.44
379.3799	3.75	5.36	1.61	379.3799	3.75	5.52	1.77
246.245	3.2	4.69	1.49	246.245	3.2	5.2	2
129.3258	2.84	4.56	1.72	129.3258	2.84	5.13	2.29
75.98136	2.18	4.42	2.24	75.98136	2.18	5.81	3.63
17.46891	1.8	2		17.46891	1.8	2	

Figura 4.20 – Franchi idraulici per T100 sull'argine destro e sinistro



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Table with 4 columns: RIVER STATION, T200, Q ARG SX, FRANCO SX (left) and RIVER STATION, T200, Q ARG DX, FRANCO DX (right). Rows list various river stations with corresponding hydraulic data values.

Figura 4.21 – Franchi idraulici per T200 sull'argine destro e sinistro

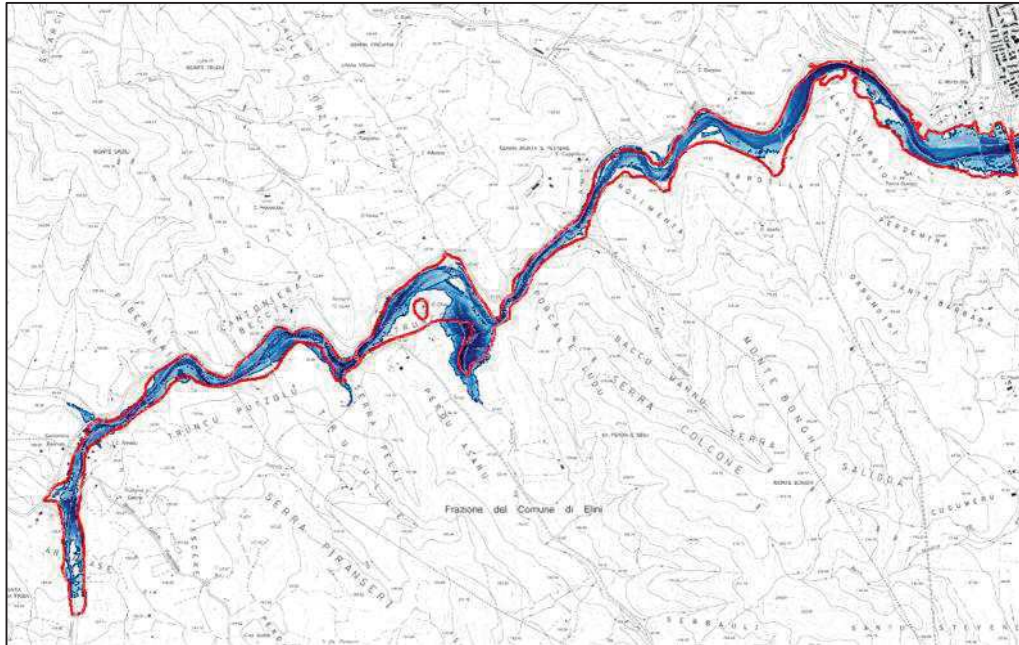


Figura 4.22 – T50: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a monte della S.S.125

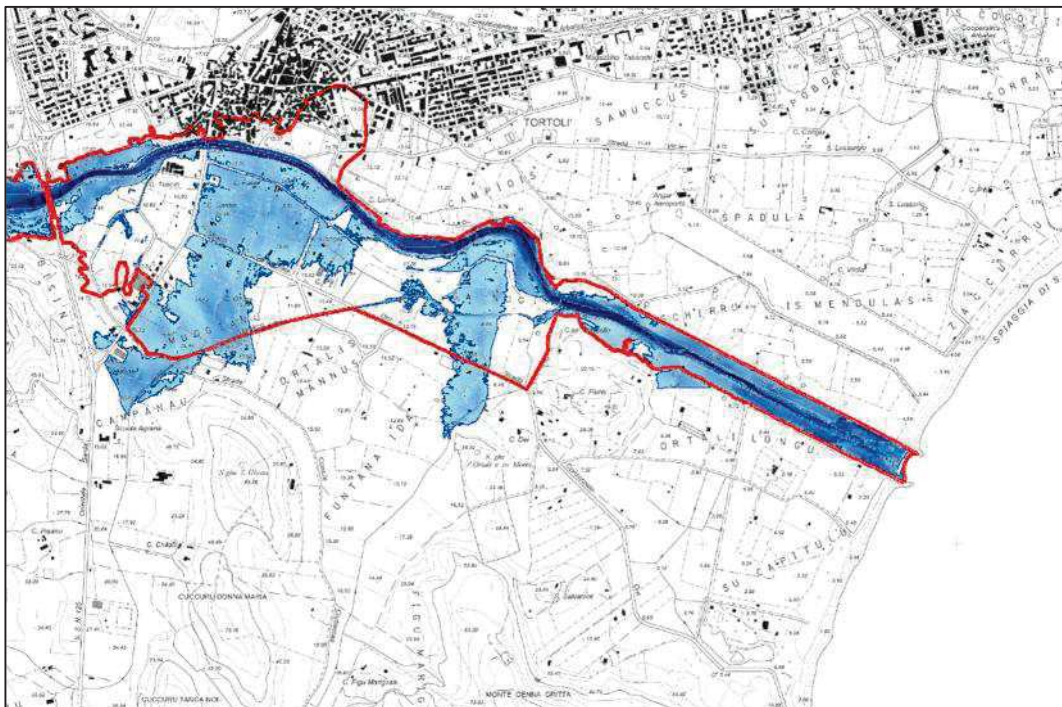


Figura 4.23 – T50: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

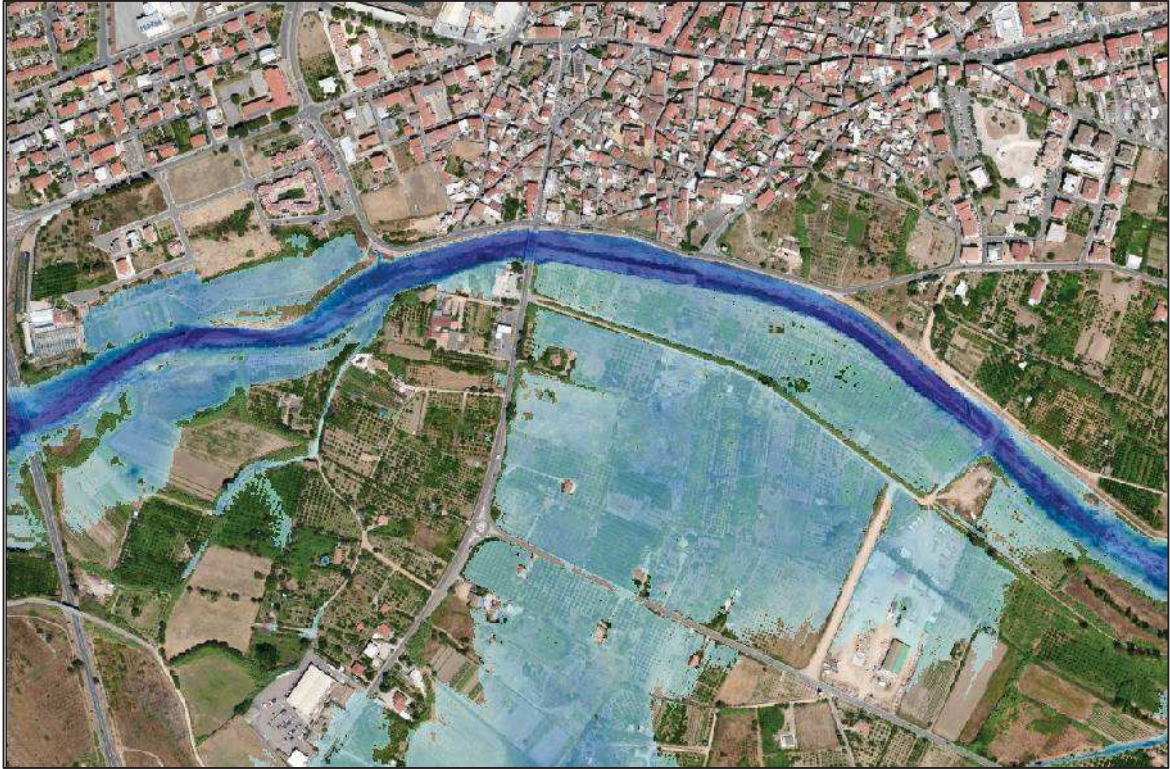


Figura 4.24 – Aree e battenti idrici ottenuti per T50 nel centro abitato con modellazione aggiornata

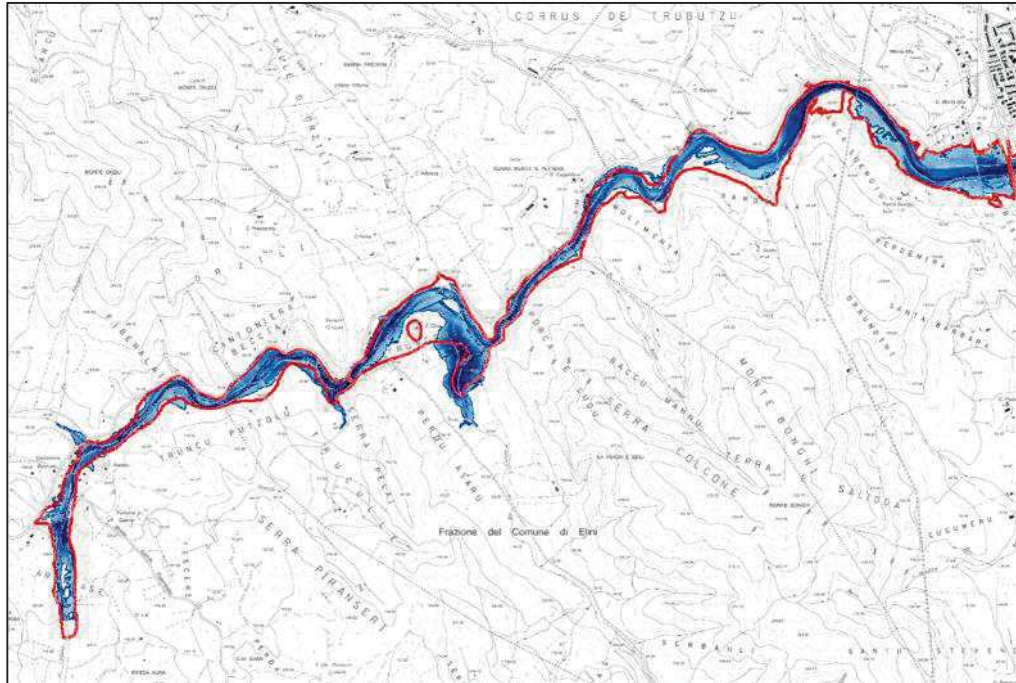


Figura 4.25 – T100: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a monte della S.S.125

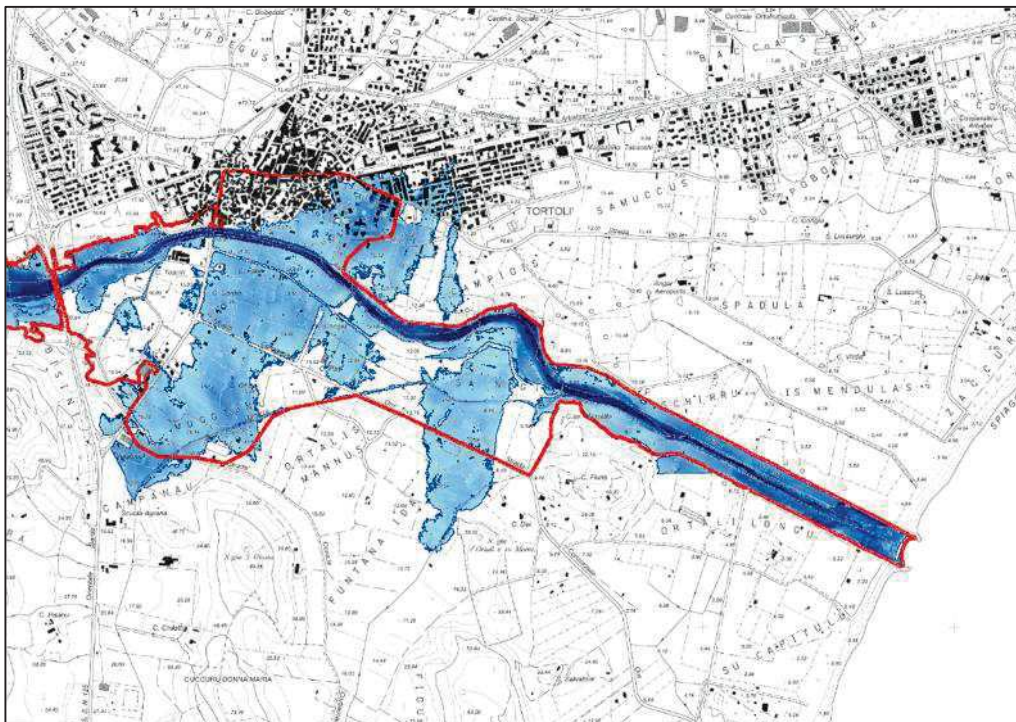


Figura 4.26 – T100: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

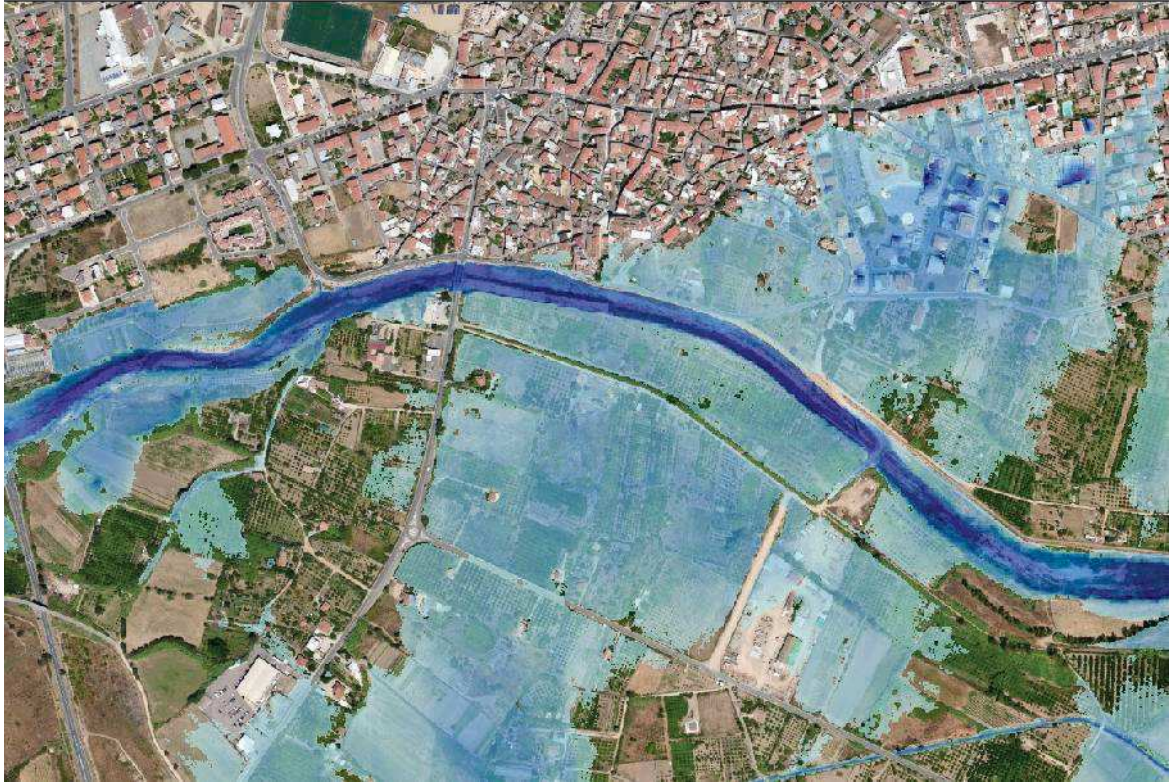


Figura 4.27 – Aree e battenti idrici ottenuti per T100 nel centro abitato con modellazione aggiornata

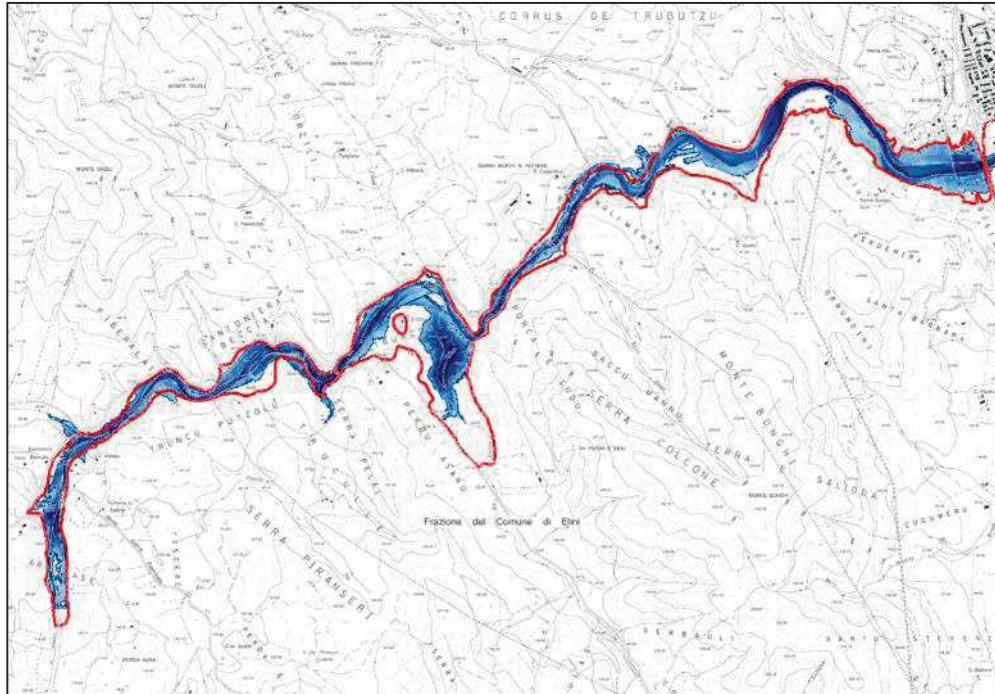


Figura 4.28 – T200: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a monte della S.S.125

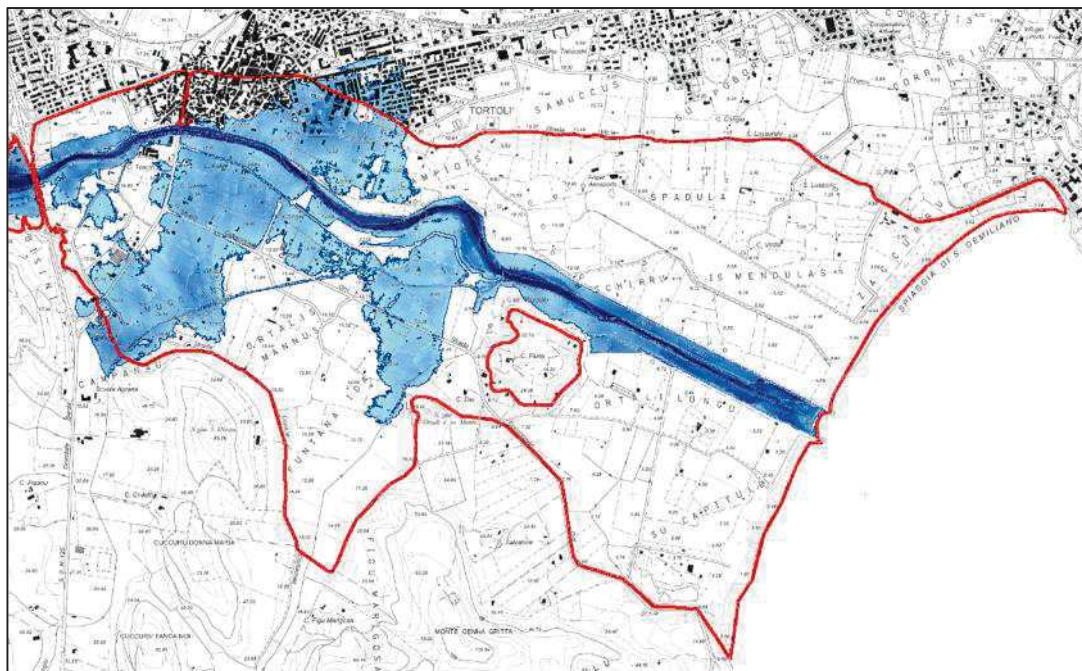


Figura 4.29 – T200: confronto tra aree di allagamento modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

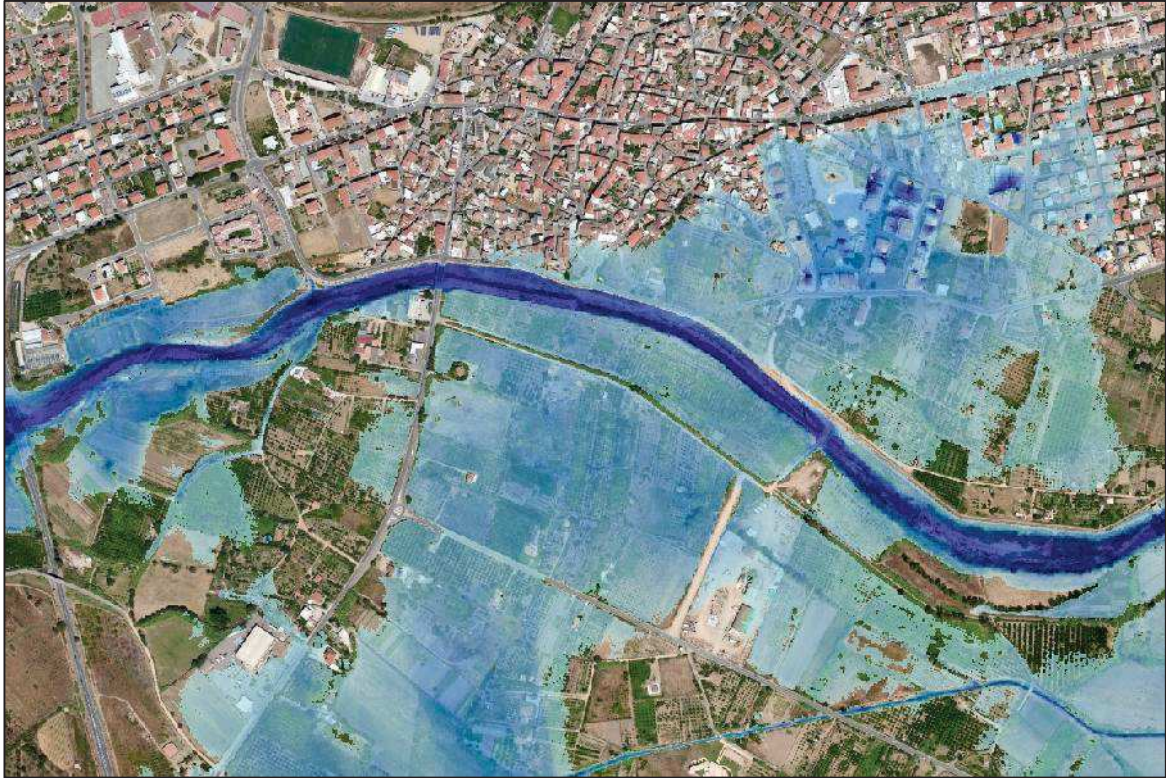


Figura 4.30 – Aree e battenti idrici ottenuti per T200 nel centro abitato con modellazione aggiornata

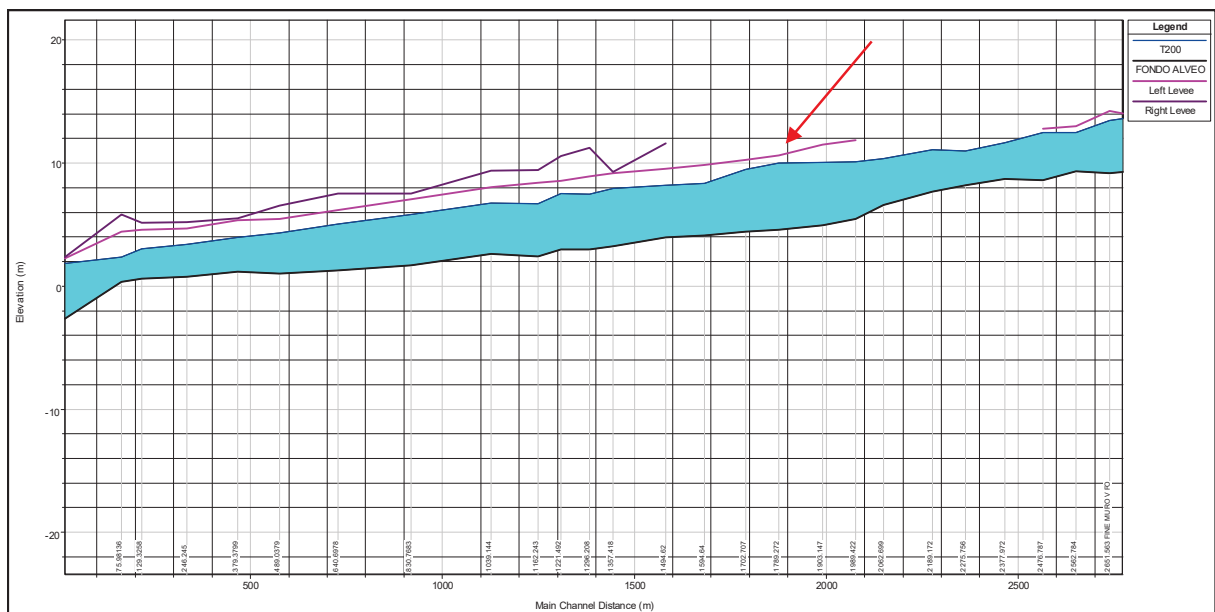


Figura 4.31 – Profilo T200 ottenuto con modello aggiornato – gli argini vallivi hanno franchi minimi di 60 cm (argine sx)



Figura 4.32 – Schema adottato per la simulazione per T200 ad argini vallivi completamente sormontabili

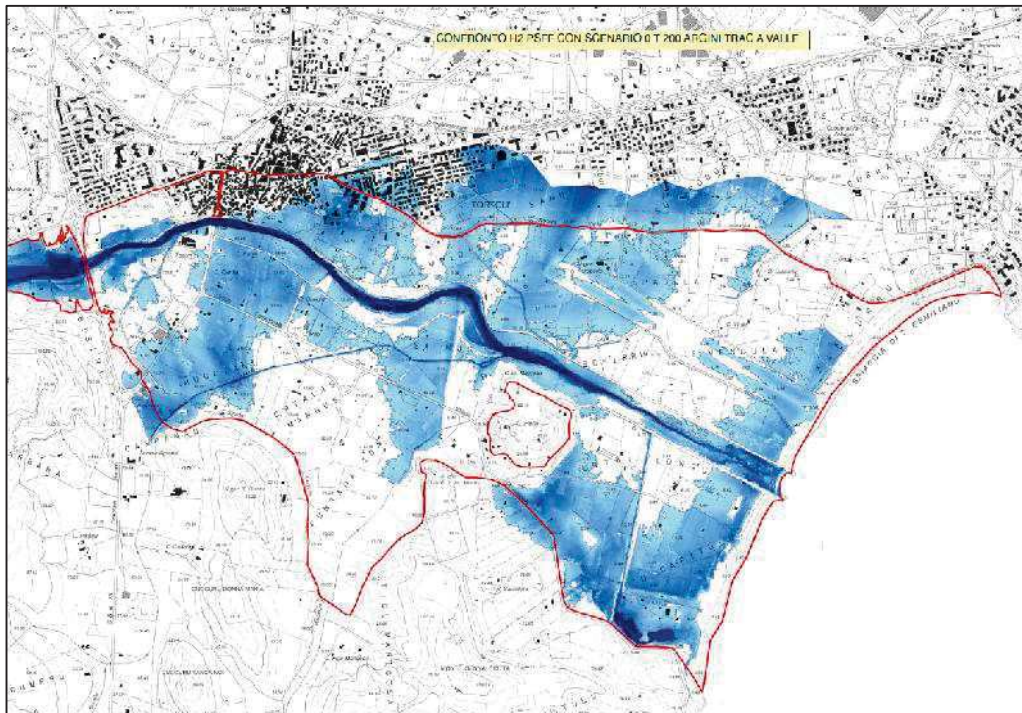


Figura 4.33 – T200: modello aggiornato e PSFF -(tratto rosso) a valle della S.S.125 ad argini ovunque tracimabili

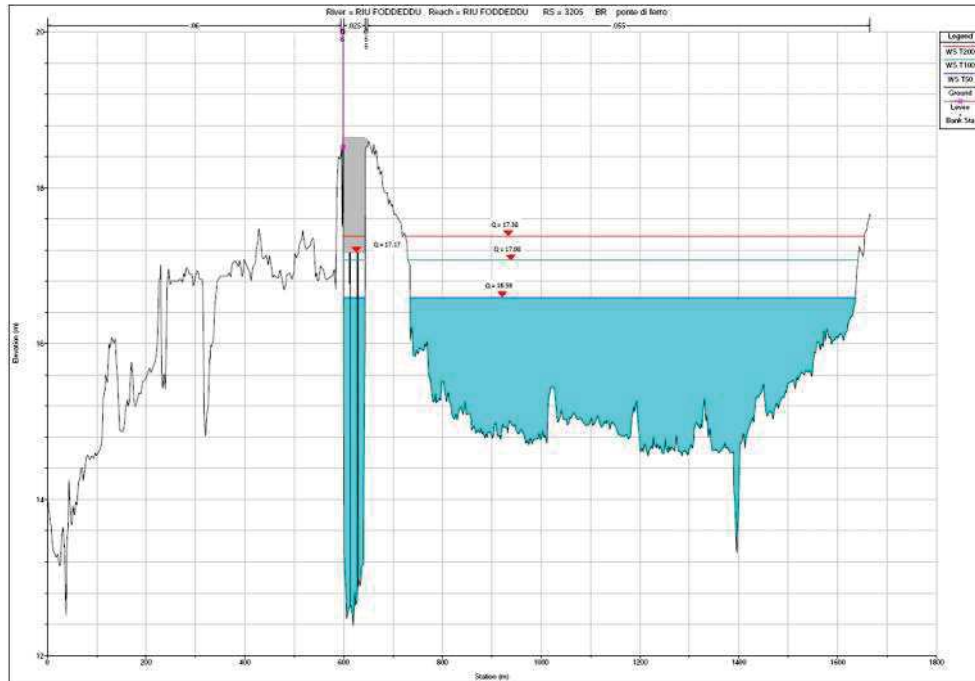


Figura 4.34 – Ponte di ferro con franchi idraulici insufficienti per tutti i tempo di ritorno considerati

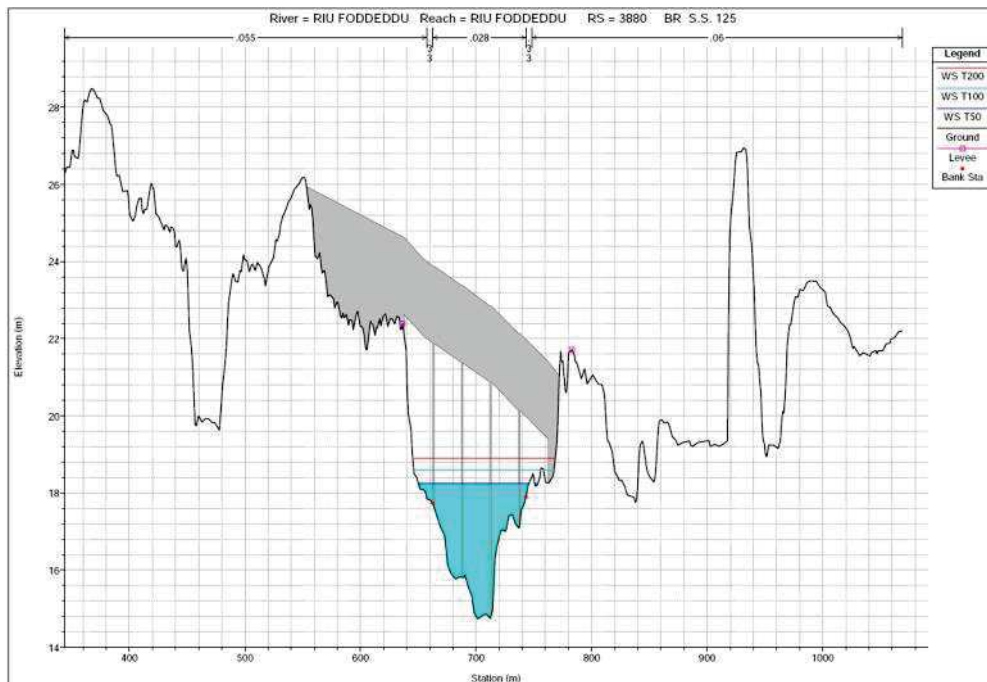


Figura 4.35 – Ponte S.S. 125 sufficiente per tutti i tempi di ritorno considerati

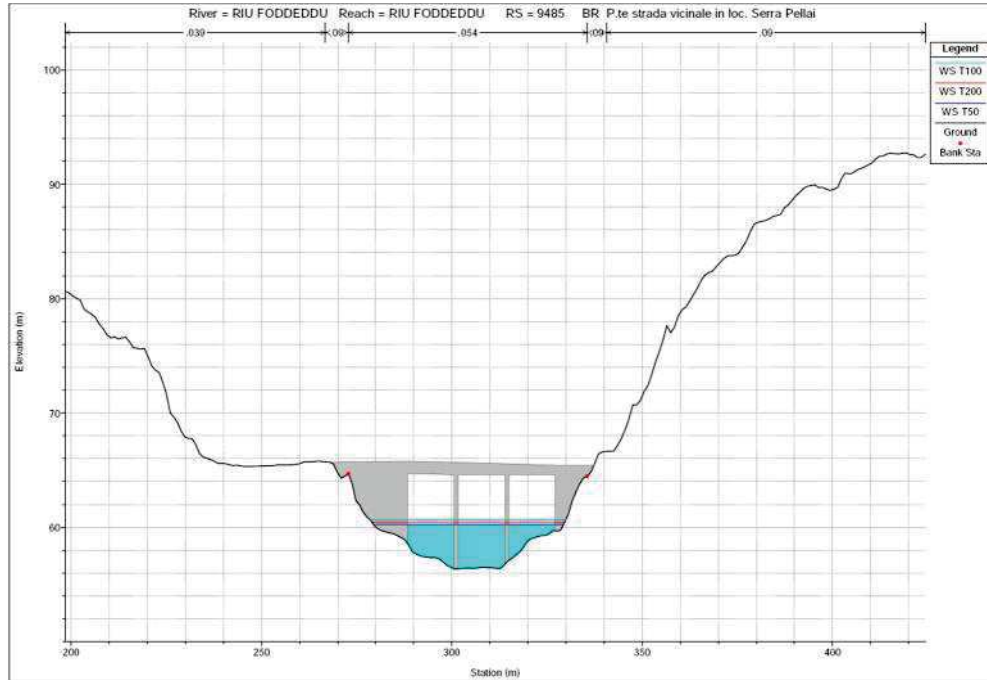


Figura 4.36 – Ponte strada vicinale in loc. Serra Pellai sufficiente per tutti i tempi di ritorno considerati

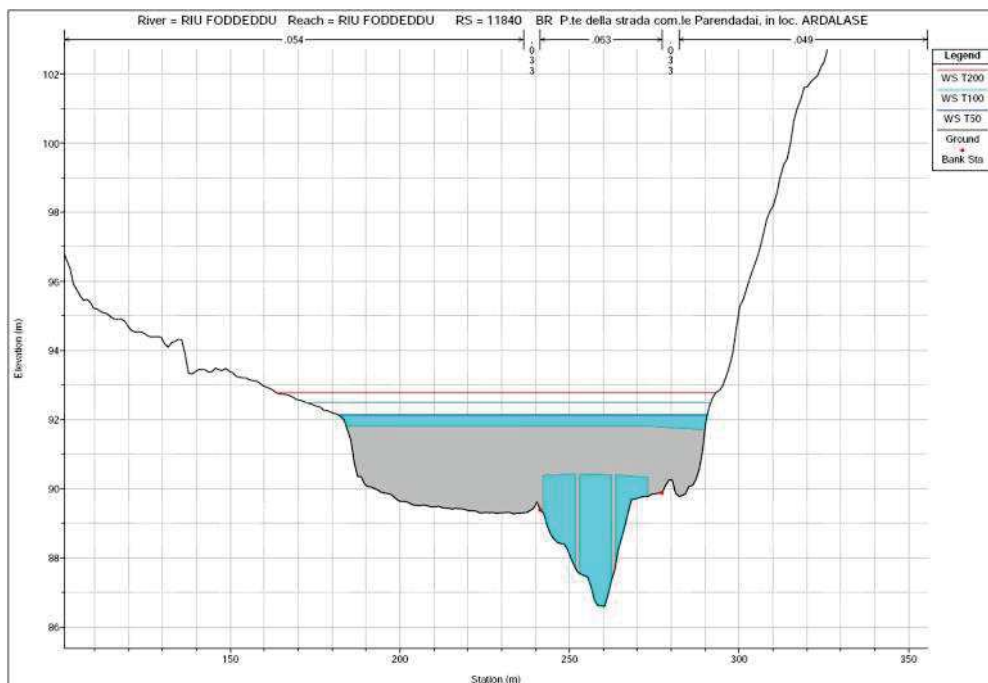


Figura 4.37 – Ponte strada vicinale in Loc. Parendai insufficiente per tutti i tempi di ritorno considerati



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

4.1 PORTATE MASSIME COMPATIBILI CON LA SITUAZIONE ATTUALE

Un'interazione importante tra la nuova modellazione idraulica e la scelta delle azioni di mitigazione da adottare riguarda la possibilità di **definire il livello di pericolosità** valutato per tratti omogenei del corso d'acqua o in corrispondenza di specifiche infrastrutture e, conseguentemente, associato al territorio interessato dalla inondazione. Il parametro che è necessario stimare per questa valutazione è quello della portata compatibile con l'attuale sezione idraulica che di seguito è indicata come portata di piena Q_{amm} , intendendosi con questo termine la portata di soglia al di sotto della quale si può ritenere che vi sia danno nullo.

Allo scopo per il Riu Foddeddu sono stati individuati e studiati due tronchi critici: il primo compreso tra il ponte della SS 125 e il ponte di ferro, il secondo a valle del ponte di ferro. Per ognuno è stata determinata la portata ammissibile cioè quella che può essere contenuta con un franco minimo all'interno della sezione naturale o arginata e al di sopra della quale è verosimile assumere che vi sia un principio di allagamento e quindi di danno che può nascere da una esondazione dalla sezione naturale o da un collasso arginale.

Si deve precisare che l'ipotesi del collasso arginale viene valutata con riferimento all'azione esercitata dalle acque nell'evento di piena sulla base dei soli dati geometrici disponibili, mancando allo stato attuale una caratterizzazione geotecnica che valuti le condizioni strutturali interne utili alla valutazione il coefficiente di sicurezza dell'ammasso terroso. Ad esempio si può osservare che anche il solo esame visivo del rilevato arginale in sponda destra a valle del ponte di ferro denuncia uno stato di degrado e di incuria generalizzato e una struttura non a norma a prescindere dalla sua idoneità in termini di quote del coronamento.

In termini di comportamento idraulico si evidenzia inoltre che gli argini vallivi del Riu Foddeddu sono sicuramente da considerarsi come non tracimabili in quanto non sono dotati di soglie rivestite che consentano il loro sormonto e lo sfioro in sicurezza delle portate di piena in eccesso. Il collasso del corpo arginale è ipotizzato come dovuto al sormonto dello stesso corpo arginale e dunque trascurando l'incidenza dei possibili fenomeni di sifonamento.

In merito all'entità del franco idraulico relativo alla portata massima compatibile si richiama il fatto che la geometria del modello idraulico, aggiornata con l'utilizzo dei dati Lidar, ha permesso di stabilire in maniera sistematica l'andamento altimetrico del suolo e degli argini con una densità di circa 1.5 punti per m^2 e un'accuratezza altimetrica corrispondente ± 1 s che corrisponde ad un errore medio ± 15 cm. Considerando che generalmente le aree sulle sommità arginali sono sgombre da vegetazione massiva o di alto fusto, si può valutare la migliore prestazione del dato rilevabile con l'ausilio del Lidar. In tal senso, l'incertezza derivante dal dato altimetrico sulla geometria degli argini e quindi sulla loro stabilità sotto l'azione idraulica, deve essere necessariamente rapportata a questa accuratezza: la condizione che induce al superamento della



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

quota arginale e quindi alla esondazione del rio viene fatta corrispondere al superamento della quota idrica per la quale si ha un franco minimo di ampiezza minore o uguale a **20 cm**¹.

La portata di piena Q_{amm} corrispondente a tale valore limite di quota è stata valutata, come detto, sia per il tronco di rio compreso tra i due ponti che per quello a valle del ponte di ferro; il calcolo è stato effettuato mediante l'analisi idraulica dei due tratti individuando, per ciascuno di essi, la sezione che presenta il franco idraulico minimo di 20 cm e la corrispondente portata Q_{amm} che lo determina. Trovata la Q_{amm} questa è stata associata ad un tempo di ritorno T mediante l'inversione del metodo di calcolo della portata utilizzato nel PSFF.

Si deve in proposito far osservare che il metodo di calcolo delle portate adottato per il Foddeddu nell'ambito del PSFF, è quello indiretto con applicazione della formula razionale basata sulle curve di possibilità pluviometrica regolarizzate utilizzando la distribuzione TCEV (PSFF 6_17_1_1_3-Rel-monografica - pag. 156 -), nonostante il bacino abbia una superficie superiore a 40/60 km².

Per coerenza con quanto assunto nel PSFF il calcolo della portata ammissibile è stato condotto utilizzando lo stesso metodo indiretto e approccio basato sulla applicazione della formula razionale.

I risultati dell'indagine presentati di seguito evidenziano che il tronco tra i due ponti va in crisi in sponda destra con tempi di ritorno di circa 10 anni in una sezione posta alla progressiva 3592.49 dove la portata decennale transita con un franco di 20 cm. Il tratto a valle del ponte di ferro va in crisi ancora in sponda destra sulla sezione 2954.13 con tempo di ritorno ancora decennale.

Nelle tabelle che seguono sono indicati sia i tempi di ritorno relativi alle portate che determinano il franco idraulico di 20 cm e l'annullamento dello stesso sia la sezione maggiormente critica, riportando per completezza il risultato della modellazione idraulica.

¹ Tale scelta è in linea con l'orientamento di altre Autorità di Distretto idrografico (per. es. vedasi Distr. Idr. Alpi Orientali. *Predisposizione delle mappe di allagabilità e rischio* - Documento di sintesi - 2013 pag. 16)



1°Tronco Ponte SS 125 – Ponte di ferro: sponda dx:

Franco idraulico	Sezione modello	Q (m ³ /s)	Tempo di ritorno (anni)
20 cm (in sponda destra)	3592.49	130	10
franco annullato	3592.49	150	10

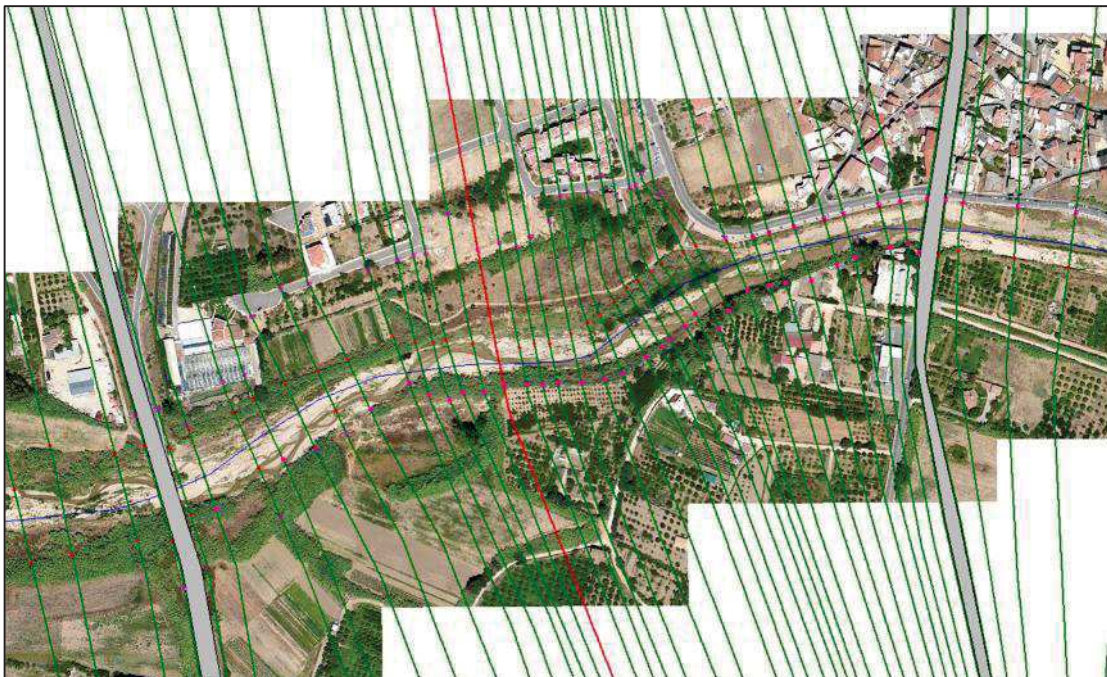
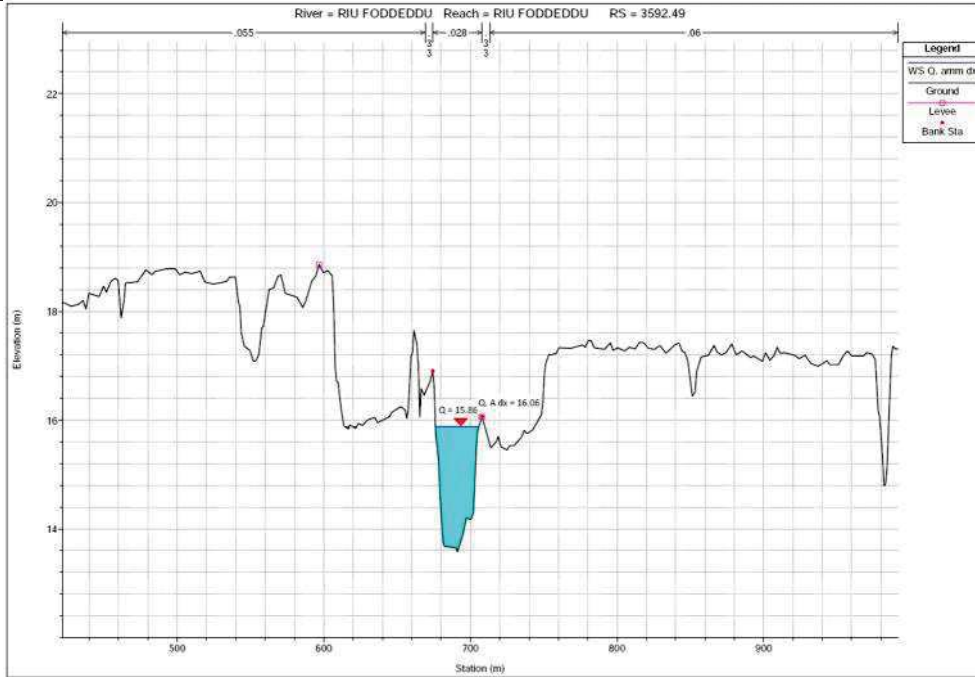


Figura 4.38 – Sezione idraulica di progressiva 3592.49 a franco minimo sulla sponda destra



1°Tronco valle Ponte di ferro: sponda dx:

Franco idraulico	Sezione modello	Q (m ³ /s)	Tempo di ritorno (anni)
20 cm (in sponda destra)	2954.13	180	10
franco annullato	2954.13	208	10

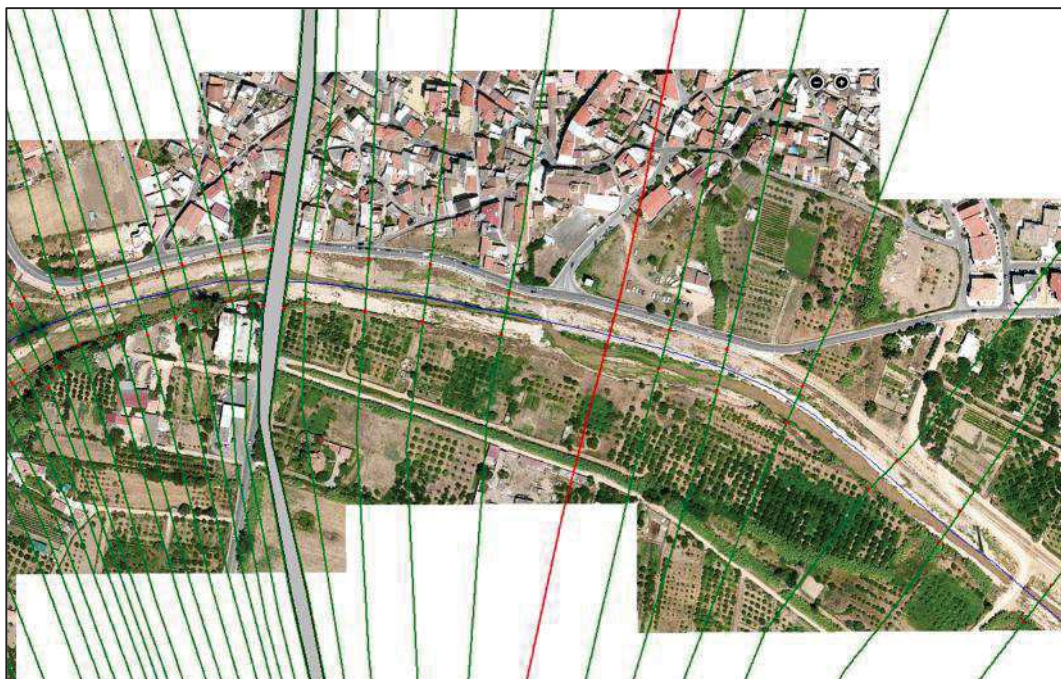
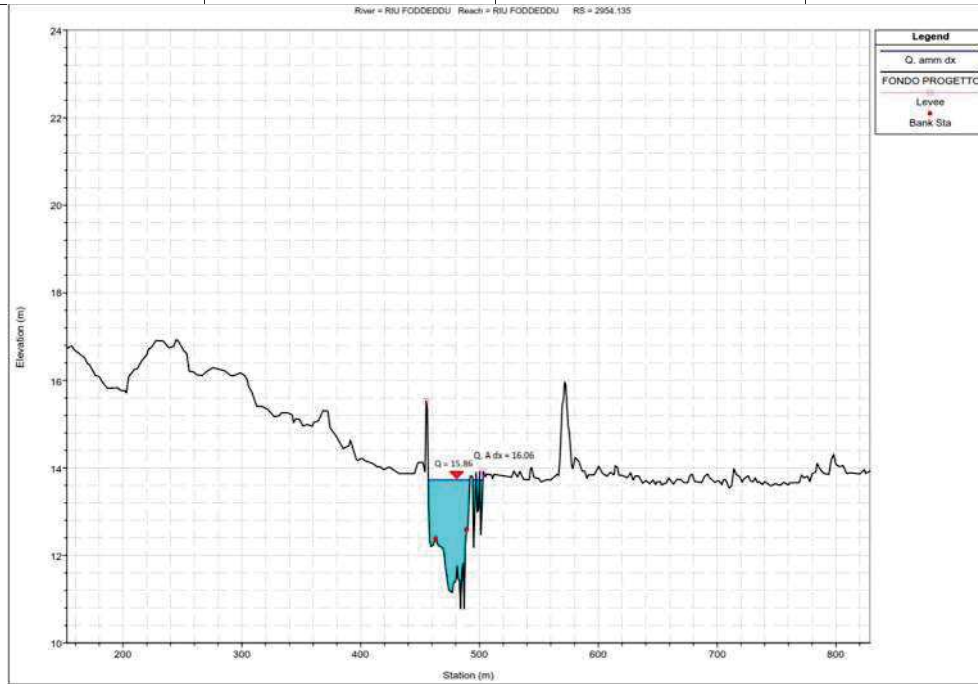


Figura 4.39 – Sezione idraulica di progressiva 2954.13 a franco minimo sulla sponda destra



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

4.2 VOLUME DI PIENA E AREE ESONDATE

Sulla base delle analisi idrauliche effettuate sono stati calcolati i volumi idrici che determinano l'allagamento delle aree perimetrate a rischio di esondazione: il valore è stato ottenuto sommando i valori dei volumi sulle unità di cella conseguenti ai battenti idrici calcolati come indicato nel dataset di allagamento (in formato GRID). I volumi sono valutati per ciascuno dei tempi di ritorno considerati nelle analisi idrologiche.

Tabella 4.5 - Volumi di allagamento allo stato attuale

Tr (anni)	W (m ³)
50	2'050'218
100	2'587'765
200	2'964'098



5 Procedura operativa per il calcolo del danno di piena nel Bacino del Riu Foddeddu

Per una descrizione dettagliata della procedura qui utilizzata per la determinazione del danno di piena si rimanda a quanto esposto nella relazione metodologica relativa al bacino pilota (paragrafi da 5 a 8), in questa sede è però utile richiamare sinteticamente i passaggi della procedura, schematizzati nel diagramma di flusso (Figura 5.1).

Il calcolo si basa sul database DBEE degli elementi d'uso riclassificati in categorie di danno a ciascuno dei quali è stato associato un valore massimo di danno specifico espresso in euro a metro quadrato (Tabella 5.6).

Tabella 5.6 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo

	DESCRIZIONE CATEGORIA ELEMENTO ESPOSTO	LABEL	COSTO (€/m ²)
1	area con edificio residenziale	R	618.00
2	area con edificio commerciale	C	511.00
3	area con edificio industriale	I	440.00
4	zona Agricola	A	0.63
5	strade comunali	N	10.00
6	strade provinciali	P	20.00
7	strade importanti	S	40.00
8	area con elementi di infrastrutture a rete (idriche, elettriche)	T	40.00
9	aree occupate da corpi idrici	H	0.00
10	aree protette di pregio ambientale	J	0.00
11	aree storiche e archeologiche	K	0.00
12	altre aree con danni non tangibili	X	0.00

La definizione del DBEE è stata fatta partendo dalla carta dell'uso del suolo della Regione che è stata strutturata come database territoriale utilizzando i dati della carta tecnica regionale numerica (CTR) in scala 1:10'000, e altre informazioni sulla utilizzazione dei suoli. Queste provengono dall'ortofotocarta realizzata dall'AGEA, dalle ortofoto a colori del 2000, da immagini Landsat5 sia estive che invernali, dalla carta forestale realizzata dalla ex Stazione Sperimentale del Sughero, dall'Atlante dell'irrigazione delle regioni meridionali (INEA, 2001) e infine dai dati sulle aree percorse da incendi raccolti dal Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale. Nel database dell'uso del suolo sono state mantenute le precisioni geometriche degli elementi lineari relativi all'idrografia, alla viabilità e alle linee di costa, individuando le unità territoriali minime fino a 1.56 ettari per il territorio extraurbano e di 1 ettaro per le aree urbane. I successivi aggiornamenti effettuati sulla base delle ortofoto AGEA 2003, Ortofoto 2004, immagini Ikonos 2005-06, immagini Landsat 2003, immagini Aster 200, hanno anche portato la risoluzione spaziale dell'unità cartografica a 0,5 ettari all'interno dell'area urbana e 0,75 ettari nell'area extra urbana.

L'organizzazione delle informazioni territoriali contenute nel database dell'uso del suolo segue l'impostazione originaria del progetto Corine Land Cover, organizzata secondo una legenda articolata



in tre livelli gerarchici via via modificati per tenere conto delle specificità della regione per giungere, con la legenda finale riportata nelle tabelle.

Un ulteriore strato informativo di base per la valutazione del danno è rappresentato dalla mappa batimetrica delle aree allagate relativa all'evento con assegnato tempo di ritorno, avente la medesima risoluzione spaziale del modello digitale di terreno (DTM) utilizzato per la costruzione del modello idraulico.

Per poter associare a ciascun elemento della mappa allagabile la destinazione d'uso propria della mappa degli elementi esposti del DBEE è necessario effettuare la sovrapposizione con lo strato informativo batimetrico per un assegnato tempo di ritorno. Per effettuare tale sovrapposizione, la mappa delle aree allagabile con i battenti idrici (in formato raster) nativamente alla risoluzione di 1 m è stata oggetto di ricampionamento con una risoluzione al terreno di 3 x 3 metri e quindi vettorializzata con tema poligonale. Il risultato è rappresentato da uno strato informativo contenente la batimetria dell'allagamento, ad elementi quadrangolari ciascuno avente area minore o al più uguale a 9 m².

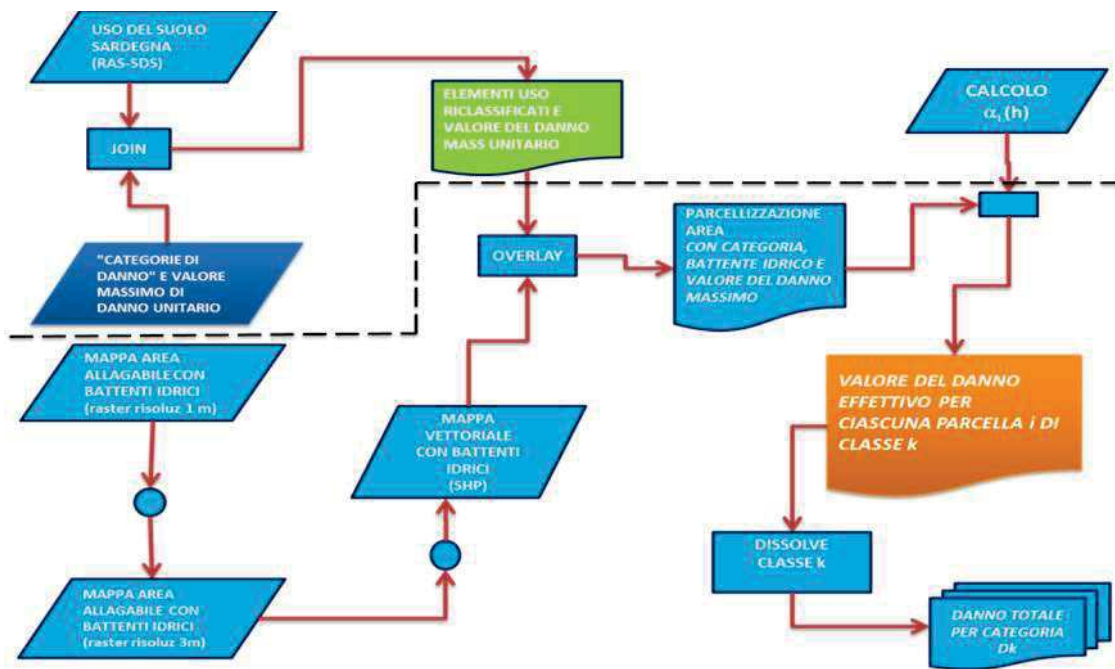


Figura 5.1 - Procedura di calcolo per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso

Mediante la procedura di intersezione (overlay) degli strati informativi è stato creato un tema che contiene per ciascun record presente oltre alla categoria di danno del bene stesso, anche il battente idrico che insiste sulla medesima parcella territoriale individuata nella batimetria.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

A ciascun record presente nello strato informativo degli elementi esposti corrisponde un coefficiente di parcellizzazione del valore del danno di piena, coefficiente $\alpha_k(h_i)$, il quale dipende dalla k -esima categoria di danno dell'elemento esposto e dal battente idrico presente nella i -esima parcella di territorio occupata dal bene stesso.

La procedura sviluppata nello Studio determina quindi, preliminarmente, il valore del coefficiente di parcellizzazione di piena $\alpha_k(h_i)$ in relazione alla categoria k di appartenenza dell'elemento del rischio secondo la classificazione in 12 classi. La determinazione del coefficiente di parcellizzazione è affidata ad altrettante espressioni le quali esprimono con un'espressione polinomiale le curve di danno in funzione del battente idrico. Si osserva che per battenti idrici maggiori di 5 m il coefficiente alfa assume il valore unitario mentre battenti idrici inferiori a 1 cm si associano a un valore nullo dello stesso coefficiente. Si osservi inoltre che le categorie cui corrisponde un costo non-tangibile (aree protette di pregio ambientale, aree storiche e archeologiche, aree occupate da corpi idrici, altre aree con danni non tangibili) corrisponderà anche coefficiente di danno di piena nullo.

La **procedura di calcolo ALFA** esegue la stima del valore del coefficiente di parcellizzazione di danno in funzione del battente idrico per ciascun record presente nello strato informativo: il valore del danno effettivo per ciascuna parcella i -esima occupata dall'elemento classificato in k è data dal prodotto dell'area allagata della parcella A_i per il valore del danno massimo unitario D_k moltiplicato ancora il valore del coefficiente di parcellizzazione di danno $\alpha_j(h_i)$ in funzione del battente idrico.

Infine, attraverso una procedura informatica di aggregazione nelle varie classi delle categorie $k = 1, K$ di danno (dissolving) è quindi possibile calcolare il danno totale associato per ciascuna categoria.

5.1 DANNO DI PIENA RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

Preliminarmente, considerando lo stato di fatto attuale, la simulazione idraulica degli eventi di piena assunti a riferimento ($Tr = 50, 100$ e 200 anni) ha individuato l'estensione dell'area vulnerata. Complessivamente sono interessati poco più di **2.5 km²** di territorio destinati alle categorie d'uso individuate in Tabella 5.6. Sulla base della suddivisione in classi degli elementi territoriali, nella Tabella 5.7 sono riportate le aree interessate ed esposte al danno di piena complessivamente e per categoria attribuita. In Tabella la estensione è riportata con riferimento ai tre tempi di ritorno dell'evento di piena. Per ciascun evento, la tabella riporta, inoltre, la stima del valore del danno di piena.

La figura successiva (Figura 5.2) evidenzia come, nel passaggio dal tempo di ritorno da 50 a 100, l'area allagata cresce gradualmente (da 1 880 934 a 2 352 514) in conseguenza del sormonto del muro d'argine di via Foddeddu, ma quella del danno presenta un gradiente molto maggiore per via del fatto che la portata centenaria va ad interessare aree residenziali in sponda sinistra che fanno crescere in modo esponenziale il danno.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Nel passaggio da T 100 a T200 la legge di crescita delle aree allagabili e del danno presenta le stesse caratteristiche di quella del passaggio da T50 a T100, ma risulta più graduale poiché conseguenza del sormonto del muro accompagnato stavolta da modesti incrementi del tirante idrico e delle superfici interessate da allagamento.

Tabella 5.7 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno

Categoria elemento	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
A - AGRICOLA	1 171 441	303 647	1 492 764	390 764	1 646 551	449 566
H - CORPI IDRICI	412 581	-	430 481	-	444 856	-
I - INDUSTRIALI	23 286	883 358	37 160	1 451 880	41 778	1 701 031
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	203 861	-	214 061	-	218 140	-
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	2 559	-	10 669	-	16 677	-
N - STRADE COMUNALI	3 511	4 871	8 563	11 948	9 966	16 304
R - RESIDENZIALE	22 438	4 476 487	113 698	19 879 470	129 186	22 998 722
S - STRADE STATALI	1 709	30 808	2 313	38 323	3 163	48 694
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	546	11 639	1 815	16 839	2 965	20 529
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	39 004	-	40 988	-	41 974	-
Totale	1 880 934	5 710 810	2 352 514	21 789 223	2 555 257	25 234 846

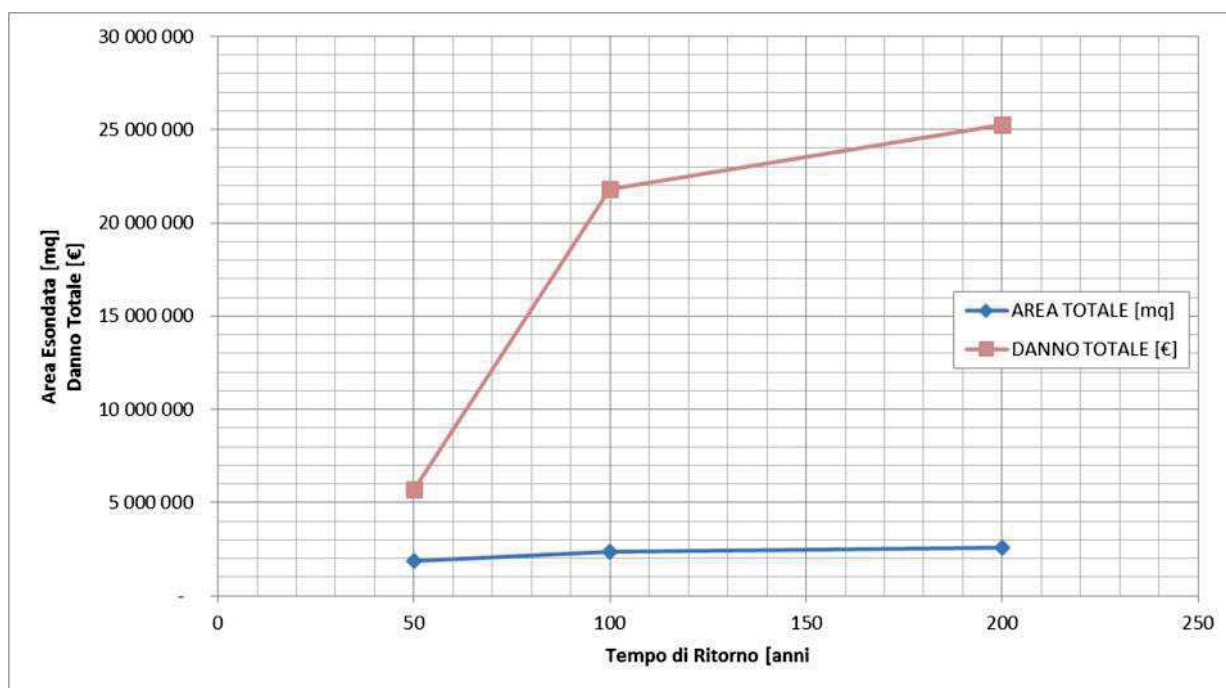


Figura 5.2 – Stato Attuale: grafico dell'andamento del danno da piena rispetto alla crescita dell'area allagata.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6 Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno

6.1 METODOLOGIA DI INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI

La procedura di individuazione degli interventi per la salvaguardia delle aree territoriali dotate di pericolosità idraulica ha tenuto conto della mappatura di pericolosità inizialmente contenuta nel PSFF la quale, come più volte rimarcato, rappresenta il punto di riferimento per le analisi svolte nel presente studio, anche riguardo alle simulazioni idrauliche effettuate sulla base della situazione attuale. Eventuali differenze riscontrate in termini di pericolosità di livello medio, elevato o molto elevato, nelle aree studiate rispetto a quanto rappresentato nel PSFF sono state analizzate e risolte sempre in vista della migliore tutela delle popolazioni e dei beni presenti nei territori interessati.

Il dimensionamento delle opere di arginali è effettuato prendendo a riferimento le quote idriche relative all'evento di piena bicentenario ($T_r = 200$ anni). Tale criterio, ovviamente, ammette il persistere di una pericolosità residua di livello moderato, in caso di insufficienza dell'opera, in considerazione della quale le Norme di Attuazione delegano agli strumenti urbanistici e ai piani di settore vigenti le prescrizioni sull'uso del territorio capaci di ridurre le pericolosità residue attraverso usi, tipologie e tecniche costruttive adatte allo scopo.

In sintesi viene di seguito esplicitata la metodologia adottata per la caratterizzazione degli interventi proposti e la loro aggregazione in scenari di intervento per la mitigazione della pericolosità:

- A. analisi delle pericolosità allo stato attuale**, definizione e quantificazione sulla base dei risultati delle simulazioni idrauliche effettuate ai diversi tempi di ritorno, quantificazione del danno medio annuo atteso; in tale fase è inoltre documentata la massima portata che può defluire nell'alveo allo stato attuale senza alcuna esondazione lungo il tronco studiato;
- B. definizione tipologica degli interventi** di salvaguardia e criteri per il dimensionamento delle opere in considerazione dell'impatto prevedibile e delle peculiarità ambientali;
- C. individuazione dei singoli interventi** mirati alla risoluzione di specifiche criticità e loro caratterizzazione dimensionale ed economica preliminare;
- D. composizione dei singoli interventi in possibili scenari progettuali** tra loro alternativi e loro caratterizzazione economica;
- E. analisi di modellazione idraulica della configurazione con scenari progettuali**, sia per evento critico preso a riferimento per la definizione dei requisiti dimensionali delle opere che per gli altri tempi di ritorno (tempo di ritorno di 50, 100) e corrispondente definizione delle eventuali aree residue con pericolosità idraulica;
- F. comparazione tecnica economica** tra le diverse alternative di intervento mediante l'analisi costi-benefici;



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

G. definizione di una ipotesi di phasing nella realizzazione degli interventi e scelta dello scenario di intervento in considerazione delle pericolosità affrontate.

A seguito dell'individuazione della proposta di intervento e delle fasi realizzative in forma condivisa tra ARDIS e DICAAR, si può dar luogo all'avvio delle **procedure di valutazione ambientale strategica (VAS)** nelle sedi competenti al fine di accogliere i riscontri rilevati e attuare la previsione di eventuali interventi compensativi degli impatti accertati.

I risultati contenuti nelle elaborazioni saranno considerati preliminari al previsto studio di compatibilità idraulica o in alternativa equivalenti ad esso come previsto all'Art.24 delle Norme di Attuazione.

Inoltre, lo studio potrà essere considerato come documento preliminare alla progettazione ai sensi dell'inserimento dell'opera nel programma delle opere pubbliche in vista di una fase successiva nella quale saranno sviluppati i vari livelli progettuali.

Come richiamato nelle premesse, tutti gli interventi delineati con la metodologia di seguito illustrata sono stati condivisi tra il DICAAR e l'ARDIS in quanto ritenuti coerenti con gli obiettivi esposti in premessa e ipotizzabili nel Piano di Gestione inteso come strumento di pianificazione territoriale sovraordinata, secondo quanto previsto dalle norme Comunitarie, Nazionali e regionali applicabili. Si richiamano pertanto le Norme di Attuazione del PAI della Regione Autonoma della Sardegna in particolare agli articoli 14 (Norme per la sistemazione della rete idrografica), 21 (Indirizzi per la progettazione, realizzazione e manutenzione delle infrastrutture) e 24 (Studi di compatibilità idraulica).



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6.2 INQUADRAMENTO DELLO STATO DI FATTO DELLE OPERE DI SALVAGUARDIA IDRAULICA

Il tratto di interesse, come detto, è quello di circa 12 km compreso tra la **località Ardalase e la foce** e interessa, con pericolosità molto elevata, elevata e media, un'area di poco più di 2,5 kmq; nei primi 8 km, fino alla intersezione con la SS 125, la pressione antropica è pressoché nulla e l'unico elemento a rischio di rilievo è la SS 198 lambita dalle piene del rio; nei restanti 4 km e soprattutto nei primi 2 subito a valle del ponte sulla SS 125 si concentrano invece le maggiori criticità sia in termini di pressione antropica che di fenomeni idraulici.

Dal punto di vista delle opere di salvaguardia il tratto di monte non presenta opere di regimazione, mentre a valle della SS 125 il rio risulta arginato sia con argini in terra che con muri in cemento armato realizzati in seguito all'alluvione del 2008. Si tratta in dettaglio delle seguenti opere:

1. Muro di via delle Lavandaie che si sviluppa per una lunghezza di 250 m in sinistra idraulica subito a monte del ponte di ferro;
2. Muro di via Foddeddu che si sviluppa per 560 m in sinistra idraulica a valle del ponte di ferro;
3. Argine in terra in sinistra idraulica che si raccorda al muro di via Foddeddu e si sviluppa sino alla foce per circa 2,65 km;
4. Argine in terra in destra idraulica che si sviluppa dal colle in località Sa Nugi sino alla foce per circa 1,100 km ;
5. Argine in terra in destra idraulica che si sviluppa dal ponte di ferro sino al colle vallivo per circa 1,650 km;

Tutte le opere sono in buone condizioni di manutenzione se si eccettua l'argine di cui al punto 5 al quale non è stata attribuita alcuna funzione di mitigazione in quanto il rilevato è indebolito in diversi punti da corde molli e cedimenti (Figura 6.1).

Le conseguenze sul territorio degli eventi di piena simulati per la situazione attuale (Scenario 0), già illustrate nei paragrafi precedenti, hanno evidenziato la possibilità che vaste aree in destra idraulica siano interessate dall'esonazione già per tempi di ritorno pari 50 anni sia per l'assenza di opere sia per l'inefficacia delle arginature esistenti, mentre in sinistra idraulica le opere sono in grado di contenere correttamente la portata cinquantenaria, ma entrano in crisi con portate relative a tempi di ritorno superiori. Il picco del danno nel passaggio da T50 a T100 nasce dal fatto che il sormonto del muro arginale di via Foddeddu avviene con la portata centenaria andando a interessare zone fortemente urbanizzate del centro abitato; d'altra parte nel passaggio da T100 e T200, con sormonto del muro ormai avvenuto, le aree del centro urbano interessate da allagamenti crescono più gradualmente e fanno crescere il danno in modo proporzionale alla crescita delle superfici.

Si noti che in questo sistema di opere di mitigazione un ruolo chiave è svolto dalle opere vallive arginali in terra sia in sponda sinistra che in sponda destra le quali risultano sufficienti per portate con tempo di ritorno superiori a 50 anni e si presentano, comunque, in un buono stato di manutenzione (Figura 6.2 e Figura 6.3).

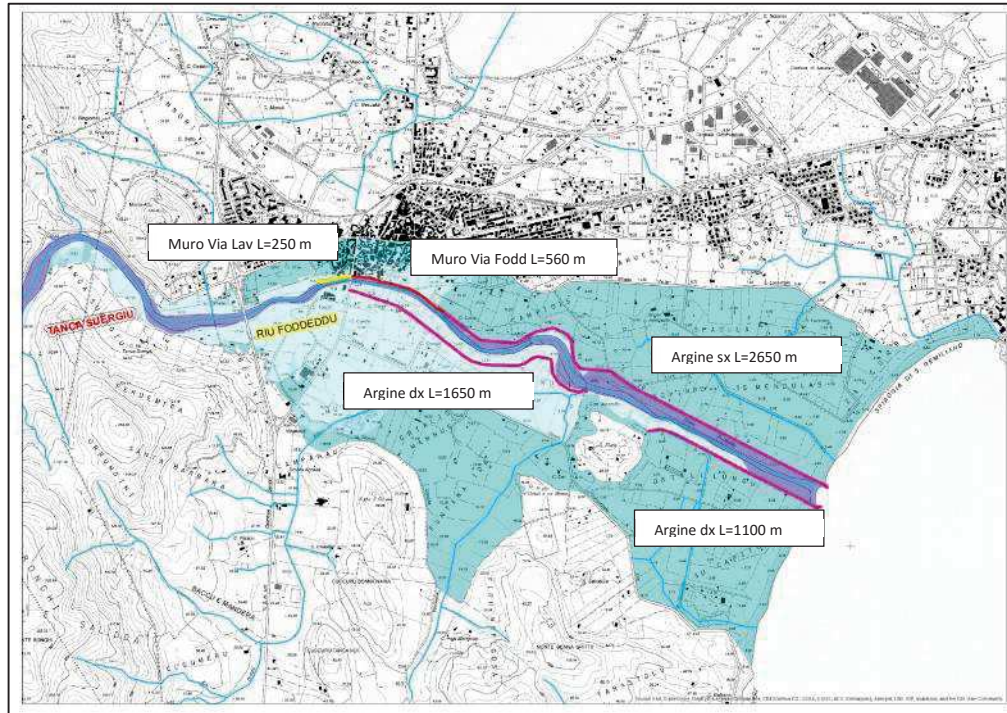


Figura 6.1 – Tratto regimato: In giallo muro Lavandaie, in rosso muro via Foddeddu, in magenta argini



Figura 6.2 – Rilevato arginale sx in terra a valle del ponte di ferro



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

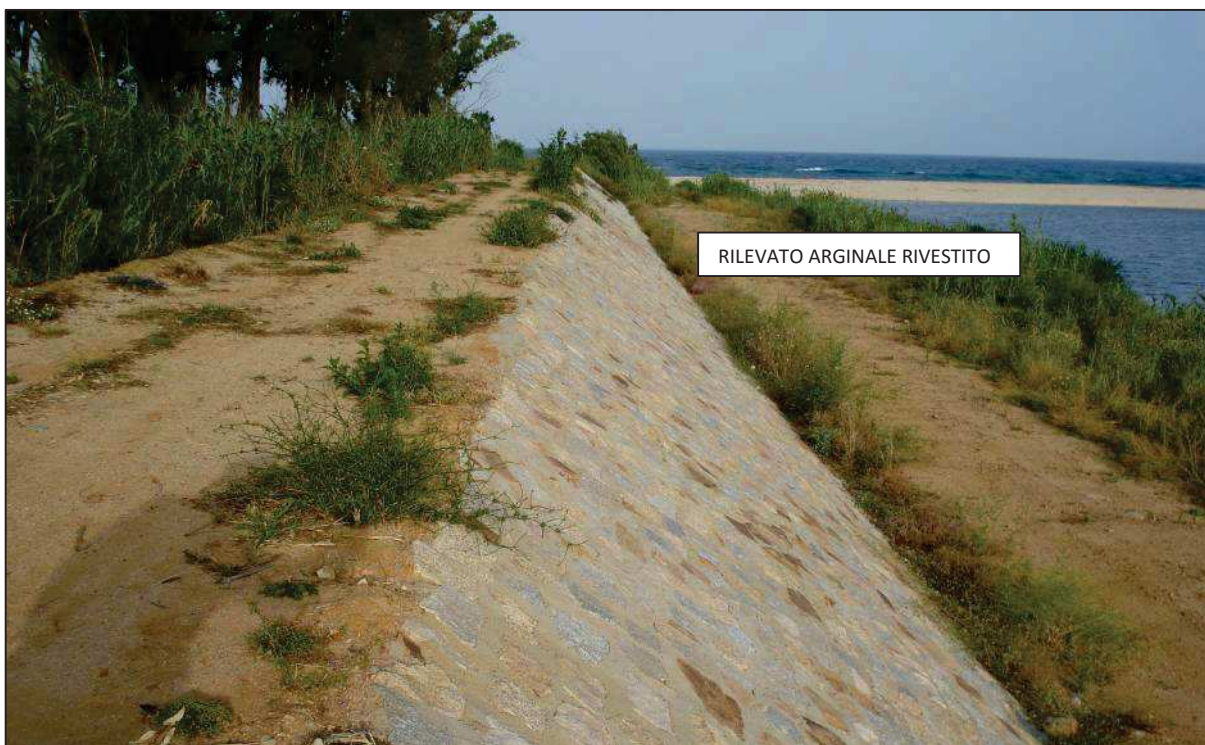


Figura 6.3 – Rilevato arginale Sx alla foce

Circa le opere secondarie di sistemazione idraulica insistenti attualmente sulle aree esterne ai rilevati arginali (colatori e canali di dreno), si rileva come queste siano il più delle volte completamente assenti e, se esistenti, in pessime condizioni di manutenzione. Di conseguenza l'acqua, non potendo essere convogliata verso il rio Riu Foddeddu per l'ostacolo rappresentato dagli argini, non riesce a defluire, anche a causa delle basse pendenze, e, sfruttando le depressioni del terreno, origina vaste zone umide sia in sponda destra verso le aree agricole che in sponda sinistra verso l'aeroporto. D'altra parte i canali e colatori sono stati dimensionati prevalentemente per la bonifica dei terreni agricoli e non hanno alcuna funzione in termini di limitazione dei fenomeni di piena, avendo comunque un ruolo attivo nel trasferimento degli allagamenti da una parte all'altra del rio pur con evidenti ritardi legati alle proprie caratteristiche dimensionali.

Un elevato grado di criticità va segnalato anche nelle opere di raccolta delle acque meteoriche urbane che provengono dall'abitato e convogliano l'acqua sul rio sottopassando il muro di via Foddeddu e di via delle Lavandaie. Si tratta talvolta di veri e propri canali tombati (Figura 6.4) che, in concomitanza con le piene del rio, rigurgitano verso l'abitato e non consentono un corretto smaltimento dei deflussi urbani. Queste opere, pur non essendo oggetto di verifica del presente studio, vanno comunque segnalate all'autorità idraulica e all'ente gestore poiché possono, se non correttamente dimensionate, compromettere l'efficacia idraulica delle opere di mitigazione maggiori come i muri e gli argini in terra.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 6.4 – Sbocco sul rio Foddeddu (via delle Lavandaie) di un canale tombato di raccolta acque meteoriche



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6.3 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Le tipologie di intervento che entrano nella metodologia dell'analisi costi-benefici di cui si è fatto cenno all'inizio della presente relazione, partono dalle criticità evidenziate nello stato di fatto (scenario 0) e dalla situazione specifica del territorio e vengono messe in relazione con il contesto ambientale esistente.

In generale ci si può ricondurre alle seguenti tipologie:

1. interventi di costruzione e/o demolizione:

- a. realizzazione di nuove opere arginali (in muratura o in terra) o adeguamento delle quote di quelle esistenti;
- b. demolizione con o senza ricostruzione di ponti e attraversamenti stradali;
- c. Interventi sulla viabilità: varianti stradali;
- d. Adeguamento e risagomatura sezione idraulica;
- e. Interventi di delocalizzazione di edifici insistenti in aree pericolose;

2. interventi non strutturali (manutenzione ordinaria e/o straordinaria):

- a. manutenzioni periodiche delle formazioni arginali esistenti;
- b. manutenzioni periodiche delle nuove arginature.

Le caratteristiche dimensionali delle **opere di arginatura** sono funzionali al contenimento delle piene con tempo di ritorno 200 anni e franco assegnato pari a 1.20 m; questo criterio viene adottato sia per la progettazione di nuove arginature che per l'adeguamento plano-altimetrico di argini esistenti.

Per estensione lo stesso criterio è stato adottato per dimensionare il sopralzo dei muri d'argine esistenti, sebbene in questo caso la tracimabilità del muro non ne determini il collasso come nel caso di argine in terra. Si tratta di certo di una ipotesi cautelativa che va a vantaggio della sicurezza.

Inoltre nel caso specifico nello scenario 1 le opere sono state dimensionate per contenere con il franco di 1.20 m le portate cinquantenarie.

In tutti i casi il volume corrispondente alle geometrie di progetto è stimato sulla base dei risultati dell'analisi idraulica, a partire dal rilievo dello stato attuale costituito dal DTM a maglia 1 m LIDAR del 2008 e da quello topografico di dettaglio ottenuto con gps e datato 2013.

Nel caso di argini in terra la geometria dei nuovi rilevati in progetto deve consentire sia la percorribilità sommitale con uno stradello ricavato al colmo dell'argine per le attività di manutenzione e sorveglianza, da raccordarsi alla viabilità pedonale o ciclabile, sia la fruizione pubblica dei piani arginali, agevolata dalla loro moderata pendenza trasversale (scarpa 2/1 su tutte le varianti tipologiche adottate).

Vanno previsti **interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria** che rappresentano il necessario impegno per garantire la funzionalità dell'opera per l'intero arco temporale di vita utile e comprendono anche interventi di risagomatura o ricarica di rilevati, pulizia da vegetazione, recupero di eventuali rifiuti.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Accanto ai sopradescritti interventi di manutenzione sulle opere di difesa, possono essere necessari anche **interventi di demolizione di strutture di attraversamento esistenti** che, in relazione alla insufficiente luce libera, determinano problemi al deflusso di piena, soprattutto in quanto questa è in pratica sempre accompagnata da materiale flottante di varia natura. Sulle infrastrutture di attraversamento può essere necessario procedere anche con un **adeguamento del franco**. Nel caso specifico per esempio in scenario 2 si è optato per la demolizione e ricostruzione del ponte di via Garibaldi (ponte di ferro), considerando che una demolizione senza ricostruzione comporterebbe un disagio enorme per le utenze stradali.

Un'altra opzione di intervento strutturale è quella di risagomatura del corso d'acqua in modo da avere una sezione regolarizzata in grado di far transitare le portate più critiche; l'intervento pone problemi legati al conferimento a discarica dei materiali di scavo che tuttavia possono essere agevolmente superati con un piano di utilizzo che consenta di considerare gli stessi materiali alla stregua di sottoprodotti da vendere piuttosto che di rifiuti da smaltire.

Infine, tra gli interventi in parte certamente strutturali, si deve valutare anche quello di delocalizzare alcuni edifici interferenti con i deflussi e che insistono su aree pericolose attraverso un meccanismo di perequazione che preveda la demolizione degli stessi e la contestuale ricostruzione in altro sito sicuro.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6.4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A SALVAGUARDIA DELLE AREE ESONDATE

Interventi tipo A. Nuovo argine secondario DX tra i due ponti

Come noto la insufficienza idraulica in sponda destra del Rio Foddeddu tra i due ponti nasce già con la piena cinquantenaria determinando zone di allagamento in destra idraulica che interessano aree a prevalente vocazione agricola. In sponda sinistra i muri esistenti contengono invece la portata di calcolo.

In virtù di questo fatto si è ipotizzata la realizzazione **di un nuovo argine** in sponda destra tra il ponte sulla S.S 125 e quello di ferro, dimensionato con il franco assegnato di m 1.20 per salvaguardare le aree dalle portate con tempi di ritorno di 50 per lo scenario 1 e 200 anni per lo scenario 2.

La realizzazione di questo nuovo argine, in terra per ragioni paesaggistiche e ambientali, comporta l'impegno di nuove aree agricole e allo scopo è prevista una apposita voce per espropriazioni nel capitolo delle spese.

In merito alle altezze che dovranno avere i rilevati si specifica che:

per il T50 l'altezza media è di 2.10 m per una lunghezza totale di 700;

per il T200 l'altezza media è di 2.60 m per una lunghezza totale di 700

NOTA IMPORTANTE - La realizzazione di questo nuovo argine in sponda destra comporta l'intercettazione di tutto il reticolo minore a monte dello stesso; allo scopo dovranno essere predisposte apposite opere che consentano di bypassare i rilevati arginali oppure realizzati collettori di guardia che raccolgano e allontanino nel recapito più vicino le acque intercettate dagli argini.

Si tratta di interventi solo sulla carta minori che comportano piuttosto una generale e più ampia revisione del reticolo secondario che non possono essere oggetto del presente studio, ma saranno al centro di un piano dedicato che avrà lo scopo di adeguare e riordinare tutta la rete di drenaggio secondaria.

Nel caso specifico per esempio si può valutare l'opportunità di realizzare un colatore che sottopassi la via Garibaldi e convogli i deflussi del reticolo minore a valle del ponte di ferro.

Interventi tipo B. Sopralzo dei muri esistenti e realizzazione del nuovo muro d'argine sx tra i due ponti

Se si ragiona nell'ottica di rispettare sempre il franco idraulico di 1.20 m, in sponda sinistra il muro di via Foddeddu non è verificato già con la piena cinquantenaria.

In questa ottica risulta necessario ipotizzare un intervento di sopralzo in quota del muro che consenta di garantire il deflusso delle acque di piena relative all'evento di portata cinquantenaria in scenario 1 e duecentenaria in scenario 2 con franco assegnato di m 1.20.

In merito alle entità dei sopralzi si specifica che:



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

- **per il T50** l'incremento medio di altezza del muro dovrà essere pari a 0.50 m per una lunghezza totale di 560 m;
- **per il T200** l'incremento medio di altezza del muro dovrà essere pari a 0.80 m per una lunghezza totale di 560 m.

Per tempi di ritorno di 200 anni si è reso necessario anche l'adeguamento in quota del muro di via delle Lavandaie che, coordinato con l'intervento di realizzazione di un nuovo muro d'argine in sx idraulica tra il ponte sulla SS 125 e via delle Lavandaie (in corrispondenza delle nuove lottizzazioni di via Rossini), consente di garantire il deflusso delle acque di piena relative all'evento di **portata duecentenaria** con il franco assegnato di m 1.20

In merito alle altezze che dovranno avere le opere si specifica che:

per il sopralzo del muro di via delle lavandaie l'altezza media è di 0.60 m per una lunghezza totale di 250 m;

per il nuovo muro d'argine in sx idraulica tra i due ponti (via Rossini) l'altezza media è di 0.75 m per una lunghezza totale di 520.

Interventi tipo C. Adeguamento argine in terra in sponda DX/SX a valle del ponte di ferro

La insufficienza idraulica in sponda destra a valle del ponte di ferro nasce già con la piena cinquantenaria essendo l'argine in terra, che si intesta su via Garibaldi fino al colle in località Sa Nugli, un'opera chiaramente inefficace per il contenimento delle piene; si tratta infatti di un rilevato irregolare, con diverse corde molli e ribassi, tagliato ortogonalmente da una viabilità locale che ne interrompe la continuità idraulica.

In questa ottica risulta immediato ipotizzare un intervento di sopralzo in quota di questo argine che consenta di garantire il deflusso delle acque di piena relative all'evento di **portata cinquantenaria** con il franco assegnato di m 1.20.

Per il T50 l'altezza media del sopralzo arginale dx è di 2 m per una lunghezza totale di 1040 m;

Per tempi di ritorno di 200 anni oltre che l'adeguamento dell'argine dx sino al colle località Sa Nugli, si è reso necessario anche prevedere l'adeguamento in quota di un tratto dell'argine sx a valle del muro di via Foiddeddu che, coordinato con l'intervento di sopralzo del muro, consente di garantire il deflusso delle acque di piena relative all'evento di **portata duecentenaria** con il franco assegnato di m 1.20

In merito alle altezze che dovranno avere i rilevati si specifica che:

- **per il sopralzo dell'argine dx** l'altezza media è di 2.70 m per una lunghezza totale di 1270 m;
- **per il sopralzo dell'argine sx** l'altezza media è di 0.70 m per una lunghezza totale di 980 m;



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Interventi di tipo D. Demolizione del ponte di Ferro

Nello scenario 2 per poter rendere efficaci gli interventi di sopralzo arginale è emersa anche la necessità di eliminare l'effetto di rigurgito del Ponte di Via Garibaldi a Tortoli (Figura 6.5). Si è dunque introdotto l'intervento di demolizione del ponte valutato con la voce di demolizione di cemento armato contabilizzando anche gli oneri di conferimento a discarica autorizzata di calcestruzzo e ferro.



Figura 6.5 – Ponte di ferro in via Garibaldi da demolire

Interventi di tipo G. Realizzazione del nuovo ponte con luce di maggiore

Nello scenario 2 la demolizione del ponte attuale, a tre campate e luce di circa 45 m, è accompagnata dalla ricostruzione dello stesso con 5 campate e luce di circa 100 m (Figura 6.6) così da eliminare l'effetto di rigurgito e verificare i franchi idraulici sull'opera.

Interventi tipo M. Manutenzione degli argini

Si tratta di un tipo di intervento che viene previsto in tutti gli scenari compreso quello attuale (Scenario 0) e che comporta lo sfalcio e la pulizia degli argini esistenti e di quelli in progetto.

Interventi tipo R. Risagomatura della sezione con relativa demolizione di piazzali e delocalizzazione di edificio

In scenario 2 la necessità di eliminare il profilo di rigurgito a monte del ponte di via Garibaldi e garantire il franco sulla stessa infrastruttura, impone un tipo di intervento più radicale: il rifacimento



del ponte con una luce di circa 100 m e la delocalizzazione dell'edificio presente in destra poco a monte dell'interferenza (Figura 6.6) con risagomatura della sezione (Figura 6.7).

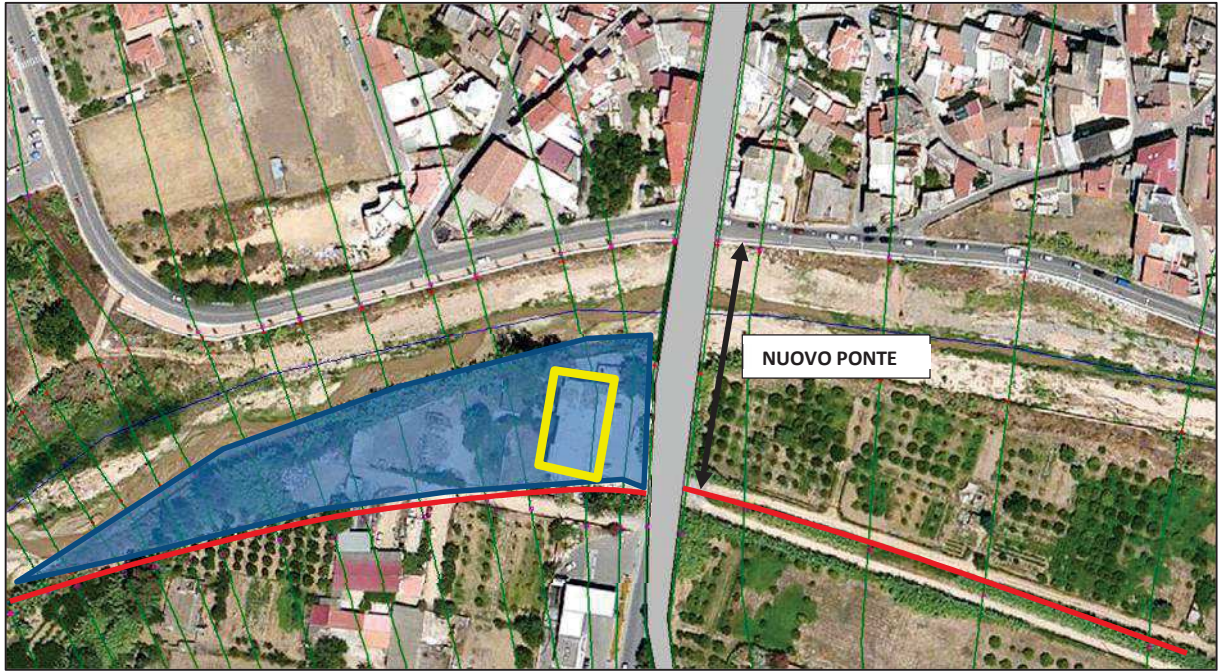


Figura 6.6 – Edificio da delocalizzare e area interessata dalla risagomatura della sezione (in rosso nuova arginatura)

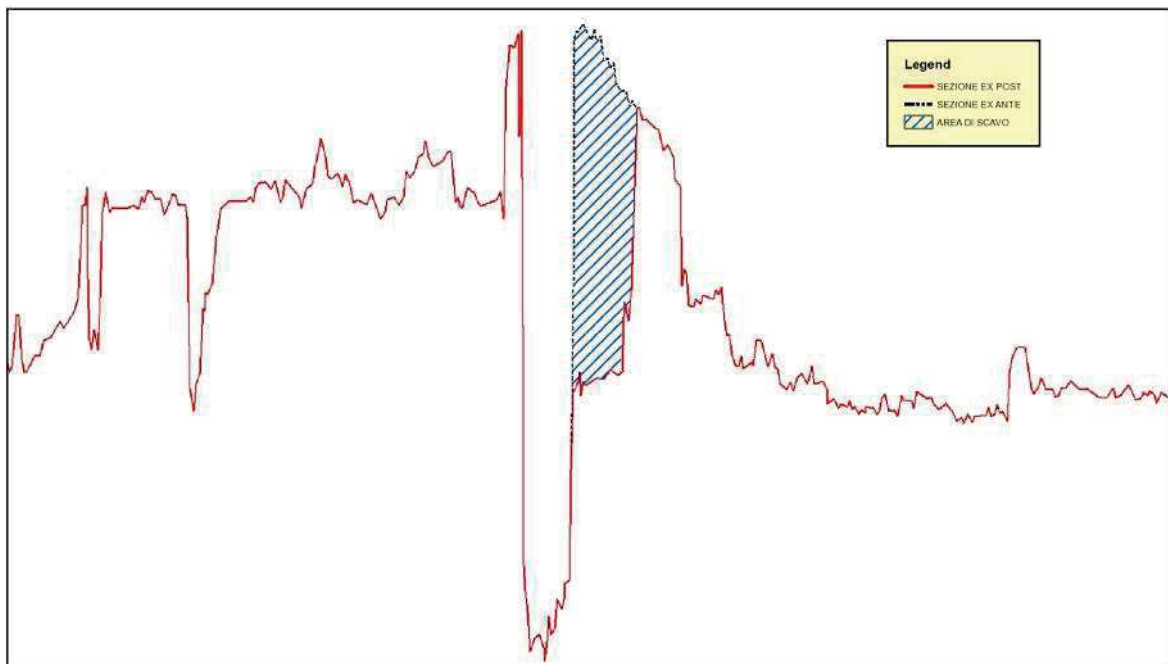


Figura 6.7 –Risagomatura della sezione in destra idraulica a monte del ponte di ferro



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Interventi tipo S. Sistemazione idraulica reticolo nelle aree allagabili a ridosso degli argini esistenti

L'intervento di adeguamento in quota degli argini in terra a protezione delle aree in sponda sinistra e destra del Riu Foddeddu va coordinato con la sistemazione idraulica del reticolo nelle aree allagabili a ridosso delle stesse arginature. Lo scopo del riassetto del reticolo è quello di garantire l'ordinato accesso dei deflussi provenienti dalle aree pianeggianti e depresse limitrofe agli argini verso il loro recapiti naturali. In particolare per effetto della presenza dei rilevati arginali dovranno essere previsti i due colatori esterni, attualmente in pessimo stato di manutenzione e di sezione idraulica inadeguata, in modo che gli stessi fungano da recapito delle acque opportunamente raccolte da canali dedicati e ne consentano il convogliamento in modo autonomo verso il mare aggirando l'ostacolo rappresentato dai rilevati arginale.

L'estensione stimata della zona oggetto di sistemazione ammonta a circa 485 ha all'interno della quale area si prevede la riapertura di nuovi canali con opere accessorie e la realizzazione di attraversamenti che consentono il ripristino delle viabilità eventualmente interrotte.



Figura 6.8 – Area che richiede sistemazione idraulica a ridosso degli argini (485 ha).



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 6.9 – Canale secondario sponda destra rio Foddeddu



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6.5 STIMA DEL COSTO DI REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

La necessità di ottenere una valutazione del costo degli interventi coerente con il livello di dettaglio consentito dalla fase preliminare di progettazione ha indotto a considerare le necessarie generalizzazioni nella previsione delle esecuzioni e nella stima del costo delle opere da realizzare.

A tale scopo è stata adottata una procedura di determinazione geometrica delle quantità che utilizza, per quanto possibile, il modello digitale di terreno LIDAR ad alta risoluzione per la predisposizione di elaborati che implicano la realizzazione di profili di terreno (profili longitudinali, sezioni trasversali etc) necessari a definire con la migliore approssimazione disponibile la geometria dell'opera in progetto.

La stima dei costi degli interventi sulle arginature è stata effettuata considerando la geometria dell'opera in progetto sulla base delle tipologie precostituite e indicate nell'allegato R6, ove il prezzo di analisi è valutato riportandolo all'unità di misura dimensionalmente tipica per l'opera in progetto (unità di lunghezza per le opere lineari, unità di superficie per gli interventi areali).

Per la stima economica si è fatto riferimento:

- al prezzario regionale delle opere pubbliche,
- a prezzari ed elenchi pubblicati in sede di gara d'appalto per la realizzazione di opere similari nel territorio isolano da parte di amministrazioni, enti pubblici o società di gestione.

Nella Tabella 6.8 sono sintetizzate le descrizioni degli interventi come sopra delineati e sono inoltre riportate le stime dei costi per ciascuno, rimandando il prospetto analitico di computo all'allegato R6 specifico.

Nella valutazione complessiva degli interventi, oltre ai costi di realizzazione delle opere, sono stati considerati i costi relativi alle spese generali quantificati in sede di valutazione degli scenari specifici di intervento come descritti nel seguito della relazione.

Per ciascuno scenario, nella valutazione economica delle spese generali sono state considerate le somme per espropri, oneri per l'attuazione della normativa sulla sicurezza, per i rilievi, indagini geognostiche e per le spese tecniche. La quantificazione degli imprevisti è stata stimata nel 5 % mentre la stima complessiva delle spese generali è stata pertanto valutata in circa il 15%-16% del valore delle opere iscritte a quadro economico.

Si ipotizza che l'origine dei finanziamenti per la realizzazione delle opere designate sia di provenienza statale e pertanto non si è ritenuto utile, per la procedura di individuazione dello scenario progettuale economicamente e finanziariamente sostenibile, considerare l'IVA nel quadro economico.

Nel quadro economico generale dello scenario un capitolo di spesa separato riguarda gli oneri di manutenzione delle opere esistenti e di quelle previste, i quali appaiono pertanto evidenziati e riferiti a un intervallo temporale annuale pur considerando che, in relazione a particolari condizioni, questi



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

si potrebbero presentare più o meno frequentemente (due interventi all'anno, un intervento ogni due anni oppure tre anni eccetera) nella programmazione dei lavori.

Tabella 6.8 – Valutazione economica degli interventi

	Descrizione	u.m.	q.ta	prezzo	importo
1	A.1 NUOVO ARGINE DX TRA I DUE PONTI SC 1	m	700.00	€ 932.53	€ 652 770.30
2	A.2 NUOVO ARGINE DX TRA I DUE PONTI SC 2	m	680.00	€ 1 073.85	€ 730 217.32
3	B.1 SOPRALZO MURO DI VIA FODDEDDU SC 1	m	560.00	€ 96.03	€ 53 776.80
4	B.2 SOPRALZO MURO DI VIA FODDEDDU SC 2	m	560.00	€ 123.69	€ 69 266.40
5	B.3 SOPRALZO MURO DI VIA DELLE LAVANDAIE SC 2	m	250.00	€ 105.25	€ 26 312.50
6	B.4 NUOVO MURO D' ARGINE SX TRA I DUE PONTI SC 2	m	520.00	€ 119.08	€ 61 921.60
7	C.1 ADEGUAMENTO ARGINE DX A VALLE DEL PONTE DI FERRO SC 1	m	1040.00	€ 883.79	€ 919 140.56
8	C.2 ADEGUAMENTO ARGINE DX A VALLE DEL PONTE DI FERRO SC 2	m	1270.00	€ 1 095.92	€ 1 391 817.13
9	C.3 ADEGUAMENTO ARGINE SX A VALLE DEL PONTE DI FERRO SC 2	m	980.00	€ 787.32	€ 771 572.62
10	R.1 RISAGOMATURA SEZIONE CON RELATIVA DEMOLIZIONE DI PIAZZALI IN AREA URBANIZZATA SC 2	m	200.00	€ 638.63	€ 127 725.00
11	R.2 DEMOLIZIONE E DELOCALIZZAZIONE DI EDIFICIO IN AREA A RISCHIO IDROGEOLOGICO SC 2	m ²	1200.00	€ 1 611.21	€ 1 933 452.00
12	D.1 DEMOLIZIONE DEL PONTE DI FERRO TORTOLI SC 2	m	50.00	€ 889.58	€ 44 479.00
13	G.1 REALIZZAZIONE DEL NUOVO PONTE CON LUCE MAGGIORE SC 2	m	80.00	€ 13 000.00	€ 1 040 000.00
14	S.1 SISTEMAZIONE IDRAULICA AREE SX	ha	205.00	€ 3 300.00	€ 676 500.00
15	S.2 SISTEMAZIONE IDRAULICA AREE DX	ha	280.00	€ 3 300.00	€ 924 000.00
16	M.1 MANUTENZIONE ARGINI ESISTENTI O IN ADEGUAMENTO SX VALLE DEL PONTE DI FERRO	m	2700.00	€ 13.00	€ 35 100.00
17	M.2 MANUTENZIONE ARGINI ESISTENTI O IN ADEGUAMENTO DX VALLE DEL PONTE DI FERRO	m	3250.00	€ 13.00	€ 42 250.00
18	M.3 MANUTENZIONE NUOVO ARGINE DX TRA I DUE PONTI SC 1	m	700.00	€ 13.00	€ 9 100.00
19	M.4 MANUTENZIONE NUOVO ARGINE DX TRA I DUE PONTI SC 2	m	680.00	€ 13.00	€ 8 840.00



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7 Scenari di intervento

7.1 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

In generale l'articolazione degli scenari nei quali trovano corretta collocazione i singoli interventi illustrati precedentemente, segue il criterio di verifica della fattibilità tecnica, giustificazione economica e possibilità di realizzazione in step funzionali successivi. Ovviamente gli scenari trovano la loro prima giustificazione in relazione alle criticità idrauliche riscontrate nello stato attuale (scenario 0), espresse come pericolosità idraulica riscontrata ai diversi tempi di ritorno dall'analisi idraulica nel territorio in studio.

In analogia con l'ottica propria delle progettazioni preliminari, lo studio degli scenari di intervento deve prevedere anche la formulazione di ipotesi progettuali alternative mettendo in evidenza la variabilità dei danni patiti (e dei benefici ritraibili in termini di loro riduzione) a fronte degli impegni economici sopportati.

Particolare attenzione deve essere riservata alle aree nelle quali sono presenti cespiti con danno potenziale elevato (edifici residenziali o commerciali, industriali, strade importanti e ferrovie, se presenti) prevedendo i conseguenti interventi di salvaguardia privilegiando l'adeguamento di opere già esistenti per limitare gli impatti derivanti dalla realizzazione di nuove infrastrutture. Nella modulazione degli scenari si deve inoltre considerare l'esigenza di procedere nella realizzazione per lotti funzionali che, pur nella loro parzialità, garantiscano un adeguato controllo e prevenzione delle pericolosità idrauliche.

Nel caso del Riu Foddeddu in base alle criticità riscontrate in stato attuale, si sono ipotizzati due scenari di intervento (SC 1 e SC2) che proteggono il territorio rispettivamente dalle portate T50 e T200; gli scenari vengono presentati di seguito con una sintetica descrizione delle varie componenti sia dal punto di vista progettuale che dal punto di vista dell'analisi costi benefici.

Nella configurazione attuale, individuata come "Scenario 0", sono stati comunque inseriti gli interventi non strutturali, come prescrizioni, manutenzioni, interventi di ripristino della funzionalità di opere già esistenti.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7.2 SCENARIO 0 (STATO ATTUALE)

Nello scenario zero sono stati inseriti solo gli oneri annui di manutenzione per le opere esistenti, valutate complessivamente pari a circa 77 350 euro per anno (Tabella 7.9).

Tabella 7.9 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0"

INTERVENTI	IMPORTO
TOTALE LAVORI	0
SPESE GENERALI (15%)	0
TOTALE LAVORI E SPESE	0
in cifra tonda	€ 0
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	€ 77 350

Nel seguito (Tabella 7.10) si riporta per comodità la valutazione dei danni da piena, già fornita nel capitolo precedente e riferita allo stato attuale, la quale è stata assunta come riferimento per la quantificazione dei benefici conseguenti alla realizzazione delle opere strutturali individuate tra gli interventi precedentemente descritti.

Tabella 7.10 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno

Categoria elemento	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
A - AGRICOLA	1 171 441	303 647	1 492 764	390 764	1 646 551	449 566
H - CORPI IDRICI	412 581	-	430 481	-	444 856	-
I - INDUSTRIALI	23 286	883 358	37 160	1 451 880	41 778	1 701 031
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	203 861	-	214 061	-	218 140	-
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	2 559	-	10 669	-	16 677	-
N - STRADE COMUNALI	3 511	4 871	8 563	11 948	9 966	16 304
R - RESIDENZIALE	22 438	4 476 487	113 698	19 879 470	129 186	22 998 722
S - STRADE STATALI	1 709	30 808	2 313	38 323	3 163	48 694
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	546	11 639	1 815	16 839	2 965	20 529
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	39 004	-	40 988	-	41 974	-
Totale	1 880 934	5 710 810	2 352 514	21 789 223	2 555 257	25 234 846



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7.3 SCENARIO 1

Nello scenario 1 sono stati inseriti gli interventi che consentono di affrancare l'abitato dal rischio associato all'accadimento della portata con $Tr=50$ anni assicurando un franco di 1.20 m su muri e rilevati arginali. Fanno parte di queste opere il sopralzo del muro di via Foddeddu, il nuovo argine in destra tra i due ponti e l'adeguamento dell'argine destro a valle del ponte di ferro fino al colle in località Sa Nugi. Chiude il quadro di interventi la sistemazione idraulica delle aree depresse a ridosso degli argini in destra e sinistra e gli oneri manutenzione degli argini esistenti e in adeguamento.

In termini dimensionali lo scenario 1 prevede:

- un nuovo argine in destra tra i due ponti di altezza media pari a 2.10 m per una lunghezza totale di 700;
- l'incremento medio di altezza del muro pari a 0.50 m per una lunghezza totale di 560 m;
- un sopralzo medio di 2 m dell'argine destro a valle del ponte di ferro per una lunghezza totale di 1040 m;

La valutazione complessiva di tali interventi si aggira intorno a 3.2 milioni di euro, cui vanno ad aggiungersi le spese generali da valutarsi per circa € 516.190 per un totale di lavori e spese di € 3.745.000. Tra gli oneri di manutenzione annui sono stati confermati quelli relativi agli argini esistenti o in adeguamento per un totale di circa € 86.450 per anno.

Il prospetto complessivo dei costi è infatti presentato nella tabella seguente (Tabella 7.11):

Tabella 7.11 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"

INTERVENTI	IMPORTO
A.1 NUOVO ARGINE DX TRA I DUE PONTI SC 1	625 770
B.1 SOVRALZO MURO DI VIA FODDEDDU SC 1	53 777
C.1 ADEGUAMENTO ARGINE DX A VALLE DEL PONTE DI FERRO SC 1	919 141
S.1 SISTEMAZIONE IDRAULICA AREE SX	676 500
S.2 SISTEMAZIONE IDRAULICA AREE DX	924 000
TOTALE LAVORI	3 226 188
SPESE GENERALI (16%)	516 190
TOTALE LAVORI E SPESE	3 742 377.69
in cifra tonda	€ 3 745 000
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	€ 86 450



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Nella tabella seguente (Tabella 7.12) è consegnata, oltre l'estensione delle aree esondate per tutti i tempi di ritorno con la configurazione di scenario 1, anche la valutazione dei danni conseguenti in capo a ciascuna categoria di beni in modo da poter apprezzare il beneficio atteso in termini di riduzione di danno conseguente all'attuazione degli interventi. Rispetto alla situazione attuale si osserva che per la portata cinquantenaria si ha una significativa riduzione dei danni attesi.

Tabella 7.12 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno

Categoria elemento	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
A - AGRICOLA	712 068	238 052	1 492 764	390 764	1 646 551	449 566
H - CORPI IDRICI	414 813	-	430 481	-	444 856	-
I - INDUSTRIALI	20	341	37 160	1 451 880	41 778	1 701 031
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	201 990	-	214 061	-	218 140	-
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	2 559	-	10 669	-	16 677	-
N - STRADE COMUNALI	258	2 060	8 563	11 948	9 966	16 304
R - RESIDENZIALE	7 305	3 072 321	113 698	19 879 470	129 186	22 998 722
S - STRADE STATALI	2 042	38 450	2 313	38 323	3 163	48 694
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	546	11 639	1 815	16 839	2 965	20 529
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	39 004	-	40 988	-	41 974	-
Totale	1 380 604	3 362 863	2 352 514	21 789 223	2 555 257	25 234 846



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7.4 SCENARIO 2

Nello scenario 2 sono stati inseriti gli interventi che consentono di affrancare l'abitato e le zone agricole limitrofe dal rischio associato all'accadimento della portata con $Tr=200$ anni assicurando un franco di 1.20 m su muri e rilevati arginali. Fanno parte di queste opere il nuovo argine in destra tra i due ponti, il sopralzo del muro di via Foddeddu e di via delle Lavandaie, il nuovo muro d'argine di via Rossini, l'adeguamento dell'argine destro e sinistro a valle del ponte di ferro.

Un ulteriore intervento studiato ad hoc per evitare un profilo di rigurgito a monte del ponte di ferro è la demolizione del ponte e la costruzione di una nuova struttura di attraversamento che abbia un franco di 200 anni sulla portata T200. La realizzazione del nuovo ponte impone due ulteriori interventi: la delocalizzazione dell'edificio esistente in sponda destra e la risagomatura della sezione con abbassamento del piano di golena di circa 1.10 m. Chiude il quadro di interventi la sistemazione idraulica delle aree depresse a ridosso degli argini in destra e sinistra e gli oneri manutenzione degli argini esistenti e in adeguamento.

In termini dimensionali lo scenario 2 prevede:

- un nuovo argine in destra tra i due ponti di altezza media pari a 2.60 m per una lunghezza totale di 700;
- l'incremento medio di altezza del muro di via Foddeddu pari a 0.80 m per una lunghezza totale di 560 m;
- l'incremento medio di altezza del muro di via delle Lavandaie pari a 0.60 m per una lunghezza totale di 250 m;
- un nuovo muro d'argine in sx idraulica tra i due ponti (via Rossini) di altezza media pari a 0.75 m per una lunghezza totale di 520.
- un sopralzo medio di 2.70 m dell'argine destro a valle del ponte di ferro per una lunghezza totale di 1270 m;
- un sopralzo medio di 0.70 m dell'argine sinistro a valle del ponte di ferro per una lunghezza totale di 980 m;
- l'intervento di risagomatura con abbassamento del piano di golena medio di 1.10 (Figura 6.6 e Figura 6.7);
- la delocalizzazione dell'edificio con perequazione in altro sito sicuro;
- la demolizione del ponte a 3 campate di luce complessiva di 45 m e la costruzione di un nuovo ponte a 5 campate con luce complessiva di 100 m;
- la sistemazione idraulica delle aree in sponda destra e sinistra per un totale di 485 ha;

La valutazione complessiva di tali interventi si aggira intorno a 7.8 milioni di euro, cui vanno ad aggiungersi le spese generali da valutarsi per circa € 1 200.000 per un totale di lavori e spese di circa



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

€ 9.000.000. Tra gli oneri di manutenzione annui sono stati confermati quelli relativi agli argini esistenti o in adeguamento per un totale di circa € 86.450 per anno.

Il prospetto complessivo dei costi è infatti presentato nella tabella seguente (Tabella 7.13):

Tabella 7.13 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 2"

INTERVENTI	IMPORTO
A.2 NUOVO ARGINE DX TRA I DUE PONTI SC 2	730 217
B.2 SOVRALZO MURO DI VIA FODDEDDU SC 2	69 266
B.3 SOVRALZO MURO DI VIA DELLE LAVANDAIE SC 2	26 313
B.4 NUOVO MURO D'ARGINE SX TRA I DUE PONTI SC 2	61 922
C.2 ADEGUAMENTO ARGINE DX A VALLE DEL PONTE DI FERRO SC 2	1 391 817
C.3 ADEGUAMENTO ARGINE SX A VALLE DEL PONTE DI FERRO SC 2	771 573
R.1 RISAGOMATURA SEZIONE CON RELATIVA DEMOLIZIONE DI PIAZZALI IN AREA URBANIZZATA SC2	127 725
R.2 DEMOLIZIONE E DELOCALIZZAZIONE DI EDIFICIO IN AREA A RISCHIO IDROGEOLOGICO SC 2	1 933 452
D.1 DEMOLIZIONE DEL PONTE DI FERRO TORTOLI SC 2	44 479
G.1 REALIZZAZIONE DEL NUOVO PONTE CON LUCE MAGGIORE SC 2	1 040 000
S.1 SISTEMAZIONE IDRAULICA AREE SX	676 500
S.2 SISTEMAZIONE IDRAULICA AREE DX	924 000
TOTALE LAVORI	7 797 394
SPESE GENERALI (16%)	1 247 562
TOTALE LAVORI E SPESE	9 044 825.74
in cifra tonda	€ 9 045 000
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	€ 86 450

Nella tabella seguente (

Tabella 7.14) è consegnata, oltre l'estensione delle aree esondate per tutti i tempi di ritorno con la configurazione di scenario 2, anche la valutazione dei danni conseguenti in capo a ciascuna categoria di beni in modo da poter apprezzare il beneficio atteso in termini di riduzione di danno conseguente all'attuazione degli interventi. Rispetto alla situazione attuale si osserva la significativa riduzione dei danni attesi anche per le piene con tempo di ritorno T200.

Si noti un incremento del danno per T50 rispetto allo scenario 1 legato al fatto che a ridosso del ponte di via Garibaldi in destra cresce l'area interessata dall'allagamento.

Tabella 7.14 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno

Categoria elemento	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
A - AGRICOLA	712 303	237 812	813 422	283 245	880 037	321 994
H - CORPI IDRICI	414 851	-	432 776	-	446 814	-
I - INDUSTRIALI	20	341	50	2 080	93	5 645
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	201 644	-	210 725	-	213 420	-
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	2 559	-	2 559	-	2 615	-
N - STRADE COMUNALI	258	2 098	282	2 258	288	2 434
R - RESIDENZIALE	11 538	3 845 393	12 113	4 500 234	12 406	5 052 851
S - STRADE STATALI	2 042	38 520	2 498	47 464	3 343	59 923
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	546	11 639	590	13 021	1 175	14 144
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	39 004	-	40 988	-	41 229	-
Totale	1 384 763	4 135 803	1 516 004	4 848 302	1 601 419	5 456 991



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

8 Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento

8.1 PREMESSE

Come più ampiamente descritto nella Relazione metodologica predisposta per il bacino pilota “Bassa Valle Coghinas”, tra gli obiettivi dell’Accordo di collaborazione tra ARDIS e DICAAR, si è detto che, una volta definiti gli interventi infrastrutturali e organizzata l’esecuzione per scenari, dovrà essere giustificata la loro realizzazione sulla base di una analisi dei relativi costi e la riduzione dei danni di piena conseguenti. In definitiva dovranno essere fornite giustificazioni tecnico-economiche della convenienza nella pianificazione futura prevista dal Piano nello scenario d’intervento analizzato a breve termine (sei anni secondo le indicazioni della normativa) e su un orizzonte temporale più ampio, orientativamente esteso fino al completamento delle ipotesi infrastrutturali considerate.

Un’impostazione di tale tipo è sostanzialmente coerente con quanto contenuto nel punto 3 dell’articolo 7 della Direttiva Europea 2007/60 e ripreso nell’Allegato 1 del DL n. 49/2010 che prevede per i bacini idrografici interessati dal rischio idraulico sia impostata una metodologia sostanzialmente basata sull’analisi costi-benefici per valutare le misure di mitigazione previste nel Piano. Anche le priorità d’intervento dovranno, conseguentemente, essere stabilite in funzione della analisi Costi-Benefici che prenda in considerazione sia i costi associati all’intervento ed i benefici derivanti dalla realizzazione dello stesso intervento, quantificabili in termini di riduzione del danno atteso, sia in funzione del soddisfacimento vincoli o esigenze irrinunciabili e non tangibili, ovvero a vincoli tecnologici imposti, ad esempio, da esigenze tecniche nella sequenza realizzativa del sistema di protezione in cui vengono inseriti.

8.2 INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA

Le procedure di gestione del rischio di alluvione dovrebbero integrare tra loro diverse tipologie di azioni svolte dagli Enti preposti, ma anche dalle comunità e da singoli individui per ridurre a un livello accettabile i danni conseguenti agli eventi di piena. Le azioni non strutturali consistono in misura di emergenza da attuare prima degli eventi, a seguito degli allertamenti, misure da attuare durante le fasi di emergenza e misure di post-evento. Adeguatamente prima delle piene le popolazioni, dovranno essere allertate, potranno essere evacuate e si potranno adottare quelle azioni che limitano i danni dell’esondazione sulle infrastrutture e sui beni più sensibili. Prima e durante l’evento si dovranno adottare misure di intervento e sorveglianza sul territorio: esempi tipici possono essere rappresentati da interdizione all’uso d’infrastrutture di trasporto, realizzazione di lavori temporanei di innalzamento di strutture di protezione, apertura di varchi per agevolare il deflusso, ecc. Dopo la piena dovranno essere adottate le misure che agevolano un rapido recupero nella possibilità di svolgere le regolari attività produttive, e la riutilizzazione delle infrastrutture temporaneamente interdette.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Nel territorio soggetto a pericolosità idraulica è necessario che le misure di allertamento e le conseguenti attività previste per la protezione della popolazione e dei beni sensibili siano precedentemente studiate, predisposte e verificate con azioni simulative che mettono a conoscenza la popolazione sulle modalità di comportamento da attuare a seguito di una allerta per un evento di piena.

L'analisi economica di efficienza, nella stima della riduzione dei danni, di queste misure di emergenza non è agevole: essa è complicata dal fatto che sono difficilmente prevedibili le tendenze individuali ad agire. Spesso questo avviene in maniera non uniforme e talvolta non facilmente prevedibile, specie se il territorio non ha subito vulnerazioni da piena in tempi recenti che consentano, anche sulla base del senso comune, ai singoli di attivarsi con le modalità corrette per affrontare e il superamento della situazione di pericolosità. Sicuramente l'efficienza delle azioni di emergenza s'incrementa non appena i residenti diventano meglio informati sulle procedure da adottare. La variabilità nella efficienza delle azioni adottate in una fase di emergenza per piena dipende inoltre dalla dimensione e dal livello delle infrastrutture disponibili del territorio interessato e dalla loro stessa vulnerabilità agli eventi. La stessa configurazione del territorio e la tipologia degli edifici può modificare la possibilità di adottare in modo agevole anche procedure ovvie per la salvaguardia della popolazione. Pertanto il piano di emergenza di ogni singolo sub-bacino dovrà necessariamente essere specificatamente riferito al territorio a rischio e richiede sia possibilmente ivi validato con operazioni di simulazione delle situazioni di pericolo.

Non si ritiene, tuttavia, di dover entrare in questa fase di formulazione del PGRA in una analisi specifica per la definizione dei piani di emergenza. Un'interazione importante sarà comunque considerata: riguarda la definizione del livello di pericolosità da associare a specifiche infrastrutture e, conseguentemente, al territorio sotteso.

In specifico per il tratto del Riu Foddeddu si ricorda che nel capitolo 3 si sono date le informazioni sulle aree attualmente a pericolosità di alluvione inserite nel PSFF, mentre nel capitolo 4 sono riportati i risultati ottenuti con la modellazione idraulica aggiornata. Questo ha permesso tra l'altro di stabilire che **l'allagamento in sponda destra e la fuoriuscita dell'acqua, che viene fatto corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco di altezza inferiore a 20 cm, avvenga con portate di piena di circa 180 – 200 m³/s (Q_{amm}) che corrispondono ad un tempo di ritorno di 10 anni.** Questi valori di tempi di ritorno possono essere assunti come indice di allertamento grave del territorio nella situazione attuale. Per portate inferiori a Q_{amm} si ha assenza di esondazioni.

In sintesi si ritiene che nella stesura attuale del PGRA dovrà necessariamente fornire una analisi degli elementi critici di interazione con un deflusso delle acque, sia in termini di opere di protezione esistenti che di infrastrutture che, comunque, interagiscono con i corsi d'acqua al fine di definire le portate che possono defluire senza pericolo per i territori adiacenti con la attuale capacità di deflusso negli alvei. A seguire può essere impostata una operazione di inversione della funzione che dà luogo



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

alla curva probabilistica degli eventi estremi di piena e di determinare il tempo di ritorno atteso per l'evento che diviene critico per il territorio.

8.3 ANALISI ECONOMICA DEGLI SCENARI D'INTERVENTO IPOTIZZATI

Per gli scenari d'intervento definiti nel Capitolo 6, è stato calcolato l'andamento del flusso attualizzato di costi e benefici e il valore finale del VAN secondo la metodologia ed i criteri di valutazione economica precedentemente illustrati. Per eseguire correttamente l'analisi dei costi e dei benefici è necessario introdurre fattori di omogeneizzazione dei flussi finanziari che permettono di rendere i valori comparabili in un predefinito istante temporale, normalmente assunto coincidente con l'anno di inizio dell'investimento. I valori vengono "attualizzati", ossia resi omogenei utilizzando un "tasso di attualizzazione" del capitale o flusso di cassa F_i che si realizza nell'anno i -esimo che è attualizzato (scontato) all'anno zero con l'equazione:

$$F_0 = \left[\frac{1}{(1+r)^i} \right] F_i$$

È ragionevole ritenere che l'investimento iniziale per la realizzazione dello scenario d'intervento dia luogo ad un unico flusso di cassa che si verifica all'anno zero. Similmente si può ritenere che tutti i flussi di cassa appartenenti allo stesso anno di esercizio siano concentrati al termine dell'esercizio stesso. Nell'analisi sono considerati i valori cumulati di costi e benefici per tutto l'orizzonte temporale. Come già detto il VAN è un metodo di valutazione economica che considera la valutazione dei costi (flussi in uscita) e dei benefici (flussi in entrata) con le usuali regole di attualizzazione. I parametri necessari per le valutazioni sono:

n = numero di anni considerati nello scenario, spesso coincidente con la vita utile dell'opera;

r = tasso di interesse utilizzato.

La scelta del valore del tasso r è fondamentale, poiché influenza i valori cumulati di costo e beneficio del progetto, ma non è però univoca. Alcune ipotesi, tra le più comuni sono: 1) adottare i tassi di interesse applicati dalle banche e dalle aziende di commerciali ai prestiti a lungo termine; 2) decidere i tassi di sconto sulla base di scelte realizzate a livello politico che considerano anche aspetti di equità e solidarietà sociale; 3) adottare il tasso di rendimento dell'investimento della risorsa finanziaria, anche con riferimento a aspetti produttivi alternativi. Nelle applicazioni che seguono, si è fatto riferimento a un tasso r relativamente basso, assunto pari al 3% che può essere giustificato con riferimento al secondo punto sopra dato.

L'orizzonte temporale nell'analisi economica è stato assunto pari a 100 anni per tutti gli scenari di intervento esaminati. Considerata la tipologia delle opere questo scenario si ritiene coerente con le analisi da realizzare. Per alcuni interventi potranno essere considerati ulteriori oneri di sostituzione di apparecchiature o rifacimento di opere, quando necessari su questo arco temporale. Di seguito si considereranno sinteticamente gli scenari d'intervento ipotizzati nella bassa valle del Riu Foddeddu.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Scenario 0 – Situazione attuale

Nello scenario zero sono stati inseriti gli oneri di manutenzione ordinaria degli argini esistenti valutati in € 77 350 per anno.

I valori dei oneri sopra forniti saranno sempre sottratti agli oneri conseguenti agli scenari di intervento che saranno considerati di seguito.

La valutazione dei danni di piena riferita allo stato attuale, già fornita nel Capitolo 7 è riportata per comodità nella tabella seguente, ed è assunta come riferimento per la quantificazione dei benefici conseguenti alla realizzazione delle opere considerate negli scenari di intervento.

In definitiva, i benefici medi annui conseguenti dalla realizzazione degli scenari saranno valutati come differenza tra i danni medi annui attesi nello scenario zero e i danni medi annui attesi a seguito della realizzazione degli interventi.

Tabella 8.15 – Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno

CATEGORIA ELEMENTO	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
Totale	1 880 934	5 710 810	2 352 514	21 789 223	2 555 257	25 234 846

Scenario 1

In sintesi, nello scenario 1 sono stati inseriti gli interventi di adeguamento in quota del muro di via Foddeddu, dell'argine destro vallivo e la realizzazione di quello tra i due ponti oltre agli interventi di sistemazione idraulica delle aree allagabili. L'obiettivo dello scenario 1 è quello della salvaguardia delle aree urbane in sinistra e agricole in destra dalle portate cinquantenarie e tutte le opere hanno franco di 1.20 su questa portata.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da tali interventi è di **€ 3 745 000,00**. Gli oneri di manutenzione annui sono stati valutati pari a **€ 86 450 per anno**.

Rispetto alla situazione attuale si riscontra una significativa riduzione dell'estensione delle aree allagate e dell'entità dei danni per l'evento con T50, mentre restano inalterate danni e aree per tempi di ritorno maggiori. Nella tabella seguente è consegnata, oltre l'estensione delle aree vulnerate con la configurazione ipotizzata nello scenario 1, anche la valutazione dei danni conseguenti per i tre tempi di ritorno considerati.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 8.16 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno

CATEGORIA ELEMENTO	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
Totale	1 380 604	3 362 863	2 352 514	21 789 223	2 555 257	25 234 846

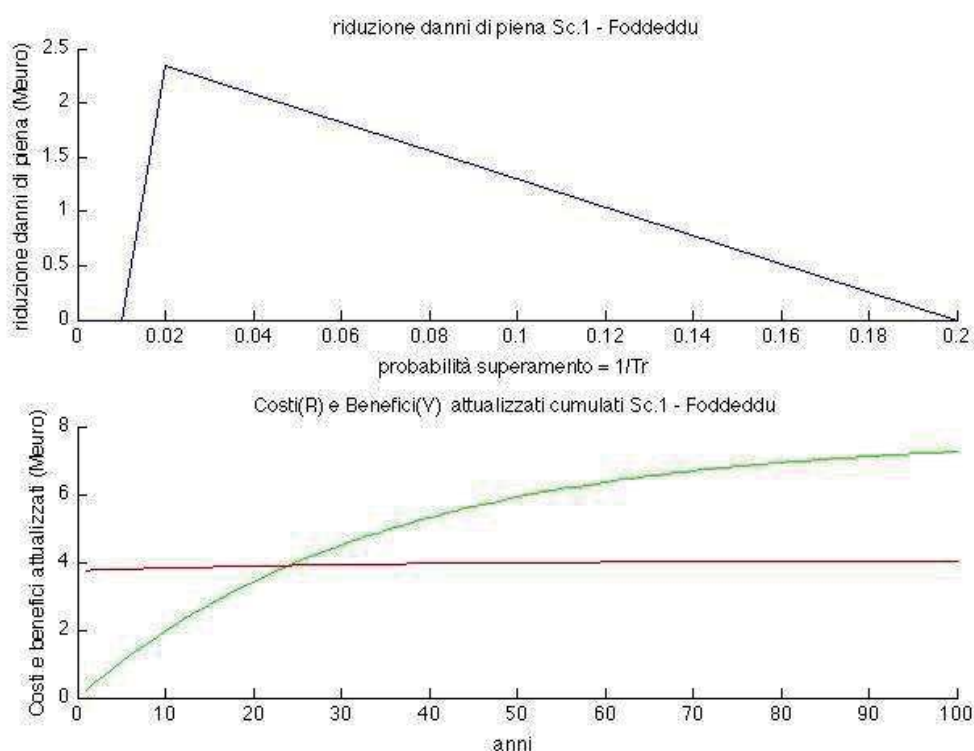


Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per Tr=5 anni

Come si evidenzia dalla Figura 8.1, nel determinare la curva di riduzione del danno di piena si è considerato che, nella situazione attuale, il tempo di ritorno per il quale si può ipotizzare danno nullo sia per Tr=5 anni. Questo valore, seppure non sia del tutto coerente con quanto affermato nei capitoli precedenti nell'analisi dello stato di fatto, è in linea con quanto accaduto nel recente passato. In definitiva si è assunto che danni di piena si debbano considerare considerati già per per eventi di piena con Tr inferiore ai 10 anni.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Il valore del beneficio medio annuo atteso conseguente a questo scenario di intervento è pari a circa $0.223 \cdot 10^6$ euro/anno.

La Figura 8.1 visualizza i flussi attualizzati di costi e benefici nell'arco temporale esaminato. E' evidente come si determini la convenienza economica conseguente alla sua realizzazione con un orizzonte temporale di ammortamento di circa 25 anni.

Scenario 2

Nello scenario 2 sono stati inseriti oltre agli interventi di adeguamento in quota del muro di via Foddeddu e dell'argine destro vallivo, anche l'adeguamento del muro di via delle Lavandaie e dell'argine vallivo in sinistra, nonché la realizzazione di quello tra i due ponti e di quello di via Rossini. E' stato necessario ipotizzare la ricostruzione del il ponte di via Garibaldi, delocalizzare un edificio e risagomare la sezione oltre che inserire gli interventi di sistemazione idraulica delle aree a ridosso degli argini.

L'obiettivo dello scenario 2 è quello della salvaguardia delle aree urbane in sinistra e agricole in destra dalle portate bicentinarie e tutte le opere hanno franco di 1.20 su questa portata.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da tali interventi è di € 9 045 000,00.

Gli oneri di manutenzione annui sono stati valutati pari a **€ 86 450 per anno**.

Rispetto alla situazione attuale si riscontra la considerevole riduzione dell'estensione delle aree allagate e dell'entità dei danni per l'evento con tutti i tempi di ritorno. Nella tabella seguente è consegnata, oltre l'estensione delle aree vulnerate con la configurazione ipotizzata nello scenario, anche la valutazione dei danni conseguenti per i tre tempi di ritorno considerati.

Tabella 8.17 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno

CATEGORIA ELEMENTO	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
Totale	1 384 763	4 135 803	1 516 004	4 848 302	1 601 419	5 456 991

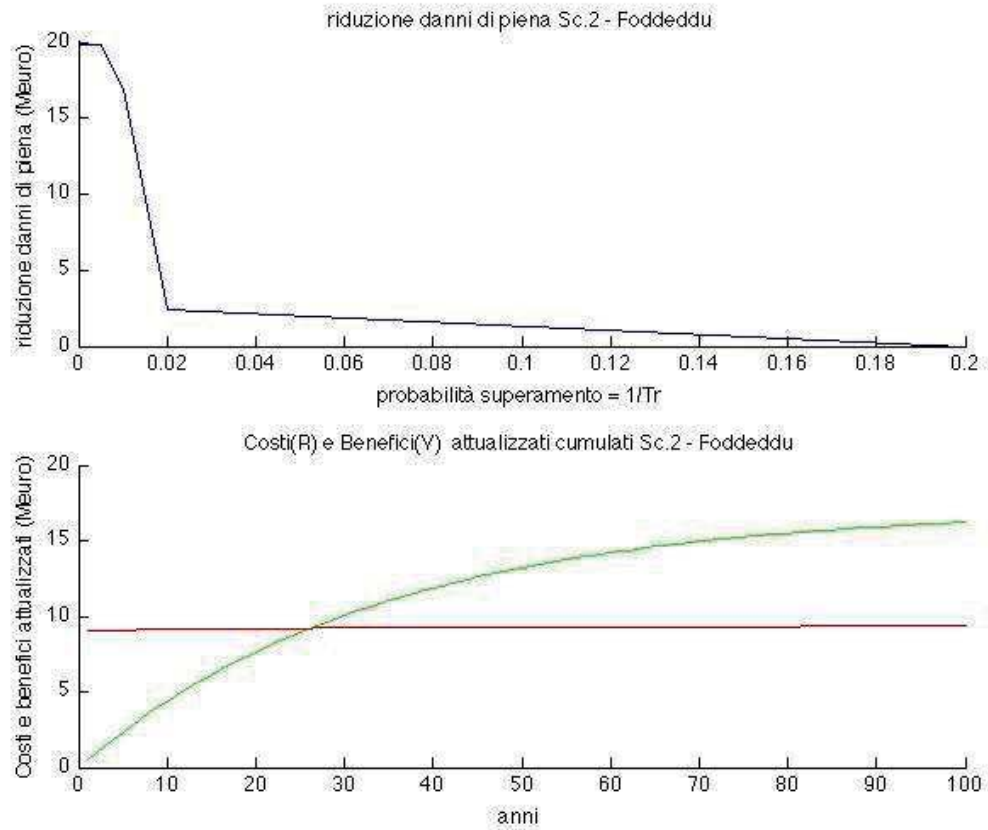


Figura 8.2 – Scenario 2: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per $Tr=5$ anni

Anche nello Scenario 2, come si evidenzia nella Figura 8.2, nel determinare la curva di riduzione del danno di piena si è considerato che, nella situazione attuale, il tempo di ritorno per il quale si può ipotizzare danno nullo sia per $Tr=5$ anni.

Il valore del beneficio medio annuo atteso conseguente a questo scenario di intervento è pari a circa $0.50 \cdot 10^6$ euro/anno.

La Figura 8.2 visualizza i flussi attualizzati di costi e benefici nell'arco temporale esaminato. E' evidente come anche in questo scenario si determini la convenienza economica conseguente alla sua realizzazione con un orizzonte temporale di ammortamento di poco superiore ai 25 anni.