



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

PRESIDÈNTZIA

PRESIDENZA

AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

# **Piano di gestione del rischio di alluvioni**

**Scenari di intervento strategico  
e coordinato: Mannu di  
Portotorres - Relazione**

Allegato alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n.      del



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDÈNZIA

PRESIDENZA

AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

Documento elaborato nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica tra l'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari, finalizzato alla predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni 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.

**DIREZIONE GENERALE DELL'AGENZIA REGIONALE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA**

Direttore Generale: Roberto Silvano

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

Gruppo di lavoro: Simonetta Angioni, Alessandra Boy, Giuseppe Canè, Piercarlo Ciabatti, Giovanni Cocco (SardegnaIT), Andrea Lazzari, Giovanni Luise, Gianluigi Mancosu, Luisa Manigas, Gian Luca Marras, Maria Cristina Muntoni, Maria Antonietta Murru Perra, Stefania Nascimben, Corrado Sechi, Riccardo Todde

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI – Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura**

Responsabile Scientifico: Giovanni Maria Sechi

Gruppo di lavoro: Mauro Casti, Roberta Floris, Italo Frau, Sara Frongia, Saverio Liberatore, Jacopo Napolitano, Mauro Piras, Alessandro Salis, Riccardo Zucca.

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

Per le inondazioni costiere: **UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI – Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura**

Responsabile Scientifico: Andrea Balzano

Per gli aspetti geomorfologici: **UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI - Dipartimento di scienze chimiche e geologiche**

Responsabile Scientifico: Antonio Funedda

Per i contenuti di cui alla lett. b), c. 3, art. 7 D.Lgs. 49/2010: **DIREZIONE GENERALE DELLA PROTEZIONE CIVILE – Regione Sardegna**

Direttore Generale: Graziano Nudda

Direttore del Servizio pianificazione e gestione delle emergenze: Maria Antonietta Raimondo

Direttore del Servizio di previsione e prevenzione rischi: Paolo Botti

Gruppo di lavoro: Michele Chessa, Silvestro Frau e Davide Mascia

Per la definizione degli interventi infrastrutturali: **DIREZIONE GENERALE DEI LAVORI PUBBLICI**

Direttore Generale: Edoardo Balzarini

Servizio opere idriche e idrogeologiche

Servizi Territoriali opere idrauliche di Cagliari, Nuoro, Oristano, Sassari

Per il Programma di Azione Coste: **DIREZIONE GENERALE DELLA DIFESA DELL'AMBIENTE**

Direttore Generale: Paola Zinzula

Servizio tutela della natura e politiche forestali

## Sommario

1	Premesse .....	7
2	Descrizione sintetica del sistema idrografico: Area valliva del fiume Mannu di Porto Torres .....	10
3	Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF .....	14
4	Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale e confronto con le mappature del PSFF .....	19
4.1	Premessa .....	19
4.2	Risultati della modellazione idraulica nello scenario attuale (Scenario 0) .....	21
4.3	criticità specifiche :Portate massime compatibili con la situazione attuale .....	23
4.4	Volume di piena e aree esondate .....	26
5	Procedura operativa per il di calcolo del danno di piena nel Bacino del Fluminimannu di Porto Torres .....	27
6	Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno .....	31
6.1	Metodologia di individuazione degli interventi .....	31
6.2	Definizione tipologica delle opere di sistemazione idraulica .....	33
6.3	Descrizione degli scenari di intervento esaminati per la salvaguardia delle aree esondabili 35	
6.4	Intervento A: Profilatura della sezione d'alveo con sezione trapezia .....	36
6.5	Intervento B: Realizzazione di nuova arginatura a protezione della linea ferroviaria e della vicina stazione .....	38
6.6	Intervento C: Rinforzo strutturale del rilevato ferroviario esistente con nuova funzione di difesa idraulica. Tratto Stazione ferroviaria - ponte romano.....	40
6.7	Intervento D: Rinforzo strutturale del rilevato ferroviario esistente con nuova funzione di difesa idraulica. Tratto a valle del ponte romano. ....	41
6.8	Intervento E: Eliminazione della soglia in gabbioni esistente e realizzazione di un nuovo rinforzo a protezione delle fondazioni del ponte vespucci.....	41
7	Stima del costo di realizzazione degli interventi .....	43
8	Scenari di intervento .....	46
8.1	Criteri di individuazione .....	46
8.2	Scenario 0 (stato attuale) .....	47
8.3	Scenario 1 – Difesa dell’abitato di Porto Torres.....	48
9	Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento .....	53
9.1	Premesse .....	53
9.2	Interazioni tra PGRA e Piani di emergenza .....	53
9.3	Analisi economica degli scenari d’intervento ipotizzati.....	56



**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

9.4	Scenario 0 – Situazione attuale .....	57
9.5	Scenario 1 – Difesa dell’abitato di porto torres .....	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

## Indice delle Figure

Figura 3-1 Fasce di pericolosità individuate nel PSFF.....	17
Figura 3-2 Ponte Romano (fonte sito della Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Sassari e Nuoro) .....	18
Figura 4-1 Rappresentazione planimetrica del modello HecRas, nella configurazione PSFF e nel presente studio .....	20
Figura 4 -2 Confronto delle aree allagate per $Tr= 50$ anni (in rosso il PSFF) .....	21
Figura 4-3 Tratto compreso tra il ponte sulla SS 131 e il ponte Colombo .....	22
Figura 4-4 Tratto tra il ponte Colombo e la foce.....	23
Figura 5-1 - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso.....	29
Figura 6-1 Ponte Romano visto da Valle (1969).....	35
Figura 6-2 Ponte Romano Stato attuale.....	35
Figura 6-3 disposizione planimetrica dell'intervento.....	37
Figura 6-4 Particolare delle luci del ponte nel 1969 e nella condizione attuale .....	38
Figura 6-5 Individuazione dell'intervento .....	39
Figura 6-6 Individuazione dell'intervento .....	40
Figura 6-7 Individuazione dell'intervento .....	41
Figura 6-8 inserimento planimetrico dell'intervento .....	42
Figura 8-1Scenario 0 - Aree di allagamento con tempi di ritorno di 50 anni 100 anni .....	47
Figura 8-2Scenario 0 - Aree di allagamento con tempi di ritorno di 200 anni.....	47
Figura 8-3 Scenario 1 - Aree di allagamento con tempi di ritorno di 50 anni e 100 anni .....	49
Figura 8-4 Scenario 1- Aree di allagamento con tempi di ritorno di 200 anni.....	50



**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 4.1 – Valori del rapporto $Q_u/Q_i$ nel tronco fluviale a valle del serbatoio di Birighinzu per i tempi di ritorno indicati .....	25
Tabella 4.2 - Volumi di allagamento allo stato attuale .....	26
Tabella 5.1 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo .....	27
Tabella 7.1 – Valutazione economica degli interventi .....	44
Tabella 8.1 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0" .....	48
Tabella 8.2 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....	48
Tabella 8.3 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1" .....	51
Tabella 8.4 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno .....	52
Tabella 9.1 Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno.....	57
Tabella 9.2 Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno ...	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

## 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 delle 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 della bassa valle del fiume Mannu di Porto Torres 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. In tal modo è possibile verificare la congruità tra i risultati e le mappature date nel PSFF e quelli ottenuti con i modelli utilizzati dal DICAAR nella stessa situazione. In particolare è esaminata in questa fase di verifica l'estensione delle aree di pericolosità idraulica ai diversi tempi di ritorno.

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 mappatura 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



**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

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.

Con riferimento ai contenuti della relazione monografica, di seguito si darà una descrizione sintetica dell'idrografia e principali caratteristiche della **bassa valle del fiume Mannu di Porto Torres**, principali criticità riscontrate con elementi di documentazione storica e 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: Area valliva del fiume Mannu di Porto Torres

La descrizione del sistema idrografico del tratto vallivo del Rio Mannu di Porto Torres attinge le informazioni da quanto riportato nelle relazioni monografiche allegate al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali .

In particolare si evince che la parte terminale del fiume individua due bacini principali:

*il riu Mannu di Porto Torres, nel tratto compreso tra la diga di Bidighinzu e lo sbocco a mare, per una lunghezza complessiva di circa 59 km;*

*il riu Ottava, nel tratto che va da poco a monte del ponte Strada Statale 200 (Strada dell'Asolana) alla confluenza col riu Mannu di Porto Torres, per una lunghezza complessiva di circa 19 km.*

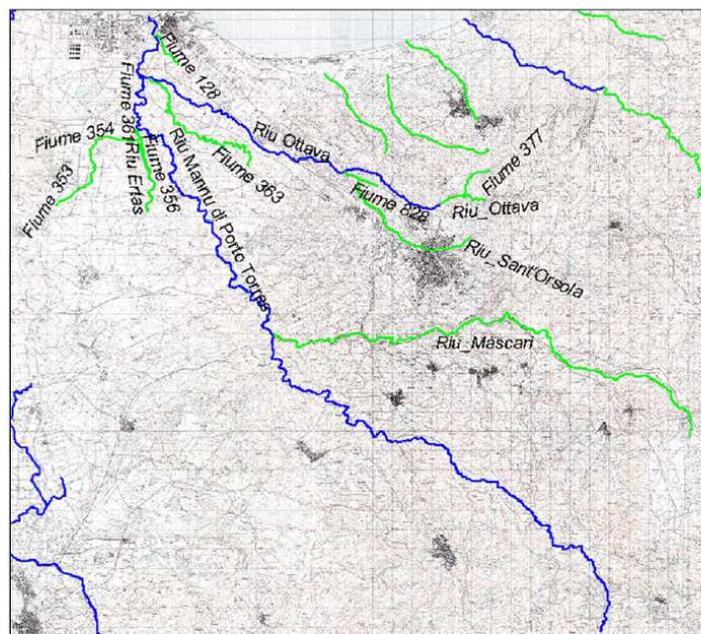


Figura 1 – Corsi d'acqua oggetto di studio nel bacino idrografico del riu Mannu di Porto Torres. (in blu i corsi d'acqua principali, in verde i secondari)

*Il bacino del riu Mannu di Porto Torres drena il settore settentrionale della piana della Nurra e una larga porzione dell'altopiano collinare del Logudoro. Si tratta di una sorta di tavolato, moderatamente ondulato e leggermente inclinato verso Nord, al centro del quale si trova la città di Sassari. Rilievi montuosi sono presenti solo nella zona di testata presso i limiti meridionali del bacino*



**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

La struttura geologica si caratterizza per la presenza di un tavolato di lave basaltiche o riolitiche plioceniche, poggianti su un substrato costituito da formazioni mioceniche prevalentemente marine (per lo più marne e

arenarie) che a loro volta in parte si sovrappongono, in parte mostrano rapporti di interdigitazione, con lave e vulcaniti acide del ciclo oligo-miocenico. La copertura vulcanica è continua soprattutto nell'area di testata, dove costituisce tra l'altro l'ossatura dei principali rilievi, via via che si sposta verso sud prevalgono le formazioni sedimentari mioceniche.

All'interno di tale territorio sub-pianeggiante, a seguito del progressivo sollevamento tettonico dell'area e delle variazioni del livello marino, il reticolo idrografico principale ha scavato delle valli larghe e profonde. Il Mannu di Porto Torres nasce da un'ampia conca ubicata poco ad Ovest dell'abitato di Thiesi. Si tratta di un'area a debole pendenza circondata da rilievi vulcanici che toccano i 500 m di altitudine con punte fino a oltre 700 m (monte Pelao). L'area di testata è sottesa dalla diga di Bidighinzu che forma l'omonimo lago artificiale. Il rio Ottava nasce dai rilievi collinari posti alcuni chilometri ad Nord-Est di Sassari, in una zona anch'essa profondamente modellata dal progressivo approfondimento del reticolo idrografico secondario

La pendenza dell'asta fluviale del Mannu di Porto Torres, dopo il breve tratto iniziale di tipo torrentizio subito a valle della diga del Bidighinzu ove si hanno valori del 1-2%, scende con gradualità, è di circa il 0,2% in prossimità della confluenza del rio Mascari per stabilizzarsi sullo 0,1% nei pressi del settore compreso tra l'immissione del rio Ertas e la foce.

Sul rio Ottava si passa da pendenze dell'1% nella zona di Sassari, allo 0,5% nel tratto intermedio di studio, per finire con valori attorno al 0,2-0,3% nel settore terminale, presso la confluenza nel Mannu di Porto Torres.

Sia il rio Mannu di Porto Torres sia il rio Ottava scorrono per lo più all'interno di alvei monocursali sinuosi, scavati all'interno di depositi alluvionali di fondo valle. La sezione trasversale è generalmente trapezia, con alveo inciso delimitato da ripide scarpate, generalmente coperte da vegetazione erbacea, soprattutto canne domestiche con alberi o cespugli isolati. Si ritiene che tale conformazione sia probabilmente il risultato, almeno parziale, di passati interventi di risagomatura e pulizia dell'alveo.

Fa eccezione solo il tratto iniziale del Mannu di Porto Torres in cui l'alveo assume una morfologia caratterizzata da un maggior grado di naturalità e più simile a quella dei corsi d'acqua montani.

Il confronto con la cartografia storica permette di escludere, su entrambi i corsi d'acqua, variazioni significative del tracciato dell'alveo nell'ultimo cinquantennio, salvo un modesto (e poco significativo) avanzamento della linea di spiaggia (40-50 m) alla foce del Mannu.

Il rilievo delle opere idrauliche ha interessato:

- il rio Mannu di Porto Torres dalla diga del lago Bidighinzu alla confluenza in mare a Porto Torres, per un tratto complessivo di asta fluviale indagato pari a circa 60 km;



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 riu Ottava da circa 400 m a monte del ponte della SS 200 fino alla confluenza nel Mannu di Porto Torres, per un tratto complessivo di asta fluviale indagato pari a circa 19 km.

L'attività di rilevamento in campo è stata preceduta dalla ricerca preliminare delle principali opere idrauliche presenti nel reticolo idrografico, mediante la consultazione e l'acquisizione delle informazioni contenute negli studi e nei progetti messi a disposizione dagli uffici competenti, nonché mediante un esame accurato della cartografia tecnica regionale in scala 1:10.000. Dalla fotointerpretazione è stato possibile essenzialmente rilevare la posizione dei, per altro brevi, rilevati arginali sul riu Mannu presso Porto Torres.

Anche il quadro conoscitivo definito attraverso gli studi acquisiti (PAI) non ha fornito indicazioni di interventi idraulici recenti e significativi.

I sopralluoghi in campo hanno permesso di verificare ed integrare le informazioni relative alle opere identificate preliminarmente (tipologia, caratteristiche dimensionali e funzionali); nel complesso sono state

individuato 19 opere idrauliche ovvero, rispettivamente:

- sul Mannu di Porto Torres un'argine, una briglia, 3 difese di sponda longitudinali, un'opera di immissione non regolata, un muro arginale, una traversa.

I rilevamenti eseguiti evidenziano come l'attuale assetto dei corsi d'acqua esaminati sia influenzato dall'invaso di Bidighinzu e dalle opere di regimazione eseguite nei tratti foci che, in particolare per il riu Mannu, sono per lo più funzionali alla difesa di infrastrutture viarie e di aree industriali.

Nel seguito viene fornita una breve sintesi dell'assetto difensivo per tronchi omogenei.

#### Riu Mannu di Porto Torres - tratto tra la confluenza del riu Ottava e la foce

Il tratto in oggetto è caratterizzato principalmente dalla presenza di un'arginatura situata sulla sponda destra (lunga circa 2 km) a valle della località Maccia Appaltada fino allo scalo ferroviario di Porto Torres.

Si tratta di un rilevato in terra, rivestito lato fiume con gabbioni, su cui nel tratto di valle corre una linea ferroviaria. In effetti l'opera ha la funzione prioritaria di proteggere una porzione di fondovalle occupata dalla stazione ferroviaria di Porto Torres e dagli abitati fabbricati ad uso abitativo. L'opera verso monte si immagina in un costone della scarpata del terrazzo alluvionale su cui è edificato il nucleo centrale di Porto Torres; da tale costone prosegue verso monte ancora per circa 500 m andando ad interrompersi nei pressi di un casello ferroviario da cui poi si diparte un muro arginale. L'opera di per se stessa appare in buone condizioni di conservazione, tuttavia desta preoccupazione la presenza all'interno del corpo arginale sia di tubi di scolo delle acque bianche (zona stazione ferroviaria), sia di uno scatolare (attualmente murato) attraverso cui dovrebbero transitare le acque di un rio secondario denominato "fiume 128" (cfr. reticolo secondario Regione Sardegna), che drena un non trascurabile settore delle colline poste subito a Sud di Porto Torres.



**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 muro arginale sopraccitato (un vecchio muro in pietra intonacato in parte scrostato ma nel complesso integro) svolge anche la funzione di recinzione di un appezzamento agricolo. Tale opera, sicuramente molto vecchia, si ammorsa a valle sul rilevato ferroviario in prossimità di un casello e a monte su un costone della scarpata che delimita il fondovalle alluvionale. Le condizioni e la vetustà dell'opera non consentono di garantire una sua tenuta in caso di severi eventi alluvionali.

Lungo il tratto in oggetto sono presenti anche due difese di sponda, ubicate a notevole distanza l'una dall'altra, e legate ad interventi di difesa idraulica localizzati.

La prima opera è una difesa di sponda in gabbioni, in buono stato di conservazione, posta a protezione della spalla sinistra del viadotto stradale di via Vespucci in Porto Torres.

La seconda è un vecchio e breve muro posto a protezione della spalla sinistra di un ponte canale, ubicato a circa 2,5 km di distanza dalla foce, non lontano dall'area industriale di Porto Torres. Si tratta di un'opera vetusta, in parte sovralluvionata, che per il suo mantenimento richiederebbe interventi di manutenzione straordinaria.



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 Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF

Come richiamato nella relazione metodologica a corredo dell'analisi del bacino Pilota del fiume Coghinas, nello sviluppo delle attività a supporto della predisposizione del Piano di Gestione del rischio di Alluvioni si è operata una **prima fase di modellazione** replicando nel presente studio il funzionamento del modello HER-RAS 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.

Lo studio idraulico ha analizzato il comportamento del tronco fluviale constatando come le arginature e le opere di attraversamento presenti lungo l'alveo siano in grado di contenere generalmente le portate associate ai tempi di ritorno minori. Per ottenere questo risultato, nel modello idraulico realizzato con HecRAS è stata utilizzata l'opzione *levee* (argine) sui rilevati arginali, la quale consente di modellare la presenza di un'opera di contenimento della corrente idrica.

In generale, come effetto di tale opzione (cui è sempre associata una quota topografica) si ha che:

- se la corrente idrica non supera la quota indicata, la sezione idraulica considerata nella simulazione sarà quella delimitata dall'arginatura e dalle sponde naturali;
- nel caso in cui le quote idriche calcolate fossero maggiori della quota di *levee*, il calcolo idraulico considera come sezione attiva quella delle sole sponde naturali, ignorando la presenza dell'azione di contenimento dell'arginatura anche se morfologicamente presente. Questa condizione evidenzia, come risultato, l'esondazione nella sponda sovrastata dalla corrente idrica, prescindendo dal contenimento della corrente per arginature insufficienti.

Relativamente alla prima ipotesi sopra indicata (situazioni di non superamento delle quote arginali) il modello idraulico del PSFF è stato denominato "ad argini non sormontabili". Esso è ottenuto considerando l'opzione *levee* nel senso sopra esposto, specificando come quota topografica non quella propria dell'arginatura fisicamente esistente ma una quota fittizia, molto più elevata, in grado di poter contenere il profilo di corrente corrispondente all'evento simulato e di poter determinare, in una prospettiva di progetto, quale sia la ipotetica quota arginale di contenimento della corrente stessa.

Relativamente alla seconda ipotesi come sopra indicata (superamento delle quote arginali), il modello del PSFF è stato denominato "ad argini sormontabili", ottenuto senza considerare l'opzione *levee* anzidetta e quindi ipotizzando l'assenza della funzione di ritenuta delle arginature in terra esistenti. Questa configurazione modellistica è stata utilizzata per delimitare le aree esondabili.



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

La modellazione idraulica realizzata nell'ambito del presente elaborato ha ricompreso il tratto di asta fluviale vallivo del Riu Mannu di Portotorres, e per l'esattezza il tratto compreso tra l'attraversamento sulla SS 131 in località Cabula Muntone la foce, per una lunghezza complessiva di circa 5.6Km.

Il tratto esaminato percorre un'area di rilevante interesse economico, insediativo e storico; in particolare, lungo il suo percorso è interessato dagli attraversamenti della SS 131, posta a circa dieci chilometri dalla foce; a valle si individuano altri quattro attraversamenti: il ponte Colombo, sulla strada di circosollazione della Zona Industriale, il ponte Romano e, ancora a valle, il ponte ferroviario e il ponte Vespucci sulla omonima via alla foce del fiume.

Per quanto attiene le il territorio contermina, si individuano nel primo tratto, aree a prevalente vocazione agricola, successivamente l'azione antropica resa evidente dalla presenza della stazione ferroviaria, in prossimità della sponda destra, procedendo verso valle è presente un maneggio, ma soprattutto il Parco archeologico di Turrus Libisonis e successivamente le strutture annesse al porto. In sponda sinistra su un alto morfologico è situata invece l'area industriale.



In relazione ai livelli di pericolosità idraulica riscontrata dal PSFF , come consueto l'analisi è stata effettuata nelle due condizioni di argini insormontabili ed argini tracimabili; la prima condizione è finalizzata alla verifica della efficacia della difesa idraulica indotta dall'arginatura presente a difesa



**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

della linea ferroviaria e della vicina stazione, la seconda ipotesi è invece finalizzata a verificare l'estensione dell'area allagabile nell'ipotesi in cui l'argine esistente si dovesse riscontrare inadeguato.

La modellazione evidenzia una sostanziale inadeguatezza del sistema di difesa idraulica; le criticità emergono lungo tutto il tratto analizzato; in particolare, il tratto compreso tra il ponte sulla SS 131 e il ponte sulla strada di circonvallazione (ponte Colombo), risulta insufficiente anche per le portate con tempo di ritorno di due anni; sostanzialmente le portate tendono a defluire invadendo le aree in sinistra idraulica, rimanendo confinate in destra idraulica per effetto dell'arginatura esistente. Tale arginatura ha un andamento pressoché parallelo alla linea ferroviaria, presumibilmente al fine di metterla in sicurezza per le portate con tempo di ritorno superiore. La linea ferroviaria Portotorres Chilivani, taglia completamente l'area golenale del fiume, conseguentemente la superficie di allagamento tende evidentemente ad aumentare. La portata cinquantenaria determina l'allagamento delle aree agricole sia in destra che in sinistra idraulica. Il rilevato ferroviario e le sue opere vengono sormontati invadendo anche le aree comprese tra la linea ferroviaria e l'abitato di Porto Torres.

A valle del ponte Colombo, la valle tende a stringersi per la presenza del rilevato su cui sorge l'area industriale in sponda sinistra e la stazione ferroviaria in sponda destra. Quest'ultima è interessata dalla pericolosità idraulica anche in occasione di eventi con tempi di ritorno di 50 anni, malgrado la presenza del rilevato arginale. L'area di allagamento riguarda l'intera stazione ferroviaria sino alle aree attigue riguardanti l'edificato esistente. Proseguendo verso valle, il fiume piega verso la sinistra idraulica andando ad occupare con il suo alveo la luce in estrema destra del ponte Romano. Le aree di allagamento rimangono confinate tra il rilevato collinare in sponda sinistra e il rilevato ferroviario in sponda destra. La prosecuzione di quest'ultimo è relativo al tracciato di collegamento tra la stazione passeggeri e l'area industriale.

Dal punto di vista dimensionale il rilevato ferroviario ha una quota tale da confinare le portate di calcolo, non offre però adeguate garanzie in termini di tenuta idraulica se sottoposto all'azione dinamica di una portata di piena. Lo stesso rilevato, peraltro, confina le aree di deflusso preservando l'importante area archeologica di Turrus Libisonis.



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

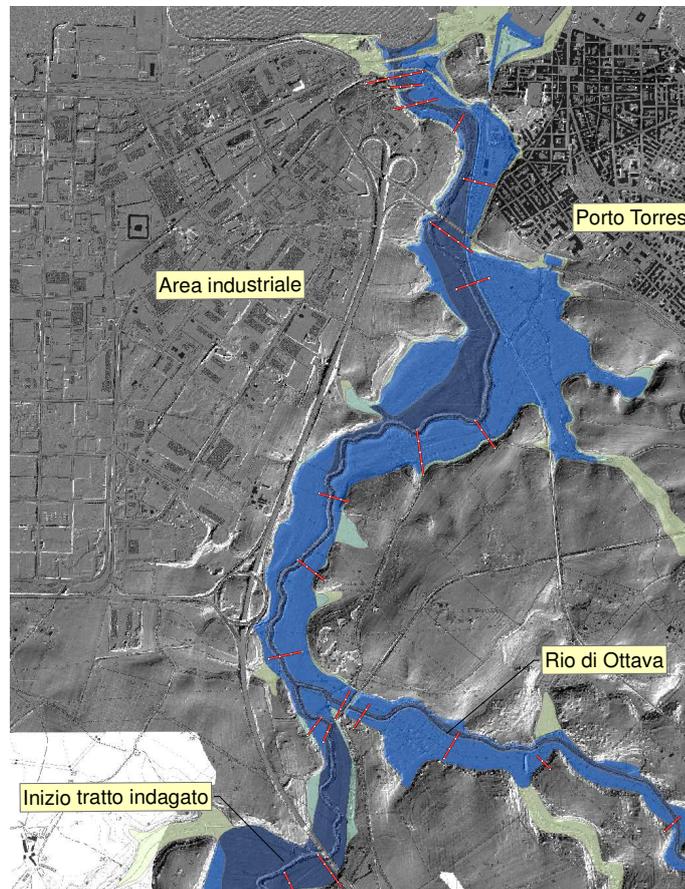


Figura 3-1 Fasce di pericolosità individuate nel PSFF

Una specifica nota ed analisi va evidentemente effettuata in relazione alle interazioni con il Ponte Romano: il ponte, realizzato con sette campate, è impostato in sponda sinistra sul rilevato su cui è presente l'area industriale, in destra idraulica invece si impostato sulla strada di accesso dell'area archeologica. Idraulicamente risulta inadeguato al deflusso all'interno delle sue luci, tuttavia la particolare configurazione plano-altimetrica consentiva e consente l'agevole aggiramento del ponte negli eventi più critici in destra idraulica, lato in cui va a ridursi in la quota di calpestio della strada di accesso.

Le luci del ponte sono realizzate con dimensioni differenti, in particolare, le luci in sinistrai idraulica di dimensioni maggiori, il fondo non è attualmente protetto: è quindi presente una profondità dell'alveo variabile nelle diverse campate. Le minori quote nelle prime tre luci in sinistra idraulica (soprattutto la prima), determina il posizionarsi del deflusso di magra e del progressivo interessamento all'aumento di portata. Giova inoltre rilevare che la portata era invitata in sinistra, laddove il banco roccioso del vicino rilevato definiva sicuramente una maggiore stabilità al ponte. Le luci in destra idraulica, sono invece di dimensioni differenti, il fondo dell'alveo è corazzato per la



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

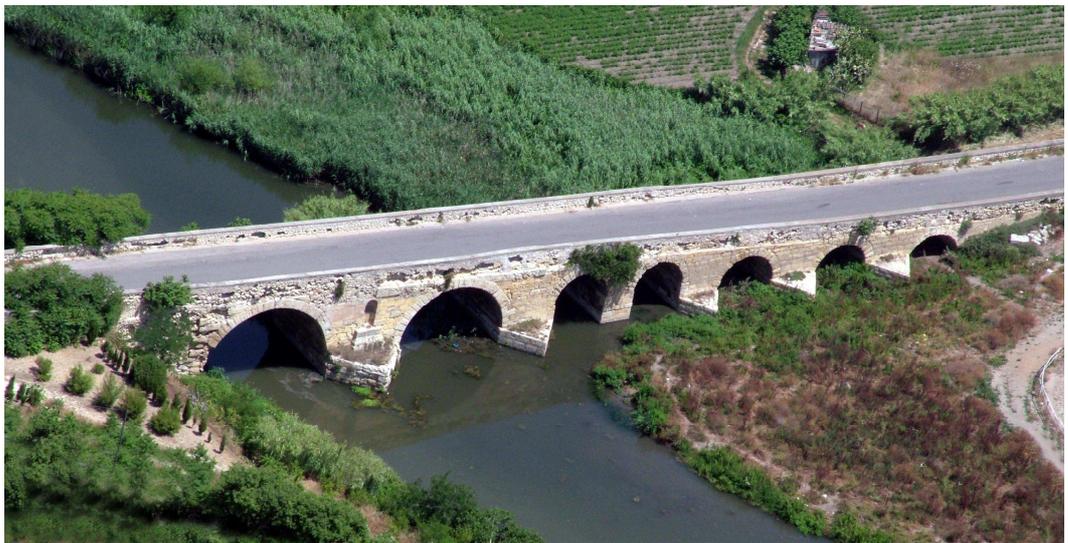
PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

presenza di un basolato che presumibilmente consentiva il passaggio pedonale al di sotto del ponte. In condizioni di piena, l'intero sistema delle luci del ponte è evidentemente interessato dal deflusso. Quando accade che le luci non siano sufficienti al deflusso delle portate di piena, il ponte viene aggirato in destra idraulica.

A valle del ponte Romano , negli ultimi duecento metri, il deflusso avviene attraverso il passaggio tra il ponte ferroviario e il ponte Vespucci; i due attraversamenti determinano in parte un ostacolo al



**Figura 3-2 Ponte Romano (fonte sito della Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Sassari e Nuoro)**

deflusso che comunque resta contenuto entro i sistemi arginali in sinistra e in destra idraulica.



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 e confronto con le mappature del PSFF

### 4.1 PREMESSA

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 noto, 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**, informazione questa non presente nello studio del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali che ha prodotto esclusivamente le perimetrazioni delle pericolosità idrauliche ai diversi tempi di ritorno.

Ma vi è anche un'altra ragione profonda e sostanziale che ha condotto ad aggiornare la modellazione idraulica stato attuale: la disponibilità di una migliore e più puntuale descrizione della morfologia e della topografia del territorio grazie al 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, che consente 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 valutare i relativi battenti idrici.

La modellazione idraulica effettuata nell'ambito del presente studio è stata inoltre integrata da informazioni relative alle quote in alveo. Il nuovo modello qui sviluppato del corso d'acqua ha considerato il medesimo tronco fluviale analizzato dal PSFF, mantenendo qualitativamente gli stessi valori dei coefficienti di scabrezza, e le stesse condizioni al contorno assunte nel Piano, ovvero si è assunta l'altezza critica nella sezione di monte e la quota di 1.20 m s.l.m. come quota di restituzione a mare.

Coerentemente con quanto indicato nel PSFF, è stata conservata anche la geometria delle strutture trasversali di attraversamento, in quanto dichiaratamente originata da un accurato rilievo locale. Infine, si è tenuto conto di tutte le opere esistenti e già collaudate alla data attuale.

Complessivamente il modello geometrico assunto si sviluppa per oltre 5 Km compresi tra l'attraversamento sulla SS 131 e la foce.

La differenza fra i due modelli idraulici, nei tratti comuni pertanto, è sostanzialmente concentrata nella numerosità e dettaglio delle sezioni trasversali utilizzate: nel PSFF sono state utilizzate 16 sezioni principali piane normali all'asse del fiume; nel presente studio sono state adoperate 79 sezioni a facce piane multiple per tenere conto sia della variabilità geometrica del territorio sia per modellare con maggiore dettaglio la batimetria delle aree vulnerate dalle piene. L'analisi idraulica è stata ugualmente eseguita per eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni, come nel 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

Riguardo alla presenza delle arginature, come più ampiamente illustrato nella Relazione Metodologica di Piano, il modello aggiornato ha considerato la efficacia degli stessi nel contenimento della corrente di piena purché la quota del pelo libero non superi quella corrispondente al franco di 20 cm rispetto al colmo arginale. Nel caso in cui il franco idraulico si dovesse ridurre rispetto al limite indicato, l'argine verrà considerato sormontato (opzione *levee* non applicata).

Le modellazioni idrauliche sono state effettuate utilizzando le portate di calcolo determinate nell'ambito del PSFF ; si è operato adottando, quindi, i seguenti valori di portata per i tempi di ritorno di calcolo:

$$Q_{50}= 1290 \quad Q_{100}= 1560 \quad Q_{200}= 1840;$$

Negli scenari di intervento le opere sono state dimensionate per la portata duecentenaria.

Analizzando i risultati ottenuti si evidenzia che non sono emerse sostanziali differenze tra le aree di esondazione conseguente alla modellazione effettuata nell'ambito del PSFF e nel presente studio; le sole differenze rilevanti sono localizzate in corrispondenza della valle del Terridi , in sponda destra, in quanto il piano stralcio riduceva l'estensione delle sezioni relegando il vincolo idraulico alle esondazioni del Rio Terridi come per'altro rappresentato nella cartografia del PAI. Le rappresentazioni grafiche date nelle Figure seguenti mettono a confronto la planimetria relativa alle sezioni considerate modello idraulico prodotto in ambito PSFF e quello generato nell'ambito del presente studio.

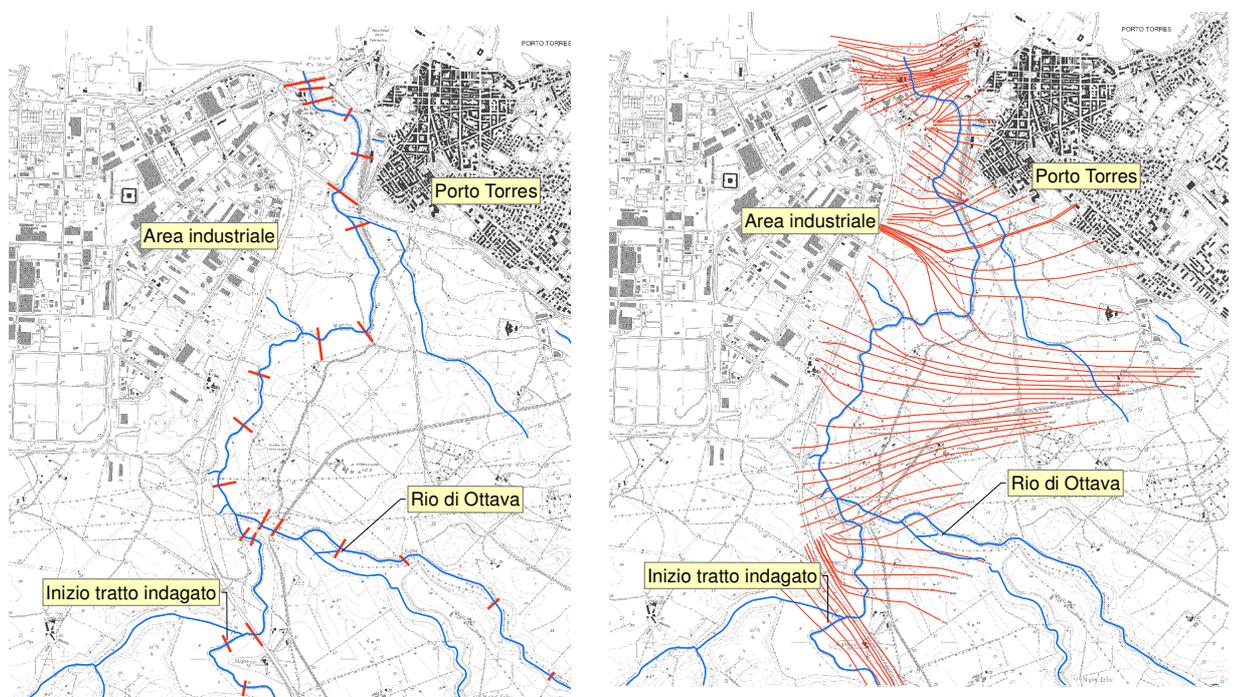


Figura4-1 Rappresentazione planimetrica del modello HecRas, nella configurazione PSFF e nel presente studio



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

Esaminando le Figure si ha conferma che le variazioni di mappatura sono limitate. Le modeste differenze sono legate evidentemente alla intensificazione delle sezioni di calcolo qui utilizzate.



Figura 4-2 Confronto delle aree allagate per  $Tr= 50$  anni (in rosso il PSFF)

#### 4.2 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA NELLO SCENARIO ATTUALE (SCENARIO 0)

Conformemente a quanto indicato al paragrafo precedente, le aree allagabili individuate all'interno delle modellazioni relative al presente studio, confermano sostanzialmente quanto indicato all'interno del PSFF.

In particolare, nel tratto compreso tra il ponte sulla SS 131 e il ponte Colombo i deflussi tendono a riconquistare l'intera area golenale andando ad estendersi oltre la linea ferroviaria risalendo i compluvi che drenano le acque provenienti dai versanti su cui sorge Portotorres. La stessa linea ferroviaria non adeguatamente protetta dal rilevato esistente risulta sormontata lungo la sua



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

lunghezza. L'intera area golenale è interessata da tiranti idrici compresi tra i 2 e i tre metri, andando ad aumentare ad ovest della linea ferroviaria dove i valori dell'altezza d'acqua per la piena cinquantenaria si attestano oltre i 3.5 m. lungo le aree sulle quali scorre il Fiume 8142 così definito nello strato 109 del GeoDB della regione Sardegna.

Per i tempi di ritorno successivi i tiranti tendono evidentemente ad aumentare sino a raggiungere un incremento dell'altezza poco inferiore al metro. In alveo i tiranti si mantengono invece su valori compresi tra i sette e gli otto metri; le larghezze delle aree di esondazioni raggiungono complessivamente valori dell'ordine dei 500 metri per poi rastremare progressivamente avvicinandosi alla foce.

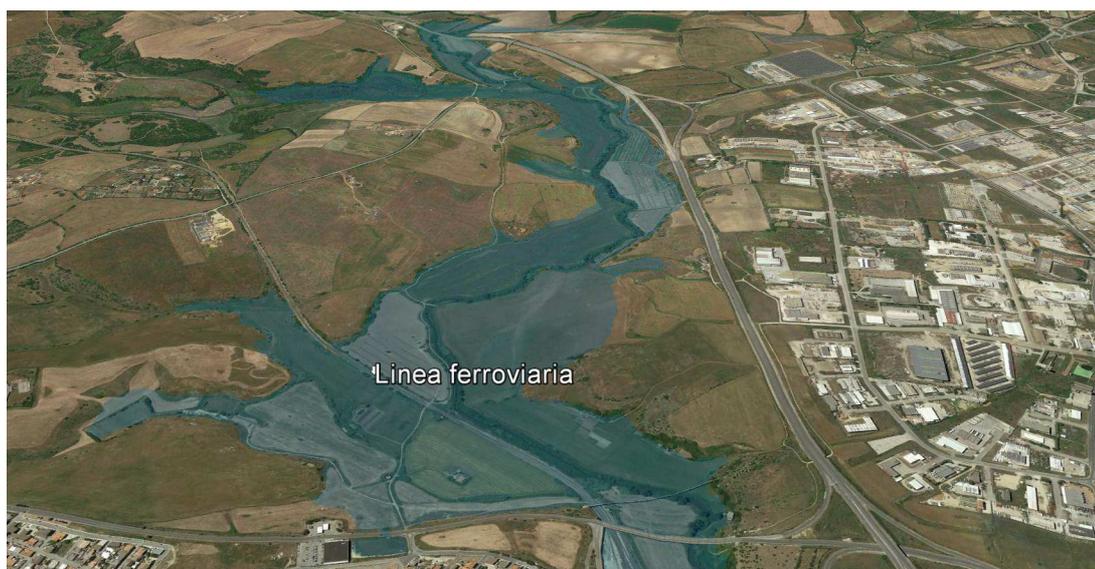


Figura4-3 Tratto compreso tra il ponte sulla SS 131 e il ponte Colombo

Successivamente, nel tratto a valle del ponte Colombo, il modello evidenzia l'effetto di costrizione della portata tra il rilevato in sponda sinistra il rilevato su cui sorge la Città di Porto Torres in sponda destra. In destra idraulica l'area di allagamento si estende in quasi alle prime case del centro abitato andando ad investire la vicina stazione ferroviaria con tiranti idrici con valori compresi tra 2 e 2.5 m per le portate cinquantenarie e i 3 - 3.5 m per le portate duecentenarie.

L'area golenale è invece interessata da tiranti compresi tra i 4 e i 5m , la larghezza dell'area allagabile si attesta su valori di circa 200 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

Dalla stazione ferroviaria si diparte una linea che la collega all'area industriale in prossimità della foce in sponda sinistra. La linea è realizzata in rilevato, la quota del rilevato stesso contiene la portata di piena sia in occasione delle piene cinquantenarie e sia in occasione delle piene centenarie. Il rilevato ferroviario assume valori dell'ordine dei 4.5 m, i tiranti idrici relativi alle aree prossime al rilevato stesso sono dell'ordine dei 2.2 m in occasione della piena cinquantenaria, di 2.8m in occasione della piena duecentenaria. Il deflusso è influenzato dalla presenza dei numerosi attraversamenti, in primo luogo il ponte romano che determina un forte rigurgito a monte.

Ancora procedendo verso valle, il deflusso tende sostanzialmente a rimanere contenute entro le aree di pertinenza fluviale. Sia la modellazione di PSFF che quella aggiornata nel presente studio evidenziano concordemente una criticità legata al deflusso lungo la linea ferroviaria che conduce all'area portuale in sponda destra.

L'area allagabile si spinge sin al porto seguendo la linea ferroviaria che evidentemente mantiene le quote della vicina stazione, e conseguentemente eredita la criticità evidenziata sulla stazione stessa.

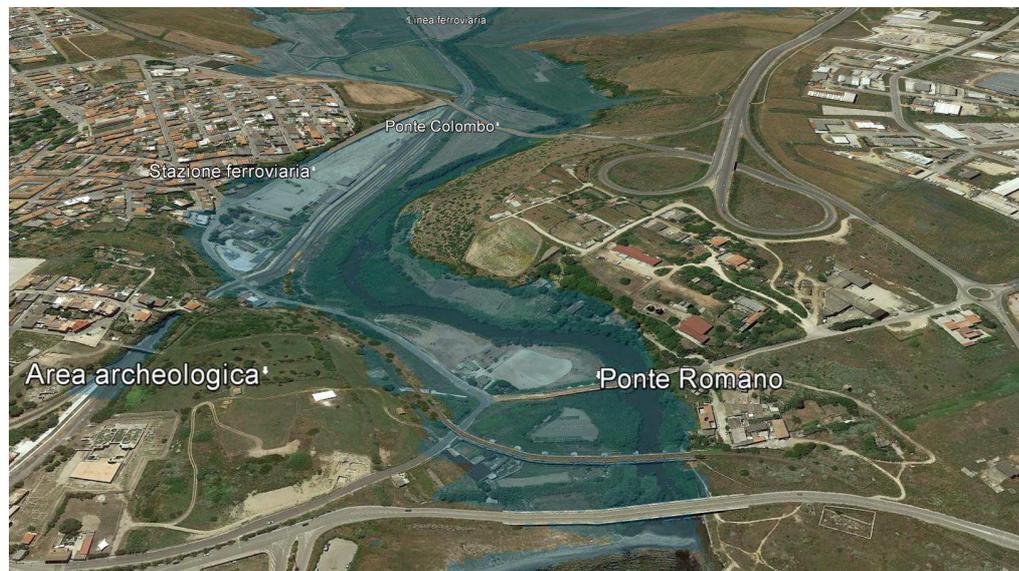


Figura 4-4 Tratto tra il ponte Colombo e la foce

#### 4.3 CRITICITÀ SPECIFICHE :PORTATE MASSIME COMPATIBILI CON LA SITUAZIONE ATTUALE

Un'interazione importate tra la nuova modellazione idraulica e la scelta delle azioni di mitigazione da adottare riguarda la possibilità di **definire il del 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



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

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.

Come già detto, la geometria del modello idraulico, aggiornato in questo studio 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  $\pm 1$  s che corrisponde ad un errore medio  $\pm 15$  cm. Considerando che generalmente le aree sulle sommità arginali sono sgombre da vegetazione massiva o di alto fusto, si può considerare 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 stabilità sotto l'azione idraulica deve essere necessariamente rapportato a quella accuratezza: nel seguito pertanto la condizione che induce al sormonto e, conseguentemente, all'apertura di una possibile breccia nel corpo arginale viene fatta corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco minimo di ampiezza minore o uguale a  $20\text{ cm}^1$ .

La portata di piena  $Q_{amm}$  corrispondente a tale valore limite è stata valutata mediante l'analisi idraulica del tronco fluviale della valle del Rio Mannu di Portotorres ripetuta sistematicamente per valori differenti e per intervalli costanti, individuando di volta in volta le sezioni che presentano il franco idraulico minore. Laddove siano presenti bacini di laminazione, tali portate sono state associate ad un tempo di ritorno T utilizzando i coefficienti di laminazione  $\epsilon_p(T) = Q_w/Q_i$  (rapporto tra la portata massima di laminazione in uscita dal serbatoio e la portata massima di piena).

Successivamente, mediante l'inversione della metodo diretto TCEV, è stato valutato il valore del tempo di ritorno da associare alla portata non laminata.

$$Q_p(T) = Q_{amm} / \epsilon_p(T)$$

mentre  $T=T(Q_p)$  si ottiene invertendo il metodo TCEV diretto.

I risultati dell'indagine sono di seguito presentati suddividendo il tratto fluviale in due tronchi come appresso specificato. 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

---

<sup>1</sup>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)



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna

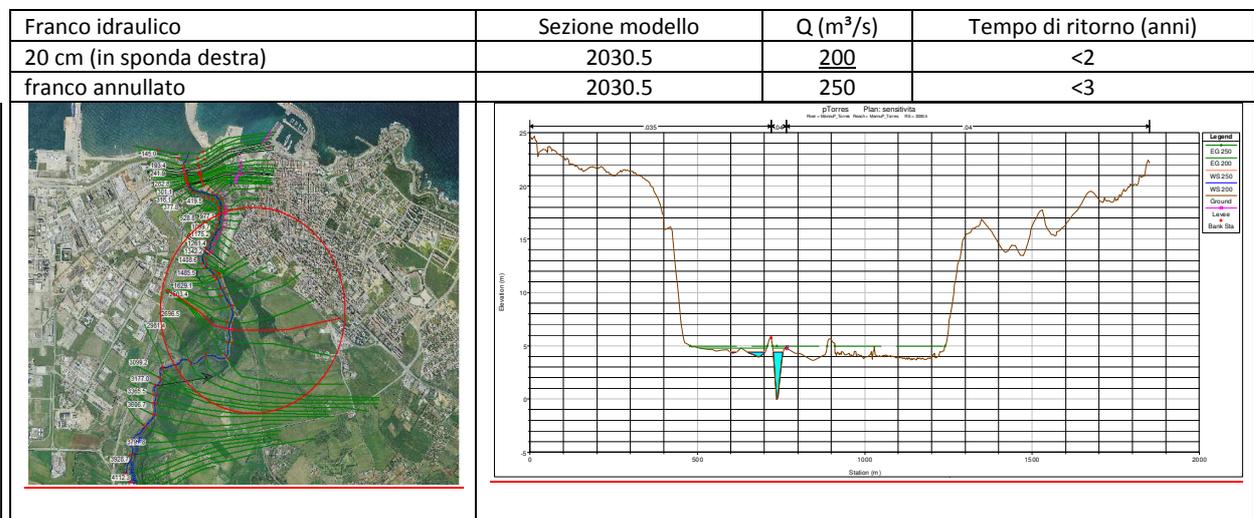


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

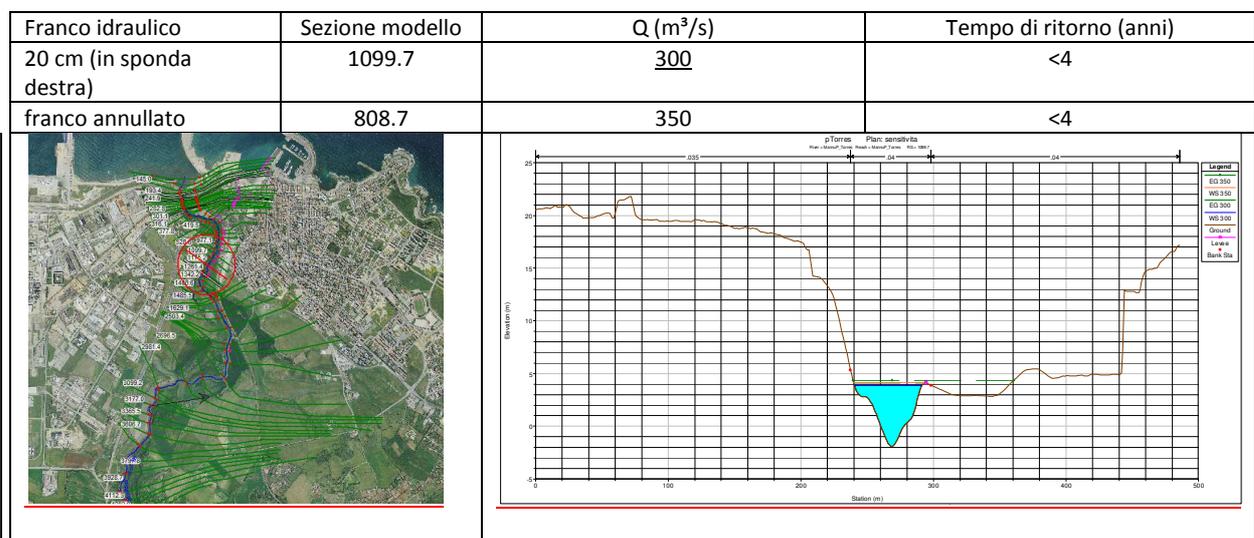
Tabella 4.1 – Valori del rapporto  $Q_u/Q_i$  nel tronco fluviale a valle del serbatoio di Birighinzu per i tempi di ritorno indicati

T (anni)	$\epsilon p(E)$
2	0.99
50	0.99
100	0.99
200	0.99

1° Tronco: Dal ponte sulla SS 131 al Ponte colombo (circonvallazione dell'area industriale):



2° Tronco: dal Ponte Colombo alla foce.





**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

#### 4.4 VOLUME DI PIENA E AREE ESONDATE

Sulla base delle analisi idrauliche precedentemente 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 del battente idrico calcolati dei volumi sulle unità di cella conseguenti ai battenti idrici, calcolati come indicati nel dataset di allagamento (in formato GRID). I volumi sono valutati per ciascuno dei tempi di ritorno considerati nelle analisi idrologiche.

**Tabella 4.2 - Volumi di allagamento allo stato attuale**

---

Tr (anni)	W (m <sup>3</sup> )
50	5 234 094
100	5 957 838
200	6 681 950



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

## 5 Procedura operativa per il di calcolo del danno di piena nel Bacino del Fluminimannu di Porto Torres

Si rimanda alla relazione metodologica predisposta per il bacino pilota del fiume Coghinas per una descrizione più puntuale della metodologia di calcolo del danno di piena. Di seguito si espongono aspetti principali ed i risultati ottenuti dalla applicazione della procedura per la determinazione del danno di piena nella bassa valle del fiume Fluminimannu di Porto Torres

Il principio di base consiste nel partire da un'indicazione del valore del danno massimo associato ad un evento limite, e, successivamente, determinare il valore associato ad un danno corrispondente ad un evento di entità minore mediante l'inserimento di un coefficiente riduttivo; per evento di entità minore si intende un livello di sommersione, e quindi di battente idrico, inferiore a quello definito limite.

La procedura per la determinazione del danno massimo in un areale geografico ha come informazione di base il database DBEE degli elementi d'uso fornito dalla RAS; gli elementi d'uso del suolo presenti del database sono stati riclassificati in categorie di danno secondo 12 macro categorie.

Ad ogni categoria è associato un costo del danno massimo su una superficie di un metro quadrato ed è quello corrispondente ad una sommersione di sei metri (v. Tabella 5.1).

**Tabella 5.1 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo**

	DESCRIZIONE CATEGORIA ELEMENTO ESPOSTO	LABEL	COSTO (€/m <sup>2</sup> )
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

Si precisa che per le elaborazioni per la definizione del DBEE si è fatto riferimento alla carta dell'uso del suolo della Regione, strutturato 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



**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

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.

E' già stato anche precisato come 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 date precedentemente.

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.

La cartografia dei battenti idrici è sviluppata per tutti i tempi di ritorno (50, 100, 200 anni) e per tutti gli scenari ipotizzati.

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. Il risultato è rappresentato da uno strato contenente la batimetria dell'allagamento, ad elementi quadrangolari ciascuno avente area minore o al più uguale a 9 m<sup>2</sup>.

Di seguito viene consegnato il grafico a flussi della procedura utilizzata.

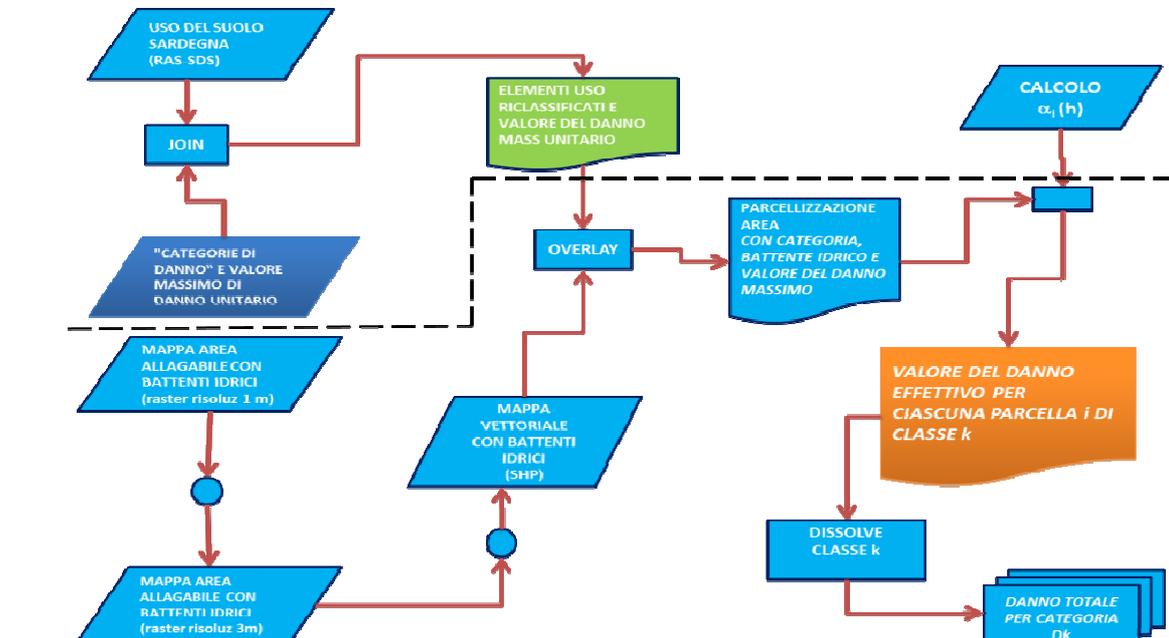


Figura 5-1 - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso

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.

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. Per la sua definizione si rimanda ai paragrafi precedenti.

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 come esplicitato nella tabella precedente. 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, come descritto nei paragrafi precedenti. 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



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

prodotto dell'area allagata della parcella  $A_i$  per il valore del danno massimo unitario  $D_k$  moltiplicato ancora il valore del coefficiente di parzializzazione 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. La procedura di determinazione del danno è rappresentata mediante il diagramma di flusso in Figura 5-1.

Una specifica considerazione va rimarcata per quanto concerne la valutazione del danno a seguito degli interventi: come più volte espresso, le opere sono state dimensionate per una portata di calcolo pari a  $1025 \text{ m}^3/\text{s}^2$ , un valore di portata che si inserisce tra le portate cinquantenarie e centenarie stimate all'interno del P.S.F.F. Come conseguenza di questa valutazione, emerge che le opere mettono in sicurezza le aree violate dalle sole portate cinquantenarie, risultando del tutto ininfluenti per le rimanenti portate di calcolo.

Sulla base di quanto sopra, il danno residuo a seguito degli interventi rimarrà immutato rispetto allo stato attuale per le portate centenarie e duecentenarie, mentre, si avvertirà una riduzione del valore per la sola portata cinquantenaria.

---

<sup>2</sup>le considerazioni di dettaglio sono alla pagina successiva e sulla relazione specifica sulla regolazione della diga



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.

Come illustrato nei capitoli precedenti, il dimensionamento delle opere avviene ipotizzando la portata di calcolo compatibile con il tempo di ritorno di duecento anni. Relativamente all'altezza del franco idraulico, in questa sede si assume un valore di 1.2 m nell'ipotesi di arginature in materiali sciolti mentre nel caso di utilizzo di opere in cemento armato è ridotto a venti centimetri assumendo che in quest'ultimo caso il sormonto dell'opera non ne determini il collasso.

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, 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, 200) 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;
- G. **definizione di una ipotesi di phasing nella realizzazione degli interventi e scelta dello scenario di intervento in considerazione delle pericolosità affrontate.**



**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 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



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

## 6.2 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

In considerazione della situazione specifica del territorio e della sua vulnerabilità, sono state considerate le seguenti tipologie di intervento, individuate come applicabili in relazione al contesto ambientale esistente, suddivisi in :

1. **interventi strutturali di costruzione e/o demolizione:**
  - a. realizzazione di nuove arginature e adeguamento della quota delle opere di difesa longitudinali esistenti, ampliamento delle luci dei ponti.
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 difesa idraulica che sono qui definite**, come richiamato anche in precedenza, sono funzionali al contenimento della portata di piena duecentenaria. Il franco assunto nel dimensionamento degli argini è stato assunto pari a 1.2 metri.

I rilievi dello stato attuale sono stati eseguiti sulla base del DTM (LIDAR) , stimando il volume corrispondente alle geometrie di progetto sulla base dei risultati dell'analisi idraulica.

La loro geometria consente 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.

Gli **interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria** rappresentano il necessario impegno per garantire la funzionalità dell'opera per l'intero arco temporale di vita utile prevista e comprende anche interventi di risagomatura o ricarica dei rilevati, la pulizia dalla vegetazione, il recupero di rifiuti eventualmente presenti.

Stante la specificità del contesto storico-ambientale che caratterizza il territorio, le scelte progettuali sono state improntate principalmente al riconferimento della naturalità del fiume unitamente alla valorizzazione e tutela del patrimonio archeologico esistente.

Le valutazioni che hanno indotto le tipologie di interventi previsti sono legate all'evoluzione che l'alveo del fiume a subito negli ultimi decenni; in particolare, la presenza di una soglia in gabbioni posta in corrispondenza della soglia ha influito in maniera considerevole nella mutazione delle caratteristiche ambientali del fiume. In particolare , la soglia, congiuntamente alle opere a mare, ha sostanzialmente ridotto le condizioni di interscambio tra l'ambiente fluviale e l'ambiente marino, riducendo la risalita salmastra in alveo. La progressiva riduzione del tenore salmastro nell'ambiente fluviale ha determinato un aumento della vegetazione in prossimità degli ultimi chilometri.



**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

Condizione che ha determinato da un lato la riduzione della capacità di trasporto liquido del fiume, e contestualmente un progressivo interrimento del fiume stesso. I due effetti, evidentemente non disgiungibili, determinano evidentemente situazioni di criticità in ordine all'interazione del territorio con le aree allagabili, e, condizione non trascurabile, condizioni di criticità per l'integrità del ponte Romano.

L'intervento mira quindi a ristabilire una condizione di naturalità attraverso:

- la realizzazione di una sezione schematicamente trapezia ma che fasi progettuali successive conducano ad una forma sinuosa e irregolare al fine di riconfigurare una situazione quanto più attinente all'originale naturalità;
- la realizzazione di interventi di protezione longitudinali a supporto delle infrastrutture ferroviarie esistenti;
- il ripristino della situazione fociva originaria, volta a ripristinare il libero interscambio tra mare e fiume, favorendo quindi le condizioni per una progressiva riduzione della presenza vegetale in alveo.

Gli effetti che la combinazione degli interventi si prefigge di raggiungere conducono ad uno scenario che, come rappresentato dalla sottostante immagine del 1969, evidenziava un alveo libero di canne con piena evidenza del Ponte Romano.



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

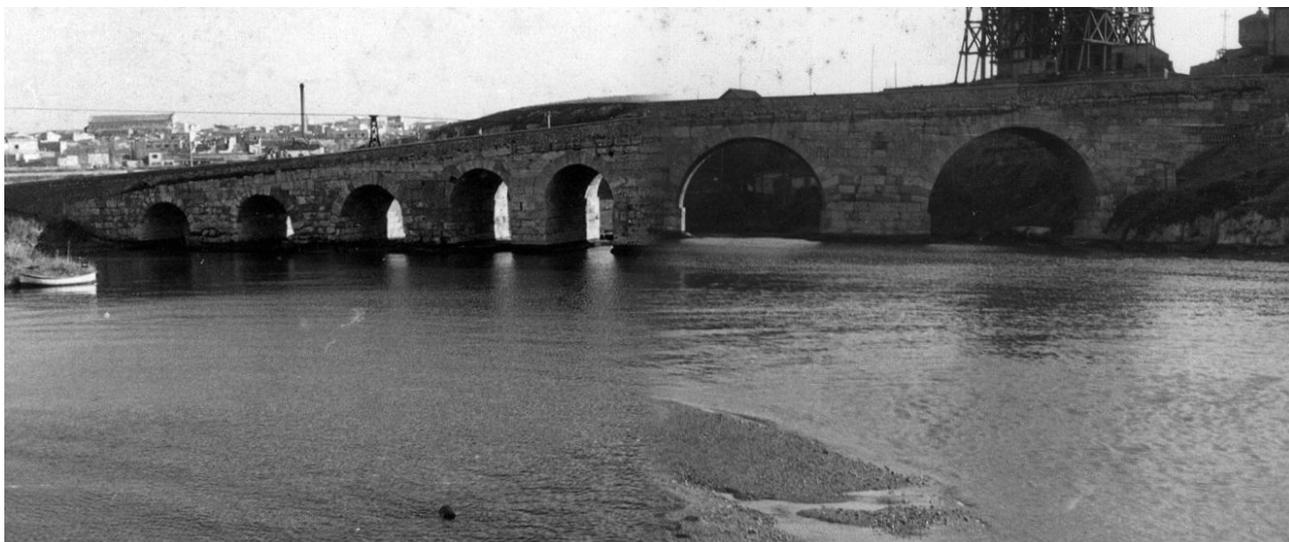


Figura 6-1 Ponte Romano visto da Valle (1969)



Figura 6-2 Ponte Romano Stato attuale

### 6.3 DESCRIZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO ESAMINATI PER LA SALVAGUARDIA DELLE AREE ESONDABILI

In generale l'articolazione degli scenari, nei quali trovano corretta collocazione i singoli interventi, 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, espresse come pericolosità idraulica ai diversi tempi di ritorno derivanti dalla modellazione 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



**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

variabilità dei danni patiti (e dei benefici ritraibili in termini di loro riduzione) a fronte degli impegni economici sopportati. Per quanto possibile, nella definizione degli scenari di intervento, si è anche assunto il criterio di definire una ripartizione territoriale omogenea nel considerare set di opere e misure tali da garantire un determinato livello di protezione in partizioni omogenee dell'area esaminata..

Di seguito sono illustrati singolarmente gli interventi tipologici previsti all'interno del presente studio; successivamente saranno individuati alcuni scenari che derivano dalla combinazione degli interventi che di seguito verranno descritti.

Sommariamente gli interventi saranno sostanzialmente: arginature, nuovi muri di contenimento interventi di pulizia

Come descritto nella relazione metodologica di piano, gli scenari sono definiti come articolazione di interventi tipologici previsti; nello specifico sono previsti all'interno degli scenari previsti i seguenti interventi:

#### **6.4 INTERVENTO A: PROFILATURA DELLA SEZIONE D'ALVEO CON SEZIONE TRAPEZIA**

L'intervento prevede la realizzazione di sagomatura dell'alveo una sezione trapezia con una base variabile che mediamente si assume di circa 50m, con scarpe 3:2, in fase progettuale potranno essere definite forme evidentemente meno regolari al fine di conferire maggiore naturalezza al corso d'acqua. L'intervento mira inoltre al ripristino delle spiagge fluviali che caratterizzavano le sponde del corso d'acqua anche nel recente passato nell'interno nelle aree prossime al ponte Romano.



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 disposizione planimetrica dell'intervento

L'intervento si estende per una lunghezza di circa 1800m, ripristinando un'unica livelletta dall'attraversamento sulla SS131 alla foce. Particolare cura dovrà essere effettuata in corrispondenza della zona fociva e del tratto prossimo al ponte Romano: la possibile presenza di trovanti di natura archeologica, o eventuali tracce di insediamenti nelle prossimità delle sponde dovrà necessariamente condizionare le scelte progettuali. Il medesimo intervento dovrà inoltre favorire le condizioni di deflusso in corrispondenza delle luci, con l'eliminazione del materiale sedimentato e la messa in luce dell'esistente basolato; contestualmente dovranno essere messe in opera tutte le necessarie attenzioni al fine di preservarne l'integrità anche per effetto dell'incremento di velocità della corrente legata alla pulizia del fiume. In sponda destra al ponte si prevede l'eliminazione dell'attuale piano viario e la ricostruzione con materiali adeguati per potersi configurare come guado sommersibile, abbassandone la quota e favorendo in tal guisa l'aggiramento del ponte esternamente alla spalla 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



Figura 6-4 Particolare delle luci del ponte nel 1969 e nella condizione attuale

## **6.5 INTERVENTO B: REALIZZAZIONE DI NUOVA ARGINATURA A PROTEZIONE DELLA LINEA FERROVIARIA E DELLA VICINA STAZIONE**

L'attuale linea ferroviaria è protetta da un rilevato arginale con rivestimento lapideo: la suddetta protezione, come evidenziato in altre sedi, risulta sormontata anche per tempi di ritorno di cinquanta anni, e conseguentemente, l'intervento prevede la realizzazione di un muro di contenimento in cls, che incida in misura minima con il naturale deflusso delle acque, garantendo contestualmente una quota sommitale che consenta la messa in sicurezza della linea ferroviaria e dell'attigua stazione.

La protezione, realizzata mediante un muro d'argine in cls con altezza variabile tra i 3.50 e i 4m si estende per una lunghezza di 1600 m con origine in corrispondenza dell'alto topografico in località Maccia Appaltada e proseguendo verso valle allineato alla ferrovia sino al tratto in cui intercetta il rilevato ferroviario di collegamento all'area industriale.

L'opera prevede uno spessore del muro in sommità di circa 30 cm, ricalzato a tergo da una struttura arginale in terra con pista di servizio al colmo con larghezza 3 m per l'accesso di mezzi di lavoro per le attività di manutenzione.



**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 muro arginale è stato dimensionato sulla base delle portate di progetto del PSFF, ipotizzando un franco di 1.2 m sulla piena di 200 anni, e consente di ridurre le aree di esondazione in destra idraulica del Rio Mannu, a protezione della linea ferroviaria e della stazione annessa per tutti e tre i tempi di ritorno analizzati.



**Figura 6-5 Individuazione dell'intervento**



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

## 6.6 INTERVENTO C: RINFORZO STRUTTURALE DEL RILEVATO FERROVIARIO ESISTENTE CON NUOVA FUNZIONE DI DIFESA IDRAULICA. TRATTO STAZIONE FERROVIARIA - PONTE ROMANO.



Il presente intervento prevede la realizzazione di un adeguamento della linea ferroviaria nel tratto a valle dell'attraversamento sulla SP 34. In questo tratto infatti, il rilevato ferroviario esistente consente di contenere le piene relative a tutti e tre i tempi di ritorno analizzati, lasciando franca l'attigua zona archeologica ubicata in destra idraulica: per questo motivo, l'intervento prevede solo il potenziamento strutturale realizzato attraverso infissione di palancole nel corpo del rilevato, in modo da migliorarne la tenuta in caso di eventi particolarmente intensi.

Il tratto interessato ha origine in corrispondenza del ponte Colombo e si sviluppa per una lunghezza di 100 m fino al ponte romano, e prevede l'utilizzo di protezioni metalliche in acciaio da infiggere verticalmente nel terreno fino ad una profondità di circa 5/6 dalla sommità arginale.



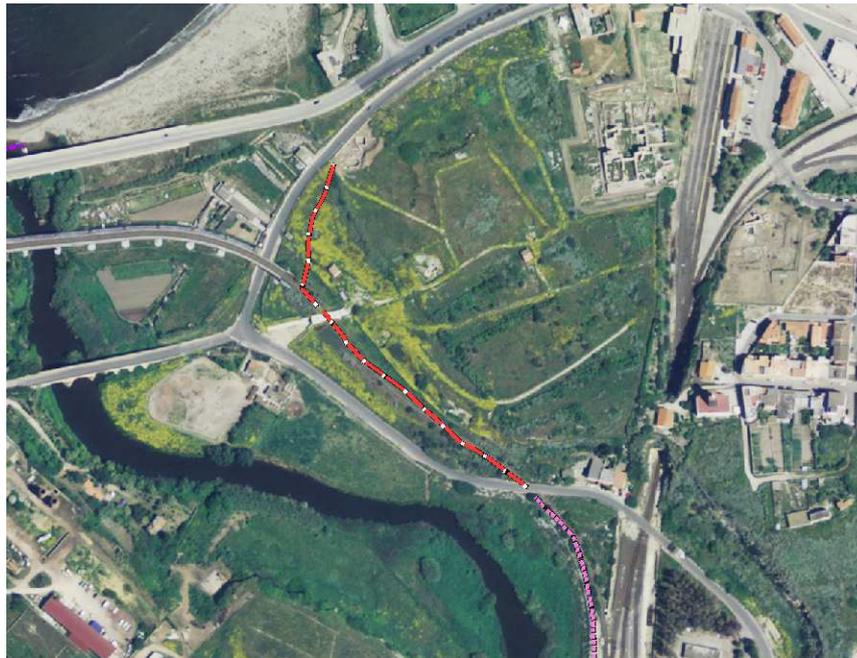
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

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

## 6.7 INTERVENTO D: RINFORZO STRUTTURALE DEL RILEVATO FERROVIARIO ESISTENTE CON NUOVA FUNZIONE DI DIFESA IDRAULICA. TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANO.



Il medesimo intervento viene replicato nel tratto a valle del ponte romano, e si sviluppa per 90 m circa seguendo inizialmente il rilevato ferroviario che conduce al medesimo ponte, deviando poi verso destra per attestarsi sulla viabilità che delimita a nord l'intera area archeologica.

Anche in questo caso ci si pone l'obiettivo di mantenere le condizioni di sicurezza idraulica esistenti nella condizione attuale nei confronti dell'area archeologica.

## 6.8 INTERVENTO E: ELIMINAZIONE DELLA SOGLIA IN GABBIONI ESISTENTE E REALIZZAZIONE DI UN NUOVO RINFORZO A PROTEZIONE DELLE FONDAZIONI DEL PONTE VESPUCCI.

L'intervento è localizzato in prossimità della foce, e precisamente in corrispondenza del ponte Vespucci: si tratta di un'opera di rimozione associata alla realizzazione di un nuovo intervento di protezione delle fondazioni delle pile del ponte in oggetto.

Nel primo caso è prevista la rimozione delle gabbionate esistenti immediatamente a valle del ponte, concepite con la funzione di protezione delle fondazione delle pile del ponte, ma che in realtà hanno



**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

contribuito a generare un'ostruzione al libero deflusso delle acque. La protezione attuale infatti è rappresentata da una soglia posizionata immediatamente a valle del ponte, che tuttavia, ostacolando l'ingresso marina, ha favorito nel corso del tempo lo sviluppo di canne e vegetazione che riduce la luce libera del ponte.

La seconda parte dell'intervento prevede quindi una nuova protezione delle fondazioni delle pile del ponte, realizzata attraverso iniezioni nel substrato dell'alveo di miscela cementizia, cosiddetto jet-grouting, realizzata ad opportuna distanza dalle pile al fine di non alterare lo stato di tensione sulle medesime.

L'opera prevede naturalmente interventi di pulizia e risagomatura delle sponde al fine di ripristinare le migliori condizioni di deflusso.



**Figura 6-8 inserimento planimetrico dell'intervento**



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 Stima del costo di realizzazione degli interventi

La necessità di ottenere una valutazione degli interventi coerente con il livello di dettaglio consentito in tale fase, ha indotto a considerare le necessarie generalizzazioni in fase di stima del costo delle opere.

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 attualmente esistente e quella in progetto.

La stima dei costi degli interventi sulle arginature è stata effettuata considerando la geometria relativa alla dell'opera in progetto sulla base delle tipologie precostituite e indicate nell'allegato R6, ove il prezzo di analisi è valutato riportando 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). In particolare, nell'ambito del progetto di adeguamento delle arginature, queste sono state valutate sulla base dell'incidenza media (in metri cubi a metro) del volume dell'opera in relazione alla lunghezza di progetto. Pertanto eventuali variazioni in più o in meno della lunghezza di progetto introdotte nell'analisi- benefici non hanno comportato la necessità di ripetere il computo metrico dell'opera.

Per la stima economica si è fatto riferimento:

- al prezziario regionale delle opere pubbliche,
- a prezziari 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 successiva 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



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

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 quelle previste, i quali appaiono pertanto evidenziati e riferiti a un intervallo temporale annuale pur considerando che, in relazione a particolari condizioni, questi 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 7.1 – Valutazione economica degli interventi

	Descrizione	Importo
1	A. Profilatura della sezione d'alveo con sezione trapezia	5 421 446.46
2	B. Realizzazione nuova arginatura a protezione della linea ferroviaria e della vicina stazione	1 194 013.60
3	C. Rinforzo strutturale del rilevato ferroviario esistente con nuova funzione di difesa idraulica	300 291.68
4	D. Rinforzo strutturale del rilevato ferroviario esistente con nuova funzione di difesa idraulica	158 048.25
5	E. Eliminazione della soglia in gabbioni posta in corrispondenza della foce fluviale, nuovo rinforzo e protezione delle fondazioni del ponte stradale	357 913.49
6	F: Manutenzione rilevato previsto al punto B (sponda destra a monte del Ponte Vecchio)	48 000.00
7	G: Manutenzione rilevato previsto al punto C	5 700.00
8	H: Manutenzione rilevato ferroviario esistente	8 700.00
9	I: Manutenzione rilevato previsto al punto D	6 060.00
10	L: Sistemazione idraulica reticolo a monte del nuovo argine in sponda destra, nella conformazione progettuale prevista per il punto B	250 400.00



**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

11	M: Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine rinforzato in sponda destra, nella conformazione progettuale prevista per il punto C	250 400.00
12	N: Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine rinforzato in sponda destra, nella conformazione progettuale prevista per il punto D	250 400.00



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

## 8 Scenari di intervento

### 8.1 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

Come già detto, 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, espresse come pericolosità idraulica riscontrate 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 prevede 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 stata riservata per le 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 i quali hanno privilegiato l'adeguamento di opere già esistenti per limitare gli impatti derivanti dalla realizzazione di nuove infrastrutture. Nella modulazione degli scenari si è tenuto in considerazione l'esigenza di procedere nella realizzazione per lotti funzionali che, pur nella loro parzialità, garantiscano un adeguato controllo e prevenzione delle pericolosità idrauliche.

Nel seguito sono presentati gli scenari di riferimento che sono stati considerati, con una sintetica descrizione delle varie componenti sia dal punto di vista progettuale che dal punto di vista dell'analisi costi benefici: in particolare nella configurazione di intervento individuata come "scenario zero" sono stati inseriti gli interventi non strutturali (prescrizioni, manutenzioni, interventi di ripristino della funzionalità di opere già esistenti ivi comprese le demolizioni a carico di opere la cui procedura di dismissione non è stata completata). Il rimanente scenario presenta quindi sia interventi strutturali che gli interventi non strutturali di cui sopra secondo una articolazione di seguito descritta.



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

## 8.2 SCENARIO 0 (STATO ATTUALE)

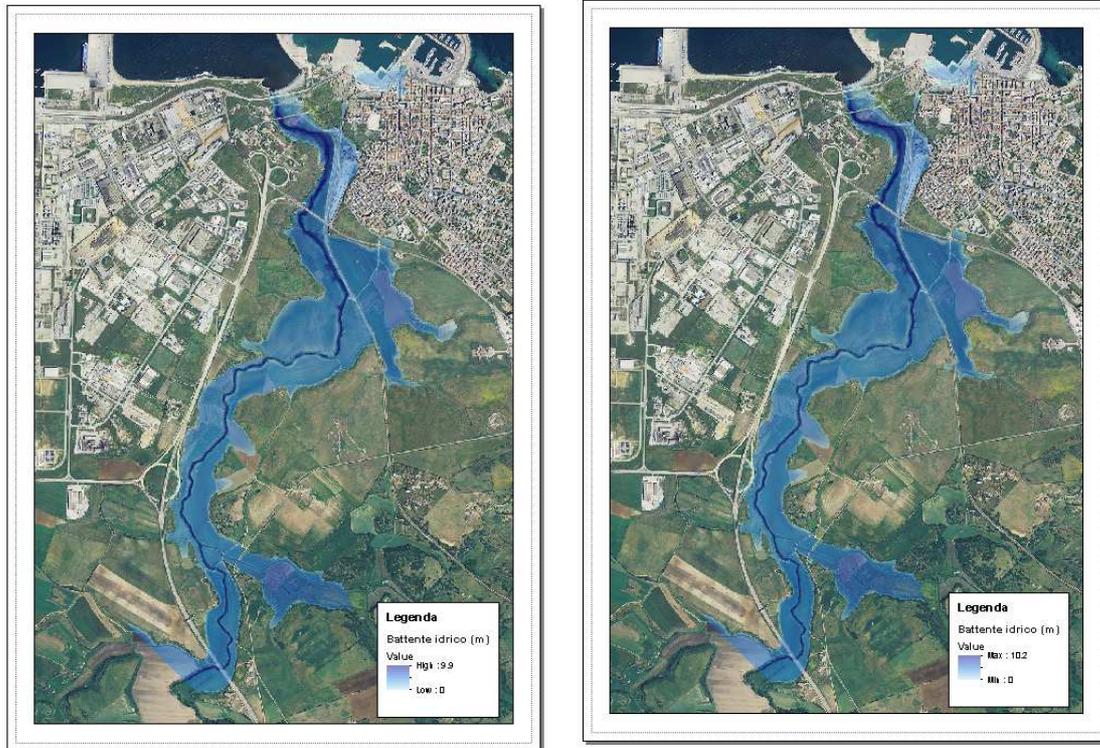


Figura 8-1 Scenario 0 - Aree di allagamento con tempi di ritorno di 50 anni 100 anni

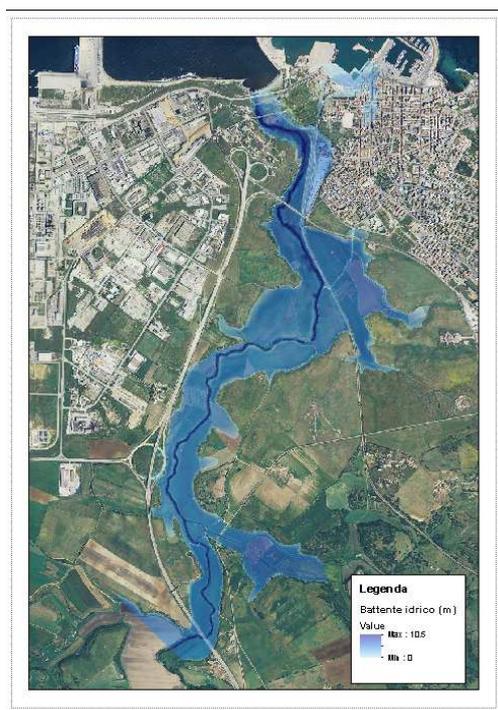


Figura 8-2 Scenario 0 - Aree di allagamento con tempi di ritorno di 200 anni

Nello Scenario 0 sono contemplati esclusivamente gli interventi di manutenzione dell'alveo e delle arginature esistenti lungo il corso d'acqua.

Comprende quindi sfalci della vegetazione sia in alveo che nelle parti di pertinenza ma sono esclusi interventi che possano determinare alterazioni della sezione idraulica.

Gli oneri di manutenzione computati nel presente scenario sono valutati in € 8700,00 all'anno.



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 8.1 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0"

TOTALE oneri manutenzione (per anno)	8.700,00
--------------------------------------	----------

Di seguito 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 8.2 - 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	1 376 448	713 471	1 411 347	757 913	1 444 749	797 715
C - COMMERCIALE	-	-	-	-		
H -CORPI IDRICI	-	-	-	-		
I - INDUSTRIALI	1	11	14	230	60	1 820
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	-	-	-	-		
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	59 466	-	61 467	-	63 350	-
N - STRADE COMUNALI	3 511	20 964	3 646	23 386	4 582	26 632
P - STRADE PROVINCIALI	248	3 355	248	3 737	363	4 147
R - RESIDENZIALE	36 704	9 451 423	43 880	11 563 637	67 755	17 076 089
S - STRADE STATALI	5 452	164 540	5 687	177 458	5 905	189 539
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	102 002	2 509 769	104 018	2 805 309	108 147	3 085 674
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	147 767	-	149 407	-	150 889	-
Totale	1 731 599	12 863 534	1 779 715	15 331 671	1 845 800	21 181 616

### 8.3 SCENARIO 1 – DIFESA DELL'ABITATO DI PORTO TORRES

Per questo corso d'acqua si è considerato un unico scenario di intervento (Scenario 1). L'obiettivo principale dello Scenario 1 è quello della messa in sicurezza delle aree in sponda destra, in particolare la linea ferroviaria, l'area riguardante la stazione ferroviaria con l'edificato restrostante, il parco archeologico di TurrisLibisonis e il ponte Romano.



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 riassumono di seguito le opere ricomprese in questo scenario, che riguardano:

- in sponda destra
- realizzazione di un muro d'argine in cls in sponda destra a protezione della linea ferroviaria e della vicina stazione
- rinforzo della linea ferroviaria mediante infissione di palancole in acciaio
- lungo l'alveo
- ricalibratura della sezione d'alveo con una sezione di tipo trapezia
- sul ponte Vespucci
- eliminazione della soglia in gabbioni in corrispondenza della foce
- interventi di protezione delle fondazione dei piloni

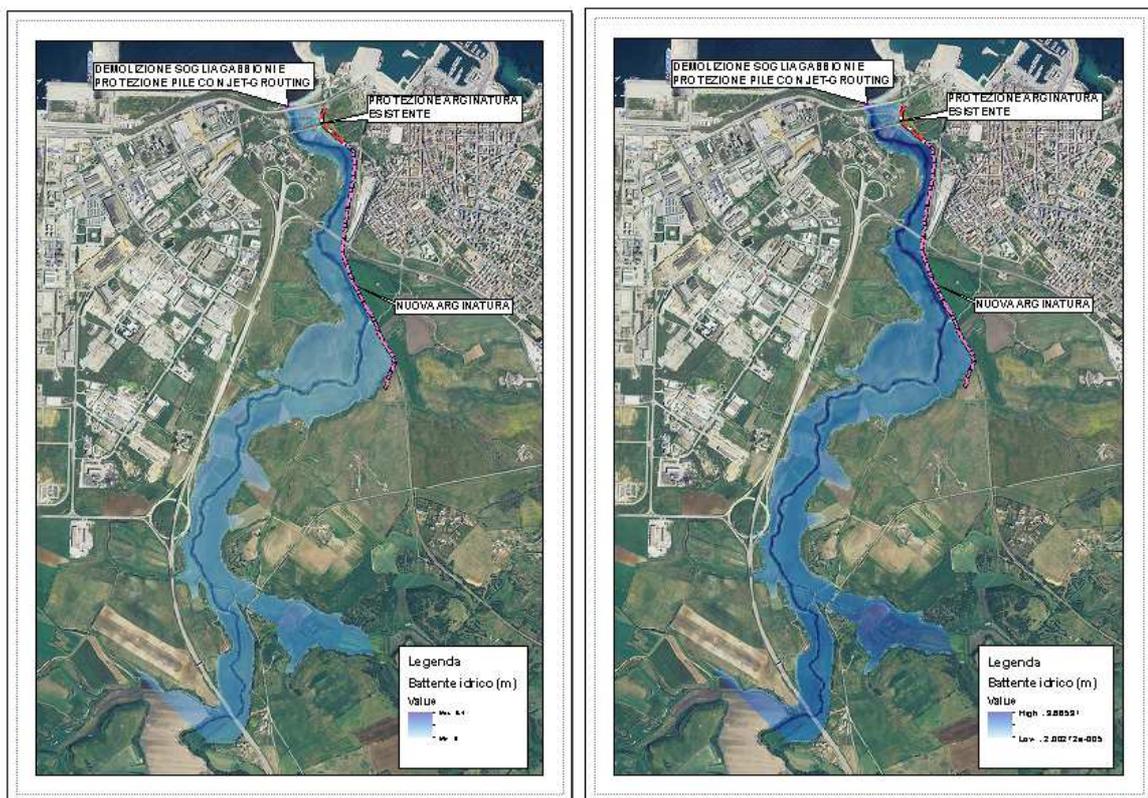


Figura 8-3 Scenario 1 - Aree di allagamento con tempi di ritorno di 50 anni e 100 anni



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

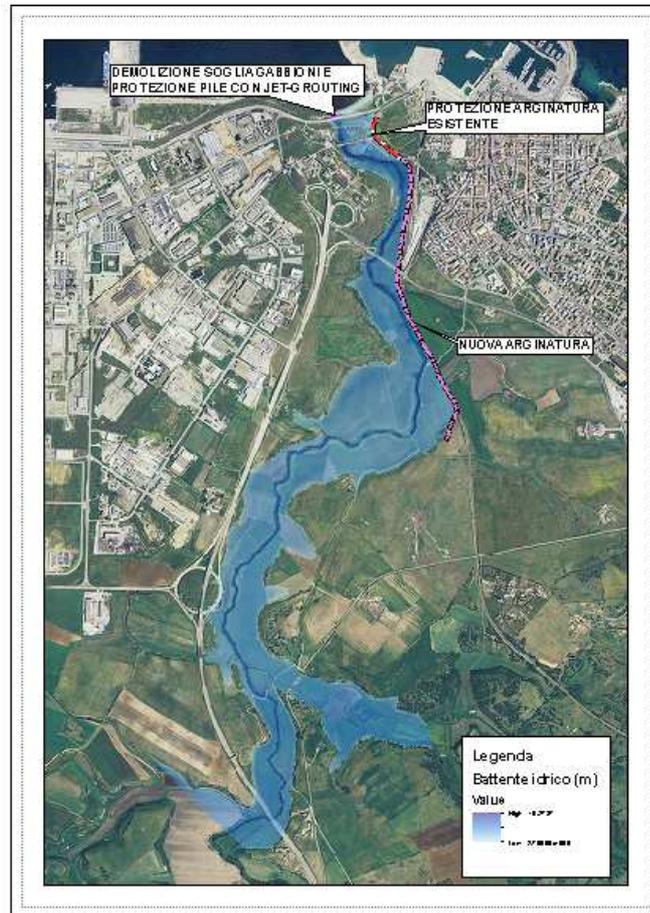


Figura 8-4 Scenario 1- Aree di allagamento con tempi di ritorno di 200 anni

Il prospetto dei costi è presentato nella tabella seguente, insieme con l'entità stimata per gli oneri di manutenzione



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 8.3 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"

INTERVENTI	IMPORTO
A. Profilatura della sezione d'alveo con sezione trapezia	5 421 446
B. Realizzazione nuova arginatura a protezione della linea ferroviaria e della vicina stazione	1 194 014
C. Rinforzo strutturale del rilevato ferroviario esistente con nuova funzione di difesa idraulica	300 292
D. Rinforzo strutturale del rilevato ferroviario esistente con nuova funzione di difesa idraulica	158 048
E. Eliminazione della soglia in gabbioni posta in corrispondenza della foce fluviale, nuovo rinforzo e protezione delle fondazioni del ponte stradale	357 913
L: Sistemazione idraulica reticolo a monte del nuovo argine in sponda destra, nella conformazione progettuale prevista per il punto B	250 400
M: Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine rinforzato in sponda destra, nella conformazione progettuale prevista per il punto C	250 400
N: Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine rinforzato in sponda destra, nella conformazione progettuale prevista per il punto D	250 400
TOTALE LAVORI	8 182 913
TOTALE SPESE GENERALI (16%)	1 327 437
TOTALE LAVORI E SPESE	9 510 350,50
<b>in cifra tonda</b>	<b>9 500 000,00</b>
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	59 760.00

Nella tabella seguente è consegnata, oltre l'estensione delle aree esondate con la configurazione studiata delle opere per tutti i tempi di ritorno studiati, anche la valutazione dei danni conseguenti in capo a ciascuna categoria di beni.



**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 8.4 – 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	1 075 597	534 031	1 100 777	575 458	1 124 950	610 665
C - COMMERCIALE	-	-	-	-	-	-
H -CORPI IDRICI	-	-	-	-	-	-
I - INDUSTRIALI	-	-	1	26	45	1 189
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	-	-	-	-	-	-
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	51 193	-	-	-	53 571	-
N - STRADE COMUNALI	2 263	10 733	2 654	13 721	2 833	16 478
P - STRADE PROVINCIALI	119	1 678	119	1 881	119	2 048
R - RESIDENZIALE	4 148	720 178	4 618	857 343	5 210	1 003 552
S - STRADE STATALI	5 443	166 492	5 544	179 741	5 856	192 083
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE,ELETTRICHE)	44 826	1 180 207	45 977	1 297 161	46 856	1 398 051
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	146 562	-	148 797	-	150 518	-
<b>Totale</b>	<b>254 554</b>	<b>2 079 289</b>	<b>260 148</b>	<b>2 349 847</b>	<b>264 963</b>	<b>2 612 213</b>



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 Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento

### 9.1 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, 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 un 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.

### 9.2 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’esonazione 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 come 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 importate sarà comunque considerata: riguarda la definizione del livello di pericolosità da associare a specifiche infrastrutture e, conseguentemente, al territorio sotteso.

La portata di piena  $Q_{amm}$  corrispondente a tale valore limite è stata valutata mediante l'analisi idraulica del tronco fluviale della valle del Rio Mannu di Portotorres ripetuta sistematicamente per valori differenti e per intervalli costanti, individuando di volta in volta le sezioni che presentano il franco idraulico minore.

I risultati dell'indagine sono stati presentati suddividendo il tratto fluviale in due tronchi come appresso specificato. Nelle tabelle che seguono si riportano 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.



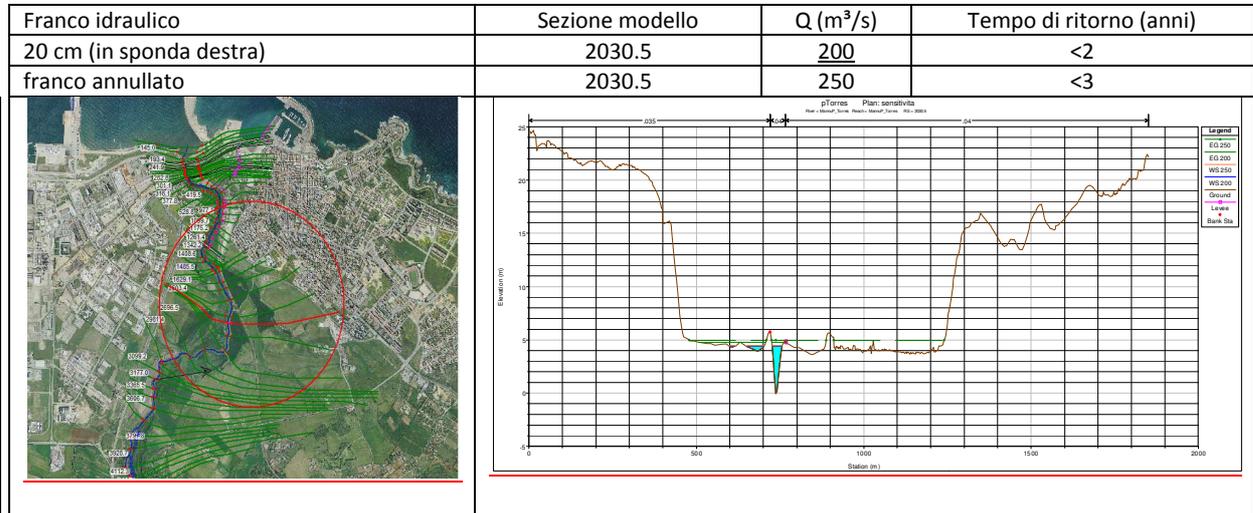
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna

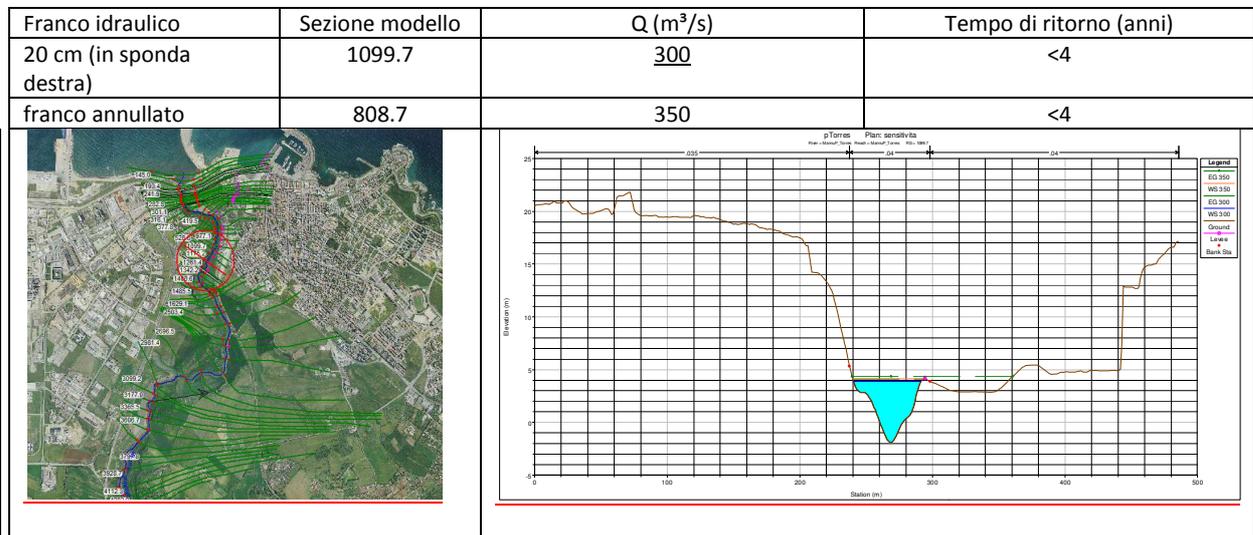


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA  
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

**1° Tronco: Dal ponte sulla SS 131 al Ponte colombo (circonvallazione dell'area industriale):**



**2° Tronco: dal Ponte Colombo alla foce.**





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

### 9.3 ANALISI ECONOMICA DEGLI SCENARI D'INTERVENTO IPOTIZZATI

Per gli scenari d'intervento definiti nel Capitolo 12, 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 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 Temo



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

#### 9.4 SCENARIO 0 – SITUAZIONE ATTUALE

Nello Scenario 0 sono contemplati esclusivamente gli interventi di manutenzione del corso d'acqua nella sua situazione attuale. Comprende quindi sfalci della vegetazione sia in alveo che nelle parti di pertinenza ma sono esclusi interventi che possano determinare alterazioni della sezione idraulica.

Gli oneri di manutenzione computati nel presente scenario sono valutati in € 8700,00 all'anno.

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

La valutazione dei danni di piena riferita allo stato attuale, già fornita nei capitoli precedenti 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.

Sulla base delle analisi sulle capacità di deflusso attuali, si ipotizza che l'annullamento dei danni si raggiunga per portate con tempo di ritorno inferiore a 5 anni.

In definitiva, i benefici medi annui conseguenti dalla realizzazione degli scenari di intervento 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 9.1 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 (€)
A - AGRICOLA	1 376 448	713 471	1 411 347	757 913	1 444 749	797 715
C - COMMERCIALE	-	-	-	-		
H -CORPI IDRICI	-	-	-	-		
I - INDUSTRIALI	1	11	14	230	60	1 820
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	-	-	-	-		
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	59 466	-	61 467	-	63 350	-
N - STRADE COMUNALI	3 511	20 964	3 646	23 386	4 582	26 632
P - STRADE PROVINCIALI	248	3 355	248	3 737	363	4 147
R - RESIDENZIALE	36 704	9 451 423	43 880	11 563 637	67 755	17 076 089
S - STRADE STATALI	5 452	164 540	5 687	177 458	5 905	189 539
T - INFRASTRUTTURE E RETI(IDRICHE,ELETTRICHE)	102 002	2 509 769	104 018	2 805 309	108 147	3 085 674
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	147 767	-	149 407	-	150 889	-
Totale	1 731 599	12 863 534	1 779 715	15 331 671	1 845 800	21 181 616



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

## 9.5 SCENARIO 1 – DIFESA DELL'ABITATO DI PORTO TORRES

L'obiettivo principale dello Scenario 1 è quello della messa in sicurezza delle aree in sponda destra, in particolare la linea ferroviaria, l'area riguardante la stazione ferroviaria con l'edificato retrostante, il parco archeologico di Turrilibisonis e il ponte Romano. Il tempo di ritorno considerato per l'evento critico è assunto  $Tr=200$  anni.

La valutazione complessiva dei costi di tali interventi, come descritta nei paragrafi precedenti, è di circa 9.5 milioni di euro comprensivo delle spese generali. Gli oneri di manutenzione si attestano in circa 59,8 mila euro per anno.

Rispetto alla situazione attuale (Scenario 0) si riscontra la sostanziale riduzione dell'estensione delle aree allagate e, conseguentemente, dei danni attesi per tutti i tempi di ritorno considerati. Nella tabella seguente è consegnata l'estensione delle aree vulnerate e la valutazione dei danni conseguenti con lo scenario di intervento ipotizzato.

**Tabella 9.2 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 (€)
A - AGRICOLA	1 075 597	534 031	1 100 777	575 458	1 124 950	610 665
C - COMMERCIALE	-	-	-	-	-	-
H - CORPI IDRICI	-	-	-	-	-	-
I - INDUSTRIALI	-	-	1	26	45	1 189
J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	-	-	-	-	-	-
K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE	51 193	-	-	-	53 571	-
N - STRADE COMUNALI	2 263	10 733	2 654	13 721	2 833	16 478
P - STRADE PROVINCIALI	119	1 678	119	1 881	119	2 048
R - RESIDENZIALE	4 148	720 178	4 618	857 343	5 210	1 003 552
S - STRADE STATALI	5 443	166 492	5 544	179 741	5 856	192 083
T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	44 826	1 180 207	45 977	1 297 161	46 856	1 398 051
X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	146 562	-	148 797	-	150 518	-
<b>Totale</b>	<b>254 554</b>	<b>2 079 289</b>	<b>260 148</b>	<b>2 349 847</b>	<b>264 963</b>	<b>2 612 213</b>

Nella Figura seguente sono riportati gli andamenti dei flussi attualizzati di costi e benefici e si riscontra come, in un arco temporale di circa 10 anni, si raggiunga l'ammortamento degli oneri sostenuti per la realizzazione delle opere previste nello scenario.

Come già detto, nelle valutazioni si è assunto cautelativamente che la riduzione del danno si esaurisca per  $Tr=5$  anni, sebbene, come documentato nei capitoli precedenti, la modellazione 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

evidenziato che già con tempi di ritorno inferiori nella situazione attuale si abbiano danni significativi sul territorio limitrofo.

In questa situazione, il valore della riduzione del danno media annua, ossia il beneficio medio annuo atteso dallo scenario di intervento è, pari a circa  $1.3 \times 10^6$  euro/anno.

Figura 17.1 - Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici

