



**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: Pramaera  
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



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## Sommario

1	Premesse .....	5
2	Descrizione sintetica del sistema idrografico.....	7
3	Bacino del rio Pramaera: Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF .....	8
4	Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale .....	14
4.1	Dimensionamento idraulico della sezione attuale.....	20
4.2	Volume di piena e aree esondate .....	22
5	Procedura operativa per il calcolo del danno di piena nel Bacino del Pramaera .....	23
5.1	Danno di piena relativo allo stato attuale.....	25
6	Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno .....	27
6.1	Metodologia di individuazione degli interventi .....	27
6.2	Inquadramento dello stato di fatto delle opere di salvaguardia idraulica del Pramaera .....	29
6.3	Definizione tipologica delle opere di sistemazione idraulica .....	35
6.4	Descrizione degli interventi a salvaguardia delle aree esondate.....	36
6.5	Stima del costo di realizzazione degli interventi.....	38
7	Scenari di intervento .....	40
7.1	Criteri di individuazione .....	40
7.2	Scenario 0 (stato attuale).....	41
7.3	Scenario 1.....	42
8	Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento .....	44
8.1	Premesse .....	44
8.2	Interazioni tra PGRA e Piani di emergenza .....	44
8.3	Analisi economica degli scenari d'intervento ipotizzati.....	46



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 - Criticità individuate dal PSFF per Lotzorai.....	10
Figura 3.2– Viabilità in prossimità dell'abitato di Lotzorai. Posizione del ponte sul rio S.S: 125 Orientale Sarda .....	12
Figura 3.3 – Stralcio modello PSFF con sezioni di calcolo: la freccia indica la confluenza con il rio Jannas .....	13
Figura 4.1 – Sezioni trasversali utilizzate nel modello idraulico del fiume Pramaera a valle della SS 125: a sinistra il modello del PSFF a destra il nuovo modello .....	15
Figura 4.2 – Aree interessate dalla piena duecentenaria generate con il nuovo modello .....	16
Figura 4.3 – Argine destro rio Pramaera (sezione di foce).....	17
Figura 4.4 – Argine destro rio Pramaera in verde e area interessata dalla piena duecentenaria .....	17
Figura 4.5 – Argine destro rio Pramaera: franchi sulla portata duecentenaria .....	18
Figura 4.6 – Argine destro rio Pramaera: franchi sulla portata duecentenaria (Right Levee Frbrd) ....	18
Figura 4.7 – Ponte sulla SS 125 e Ponte tubo.....	19
Figura 4.8 – Ponte sulla SS 125: franco sulla portata duecentenaria pari a 2.50 m .....	19
Figura 5.1 - Procedura di calcolo per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso .....	24
Figura 5.2 – Stato Attuale: grafico dell'andamento del danno da piena rispetto alla crescita dell'area allagata.....	26
Figura 6.1 – Pennelli a protezione delle aree agricole in sponda sinistra (circa 3 km a monte della SS 125). .....	30
Figura 6.2 – Pennelli a protezione delle aree agricole in sponda sinistra a monte ponte SS 125. ....	30
Figura 6.3 - Pennelli a protezione delle aree agricole in sponda sinistra.....	31
Figura 6.4 – Canalizzazione trapezia in calcestruzzo con savanella a valle della SS 125 (fonte PSFF) ..	31
Figura 6.5 – Argine destro Rio Pramaera .....	32
Figura 6.6 – Confluenza rio Jannas.....	32
Figura 6.7 - Opere arginali sul rio Pramaera a valle della SS. 125.....	33
Figura 6.8 - Foce del rio Pramaera e area depressa in sponda destra con campeggi sull'area dunale (circa 100 ha).....	34
Figura 6.9 – Nuovo argine in sponda sinistra del rio Pramaera L = 2015 m .....	37
Figura 6.10 – Area da sistemare dal punto di vista idraulico a monte del nuovo argine sinistro (110 ha). .....	38
Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per Tr=5 anni .....	49



**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 - Volumi di allagamento allo stato attuale .....	22
Tabella 5.2 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo .....	23
Tabella 5.3 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....	26
Tabella 6.4 – Valutazione economica degli interventi .....	39
Tabella 7.5 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0" .....	41
Tabella 7.6 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....	41
Tabella 7.7 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1" .....	42
Tabella 7.8 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno .....	43
Tabella 8.9 – Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno.....	48
Tabella 8.10 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno .....	49



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 1 Premesse

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

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

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

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

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



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

negli invasi, come sarà meglio definito nel seguito, ovvero per aggiornamenti specificatamente indicati da ARDIS e riscontrabili direttamente nelle modellazioni idrauliche già predisposte.

Di 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 Coghinis** ricadente nel Sub-Bacino 3. Pertanto, nella presente relazione monografica del rio Pramaera 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 Coghinis.

Ai fini operativi, come sarà meglio precisato nel seguito, si è concordato di realizzare una **prima fase di modellazione** replicando il funzionamento del modello HER-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 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 del rio Pramaera, principali criticità riscontrate, elementi di documentazione della modellazione idraulica, scenari di intervento previsti e loro giustificazione tecnico-economica.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 2 Descrizione sintetica del sistema idrografico

Il riu Pramaera trae origine dalle numerose sorgenti naturali carsiche poste alle falde del Supramonte di Urzulei (monte s'Azza Bianca, 1118 m s.m.), dove è denominato come riu Gurue, e scorre per circa 29 km in direzione nord-sud prima, ed ovest-est poi, sino allo sbocco a mare a Lotzorai, di fronte all'isola dell'Ogliastra, a nord di Arbatax.

L'asta assume lungo il percorso numerose denominazioni diverse: da monte verso valle riu Gurue, i riu Muros, riu Oddala, riu Iscra, riu Piligurtzie, riu Bacu Turbina, riu Iscra 'e is Anades, riu Abbadrida e infine Riu Pramaera.

Il corso d'acqua scorre all'altezza di Urzulei con alveo tipo monocursale, mantenendo un andamento irregolare in una valle stretta, a tratti incisa; solo localmente, in prossimità delle numerose confluenze laterali di rii secondari, la valle tende ad aprirsi. I numerosi e corti rii che confluiscono nel Pramaera hanno lunghezze limitate e pendenze elevate.

Oltrepassato il ponte della strada vicinale che attraversa il rio in loc. C. Arbulea, dopo circa 14 km da Urzulei, i versanti tendono a degradare verso l'asta con pendenze sempre meno elevate, la sezione valliva si allarga mentre l'alveo tipo passa da monocursale a ramificato: i rilievi rocciosi sono sostituiti da aree alluvionali subpianeggianti adibite prevalentemente a pascolo.

La pressione antropica è decisamente scarsa lungo tutta l'asta fluviale: sono pochi ed isolati gli insediamenti civili ubicati in area di pertinenza fluviale, e peraltro in prevalenza nell'area costiera di Lotzorai. Anche l'interferenza della rete stradale è modesta: sono solo tre i ponti stradali che attraversano il Pramaera.

A circa 1 km dalla costa, il torrente affianca il centro abitato di Lotzorai, lambito, oltre che dal riu Pramaera a nord, anche dal riu Girasole a sud. L'ambito del deflusso fluviale, scarsamente antropizzato, raggiunge Lotzorai mantenendo uno spiccato carattere naturale con alveo tipo ramificato: sono rare sin qui le opere e gli interventi di difesa di tipo idraulico.

Dal punto di vista delle opere di regimazione l'intero corso d'acqua può essere suddiviso in due tratte: la prima, a monte del ponte sulla SS125, ha un andamento naturale; la seconda, a valle del ponte è costituita da un primo segmento lungo 1300 m, rettilineo e a sezione trapezia, con savanella centrale rivestita interamente in calcestruzzo, larga mediamente 56 metri e da un secondo segmento di 650 m, nuovamente a tracciato naturale. La sezione disponibile nel tratto sagomato è di 140 m<sup>2</sup>, con pendenza dell'ordine di 0.18 %.

Il rio si presenta arginato in sponda destra in tutto il tratto di foce per una lunghezza di circa 900 metri. Per contro in sponda sinistra non è presente alcuna opera di contenimento delle piene.

In generale le aree a valle della SS125 sono a quote di poco superiori al fondo dell'alveo (1 o 2 m) per cui si allagano frequentemente, tanto che si è reso necessario bonificarle con un sistema di canali artificiali.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

### 3 Bacino del rio Pramaera: Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF

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

Come sintesi di quanto contenuto nella relazione idraulica e nelle cartografie di perimetrazione delle aree a rischio idraulico del presente Studio, nel seguito si fornisce una descrizione delle principali criticità riscontrate lungo il tronco fluviale del Pramaera.

Nel PSFF si sottolinea che gli eventi di piena del rio Pramaera sono caratterizzati da portate al colmo elevate ma rapidamente variabili, con durate contenute e elevato trasporto solido prodotto dal disfacimento delle rocce che caratterizzano le valli carsiche del bacino. Il rio presenta un regime spiccatamente torrentizio con alveo che divaga continuamente nelle alluvioni senza giungere a una condizione stabile.

Sempre in base a quanto riportato nella relazione monografica del PSFF le caratteristiche geomorfologiche dell'asta associate a quelle di deflusso in corso di piena indicano come l'asta del rio possa essere suddivisa in tre tronchi fluviali omogenei: tratto montano, medio-vallivo e vallivo regimato.

**Nel tratto montano** (circa 12 km) il deflusso delle portate di piena avviene con velocità medie alte: la pendenza elevata associata alla ristretta geometria della sezione di deflusso (la larghezza media di superficie libera è inferiore a 60 m) provoca velocità medie superiori a 3,5 m/s, con picchi, per la portata cinquecentennale, di oltre 5 m/s. La corrente defluisce prevalentemente in condizioni supercritiche: solo le locali ostruzioni causate dagli attraversamenti inducono profili di corrente lenta. Nel tratto non sono presenti centri abitati né opere idrauliche trasversali o longitudinali, mentre i pochi attraversamenti stradali appaiono inadeguati già al passaggio della portata con tempo di ritorno  $T = 50$  anni.

**Il tratto medio vallivo** ricopre la seconda metà del percorso fluviale, sino all'altezza del ponte della strada statale Orientale Sarda S.S.125 prospiciente Lotzorai (circa 12 km). L'alveo di piena ordinaria da monocursale si trasforma in ramificato. Le sponde fluviali, difese in sinistra da opere trasversali laterali (pennelli) funzionali ad allontanare dalla sponda il flusso principale della corrente, si distanziano di oltre 200 m. Le simulazioni evidenziano come la corrente defluisca in prossimità dello stato supercritico per tutto il tratto oggetto di studio e per tutti gli eventi considerati. Le larghe e disabitate aree alluvionali a monte di Lotzorai sono allagate per tempi di ritorno bassi: la presenza di alcuni canali riattivabili infatti favorisce la propagazione dell'evento alluvionale oltre l'alveo di piena ordinaria. E' tuttavia necessario osservare che la pressione antropica è quasi irrilevante lungo tutto il



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

tratto fluviale, pertanto il rischio idraulico appare limitato alle poche opere di attraversamento presenti. L'unico ponte stradale del tratto, in loc. Masone Maore, appare garantire condizioni di sicurezza rispetto a tutti i livelli calcolati nella simulazione idraulica. E' invece rilevante l'interferenza che il vecchio ponte canale della rete acquedottistica/irrigua ha durante gli eventi di piena: l'intera struttura, posta 5 km a monte di Lotzorai, a causa della limitata altezza dell'impalcato, si frappone integralmente al deflusso della corrente già per eventi con tempo di ritorno cinquantennale.

**Il Tratto vallivo regimato** è compreso tra il ponte della strada statale Orientale Sarda S.S.125 e la sezione di sbocco a mare; in questo tratto l'alveo passa da ramificato a prettamente artificiale, con sezione interamente rivestita in calcestruzzo e una arginatura continua in destra fino allo sbocco a mare. Le simulazioni evidenziano come la corrente defluisca in condizioni supercritiche per tutto il tratto e per tutti gli eventi considerati superiori all'evento di piena biennale; permettono inoltre di osservare l'adeguatezza in quota dell'argine e del ponte della strada statale Orientale Sarda S.S.125; il franco per entrambe le opere infatti è superiore a 1 m anche per l'evento catastrofico cinquecentennale. Le altezze idriche calcolate risultano contenute entro i 5 m, mentre le velocità, elevate nonostante la modesta pendenza, raggiungono anche i 4 m/s.

Ricordando che in generale il PSFF implementa due scenari uno ad argini non tracimabili e l'altro ad argini tracimabili, nel caso specifico si deve notare che l'analisi del comportamento idraulico del rio ha portato il PSFF a concludere che nel tratto vallivo regimato l'arginatura in sponda destra e il ponte sulla SS 125 sono in grado di contenere tutte le portate di calcolo e con franchi superiori al metro per cui la modellazione ha implementato solo lo scenario ad argini non tracimabili

Se si vanno ad analizzare i risultati riportati nel PSFF, si evidenzia che l'unica vera criticità interessa le aree in sponda sinistra del rio, che viene interessato da fenomeni di allagamento già a partire dalle portate cinquantenarie a causa dell'assenza di opere arginali, mentre l'abitato di Lotzorai risulta in quota rispetto ai livelli raggiunti dalle piene. Certo va precisato, anche nell'ottica di individuare uno scenario di intervento con l'approccio della minimizzazione del danno effettivo, che le aree in sponda sinistra, a fronte di una modesta presenza di case rurali, registrano diverse aree attrezzate a campeggio (ad esempio il Camping Solemar Località Interabbas) e un villaggio turistico (il Tancau Village – Località Interabbas), tutte ricadenti all'interno dell'area a pericolosità molto elevata.

Nella seguente Figura 3.1 si riportano alcuni dettagli su tali zone. Per una documentazione completa si rimanda al quadro di unione delle aree pericolose allegato allo studio.

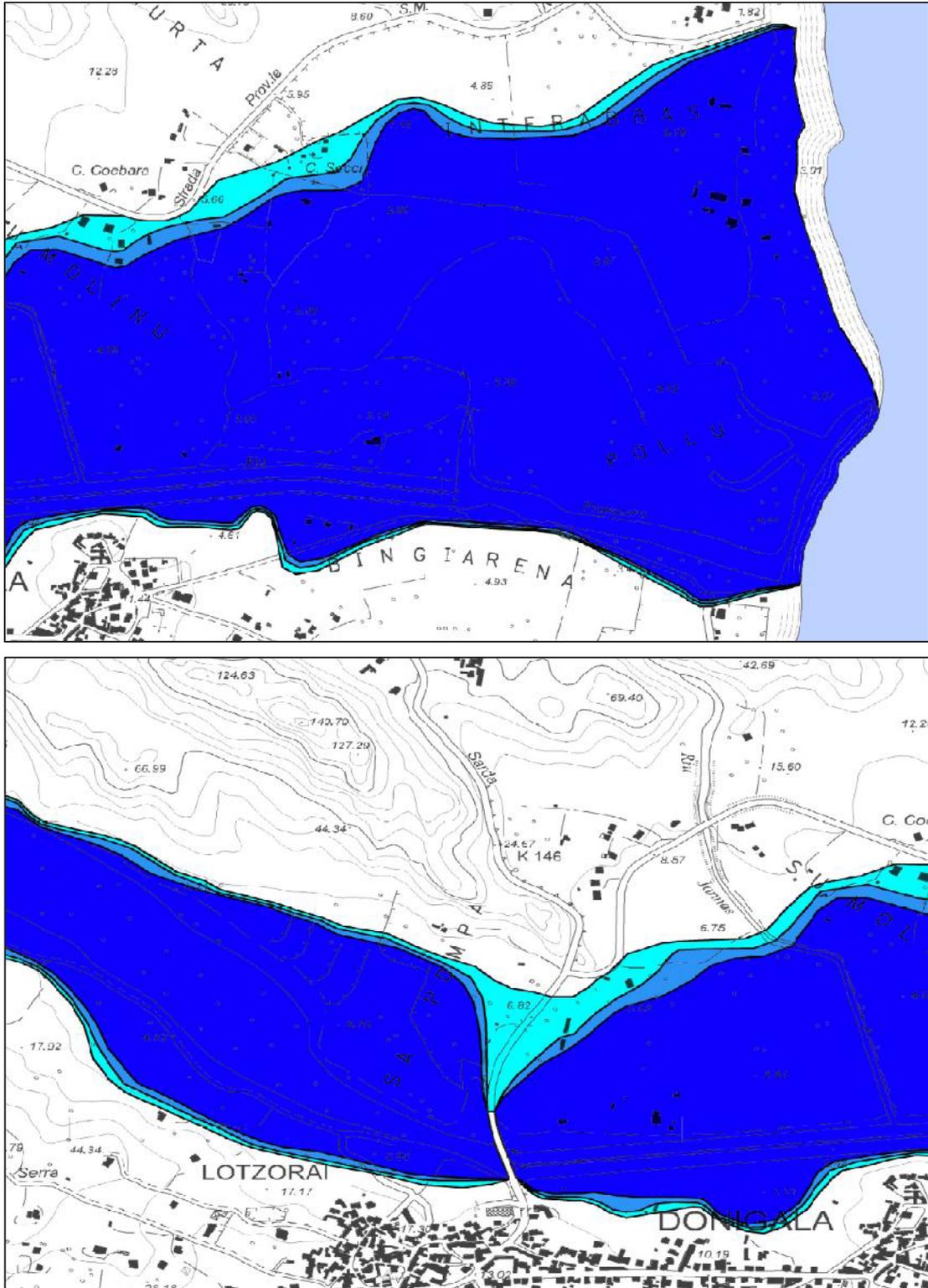


Figura 3.1 - Criticità individuate dal PSFF per Lotzorai



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

In particolare, la perimetrazione delle aree allagabili in sponda destra mostra come il centro abitato di Lotzorai non sia interessato da criticità in quanto le piene relative ai diversi tempi di ritorno vanno solo a lambire la periferia nord del paese interessando piccoli appezzamenti di terreno coltivati di pertinenza di alcune abitazioni che però non vengono lambite dalle piene.

Sempre in sponda destra la mappa delle aree allagabili mostra la buona tenuta dell'argine che si sviluppa dall'abitato verso la foce.

In sponda sinistra, come detto, l'allagamento è invece evidente e interessa aree estese di territorio agricolo, ma anche, nella parte più prossima al mare, un campeggio attrezzato e un villaggio turistico. Le ragioni dell'allagamento sono fondamentalmente legate all'assenza di opere arginali, ma anche alla presenza della confluenza in sinistra del rio Jannas (Figura 3.3) la cui incisione determina l'intrusione della piena dall'alveo verso le campagne.

Dal punto di vista infrastrutturale il PSFF non individua particolari criticità sia per la bassa presenza di opere di attraversamento che per la sostanziale tenuta di quelle poche esistenti.

Con riferimento alla piena bicentenaria le infrastrutture stradali di maggiore interesse che insistono lungo il tronco sono:

- **Ponte S.S.125 Orientale Sarda** (*progressiva 2334,79* Figura 3.2): è costituito da 3 luci, una ad arco e due a semiarco, per una lunghezza complessiva di circa 80 m ed appare adeguato al passaggio anche degli eventi più intensi: il franco misurato infatti è superiore a 1 m anche per l'evento catastrofico cinquecentennale. La geometria del ponte non sembra ostacolare significativamente, per effetto delle pile e delle spalle, il deflusso della corrente; inoltre il rivestimento in calcestruzzo del fondo e delle sponde sembra agevolare il moto tra le luci dell'attraversamento nonché garantire le fondazioni da eventuali azioni di scalzamento.
- **Ponte str.a comunale is Fossas - loc. Masone Maore** (*progressiva 9406,25*): tale ponte permette l'attraversamento della strada comunale Is Fossas in loc. Masone Maore mediante quattro arcate di 20 m di luce ciascuna e quota di intradosso sufficiente a garantire il passaggio di portate con tempo di ritorno anche cinquecentennale.
- **Ponte str.a vicinale loc. C. Arbulea** (*progressiva 13839,20*): struttura interamente sommersa già con le piene più frequenti: la contrazione della luce di deflusso associata alla quota relativamente bassa dell'estradosso provoca il sormonto dell'impalcato per portate prossime ad un tempo di ritorno  $T=50$  anni;
- **Ponte dismesso Bau Scusiau** (*progressiva 16905,36*), struttura interamente sommersa con portate prossime ad un tempo di ritorno  $T=50$  anni;
- **Ponte str.a vicinale in loc. Tombe de su Tinniargiu** (*progressiva 25240,80*) crea una interferenza significativa e già con portate cinquantenarie il ponte è sommerso e impraticabile.

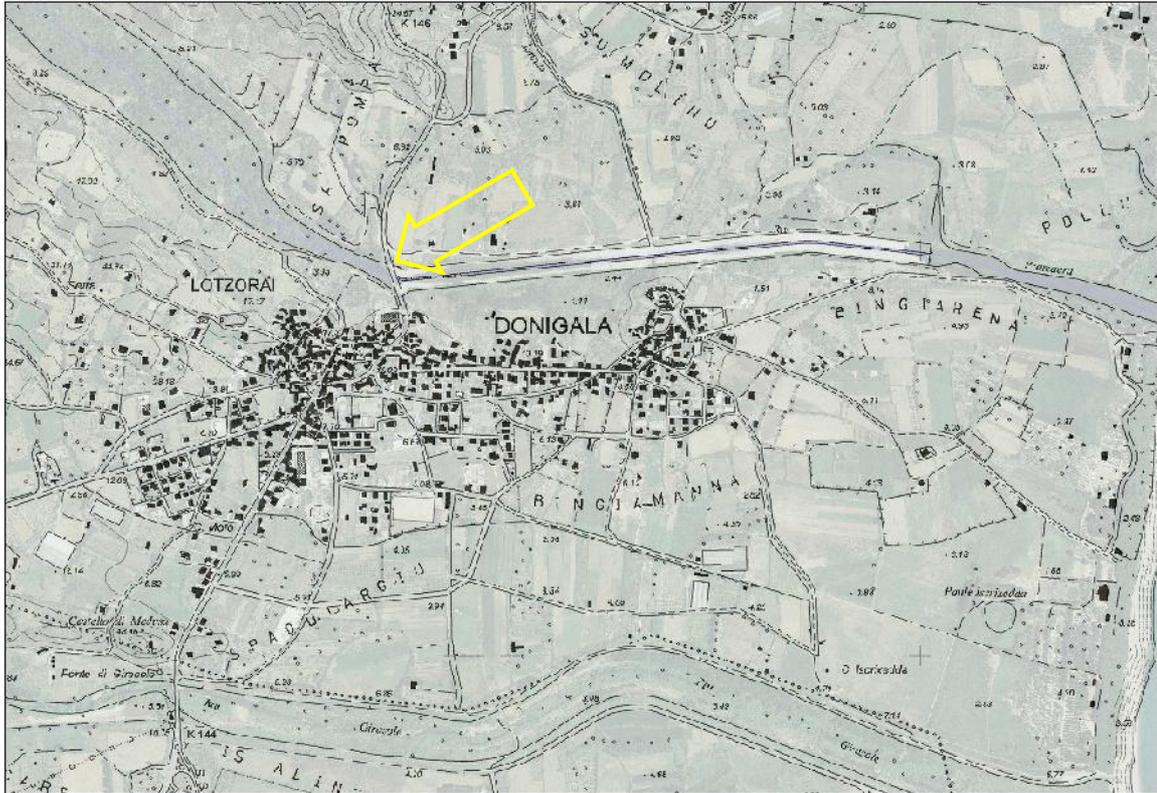


Figura 3.2– Viabilità in prossimità dell’abitato di Lotzorai. Posizione del ponte sul rio S.S: 125 Orientale Sarda

Per quanto riguarda altre opere di trasporto interessate dalle aree allagabili in particolare per il settore idrico e irriguo, si deve valutare l’esistenza di opere lungo linea o di tubazioni fondate in aree soggette all’azione della corrente fluviale. Dall’osservazione della cartografia disponibile, che presenta una ubicazione indicativa dei tracciati effettivi, si riscontra quanto di seguito descritto:

Oltre alle strutture stradali sono presenti anche altri due attraversamenti della rete acquedottistica e/o irrigua: un vecchio ponte canale (*progressiva 7979,12*) ed un più recente ponte tubo (*progressiva 2320,34*). L’attività di sopralluogo in situ ha permesso di constatare che l’interferenza del ponte tubo è trascurabile in quanto non altera, per ingombro, forma e quota, il profilo di corrente del torrente. E’ invece rilevante l’interferenza che il ponte canale ha durante gli eventi di piena: l’intera struttura, a causa della limitata quota dell’impalcato, si frappone integralmente al deflusso della corrente già per eventi con tempo di ritorno cinquantennale

Si coglie l’occasione per osservare che il **modello idraulico del PSFF presenta alcune criticità** riguardanti la geometria adottata per rappresentare l’asta fluviale, sia riguardo al numero che alla disposizione ed estensione delle sezioni trasversali di modello. In particolare, in una corretta predisposizione delle sezioni trasversali di calcolo è necessario che esse siano disposte



ortogonalmente alla direzione della corrente di piena e quindi quasi mai esse appariranno come elementi geometrici lineari, ma più spesso avranno un andamento curvilineo approssimabile da una spezzata. Inoltre, le sezioni dovrebbero avere una estensione tale da intercettare, in caso di esondazione, la superficie del pelo libero, evitando che il software di calcolo, non riuscendo a confinare la piena, eriga degli argini virtuali che portano inevitabilmente ad una sovrastima dei livelli idrici e delle aree di allagamento.

Una terza criticità riguarda, inoltre, il fatto che le sezioni considerate nel PSFF sono mediamente distanti circa 500/600 m per cui ad esempio il tratto vallivo del rio è modellato con appena 4,5 sezioni di calcolo. In questo modo aumenta la probabilità che non vengano implementate nel modello di simulazione informazioni topografiche importanti come ribassi arginali, confluenze di rii minori (rio Jannas Figura 3.3), variazioni di sezione o altri elementi che, generando discontinuità locali, provocano conseguenze sui fenomeni di allagamento e sulla mappatura delle aree pericolose.



Figura 3.3 – Stralcio modello PSFF con sezioni di calcolo: la freccia indica la confluenza con il rio Jannas



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 4 Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale

La necessità di aggiornare la modellazione idraulica nello stato attuale, introducendo modifiche 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 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 i relativi battenti idrici.

In termini di dati di input il nuovo modello monodimensionale ha considerato il medesimo tronco fluviale analizzato dal PSFF che comprendeva n. 70 sezioni trasversali (non interpolate e comprensive di quelle corrispondenti alle infrastrutture stradali), ma le stesse sezioni sono state riestrate dal DTM 1 m, estese fino a intercettare il pelo libero e incrementate a valle della SS125 fino a 155 sezioni (Figura 4.1) per tenere conto:

1. Della variabilità topografica del territorio;
2. Dei raggi di curvatura relativamente piccoli dell'asta fluviale;
3. Dei tracciati planimetrici dei corpi arginali;
4. Delle discontinuità generate da confluenze o cambi di sezione

Sempre in termini di dati input nel nuovo modello idraulico predisposto in questo studio si è optato per conservare sia l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza, come considerati nel PSFF, sia le condizioni al contorno, le quali sono state mantenute a monte (altezza di moto uniforme corrispondente alla pendenza del 4 per cento) come a valle (livello idrico sulla spiaggia pari a +1.80 sul medio mare). Anche la geometria delle strutture trasversali di attraversamento, come l'impalcato del ponte sulla SS 125, in quanto dichiaratamente originata da un rilievo locale, è stata conservata.

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

L'analisi idraulica è stata eseguita per eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

Riguardo alla presenza delle arginature, il modello aggiornato ha valutato che gli stessi siano adeguati al contenimento della corrente di piena a condizione che la quota del pelo libero non superi quella



corrispondente al franco di 50 cm rispetto al colmo arginale. Nel caso di quote idriche maggiori della soglia indicata, l'argine viene considerato sovrastato (opzione levee non applicata).

E' fondamentale spiegare che l'aggiornamento e l'affinamento del modello ha riguardato soprattutto la parte a valle del ponte sulla SS 125 (Figura 4.1), in quanto solo in queste aree risultano presenti elementi a rischio di classe elevata (E3 o E4) ed è quindi importante fare una valutazione dettagliata del danno di piena. In ciò si spiega il fatto che layout e rappresentazioni grafiche si limitano a disegnare quanto accade in questa porzione di territorio, ritendendo poco significativa una valutazione del danno da piena nelle zone agricole e scarsamente abitate a monte della SS 125.

Il nuovo studio idraulico ha consentito in definitiva di attribuire ai circa 5 kmq di aree allagate un battente idrico con risoluzione spaziale di 1 m con la disponibilità delle velocità.



**Figura 4.1 – Sezioni trasversali utilizzate nel modello idraulico del fiume Pramaera a valle della SS 125: a sinistra il modello del PSFF a destra il nuovo modello**

#### Confronto tra aree pericolose nel modello PSFF e nuovo modello aggiornato

Rispetto al modello idraulico del PSFF (caratterizzato da arginatura destra non sormontabile) il risultato delle simulazioni non ha evidenziato sostanziali differenze sulla estensione delle aree allagabili sia in sponda destra che in sponda sinistra: modeste differenze si presentano localmente per l'aggiornamento della base topografica utilizzata nella costruzione della geometria delle sezioni trasversali e nella fase di restituzione sul terreno dei tiranti idrici e delle aree allagabili.



In generale l'allagamento (Figura 4.2), in coerenza con quanto già indicato nel PSFF, coinvolge la sponda sinistra a valle della SS 125, interessando zone prevalentemente agricole con una modesta presenza di case rurali e diverse aree attrezzate a campeggio (ad esempio il Camping Solemar Località Interabbas) e un villaggio turistico (il Tancau Village – Località Interabbas). Per le portate duecentenarie i battenti in tutta l'area di allagamento sinistra si attestano mediamente intorno ai 2 metri, anche se vi sono diverse porzioni di agro che sono interessate da altezze d'acqua di poco meno di 0.5 metri e una intera zona in quota che resta sostanzialmente all'asciutto, laddove il PSFF tracciava una pericolosità molto elevata. D'altra parte dal punto di vista della pericolosità l'isola di terreno circondata da aree di un certo livello di pericolosità va ritenuta pericolosa con lo stesso grado di pericolosità.



Figura 4.2 – Aree interessate dalla piena duecentenaria generate con il nuovo modello

In sponda destra si conferma la efficacia dell'argine in terra (Figura 4.2 e Figura 4.3), che presenta franchi idraulici sulla portata duecentenaria un po' ovunque superiori al metro ad eccezione che nella parte fociva dove i franchi scendono localmente a circa 40 cm (sezione 367.32).

In questa ottica considerando i soli parametri geometrici e non considerando eventuali fenomeni di sifonamento, l'argine destro del rio Pramaera (Figura 4.3) è sufficiente dal punto di vista



dimensionale ed è modellato dunque con scenario ad argini non trascinabili. Si riporta allo scopo uno stralcio del profilo del pelo libero per la portata duecentenaria (Figura 4.4 Figura 4.5) e il tabulato delle sezioni (Figura 4.6) corrispondenti al tratto arginato con evidenza del franco idraulico.



Figura 4.3 – Argine destro rio Pramaera (sezione di foce).

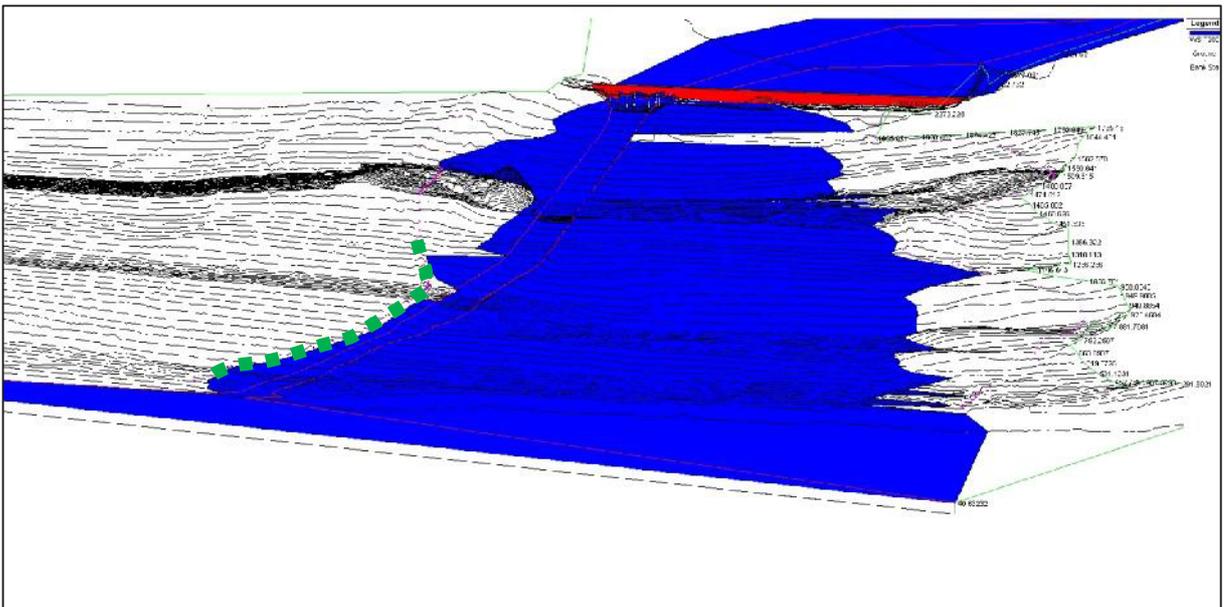


Figura 4.4 – Argine destro rio Pramaera in verde e area interessata dalla piena duecentenaria

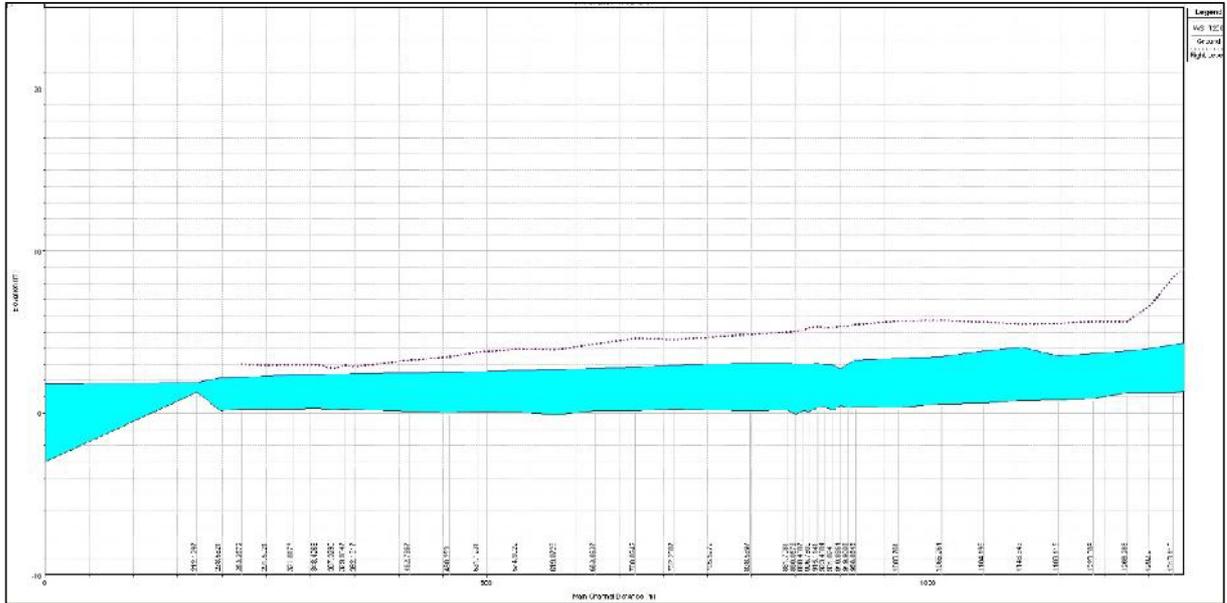


Figura 4.5 – Argine destro rio Pramaera: franchi sulla portata duecentenaria

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Max Chl Dpth (m)	Vel Total (m/s)	Froude # Chl	R. Levee Frbrd (m)
PRAMAERA	PRAMAERA	1266.286	T200	1390.00	1.24	3.85	2.61	3.66	1.60	2.72
PRAMAERA	PRAMAERA	1228.009	T200	1390.00	0.89	3.66	2.77	3.68	1.68	2.00
PRAMAERA	PRAMAERA	1188.115	T200	1390.00	0.83	3.51	2.68	3.79	1.68	2.02
PRAMAERA	PRAMAERA	1146.643	T200	1390.00	0.78	4.06	3.28	1.69	0.83	1.50
PRAMAERA	PRAMAERA	1104.198	T200	1390.00	0.62	3.84	3.22	1.96	0.93	1.80
PRAMAERA	PRAMAERA	1055.254	T200	1390.00	0.59	3.46	2.87	2.55	1.14	2.29
PRAMAERA	PRAMAERA	1006.761	T200	1390.00	0.36	3.39	3.03	2.15	1.00	2.29
PRAMAERA	PRAMAERA	958.8648	T200	1390.00	0.38	3.29	2.91	2.10	1.03	2.18
PRAMAERA	PRAMAERA	949.9005	T200	1390.00	0.34	3.05	2.71	2.28	1.24	2.32
PRAMAERA	PRAMAERA	940.8854	T200	1390.00	0.47	2.74	2.27	2.63	1.58	2.66
PRAMAERA	PRAMAERA	931.824	T200	1390.00	0.20	3.00	2.80	1.73	0.92	2.27
PRAMAERA	PRAMAERA	923.4684	T200	1390.00	0.38	2.99	2.82	1.73	0.90	2.29
PRAMAERA	PRAMAERA	915.1141	T200	1390.00	0.36	3.08	2.73	1.38	0.67	2.24
PRAMAERA	PRAMAERA	906.7609	T200	1390.00	0.10	3.04	2.94	1.41	0.69	2.24
PRAMAERA	PRAMAERA	896.4087	T200	1390.00	0.13	3.03	3.02	1.35	0.65	2.11
PRAMAERA	PRAMAERA	890.0579	T200	1390.00	-0.09	3.05	3.14	1.22	0.57	2.05
PRAMAERA	PRAMAERA	881.7081	T200	1390.00	0.20	3.06	2.96	1.17	0.55	1.99
PRAMAERA	PRAMAERA	838.5897	T200	1390.00	0.13	3.07	2.94	1.16	0.39	1.80
PRAMAERA	PRAMAERA	795.5272	T200	1390.00	0.20	3.03	2.83	1.24	0.41	1.68
PRAMAERA	PRAMAERA	752.2507	T200	1390.00	0.26	2.95	2.69	1.44	0.51	1.61
PRAMAERA	PRAMAERA	708.8242	T200	1390.00	0.15	2.86	2.71	1.50	0.55	1.78
PRAMAERA	PRAMAERA	663.8837	T200	1390.00	0.16	2.78	2.62	1.58	0.62	1.44
PRAMAERA	PRAMAERA	619.0726	T200	1390.00	-0.11	2.70	2.81	1.60	0.65	1.24
PRAMAERA	PRAMAERA	574.9922	T200	1390.00	0.07	2.65	2.58	1.41	0.54	1.31
PRAMAERA	PRAMAERA	531.1231	T200	1390.00	0.12	2.58	2.46	1.46	0.58	1.17
PRAMAERA	PRAMAERA	498.253	T200	1390.00	0.02	2.54	2.52	1.39	0.55	1.02
PRAMAERA	PRAMAERA	452.7857	T200	1390.00	0.10	2.49	2.39	1.32	0.51	0.78
PRAMAERA	PRAMAERA	392.1817	T200	1390.00	0.22	2.43	2.33	1.24	0.47	0.42
PRAMAERA	PRAMAERA	379.9047	T200	1390.00	0.27	2.41	2.31	1.27	0.48	0.56
PRAMAERA	PRAMAERA	367.3293	T200	1390.00	0.24	2.40	2.41	1.26	0.48	0.36
PRAMAERA	PRAMAERA	348.4266	T200	1390.00	0.29	2.38	2.19	1.25	0.46	0.63
PRAMAERA	PRAMAERA	321.0173	T200	1390.00	0.27	2.36	2.20	1.23	0.45	0.65
PRAMAERA	PRAMAERA	291.5021	T200	1390.00	0.27	2.30	2.20	1.34	0.51	0.67
PRAMAERA	PRAMAERA	263.2872	T200	1390.00	0.27	2.22	2.24	1.56	0.62	0.85
PRAMAERA	PRAMAERA	238.5621	T200	1390.00	0.13	2.16	2.03	1.57	0.62	
PRAMAERA	PRAMAERA	212.1297	T200	1390.00	1.29	1.88	1.67	2.52	1.04	
PRAMAERA	PRAMAERA	40.63232	T200	1390.00	-3.00	1.80	4.80	0.13	0.02	0.20

Figura 4.6 – Argine destro rio Pramaera: franchi sulla portata duecentenaria (Right Levee Frbrd)



**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

Relativamente al comportamento delle infrastrutture stradali, limitando l'analisi al ponte sulla SS 125 (Figura 4.7), si conferma che la portata con T200 transita con un franco di circa 2.50 m a testimoniare il corretto dimensionamento del ponte, in coerenza con il PSFF (Figura 3.1). Più in generale in corrispondenza delle opere di attraversamento, con riferimento alla piena T200, sono state rideterminate le quote idriche, ritrovando in parte il quadro di criticità già delineato nel PSFF.



Figura 4.7 – Ponte sulla SS 125 e Ponte tubo

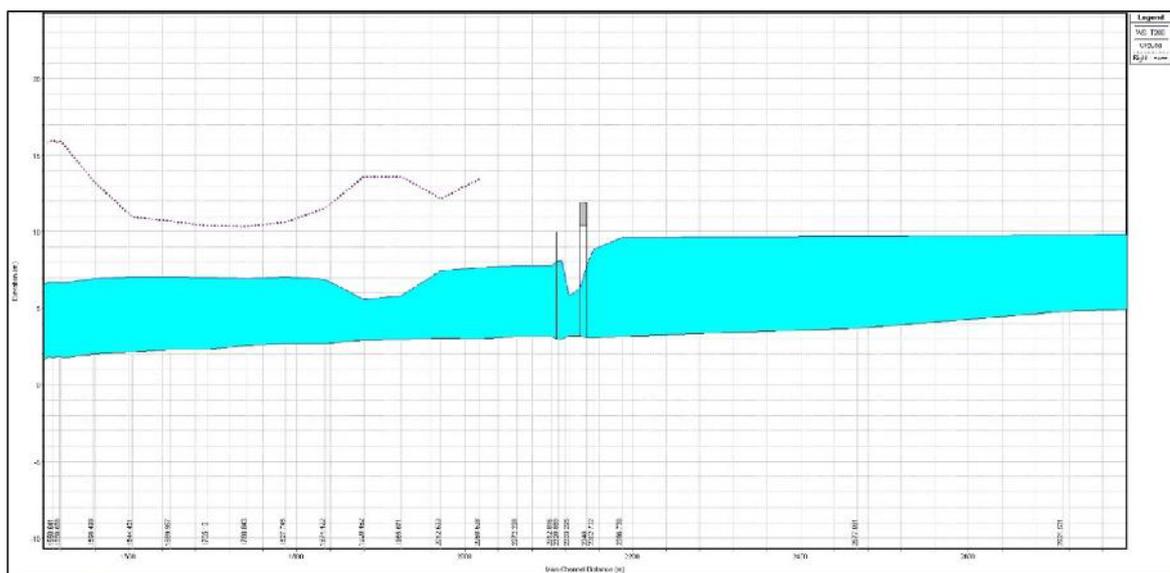


Figura 4.8 – Ponte sulla SS 125: franco sulla portata duecentenaria pari a 2.50 m



**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

#### 4.1 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLA SEZIONE ATTUALE

Uno dei parametri che è stato necessario stimare per una corretta valutazione del danno effettivo è stato quello della portata compatibile con l'attuale sezione idraulica del rio che di seguito è definita come portata di piena  $Q_{amm}$ , intendendosi con questo termine la portata che determina l'esondazione del rio Pramaera in sponda sinistra.

Si premette che la geometria del modello idraulico, aggiornata con l'utilizzo dei dati Lidar, ha permesso di stabilire in maniera sistematica l'andamento altimetrico del suolo 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 spondali del rio Pramaera sono sgombre da vegetazione massiva o di alto fusto, si può valutare la migliore prestazione del dato rilevabile con l'ausilio del Lidar. In tal senso, l'incertezza derivante dal dato altimetrico sulla geometria della sezione e quindi sul suo dimensionamento, deve essere necessariamente rapportata a questa accuratezza: la condizione che induce al superamento della quota di sponda e quindi alla esondazione del rio 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 a valle del ponte sulla SS 125 ripetuta sistematicamente per valori differenti e per intervalli costanti, individuando di volta in volta le sezioni che presentano il franco idraulico minore. Trovata la  $Q_{amm}$  questa è stata associata ad un tempo di ritorno  $T$  mediante l'inversione del metodo diretto TCEV.

I risultati dell'indagine sono presentati di seguito. Nelle tabelle 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

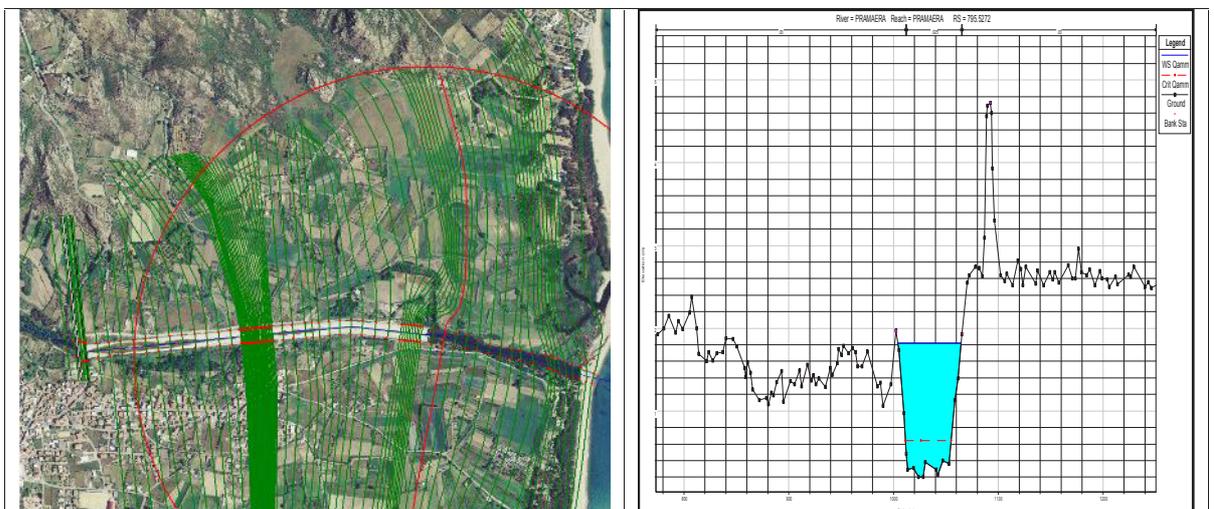
**1° Tronco: Dal ponte SS 125 fino alla sezione 881.71 – tratto artificiale rettificato:**

Franco idraulico	Sezione modello	Q (m <sup>3</sup> /s)	Tempo di ritorno (anni)
20 cm (in sponda sinistra)	1689.96	385	8
franco annullato	1689.96	425	9



**2° Tronco: Dalla sezione 881.71 fino alla foce – tratto naturale:**

Franco idraulico	Sezione modello	Q (m <sup>3</sup> /s)	Tempo di ritorno (anni)
franco annullato	795.53	80	2





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



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

## 4.2 VOLUME DI PIENA E AREE ESONDATE

Inoltre, sulla base delle analisi idrauliche effettuate sono stati calcolati i volumi idrici che determinano l'allagamento delle aree perimetrate: il valore è stato ottenuto sommando i valori del battente idrico calcolati come indicati nel dataset di allagamento (in formato GRID) determinato per ciascuno dei tempi di ritorno di calcolo.

**Tabella 4.1 - Volumi di allagamento allo stato attuale**

---

Tr (anni)	W (m <sup>3</sup> )
50	6'599'438
100	7'732'527
200	8'792'845



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 calcolo del danno di piena nel Bacino del Pramaera

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

Il calcolo si basa sul database DBEE degli elementi d'uso riclassificati in categorie di danno a ciascuno dei quali è stato associato un valore massimo di danno specifico espresso in euro a metro quadrato (Tabella 5.2).

**Tabella 5.2 - 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

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

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



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

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

Per poter associare a ciascun elemento della mappa allagabile la destinazione d'uso propria della mappa degli elementi esposti del DBEE è necessario effettuare la sovrapposizione con lo strato informativo batimetrico per un assegnato tempo di ritorno. Per effettuare tale sovrapposizione, la mappa delle aree allagabile con i battenti idrici (in formato raster) nativamente alla risoluzione di 1 m è stata oggetto di ricampionamento con una risoluzione al terreno di 3 x 3 metri e quindi vettorializzata con tema poligonale. Il risultato è rappresentato da uno strato informativo contenente la batimetria dell'allagamento, ad elementi quadrangolari ciascuno avente area minore o al più uguale a 9 m<sup>2</sup>.

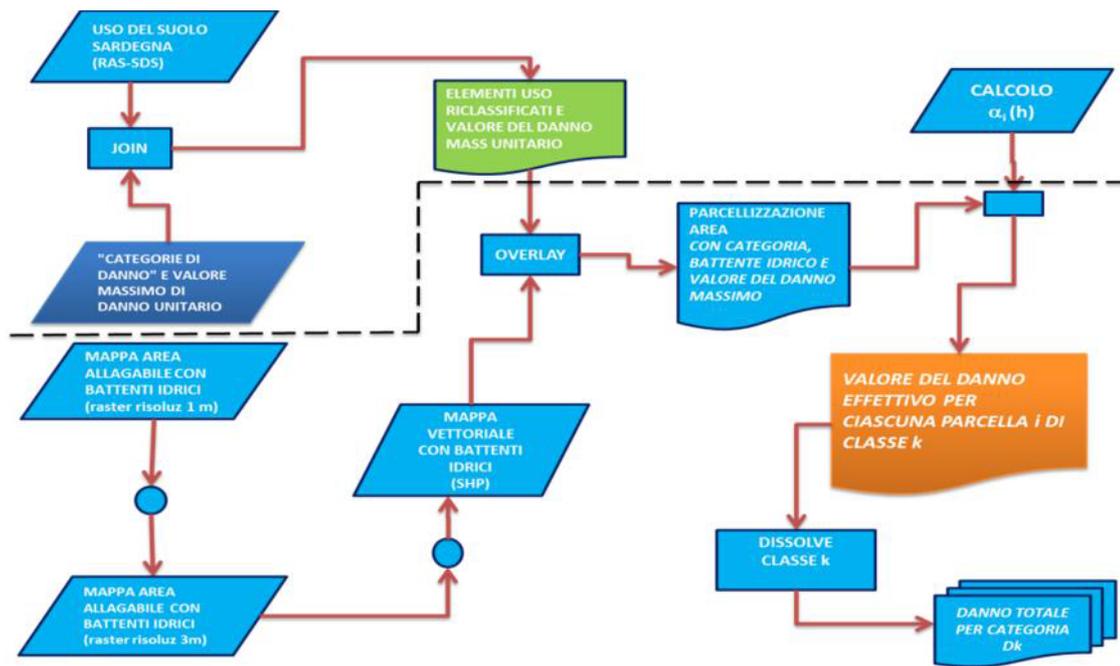


Figura 5.1 - Procedura di calcolo per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

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

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

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

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

## 5.1 DANNO DI PIENA RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

Preliminarmente, considerando lo stato di fatto attuale, la simulazione idraulica degli eventi di piena assunti a riferimento ( $T_r=50, 100$  e  $200$  anni) ha individuato l'estensione dell'area vulnerata. Complessivamente sono interessati poco più di  $5 \text{ km}^2$  di territorio destinati alle categorie d'uso individuate in Tabella 5.2. Sulla base della suddivisione in classi degli elementi territoriali, nella Tabella 5.3 sono riportate le aree interessate ed esposte al danno di piena complessivamente e per categoria attribuita. In Tabella la estensione è riportata con riferimento ai tre tempi di ritorno dell'evento di piena. Per ciascun evento, la tabella riporta, inoltre, la stima del valore del danno di piena.

La figura successiva (Figura 5.2) evidenzia come, nel passaggio dal tempo di ritorno da 50 a 100 anni, la crescita del danno è più che proporzionale a quella dell'area esondata, mentre la crescita è quasi proporzionale nel passaggio dall'evento centenario a quello bicentenario.

Questo andamento è da attribuire soprattutto all'incremento del battente idrico che si ha nel passaggio da  $T_{50}$  a  $T_{100}$  che risulta maggiore di quello corrispondente al passaggio da  $T_{100}$  a  $T_{200}$ .



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

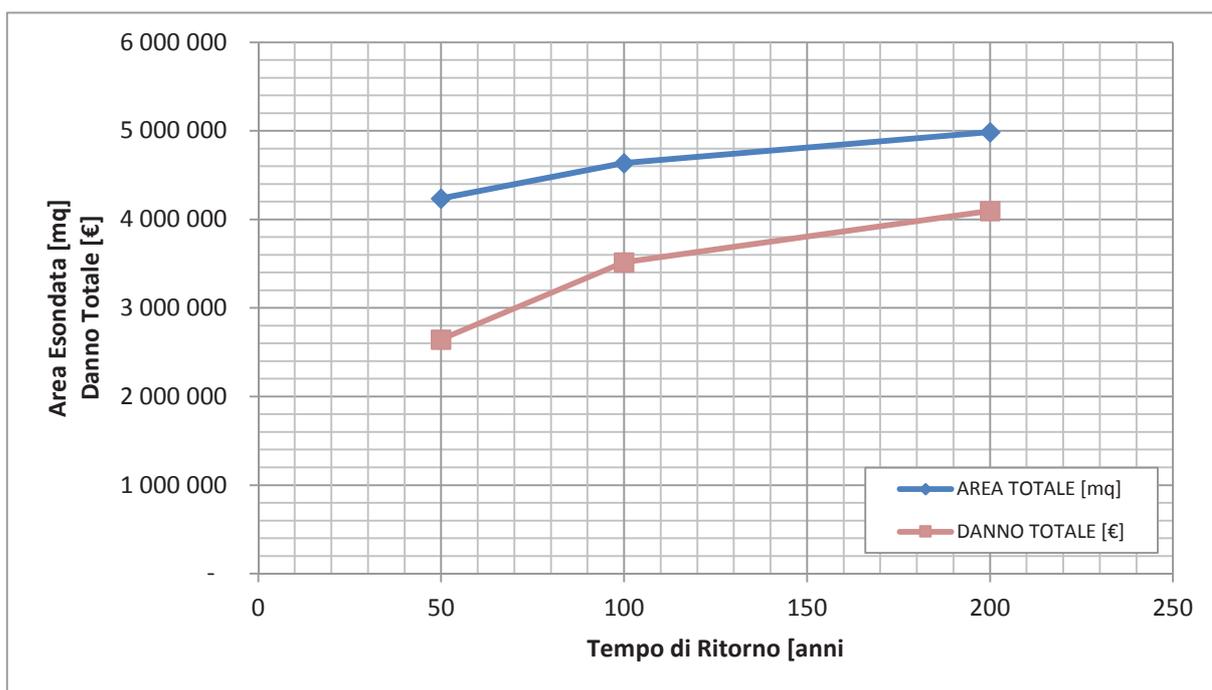
PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

**Tabella 5.3 - 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	2699730.99	846624.27	2999434.12	989462.41	3249733.76	1104653.99
H-CORPI IDRICI	277976.23	0.00	279451.50	0.00	279891.77	0.00
J-AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	26623.06	0.00	27319.60	0.00	28079.42	0.00
N-STRADE COMUNALI	2958.29	9625.66	3108.11	10803.93	3314.29	12290.39
P-STRADE PROVINCIALI	28.58	161.72	13.46	83.37	37.77	254.22
R-RESIDENZIALE	18697.93	1703249.63	23014.02	2427421.98	23873.78	2890136.08
S-STRADE STATALI	1017.83	35516.02	996.64	36314.39	984.64	29481.51
T-INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	3087.23	48436.65	3084.78	53326.73	3124.66	58845.57
X-ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	1206357.81	0.00	1301114.51	0.00	1397738.27	0.00
Totale	4236477.94	2643613.96	4637536.75	3517412.80	4986778.36	4095661.76



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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 6 Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno

### 6.1 METODOLOGIA DI INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI

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

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

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

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



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

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

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

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

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

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



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## **6.2 INQUADRAMENTO DELLO STATO DI FATTO DELLE OPERE DI SALVAGUARDIA IDRAULICA DEL PRAMAERA**

In coerenza con quanto già specificato nell'ambito della relazione monografica del PSFF, il tratto di asta analizzato inizia all'altezza dell'abitato di Urzulei e termina alla foce in mare; tuttavia l'area di maggior interesse comprende, principalmente, il territorio a valle della SS 125 che ricade nella piana alluvionale del rio ed è caratterizzata da una configurazione ad anfiteatro confinato dai rilievi del Monte Oro, alla base dei quali si colloca l'insediamento di Lotzorai e alcune infrastrutture viarie tra le quali la più importante è la statale 125.

Il tratto montano del rio per circa 20 km è caratterizzato dalla pressoché totale assenza di opere idrauliche, con un alveo di tipo monocursale che scorre in condizioni naturali in una valle stretta e a tratti incisa mantenendo un andamento irregolare.

Solo localmente, in prossimità delle numerose confluenze laterali di rii secondari, la valle tende ad aprirsi. Oltrepassato il ponte della strada vicinale che attraversa il rio in loc. C. Arbulea, dopo circa 14 km da Urzulei, i versanti tendono a degradare verso l'asta con pendenze sempre meno elevate, la sezione valliva si allarga mentre l'alveo tipo passa da monocursale a ramificato: i rilievi rocciosi sono sostituiti da aree alluvionali subpianeggianti adibite prevalentemente a pascolo. La pressione antropica è decisamente scarsa e l'interferenza della rete stradale è modesta.

Le cose cambiano negli ultimi 6 km, dove si rilevano alcune opere di difesa trasversali costituite da pennelli realizzati per difendere gli insediamenti agricoli in sponda sinistra, e soprattutto negli ultimi 2 a valle della SS 125 dove sono localizzati gli interventi di regimazione più significativi.

I pennelli si sviluppano in due serie una, a 3 km a monte del ponte sulla SS 125 (Figura 6.1), composta da 10 elementi, l'altra, poco a ridosso del ponte (Figura 6.2), da 4; entrambe sono posizionate a notevole distanza dall'alveo con lo scopo di allontanare dalla sponda il flusso principale della corrente per favorirne la stabilizzazione.

Per quanto riguarda il tratto focivo l'alveo è canalizzato per circa 1.5 km con una sezione trapezia dotata di savanella centrale, rivestita in calcestruzzo (Figura 6.4).

Inoltre in sponda sinistra tra l'abitato e il mare si sviluppa un'arginatura funzionale alla bonifica dei terreni riveraschi (Figura 6.5).

Infine sempre in sponda sinistra subito a valle del ponte sulla SS 125 è presente l'opera di confluenza tra il rio Jannas e il rio Pramaera (Figura 6.6).

Non sono presenti altre opere significative dal punto di vista idraulico e tanto meno invasi e sbarramenti.



Figura 6.1 – Pennelli a protezione delle aree agricole in sponda sinistra (circa 3 km a monte della SS 125).



Figura 6.2 – Pennelli a protezione delle aree agricole in sponda sinistra a monte ponte SS 125.



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



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



Figura 6.3 - Pennelli a protezione delle aree agricole in sponda sinistra



Figura 6.4 – Canalizzazione trapezia in calcestruzzo con savanella a valle della SS 125 (fonte PSFF)



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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



Figura 6.5 – Argine destro Rio Pramaera



Figura 6.6 – Confluenza rio Jannas



Nelle aree oggetto dello studio ricadono anche vaste estensioni di interesse paesaggistico:

- Le sponde del rio, tutelate per legge per una fascia di ampiezza di 150 m;
- La fascia di rispetto costiero (300 m) (ex art. 142 D.Lgs 42/2004 come sostituito dall'art. 12 del d.lgs. n. 157 del 2006, poi modificato dall'art. 2 del d.lgs. n. 63 del 2008);
- L'intero territorio comunale che con Decreto Ministeriale del 22/05/1968 è stato dichiarato sito di notevole interesse pubblico ai sensi della legge 29 Giugno 1939 n° 1497, ed è quindi sottoposto a tutte le disposizioni contenute nella legge stessa.

Non sono presenti invece altre zone di pregio ambientale quali SIC o ZPS.

Nell'allegato di VAS, per quel che riguarda l'assetto ambientale e paesaggistico, saranno dettagliati meglio gli elementi di particolare pregio, individuati nell'ambito del Piano Paesaggistico Regionale.

Le conseguenze sul territorio degli eventi di piena simulati per la situazione attuale (Scenario 0), illustrati nei paragrafi precedenti, hanno evidenziato la possibilità che vaste aree della piana in sponda sinistra del Pramaera siano interessate dall'esonazione con modeste differenze in termini di area di superficie occupata, rispetto alla variazione del tempo di ritorno associabile all'evento, ma con significative differenze nei danni conseguenti ai diversi battenti idrici determinati dalle portate di piena per i diversi tempi di ritorno considerati.

La sponda a valle della SS 125 come noto (Figura 6.7) è interessata in destra idraulica da una arginatura in terra di circa 900 m di, a protezione di un'area con estensione di circa 100 ettari caratterizzata da usi prettamenti agricoli (seminativi, ortive) e in cui sono presenti diversi camping.

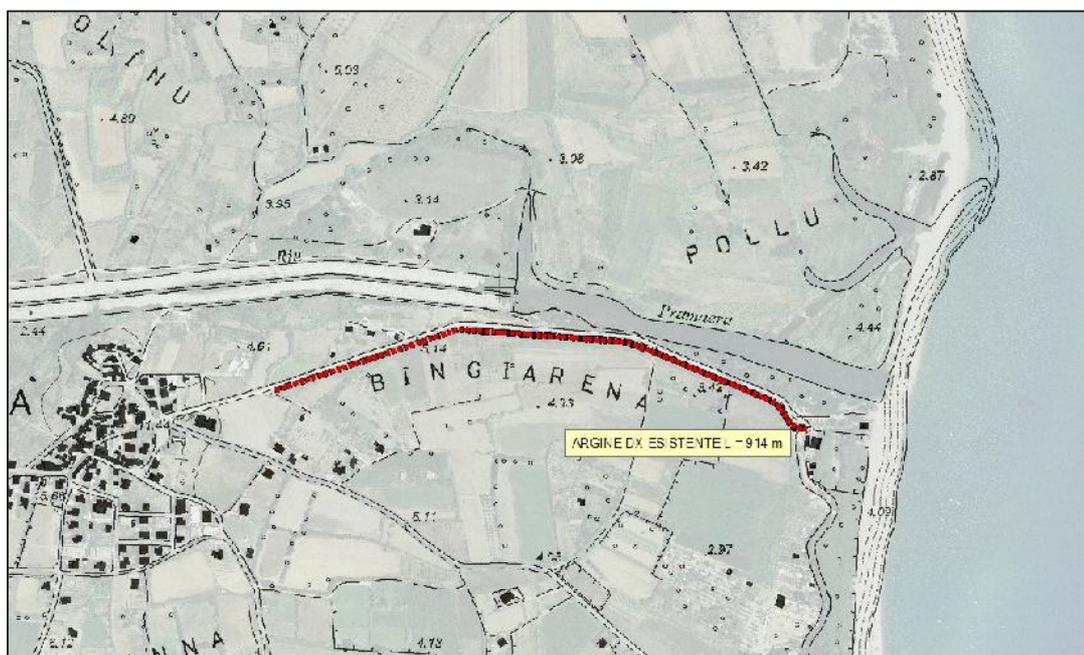


Figura 6.7 - Opere arginali sul rio Pramaera a valle della SS. 125



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



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

Le attuali opere di sistemazione idraulica connesse con il rilevato arginale destro sono in pessime condizioni di manutenzione e spesso assenti con la conseguenza che l'acqua, non potendo più essere convogliata verso il rio Pramaera per via dell'argine, origina una vasta zona umida in sponda destra che non ha possibilità di drenaggio in quanto chiusa verso il mare dalla barra dunale e priva di rete di drenaggio secondaria. Questa area oltre tutto è sede anche di alcuni campeggi e aree attrezzate che vengono coinvolte periodicamente da fenomeni alluvionali sia per l'assenza di una rete di raccolta dell'acqua residua sia soprattutto per effetto delle piene che interessano il rio Girasole che segna a sud il confine di Lotzorai.



Figura 6.8 - Foce del rio Pramaera e area depressa in sponda destra con campeggi sull'area dunale (circa 100 ha).



### 6.3 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

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

In generale ci si può ricondurre alle seguenti tipologie:

#### 1. interventi di costruzione e/o demolizione:

- a. realizzazione di nuove arginature e adeguamento delle quote di quelle esistenti.
- b. demolizione senza ricostruzione di ponti e attraversamenti stradali per carreggiate a una e a due corsie;
- c. Interventi sulla viabilità : varianti stradali

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

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

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

In tutti i casi il volume corrispondente alle geometrie di progetto è stimato sulla base dei risultati dell'analisi idraulica, a partire dal rilievo dello stato attuale costituito dal DTM a maglia 1 m LIDAR.

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

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 e comprendono anche interventi di risagomatura o ricarica di rilevati, pulizia da vegetazione, recupero di eventuali rifiuti.

Accanto ai sopradescritti interventi di manutenzione sulle opere di difesa, possono essere necessari anche **interventi di demolizione di strutture di attraversamento esistenti** che, in relazione alla insufficiente luce libera, determinano problemi al deflusso di piena, soprattutto in quanto questa è in pratica sempre accompagnato da materiale flottante di varia natura.

Altri interventi possono riguardare la necessità di **adeguamento del franco** dei ponti.

Nel caso specifico, stante la adeguatezza del ponte sulla SS 125 e dell'argine in sponda destra, l'unico intervento ipotizzato è quello di un **nuovo argine in sponda sinistra** a protezione delle aree attrezzate, dei villaggi turistici e delle case rurali nella parte nord del territorio.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 6.4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A SALVAGUARDIA DELLE AREE ESONDATE

### Intervento A. Nuovo argine in terra in sponda SX a protezione di campeggi e villaggi turistici

Premesso che, come noto, la insufficienza idraulica in sponda sinistra del Pramaera insieme al modesto gradiente altimetrico della piana esondata danno luogo ad ampie aree allagate con modesti battenti idrici, la realizzazione della nuova arginatura sulla sponda sinistra del rio a partire dal ponte sulla SS 125 fino alla foce, è funzionale alla eliminazione dell'allagamento provocato direttamente dalla piena del fiume ed indirettamente dal rigurgito della stessa lungo l'alveo del Rio Jannas.

L'arginatura si sviluppa per circa 2015 m e protegge sia le zone rurali, sia alcuni campeggi che occupano la zona dunale come il Camping Solemar e soprattutto il villaggio turistico Tancau Village.

L'argine si innesta sul rilevato della SS 125 e si sviluppa lungo la sponda del rio Pramaera fino alla confluenza del rio Jannas, quindi ripiega verso nord seguendo questo rio fino al limite della perimetrazione T200 in modo da evitare che il rio Jannas, rigurgitato a causa del livello del Pramaera, determini a sua volta allagamenti. Un secondo tronco di argine segue la sponda sinistra del rio fino alla confluenza, quindi si sviluppa per circa 200 m sulla sponda del Pramaera per poi discostarsene seguendo, per i restanti 1200 m, alcuni tratti di viabilità locale fino all'innesto sulla barra dunale.

In considerazione delle geometrie delle sponde tale arginatura possiede un'altezza media sul piano di campagna di 3.0 m anche per garantire il rispetto del franco idraulico assegnato (1.2 m) e la pista al colmo del rilevato dovrà essere raccordata alla viabilità locale ed avrà una larghezza di 3 m.

L'intervento connesso alla realizzazione del nuovo argine in terra a protezione delle campagne in sponda sinistra a valle del ponte sulla SS 125, prevede anche la necessaria sistemazione idraulica del reticolo a monte della stessa arginatura, tra il raccordo per Santa Maria Navarrese/Tancau e l'arginatura, in modo tale da poter garantire l'ordinato accesso dei deflussi provenienti da monte verso il loro recapiti naturali. Per effetto della presenza del rilevato arginale di cui al punto precedente, dovrà essere previsto in particolare un colatore esterno che funga da recapito delle acque a monte opportunamente raccolte da canali dedicati e ne consenta il convogliamento in modo autonomo verso il mare aggirando l'ostacolo rappresentato dal rilevato arginale in progetto.

L'estensione stimata della zona oggetto di sistemazione ammonta a circa 110 ha all'interno della quale area si prevede la riapertura di nuovi canali con opere accessorie e la realizzazione di attraversamenti che consentono il ripristino delle viabilità eventualmente interrotte.

A fronte della nuova realizzazione, per effetto della geometria dell'argine in progetto potrà eventualmente verificarsi l'impegno di aree al lato campagna immediatamente a ridosso dell'argine, ora occupate dalla viabilità locale. Per tenere conto della delocalizzazione di tale viabilità e del ripristino dei collegamenti è prevista una apposita voce per espropriazioni nel capitolo delle spese.

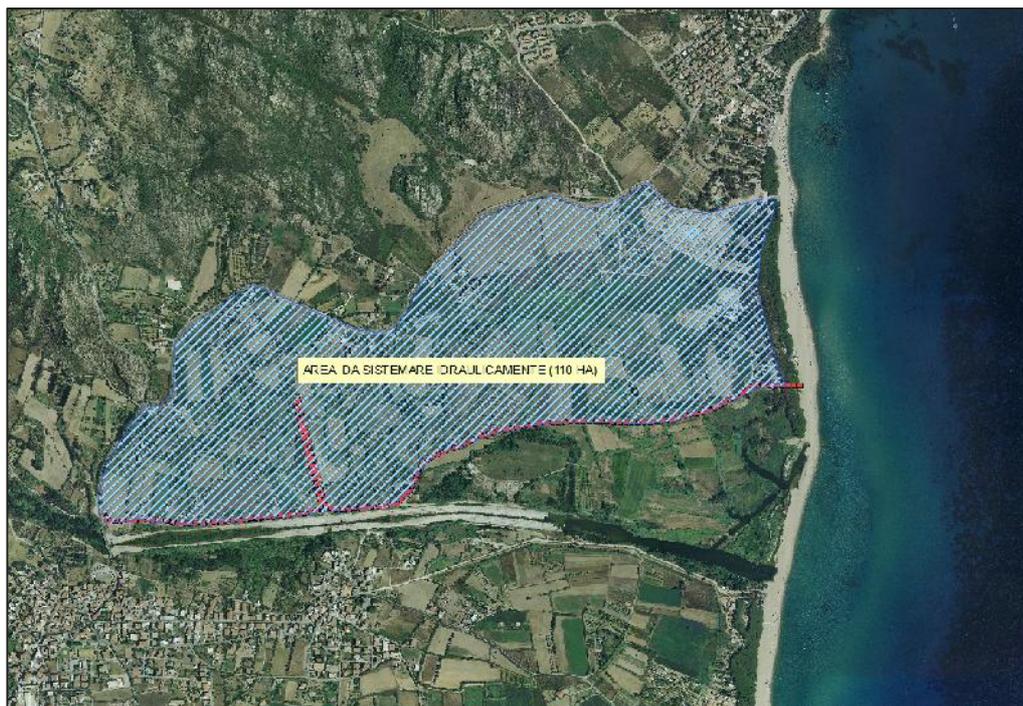
Infine si precisa che non si rende necessario operare sul ponte sulla SS 125 in quanto la portata bicentenaria lo attraversa con un franco di quasi 2.50 m sull'intradosso.



La Figura 6.9 e Figura 6.10 illustrano l'intervento e l'area da sistemare idraulicamente.



Figura 6.9 – Nuovo argine in sponda sinistra del rio Pramaera L = 2015 m .





REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

Figura 6.10 – Area da sistemare dal punto di vista idraulico a monte del nuovo argine sinistro (110 ha).

## 6.5 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 delle opere e delle esecuzioni in fase di realizzazione.

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 realizzazioni di profili di terreno (profili longitudinali, sezioni trasversali etc) necessari a definire con la migliore approssimazione disponibile la geometria dell'opera in progetto.

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

Per la stima economica si è fatto riferimento:

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

Nella Tabella 6.4 sono sintetizzate le descrizioni degli interventi come sopra delineati e sono inoltre riportate le stime dei costi per ciascuno rimandando il prospetto analitico di computo all'allegato R6 specifico.

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

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

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

Nel quadro economico generale dello scenario un capitolo di spesa separato riguarda gli oneri di manutenzione delle opere esistenti e di quelle previste, i quali appaiono pertanto evidenziati e riferiti



**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 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 6.4 – Valutazione economica degli interventi**

	Descrizione	u.m.	q.ta	prezzo	Importo
1	A. Nuovo argine in terra in sponda sinistra a valle della SS 125	m	2015	€ 1 422.03	2 865 388.00
2	B. Sistemazione idraulica reticolo a monte del nuovo argine punto A	ha	110	€ 3 300.00	363 000.00
3	C. Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine esistente in sponda destra	ha	100	€ 3 300.00	330 000.00
4	D. Manutenzione nuovi argini nella punto A	m	2015	€ 13.00	26 195.00
5	E. Manutenzione dell' argine esistente in sponda destra	m	914	€ 13.00	11 882.00



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 7 Scenari di intervento

### 7.1 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

In generale l'articolazione degli scenari nei quali trovano corretta collocazione i singoli interventi illustrati precedentemente, segue il criterio di verifica della fattibilità tecnica, giustificazione economica e possibilità di realizzazione in step funzionali successivi. Ovviamente gli scenari trovano la loro prima giustificazione in relazione alle criticità idrauliche riscontrate nello stato attuale, 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 deve prevedere anche la formulazione di ipotesi progettuali alternative mettendo in evidenza la variabilità dei danni patiti (e dei benefici ritraibili in termini di loro riduzione) a fronte degli impegni economici sopportati.

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

Nel caso del rio Pramaera in base alle criticità riscontrate in stato attuale, si è ipotizzato un solo scenario di intervento (SC 1), che viene presentato di seguito con una sintetica descrizione delle varie componenti sia dal punto di vista progettuale che dal punto di vista dell'analisi costi benefici.

Nella configurazione 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).



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

## 7.2 SCENARIO 0 (STATO ATTUALE)

Nello scenario zero sono stati inseriti sia la sistemazione idraulica del reticolo a monte dell'argine in sponda destra esistente che oneri annui di manutenzione per le opere esistenti pari a circa 12.000 euro per anno (Tabella 7.5).

**Tabella 7.5 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0"**

INTERVENTI	IMPORTO
C. Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine esistente in sponda destra	330 000
TOTALE LAVORI	330 000
SPESE GENERALI (15%)	49 500
TOTALE LAVORI E SPESE	379 500
in cifra tonda	<b>€ 380 000</b>
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	<b>€ 12 000</b>

Nel seguito (Tabella 7.6) si riporta per comodità la valutazione dei danni da piena, già fornita nel capitolo precedente e riferita allo stato attuale, la quale è stata assunta come riferimento per la quantificazione dei benefici conseguenti alla realizzazione delle opere strutturali individuate tra gli interventi precedentemente descritti.

**Tabella 7.6 - 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	2699730.99	846624.27	2999434.12	989462.41	3249733.76	1104653.99
H-CORPI IDRICI	277976.23	0.00	279451.50	0.00	279891.77	0.00
J-AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	26623.06	0.00	27319.60	0.00	28079.42	0.00
N-STRADE COMUNALI	2958.29	9625.66	3108.11	10803.93	3314.29	12290.39
P-STRADE PROVINCIALI	28.58	161.72	13.46	83.37	37.77	254.22
R-RESIDENZIALE	18697.93	1703249.63	23014.02	2427421.98	23873.78	2890136.08
S-STRADE STATALI	1017.83	35516.02	996.64	36314.39	984.64	29481.51
T-INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	3087.23	48436.65	3084.78	53326.73	3124.66	58845.57
X-ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	1206357.81	0.00	1301114.51	0.00	1397738.27	0.00
Totale	4236477.94	2643613.96	4637536.75	3517412.80	4986778.36	4095661.76



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

### 7.3 SCENARIO 1

Nello scenario 1 sono stati inseriti oltre all' intervento C) già individuato nello scenario 0, anche l'intervento A) denominato **Nuovo argine in terra in sponda sinistra a valle della SS 125** il quale comprende come opere complementari anche una specifica sistemazione idraulica delle aree scolanti intercettate dallo sviluppo dell'arginatura necessaria poiché i canali di raccolta a monte sono insufficienti, in pessimo stato di manutenzione e in parte completamente assenti e comunque inadeguati al drenaggio e al convogliamento delle acque. Allo scopo è presente una voce specifica B) denominata **Sistemazione idraulica reticolo a monte del nuovo argine punto A**. Infine vi sono da computare gli oneri manutenzione dell'argine in progetto e di quello esistente.

La valutazione complessiva di tali interventi come sopra sinteticamente descritta supera di poco più di 1.5 milioni di euro, cui vanno ad aggiungersi le spese generali da valutarsi per circa € 250.000 per un totale di lavori e spese di circa € 4.130.000. Tra gli oneri di manutenzione annui sono stati quindi individuati quelli relativi alla manutenzione delle nuove opere di arginatura in aggiunta a quelle relative agli argini esistenti allo stato attuale per un totale di circa € 38.000 per anno.

Il prospetto dei costi è presentato nella tabella seguente (Tabella 7.7), insieme con l'entità stimata per gli oneri di manutenzione.

**Tabella 7.7 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"**

INTERVENTI	IMPORTO
A. Nuovo argine in terra in sponda sinistra a valle della SS 125	2 865 388
B. Sistemazione idraulica reticolo a monte del nuovo argine punto A	363 000
C. Sistemazione idraulica reticolo a monte dell'argine esistente in sponda destra	330 000
TOTALE LAVORI	3 558 388
TOTALE SPESE GENERALI (16%)	569 342
TOTALE LAVORI E SPESE	4 127 730
in cifra tonda	<b>€ 4 130 000</b>
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	<b>€ 38 000</b>

L'obiettivo principale dello scenario 1 è quello della salvaguardia degli esposti in sponda sinistra del Pramaera costituiti da case rurali, aree attrezzate a campeggio (ad esempio il Camping Solemar Località Interabbas) e un villaggio turistico (il Tancau Village – Località Interabbas), è stato conseguito con la creazione dell'arginatura in progetto mediamente alta 3 m.

Rispetto alla situazione attuale si osserva naturalmente una diminuzione dell'estensione delle aree allagate. Nella tabella seguente (Tabella 7.8) 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 7.8 – 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	2 159 781	740 737	2 389 822	858 225	2 612 955	953 151
H-CORPI IDRICI	275 173	0	276 319	0	277 798	0
J-AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE	28 447	0	29 988	0	31 172	0
N-STRADE COMUNALI	3 462	12 967	3 641	14 801	3 884	16 513
P-STRADE PROVINCIALI	29	162	30	160	38	254
R-RESIDENZIALE	1 084	114 976	1 548	304 987	3 163	561 429
S-STRADE STATALI	1 030	36 122	1 034	37 781	1 128	39 551
T-INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE)	3 087	48 437	3 109	54 488	3 125	58 846
X-ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI	1 182 144	0	1 273 672	0	1 370 242	0
<b>Totale</b>	<b>3 654 235.70</b>	<b>953 400.16</b>	<b>3 979 164.32</b>	<b>1 270 442.61</b>	<b>4 303 504.54</b>	<b>1 629 743.72</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

## 8 Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento

### 8.1 PREMESSE

Come più ampiamente descritto nella Relazione metodologica predisposta per il bacino pilota “Bassa Valle Coghinas”, tra gli obiettivi dell’Accordo di collaborazione tra ARDIS e DICAAR, 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.

### 8.2 INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA

Le procedure di gestione del rischio di alluvione dovrebbero integrare tra loro diverse tipologie di azioni svolte dagli Enti preposti, ma anche dalle comunità e da singoli individui per ridurre a un livello accettabile i danni conseguenti agli eventi di piena. Le azioni non strutturali consistono in misura di emergenza da attuare prima degli eventi, a seguito degli allertamenti, misure da attuare durante le fasi di emergenza e misure di post-evento. Adeguatamente prima delle piene le popolazioni, dovranno essere allertate, potranno essere evacuate e si potranno adottare quelle azioni che limitano i danni dell’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.

In specifico per il tratto del Pramaera a valle della SS 125 si ricorda che nelle in analisi di dettaglio sviluppate nel Capitolo 3 si sono date le informazioni sulle aree attualmente a pericolosità di alluvione, mentre nel Capitolo 4 sono riportati i risultati ottenuti con la modellazione idraulica aggiornata. Questo ha permesso tra l'altro di stabilire che nel tratto di alveo a sezione trapezia in calcestruzzo l'allagamento in sponda sinistra e la fuoriuscita dell'acqua, che viene fatto corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco di altezza inferiore a 20 cm, avvenga con portate di piena di circa  $385 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_{amm}$ ) che corrisponde ad un tempo di ritorno di 8 anni. Questo valore del tempo di ritorno può essere assunto come indice di allertamento grave del territorio della parte a valle della SS 125 nella situazione attuale. Per portate inferiori a  $Q_{amm}$  si ha assenza di esondazioni. Nel tratto finale naturale di circa 800 m per contro nella situazione attuale i tempi di ritorno dell'evento critico sono sensibilmente più bassi e valutabili intorno ai 2 anni.

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

alla curva probabilistica degli eventi estremi di piena e di determinare il tempo di ritorno atteso per l'evento che diviene critico per il territorio. Quest'operazione è però spesso complicata dal dover considerare la riduzione sulle portate operate dai serbatoi di laminazione a monte. In linea di massima, come già detto nei paragrafi precedenti, nel PGRA si opererà con le tecniche di modellazione idrologica già utilizzate nel PSFF e richiamate nel paragrafo 4.1.

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

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

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

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

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

$r$  = tasso di interesse utilizzato.

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

L'orizzonte temporale nell'analisi economica è stato assunto pari a 100 anni per tutti gli scenari di intervento esaminati. Considerata la tipologia delle opere questo scenario si ritiene coerente con le



**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

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 Pramaera.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



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

### Scenario 0 – Situazione attuale

Nello scenario zero sono stati inseriti lavori di sistemazione idraulica delle aree a monte dell'argine esistente con canali di raccolta e lavori di manutenzione ordinaria degli argini esistenti nello stato attuale.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da interventi di sistemazione è di 330.000,00 euro.

Gli oneri di manutenzione sono valutati in € 12.000 per anno.

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

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

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

**Tabella 8.9 – Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno**

CATEGORIA ELEMENTO	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
Totale	4236477.94	2643613.96	4637536.75	3517412.80	4986778.36	4095661.76

### Scenario 1 – Opere di protezione sponda sinistra a valle della SS 125

Nello scenario 1 sono stati inseriti gli interventi del nuovo argine in sponda sinistra a protezione delle aree agricole, attrezzate e turistiche. In questo scenario sono inserite come opere complementari anche la sistemazione idraulica delle aree a monte dell'argine nuovo e di quello esistente con canali di raccolta dedicati.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da tali interventi è di 4.130.000,00 euro.

Gli oneri di manutenzione annui sono stati valutati pari a € 38.000 per anno.

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



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

CATEGORIA ELEMENTO	Evento Tr=50 anni		Evento Tr=100 anni		Evento Tr=200 anni	
	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)	Area (mq)	Valore (€)
Totale	3 654 235.70	953 400.16	3 979 164.32	1 270 442.61	4 303 504.54	1 629 743.72

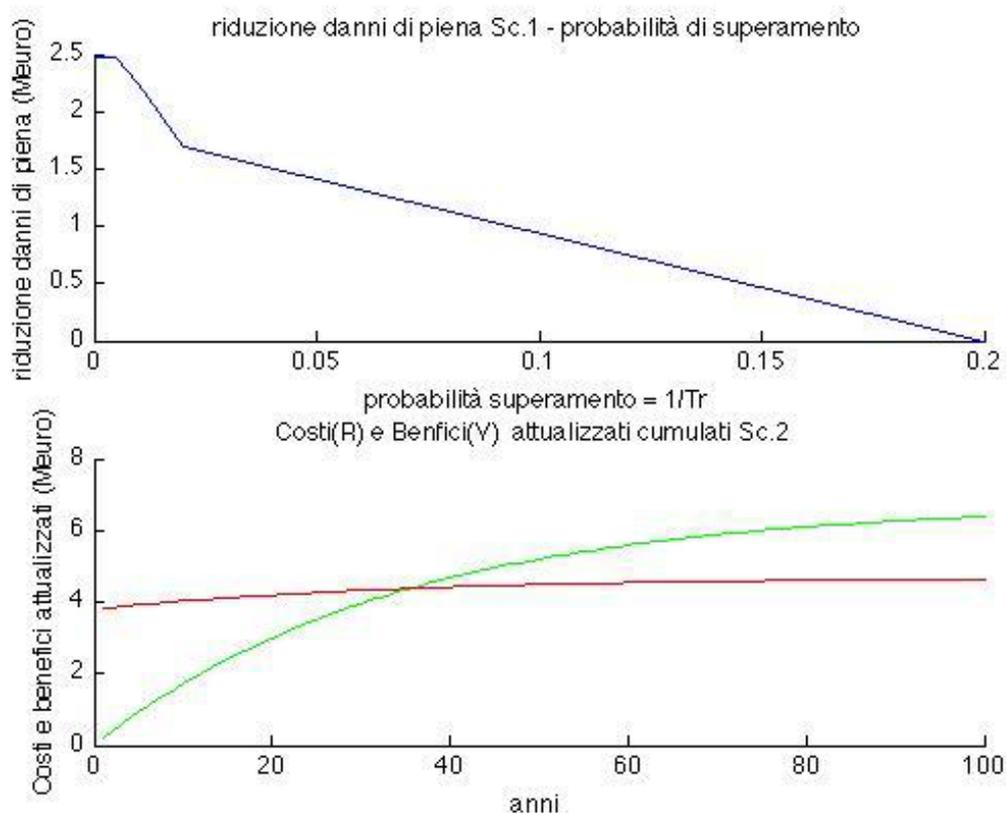


Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per Tr=5 anni

Come si evidenzia dalla Figura 8.1, nel determinare la curva di riduzione del danno di piena si è considerato che, nella situazione attuale, il tempo di ritorno per il quale si può ipotizzare danno nullo sia  $Tr=5$  anni. Questo valore non è completamente coerente con quanto affermato nei capitoli precedenti nell'analisi dello stato di fatto. Tuttavia si ritiene che il tempo di ritorno di 2 anni che determina l'esondazione della sola parte fociva nel corso del fiume possa interessare una zona a scarsa valenza, anche in relazione alla frequenza elevata dell'evento critico stimato. In definitiva danni significativi di piena sono stati considerati solo per eventi con  $Tr$  maggiore di 5 anni.

Sulla base di queste considerazioni, il valore del beneficio medio annuo atteso conseguente a questo scenario di intervento è pari a circa  $196 \cdot 10^3$  euro/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

La figura Figura 8.1 visualizza i flussi attualizzati di costi e benefici e come, nell'arco temporale esaminato, questo scenario di intervento determina una convenienza economica conseguente alla sua realizzazione con un orizzonte temporale di ammortamento particolarmente esteso, di circa 40 anni.