



**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

## **ACCORDO DI COLLABORAZIONE**

tra

**Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna**

e

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura  
dell'Università degli Studi di Cagliari**

*Finalizzato alla 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*

### **Bacino del Fiume Budoni**

**ALLEGATO**

**4.13.BU-R1.0**

**Relazione Generale**

Responsabile Scientifico per DICAAR

*Prof. Giovanni Maria Sechi*

Gruppo di Lavoro DICAAR

*Ing. Mauro Piras*

*Ing. Riccardo Zucca*

*Ing. Saverio Liberatore*

*Ing. Italo Frau*

*Ing. Alessandro Salis*

*Ing. Roberta Floris*

*Ing. Sara Frongia*

*Ing. Jacopo Napolitano*



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## Sommario

1	Premesse .....	7
2	Descrizione sintetica del sistema idrografico: Bacino del fiume Budoni.....	10
3	Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF .....	13
4	Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale e confronto con le mappature del PSFF 19	
4.1	Premessa .....	19
4.2	Risultati della simulazione idraulica nello stato attuale (Scenario 0).....	22
4.2.1	Simulazione relativa al tratto di monte .....	23
4.2.2	Simulazione relativa al tratto di valle .....	30
4.2.3	Criticità specifiche attuali .....	37
4.2.4	Volumi di piena delle aree esondate.....	40
5	Procedura operativa per il di calcolo del danno di piena nel Bacino fiume Budoni.....	41
5.1	Danno di piena relativo allo stato attuale .....	43
6	Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno.....	47
6.1	Metodologia di individuazione degli interventi.....	47
6.2	Definizione tipologica delle opere di sistemazione idraulica .....	48
6.3	Tipologia degli interventi.....	49
6.3.1	Intervento tipo A - Realizzazione di un'opera di protezione longitudinale.....	49
6.3.2	Intervento tipo M di manutenzione degli argini e dell'alveo .....	50
6.4	Stima del costo di realizzazione degli interventi .....	51
7	Scenari di intervento .....	53
7.1	Criteri di individuazione.....	53
1.1	Scenario 0 .....	53
1.2	Scenario 1 .....	54
8	Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento .....	56
8.1	PREMESSE.....	56
8.2	INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA .....	56



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



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

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

8.3	ANALISI ECONOMICA DEGLI SCENARI D'INTERVENTO IPOTIZZATI .....	57
8.3.1	Scenario 0 – Situazione attuale .....	59
8.3.2	Scenario 1 .....	59



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 1 - Fiume Budoni e principali affluenti .....	10
Figura 2 - Fiume Budoni: attraversamenti principali.....	11
Figura 3 - Studio P.S.F.F. - Sezioni.....	14
Figura 4 - Perimetrazione delle fasce fluviale nel tratto di monte - P.S.F.F. ....	15
Figura 5 - Perimetrazione delle fasce fluviale nel tratto di valle - P.S.F.F. ....	17
Figura 6 - Confronto fra quote P.S.F.F. e quote DTM - Sez. n°3 .....	20
Figura 7 - Confronto fra quote P.S.F.F. e quote DTM - Sez. n°10 .....	20
Figura 8 - Confronto fra quote P.S.F.F. e quote DTM - Sez. n°14 .....	21
Figura 9 - Tratto di Valle - Sezioni PSFF .....	22
Figura 10 - Tratto di valle - Sezioni PGRA .....	22
Figura 11 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di monte T=50 anni .....	23
Figura 12 - Particolare dell'esondazione rilevata in prossimità delle sezioni a monte e a valle del viadotto sulla S.S. 131 d.c.n. ....	24
Figura 13 - Particolare della perimetrazione in prossimità della frazione di Berruiles .....	25
Figura 14 - Danni provocati dall'alluvione del 2010 nella località Berruiles .....	25
Figura 15 - Edifici a valle del ponte di Berruiles dopo l'alluvione del 2010.....	26
Figura 16 – Rispristino dell'alveo e delle costruzioni in località Berruiles interessate dall'alluvione del 2010 .....	26
Figura 17 - Particolare dell'esondazione a monte del raccordo fra S.S. 131 d.c.n. e S.S. 125.....	27
Figura 18 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di monte T=100 anni .....	28
Figura 19 - Particolare della fascia di esondazione per T=100 anni prodotta dal ponte della S.S. 125 .....	28
Figura 20 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di monte T=200 anni .....	29
Figura 21 - Ponte in località Franculacciu.....	30
Figura 22 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF Tratto di valle T=50 anni.....	31
Figura 23 - Particolare dell'esondazione in sinistra idraulica a valle del ponte sulla S.S. 125.....	32
Figura 24 - Particolare dell'esondazione in destra a valle del ponte di via Foscolo .....	32
Figura 25 -Ponte di via Foscolo.....	33
Figura 26 - Arginello in destra idraulica a valle del ponte di via Foscolo .....	33
Figura 27 - Area fociva fiume Budoni .....	34
Figura 28 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di valle T=100 anni .....	35
Figura 29 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di valle T=200 anni .....	36
Figura 30 - Ponte della S.S. 125 .....	36
Figura 31 - - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso.....	42
Figura 32 - Overlay degli strati informativi necessari alla valutazione del danno - esempio.....	44



**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 33 - Categorie di danno per le aree esondate del fiume Budoni nel tratto di valle (T=50 anni).....	45
Figura 34 - Categorie di danno per le aree esondate del fiume Budoni nel tratto di monte.....	46
Figura 35 – Sovralzo dell’arginello destro lungo via Tasso.....	50
Figura 36 - Scenario 1 - Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici .....	60



**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 1 - Tiranti idrici e franchi idraulici in corrispondenza degli attraversamenti - P.S.F.F. ....	18
Tabella 2 - Livelli idrici e franchi idraulici in corrispondenza dell'argine sinistro a valle del ponte in via Foscolo.....	18
Tabella 3 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte della S.S. 125 .....	38
Tabella 4 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la Sezione n°55 .....	38
Tabella 5 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la Sezione n°45 .....	39
Tabella 6 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte di via Foscolo .....	39
Tabella 7 - Scenario 0 - Aree e volumi esondati .....	40
Tabella 8 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo .....	41
Tabella 9 - Danni e aree interessate dagli eventi di piena per categorie d'uso del suolo.....	45
Tabella 10 - Valutazione economica degli interventi .....	52
Tabella 11 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 0" a monte.....	54
Tabella 12 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 0.....	54
Tabella 13 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1" .....	55
Tabella 14 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 1.....	55
Tabella 15 - Danni e aree - Scenario 0 .....	59
Tabella 16 - Danni e aree - Scenario 1 .....	60



**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



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

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

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

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

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

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

Ai fini operativi, come sarà meglio precisato nel seguito, si è concordato di realizzare una prima fase di modellazione replicando il funzionamento del modello 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



**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

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 bacino del fiume Budoni, principali criticità riscontrate, elementi di documentazione di criticità storiche e riscontri dalla modellazione idraulica, scenari di intervento previsti e loro giustificazione tecnico-economica.



## 2 Descrizione sintetica del sistema idrografico: Bacino del fiume Budoni

Il bacino del fiume Budoni è situato nella Sardegna nord-orientale ed appartiene alla Zona Idrografica n°4 del sub-bacino del Liscia. I risultati dello studio condotto nell'ambito della redazione Piano Stralcio delle Fasce Fluviali idrografico sono riportati nella relazione monografica e negli allegati denominata "Minori tra il Posada e il Padrongiano" "Sub - bacino n°13".

Il tratto d'asta fluviale analizzato nel presente studio coincide con quello studiato nell'ambito del P.S.F.F., compreso fra lo stazzo "Schifoni" e la foce, di lunghezza pari a circa 8.6 km.

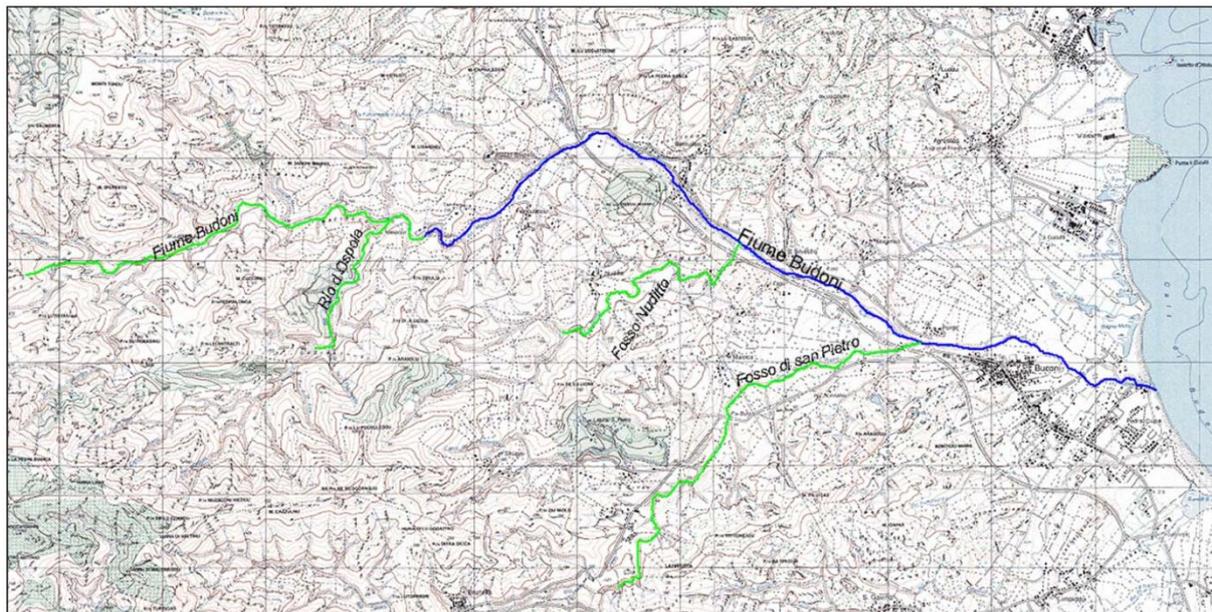


Figura 1 - Fiume Budoni e principali affluenti

Il fiume Budoni nasce dal Monte Nieddu (970 m s.l.m.) e dopo un percorso di una decina di chilometri sfocia nella piana costiera a valle dell'abitato di Budoni. Il bacino drenato, di forma asimmetrica, ha una superficie di circa 44 km<sup>2</sup> interamente compresa fra i limiti amministrativi dei comuni di San Teodoro e Budoni. Si riporta la descrizione di P.S.F.F.:

*La sezione valliva è per lo più incassata con fondovalle grosso modo coincidente con l'alveo di piena ordinaria; tuttavia in alcuni settori la valle si allarga a sufficienza da consentire alle eventuali acque di piena di espandersi su superfici relativamente ampie. L'alveo unicursale sub-rettilineo è di tipo torrentizio, con il letto invaso da blocchi e ciottoli fin nei pressi della foce. La sezione è quasi sempre di tipo naturale.*

*Presso la foce, per un breve tratto, l'alveo assume una conformazione pluricursale. In tale settore originariamente l'asta torrentizia divagava su una fascia nettamente più ampia di quella attuale, andando*



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

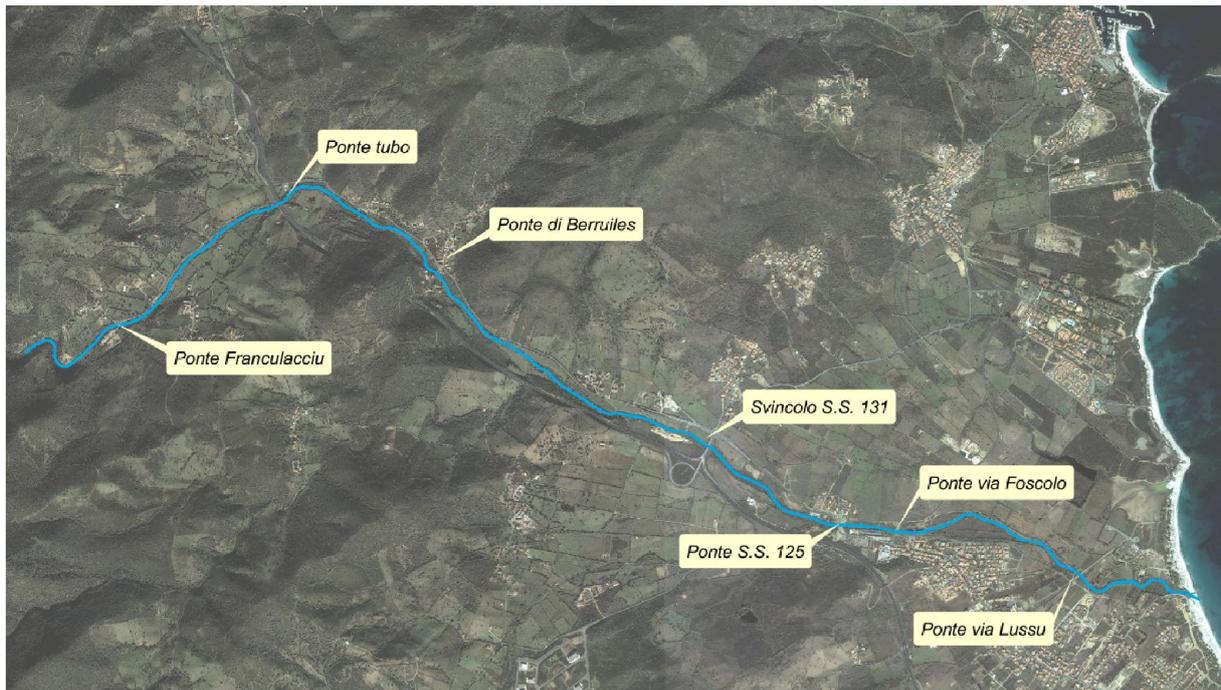


**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

*ad immettersi ora nello Stagno Morto e ora verso più a Sud nello stagno di sa Gambitta, ormai del tutto colmato, ma ancora ben visibile sulla cartografia IGM degli anni '50 del secolo scorso.*



**Figura 2 - Fiume Budoni: attraversamenti principali**

Oltre al fiume Budoni, sono presenti il Riu d'Ospola, il fosso Nuditto e il fosso San Pietro, tre affluenti principali che si sviluppano in destra idraulica

Il fiume si sviluppa prevalentemente in area extra urbana, ciò nonostante sono presenti numerosi guadi a servizio di strade rurali, sei ponti stradali e un ponte tubo, di seguito riportati:

- ponte stradale in località Franculacciu
- ponte tubo a valle del viadotto della S.S. 131 d.c.n.
- ponte stradale in località Berruiles
- ponte stradale di raccordo fra la S.S. 125 e la S.S. 131
- ponte sulla S.S. 125 all'ingresso dell'abitato di Budoni
- ponte di via Foscolo a Budoni
- ponte di via Emilio Lussu a Budoni



**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

Prima del 2013 erano presenti due ulteriori attraversamenti costituiti da due ponti canale in località "Schifoni" e località "Berruiles", successivamente demoliti.

Lungo tutto il percorso non sono presenti opere idrauliche di protezione spondale consistenti, salvo che per un breve tratto a monte e a valle del ponte sulla S.S. 125 in cui è stata realizzata un'opera di rivestimento spondale, distrutta dall'evento di piena del 2010 e successivamente ricostruita.

Nel tratto in cui il fiume costeggia la parte nord dell'abitato di Budoni sono presenti rialzi arginali realizzati con materiale scadente ed in cattivo stato di conservazione.



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



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

### 3 Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF

Come richiamato nella relazione metodologica a corredo dell'analisi del bacino pilota del fiume Coghinias, nello sviluppo delle attività a supporto della predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni si è operata una prima fase di modellazione replicando nel presente studio il funzionamento del modello HEC-RAS utilizzato in PSFF, considerando pertanto la base dati disponibile in tale studio. In tal modo è possibile verificare la congruità tra i risultati PSFF e quelli ottenuti con i modelli utilizzati dal DICAAR nella stessa situazione. In particolare si è esaminata e riscontrata, in questa fase, l'estensione delle aree di pericolosità idraulica ai diversi tempi di ritorno.

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

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

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

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

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

Per la maggior parte del suo tragitto il fiume Budoni ha un alveo incassato ed interagisce solo limitatamente con edifici o altre infrastrutture o opere di urbanizzazione. Per questi motivi lo studio del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali non mette in evidenza particolari criticità. La maggior parte delle criticità si manifestano nella parte valliva, salvo che per l'interessamento di alcune abitazioni realizzate a ridosso dell'alveo in località



**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

Berruiles. Vengono segnalate inoltre le insufficienze idrauliche di alcuni ponti, fra i quali quella di maggior rilievo riguarda il ponte sulla S.S. 125 che presenta franco minimo per la portata con tempo di ritorno centennale e viene sormontato per le portate relative a tempi di ritorno maggiori. Di seguito vengono riportati i risultati della simulazione idraulica e delle perimetrazioni delle fasce fluviali ottenuti in sede di P.S.F.F.

Lo studio redatto dal P.S.F.F. si articola suddividendo il corso d'acqua in due tratti principali:

- un **tratto di monte** che si estende dalla sezione di partenza dello studio localizzata in località "Schifoni" e termina con il ponte stradale sulla S.S. 125 all'ingresso dell'abitato di Budoni;
- un **tratto di valle** compreso fra il ponte della S.S. 125 e la foce.

*Il **tratto di monte** del corso d'acqua, chiamato nella prima parte anche rio Maciocco, scorre per circa 6 km con pendenza pari all'1,35% e larghezza media d'alveo pari a 15 m. Si sviluppa in un fondovalle con elevata densità di vegetazione in prossimità dell'alveo; la prima parte del tratto si sviluppa lungo la strada che porta in località Schifoni in un fondovalle definito da versanti scoscesi, mentre la parte successiva nella porzione di territorio delimitata in sponda destra dalla SS131 D.C.N. ed in sinistra dalla S.S.125, mantenendo lungo tutto il tratto un'elevata naturalità per l'assenza di opere idrauliche.*



Figura 3 - Studio P.S.F.F. - Sezioni



Figura 4 - Perimetrazione delle fasce fluviale nel tratto di monte - P.S.F.F.

Le altezze idriche sono mediamente inferiori ad 1 m per la portata con tempo di ritorno di 2 anni, mentre per quella cinquantennale l'altezza media è pari a 3,9 m; per questa portata sono frequenti le esondazioni dall'alveo inciso e la larghezza media della sezione di deflusso raggiunge 55 m. Per la portata più gravosa ( $T = 500$  anni) si hanno altezze idriche mediamente pari a 4,8 m con aree allagabili di larghezza media pari a 65 m e valori massimi puntuali superiori a 100 m. La velocità media nella sezione trasversale passa da 0,9 m/s per la portata con  $T = 2$  anni a circa 3 m/s per quelle più gravose. Si verificano valori puntuali superiori a 5 m/s.

Rispetto ai 6 attraversamenti che insistono sul tratto, il ponte stradale ed il ponte tubo in località Franculacciu (oggi non più presente) sono sormontati dalla portata cinquantennale, l'impalcato del ponte tubo a valle del viadotto della SS 131 D.C.N. interferisce con il profilo di piena centennale, mentre i restanti ponti stradali hanno non comportano interferenze con il deflusso in piena.

Per quanto riguarda la delimitazione delle **fasce fluviali** il P.S.F.F. definisce quanto segue:



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

*L'andamento delle fasce è imposto dai limiti dei versanti che definiscono il fondovalle e dalla presenza di strade di diversa importanza soprattutto in sinistra idraulica. In particolare in sinistra, procedendo da monte verso valle, la strada da loc. Schifoni a loc. Stazzo Bruciato ricade in area allagabile per tutti i tempi di ritorno; poi fino all'immissione nella S.S. n. 125 (sez. BU 012) questa impone il limite per le piena fino al  $T=200$  anni. In tale settore, in destra presso loc. Franculaccio, vengono interessati dalla piena duecentennale e dalla fascia C alcuni fabbricati.*

*A valle dell'attraversamento della S.S.133 d.c.n., per tutto il tratto, la S.S.126 definisce generalmente il limite della sola fascia C in quanto le altre fasce restano più prossime alla sponda dell'alveo inciso; fa eccezione qualche situazione locale in cui il rilevato stradale viene lambito mentre, solo in un caso e per le piena duecentennale, viene interessato un fabbricato situato immediatamente a valle del ponte presso la località Berruiles (sez. BU 009). In destra solo piena duecentennale interessa strade secondarie, mentre la S.S.131 d.c.n. resta più alta e distante dalle aree allagabili; solo in corrispondenza del tronco a monte del raccordo con la S.S.125, il rilevato viene lambito dalla fascia C.*

*Per quanto riguarda il **tratto di valle**, questo si estende tra il ponte della SS 125 e lo sbocco a mare, per una lunghezza di circa 2,5 km. L'alveo inciso ha larghezza media di 35 m e pendenza pari al 5‰ e si sviluppa nella piana alluvionale costiera dove sorge l'abitato di Budoni, in sponda destra; lungo l'alveo, che ha sponde vegetate soprattutto in foce, non vi sono opere di sistemazione idraulica.*

*Le altezze idriche variano da 1,2 m a 4,5 m per tempo di ritorno che vanno da 2 a 500 anni; analogamente la velocità media passa da valori inferiori a 1 m/s a 2,6 m/s, con massimi puntuali superiori a 7 m/s.*

*Per la portata con tempo di ritorno 50 anni si verifica l'esondazione dall'alveo inciso che si espande prevalentemente in sinistra, in aree interessate da attività agricole; in destra il centro abitato sorge a quota più elevata rispetto e non viene raggiunto dagli allagamenti se non per porzioni marginali in prossimità del ponte della S.S.125 e della foce. All'aumentare del tempo di ritorno, l'estensione delle aree allagabili in sinistra aumenta progressivamente fino a raggiungere circa gli 800 m.*

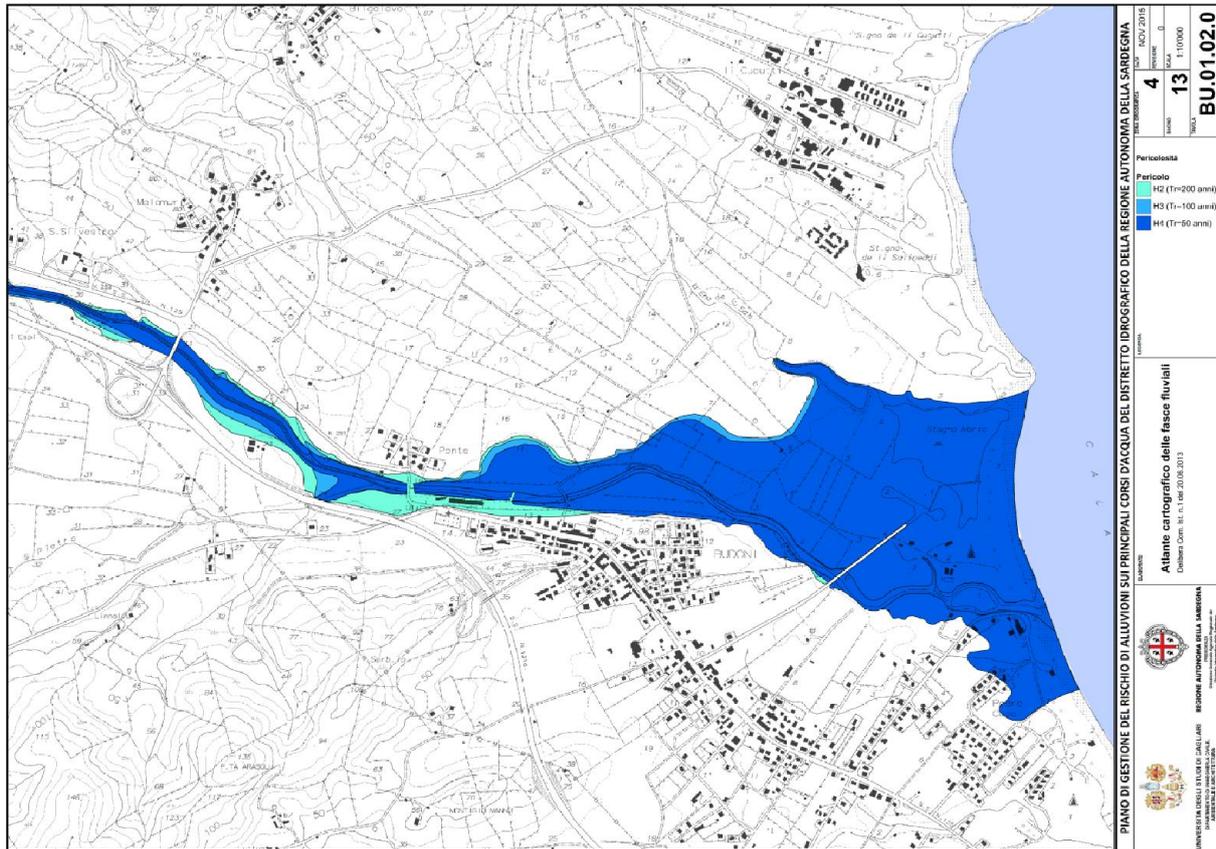


Figura 5 - Perimetrazione delle fasce fluviale nel tratto di valle - P.S.F.F.

*Il ponte della S.S.125 risulta sormontato dalla portata duecentennale e provoca un considerevole fenomeno di rigurgito a monte, con altezze idriche superiori a 8 m. Anche il ponte di via Foscolo a Budoni è sormontato per lo stesso tempo di ritorno con un allagamento significativo in sponda sinistra.*

Per quanto riguarda l'estensione delle **fasce fluviali**, esondazioni si verificano già al decorrere della portata cinquantennale, principalmente in sponda sinistra in ingresso all'abitato di Budoni; l'attraversamento stradale (sez. BU 004) induce importanti effetti di rigurgito, tali da far sormontare l'arginello sinistro. Anche le sezioni successive presentano criticità connesse al funzionamento in corrente veloce del rio nel tratto; velocità e carichi totali risultano elevati rispetto al profilo di pelo libero. Sormontata o erosa la sponda sinistra, da qui il deflusso golenale scorre interessando ampie aree e riattivando paleoalvei dismessi verso lo stagno morto di Scalماغه.

*Nella zona fociva gli allagamenti si estendono notevolmente su entrambe le sponde lungo tutta la cala di Budoni interessando, oltre che zone umide e stagni, anche alcuni insediamenti urbanizzati quali quello di Petra Cupa in destra e Salamaghe in sinistra; si tratta di insediamenti prettamente a vocazione turistica.*



**Tabella 1 - Tiranti idrici e franchi idraulici in corrispondenza degli attraversamenti - P.S.F.F.**

Descrizione	ID Sez.	Quota intradosso [m s.m.]	Livello idrico [m s.m.]					Franco (m)				
			T=2	T=50	T=100	T=200	T=500	T=2	T=50	T=100	T=200	T=500
Ponte via Lussu a Budoni	2.3	4.78	1.80	3.17	3.41	3.63	3.90	2.98	1.61	1.37	1.15	0.88
Ponte via Foscolo a Budoni	4.3	10.32	8.78	11.93	12.35	12.42	12.70	1.54	-1.61	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte S.S.125	5.3	15.61	10.90	14.49	15.16	17.61	18.07	4.71	1.12	0.45	-2.00	Sor.
Ponte S.S.125-S.S.131D.C.N.	6.3	28.43	22.85	26.30	26.78	27.14	27.54	5.58	2.13	1.65	1.29	0.89
Ponte canale a Berruiles	9.3	47.37	45.53	49.72	50.03	50.32	50.67	1.84	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte stradale a Berruiles	10.3	51.03	46.59	49.89	50.20	50.49	50.84	4.44	1.14	0.83	0.54	0.19
Ponte tubo	12.3	64.68	62.22	64.42	64.58	64.73	65.07	2.46	0.26	0.10	-0.05	-0.39
Ponte canale a Franculacciu	14.3	74.24	72.94	75.77	75.99	76.18	76.39	1.30	-1.53	-1.75	-1.94	Sor.
Ponte via Franculacciu	15.3	77.78	76.13	79.43	79.65	79.86	80.10	1.65	-1.65	-1.87	Sor.	Sor.

Nonostante non esistano opere di arginatura vere e proprie, nel tratto vallivo sono presenti dei rialzi spondali in sinistra lungo il tratto compreso fra il ponte di via Foscolo e la parte fociva del fiume, rispetto ai quali è stata effettuata una simulazione ad argini non tracimabili per verificarne il franco idraulico rispetto alle portate di input della simulazione.

**Tabella 2 - Livelli idrici e franchi idraulici in corrispondenza dell'argine sinistro a valle del ponte in via Foscolo**

Fiume Budoni – Livelli di corrente e valori del franco in corrispondenza delle arginature (ipotesi arginelli/rialzi spondali non tracimabili)												
Descrizione	ID Sez.	Quota rialzo [m s.m.]	Livello idrico [m s.m.]					Franco [m]				
			T=2	T=50	T=100	T=200	T=500	T=2	T=50	T=100	T=200	T=500
Rialzo sinistro	4.5	11.96	8.81	11.95	12.37	12.45	12.97	3.15	0.01	-0.41	-0.49	-1.01
	4.4	11.96	8.78	11.93	12.35	12.42	12.70	3.18	0.03	-0.39	-0.46	-0.74
	4.2	11.96	8.76	11.12	11.44	11.23	11.51	3.20	0.84	0.52	0.73	0.45
	4.1	11.96	8.69	11.00	11.32	10.89	11.12	3.27	0.96	0.64	1.07	0.84
	3	7.04	3.03	5.57	5.81	6.37	6.52	4.01	1.47	1.23	0.67	0.52
	2.5	3.85	1.80	3.20	3.44	3.66	3.93	2.05	0.65	0.41	0.19	-0.08
	2.4	3.85	1.80	3.17	3.41	3.63	3.90	2.05	0.68	0.44	0.22	-0.05
	2.2	3.85	1.80	2.92	3.16	3.36	3.61	2.05	0.93	0.69	0.49	0.24
	2.1	3.85	1.80	2.50	2.71	2.93	3.16	2.05	1.35	1.14	0.92	0.69



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



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## **4 Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale e confronto con le mappature del PSFF**

### **4.1 PREMESSA**

La necessità di operare una ulteriore modellazione idraulica dello stato attuale del fiume Budoni si è resa evidente al fine di conseguire un livello più dettagliato degli scenari di allagamento e la quantificazione dei danni attesi.

In particolare, la possibilità ad oggi di disporre del DTM a maglia di 1,0 m, non ancora realizzato durante la stesura del PSFF, ha reso possibile un ulteriore e più elevato grado di dettaglio del territorio e, quindi, una più realistica definizione delle aree di allagamento. Il modello idraulico del fiume Budoni sviluppato dal DICAAR ha potuto quindi disporre di una base cartografica di estremo dettaglio e di un numero di sezioni decisamente maggiore rispetto a quello utilizzato in fase di modellazione dal PSFF.

Inoltre, la necessità di un'ulteriore dettagliata elaborazione si è resa necessaria per rispondere ad alcune esigenze operative legate essenzialmente allo sviluppo metodologico dell'analisi costi-benefici che sarà utilizzata per dare giustificazione degli interventi proposti. Il presente studio si propone, pertanto, di valutare il danno di piena prendendo in considerazione le effettive quote idriche di allagamento riscontrabili ai diversi tempi di ritorno degli eventi attesi, anche in relazione a diversi scenari d'intervento.

Il nuovo modello unidimensionale del corso d'acqua ha considerato il medesimo tronco fluviale analizzato dal PSFF, conservandone sia l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza, sia le condizioni al contorno; in particolare, sono state mantenute invariate le portate in ingresso alle sezioni di monte e a valle il livello idrico sulla spiaggia pari a +1.80 sul medio mare. È stata conservata anche la geometria delle strutture trasversali di attraversamento, in quanto dichiaratamente originata da un rilievo locale. Infine, si è tenuto conto di tutte le opere esistenti e già collaudate alla data attuale.

La differenza fra il modello del PSFF e il modello del DICAAR, pertanto, è sostanzialmente concentrata nella numerosità e dettaglio delle sezioni trasversali utilizzate: infatti, mentre nel PSFF sono state utilizzate 17 sezioni principali piane e normali all'asse del fiume; nel presente studio sono state adoperate 231 sezioni.

Preliminarmente si è proceduto ad una verifica delle quote delle sezioni utilizzate nel PSFF interpolandole con il modello digitale del terreno. Come si può vedere dalla figure seguenti, la corrispondenza tra sezioni interpolate e sezioni rilevate in sede di PSFF migliora per le sezioni più a monte sia per una migliore lettura delle quote in presenza di tiranti bassi (dato DTM) e sia per la facilità di rilievo in presenza di sezioni più piccole (dato PSFF).

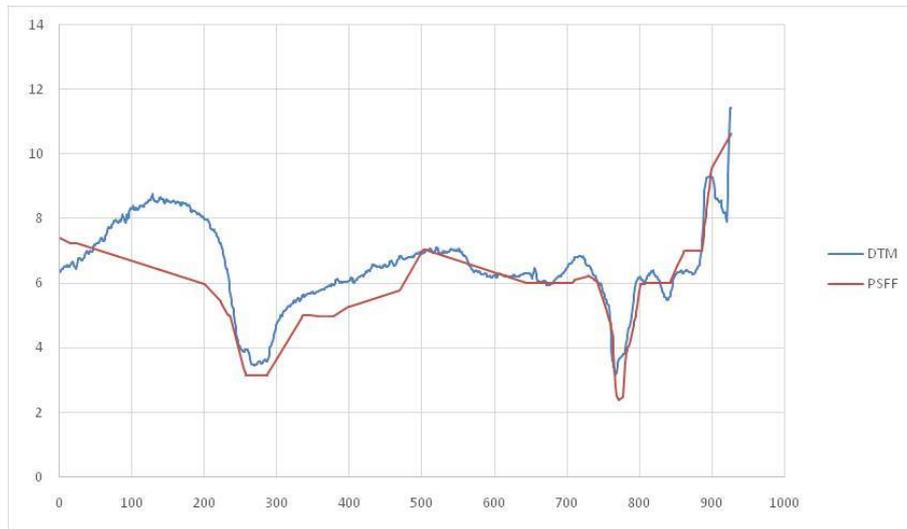


Figura 6 - Confronto fra quote P.S.F.F. e quote DTM - Sez. n°3

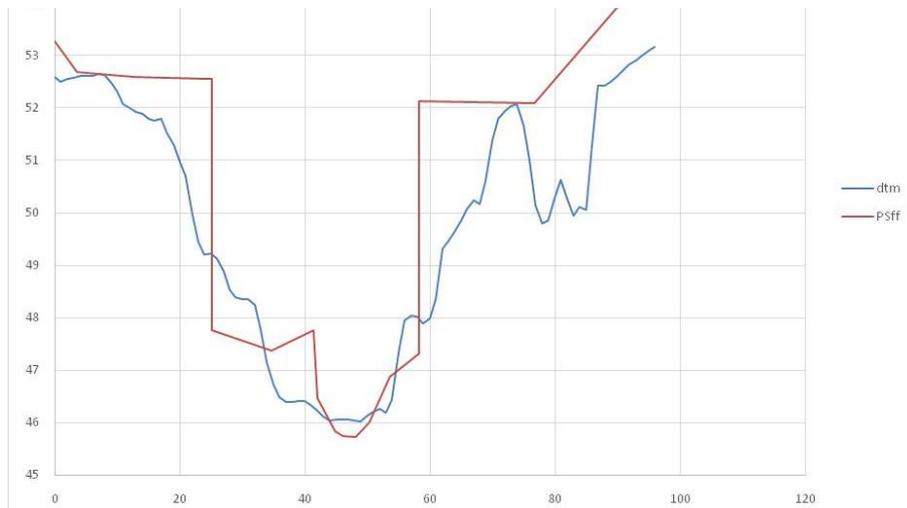


Figura 7 - Confronto fra quote P.S.F.F. e quote DTM - Sez. n°10



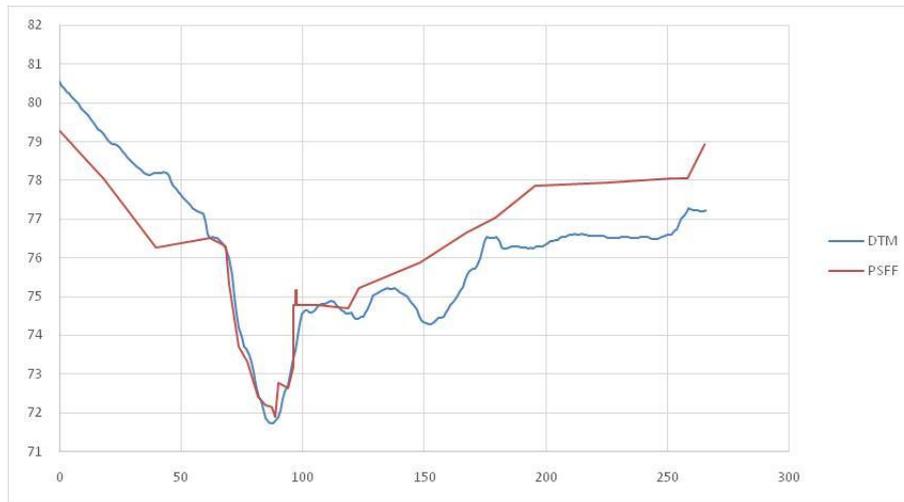
**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**  
PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



**Figura 8 - Confronto fra quote P.S.F.F. e quote DTM - Sez. n°14**

Successivamente si è proceduto nella costruzione del modello integrando, dove necessario, i dati derivanti dalle interpolazioni con il rilievo lidar con quelli dei rilievi realizzati in sede di PSFF: tale operazione è stata effettuata particolarmente in prossimità delle le sezioni più vallive, in cui gli elevanti tiranti idrici non consentono una corretta lettura delle quote dell'alveo di magra da parte del LIDAR. Ad ogni modo si è verificato che, ai fini della verifica idraulica delle sezioni, la differenza nei risultati ottenuti confondendo la quota del fondo alveo con la quota del pelo libero al momento del rilievo risulta comunque tanto più piccola quanto più cresce il valore della portata utilizzata nella simulazione.

L'analisi idraulica è stata eseguita per eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni utilizzando gli stessi valori di portata adottati nello studio condotto dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Nelle figure seguenti si riportano le sezioni adoperate nello studio del PSFF e in quello PGRA. Come si può notare, oltre ad essere in numero superiore, le sezioni PGRA risultano anche molto più estese, in modo da poter rappresentare correttamente la reale sezione fluviale in una simulazione ad argini tracimabili.

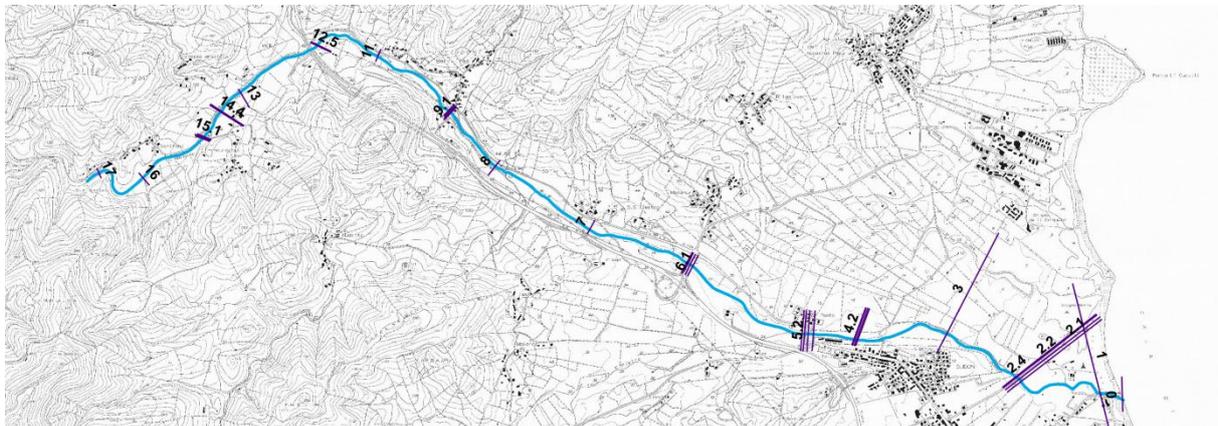


Figura 9 - Tratto di Valle - Sezioni PSFF

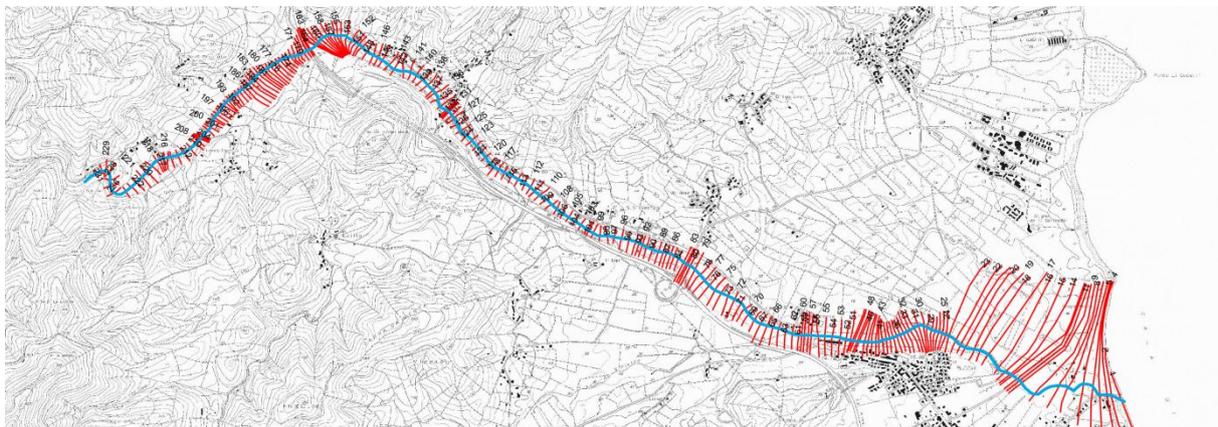


Figura 10 - Tratto di valle - Sezioni PGRA

#### 4.2 RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA NELLO STATO ATTUALE (SCENARIO 0)

Come già detto, le simulazioni idrauliche sviluppate dal DICAAR sono state realizzate preliminarmente sulla base di una configurazione ad argini non tracimabili, volta ad individuare le sezioni idraulicamente insufficienti e valutare i franchi idraulici per le sezioni e gli attraversamenti sufficienti.

In una seconda fase si è proceduto alla simulazione ad argini tracimabili a partire dalle sezioni non sufficienti, individuando le aree interessate dall'esondazione. Nell'analisi dei risultati delle simulazioni si è deciso di mantenere la stessa divisione in un tratto di monte, compreso fra lo stazzo in località Schifoni e il ponte della S.S. 125, ed un tratto di valle compreso fra il ponte della S.S. 125 e la foce.

In linea generale le simulazioni hanno confermato le esondazioni individuate in sede PSFF, anche se il maggior dettaglio ha consentito di definire meglio tali aree. Nei paragrafi successivi sono descritte le principali criticità



riscontrate per i tratti studiati e per i diversi tempi di ritorno, mettendo in evidenza anche le principali differenze fra la perimetrazione P.G.R.A. e la perimetrazione P.S.F.F.

#### 4.2.1 Simulazione relativa al tratto di monte

##### Tempo di ritorno 50 anni

Nel tratto di monte la perimetrazione PGRA riprende l'andamento individuato dal PSFF a causa del confinamento dell'esonazione dovuto ad un alveo incassato o confinato dai rilevati della S.S. 125 e di altre strade secondarie. Tuttavia il maggior dettaglio del DTM permette di individuare alcune aree di allagamento non individuate dal PSFF a causa di un numero di sezioni troppo limitato.

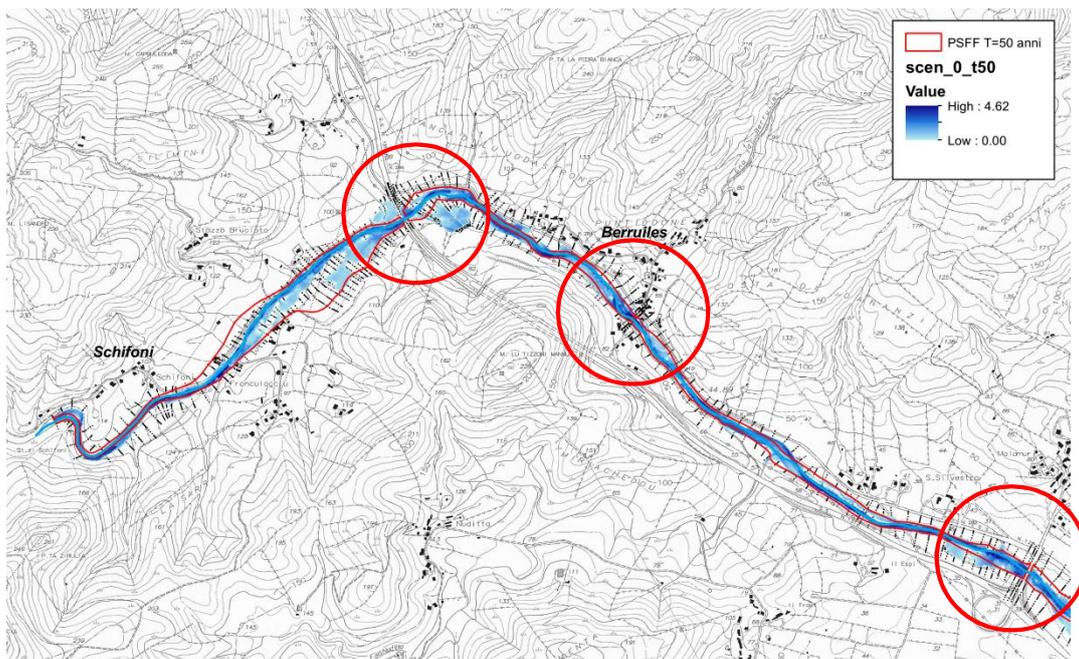


Figura 11 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di monte T=50 anni

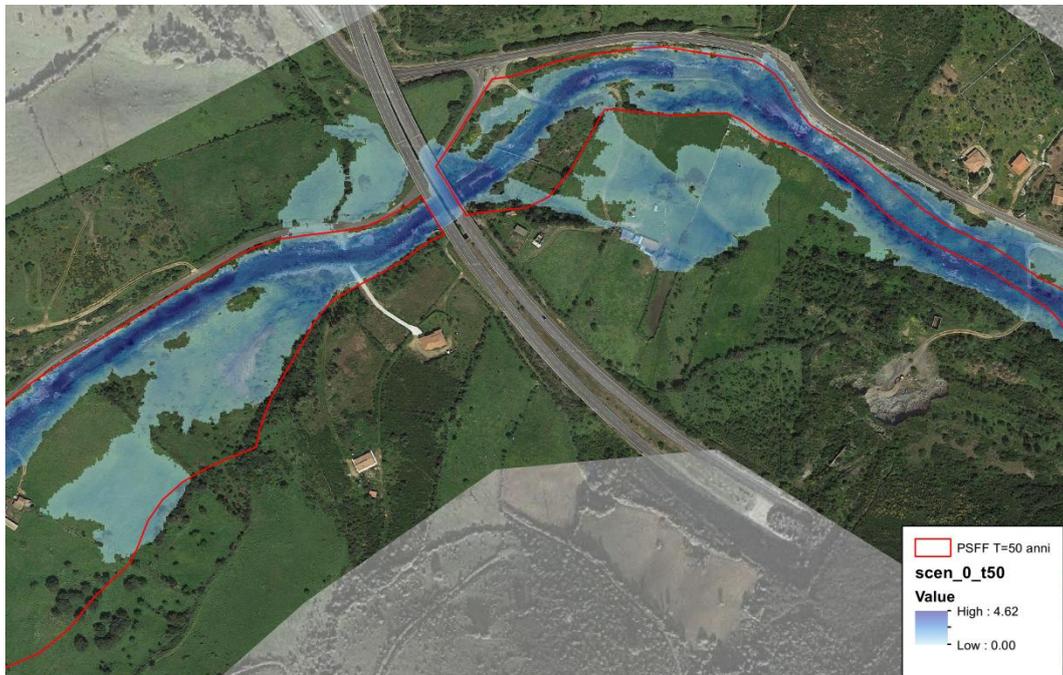


Figura 12 - Particolare dell'esondazione rilevata in prossimità delle sezioni a monte e a valle del viadotto sulla S.S. 131 d.c.n.

In particolare in prossimità del viadotto della S.S. 131 d.c.n. si riscontra una possibile esondazione in sinistra idraulica a monte dello stesso, in prossimità delle sezioni n°172 - 171 -170. Poco più a valle, a partire dalla sezione n°165 e fino alla n°152 si verificano delle esondazioni in destra idraulica che potrebbero interessare un'area depressa nella quale è presente un fabbricato.

Diversi chilometri più a valle, poco prima del ponte di raccordo fra la S.S. 131 e la S.S. 125, la simulazione ha messo in evidenza un interessamento di alcuni edifici ubicati all'interno dell'area di espansione fluviale, compresa fra le sezioni n°93 e n°85 (Figura 17).

Per quanto riguarda le perimetrazioni degli altri tratti, le fasce mappate dallo studio P.G.R.A. coincidono con una buona approssimazione con quelle individuate dal P.S.F.F.

Si evidenziano le seguenti criticità:

- il sormonto del ponte in località Schifoni
- l'interessamento del rilevato della strada che porta dallo stazzo Schifoni alla S.S. 125 in prossimità delle sezioni che vanno dalla 211 alla 207
- l'interessamento di alcuni edifici nella località Berruiles, immediatamente a valle del ponte, interessati dalla corrente di piena e già danneggiati dall'alluvione nel 2010

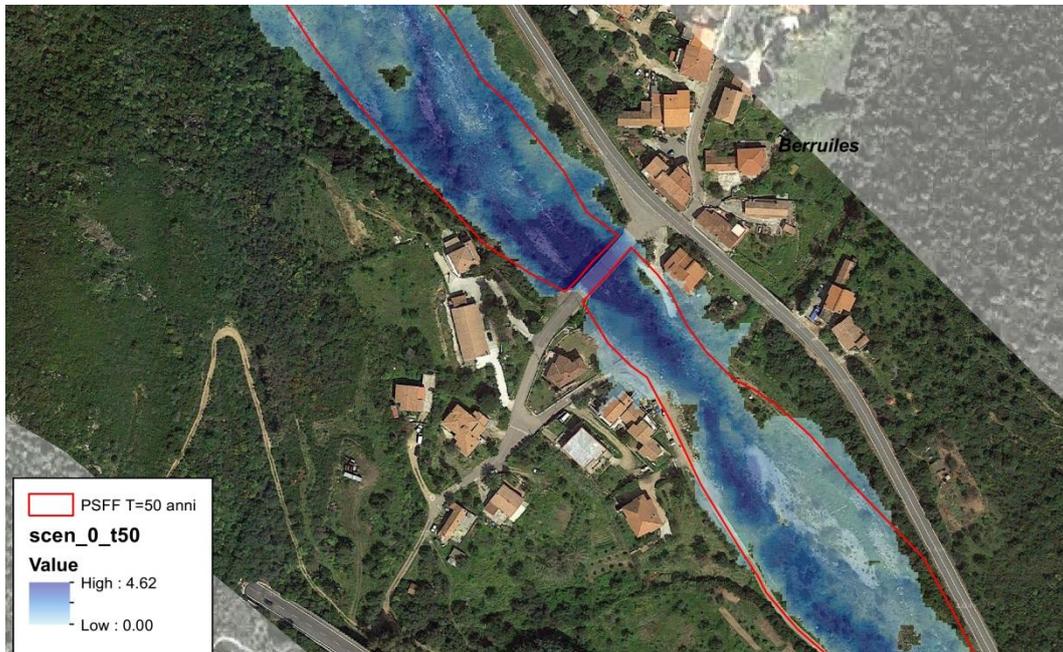


Figura 13 - Particolare della perimetrazione in prossimità della frazione di Berruiles



Figura 14 - Danni provocati dall'alluvione del 2010 nella località Berruiles



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



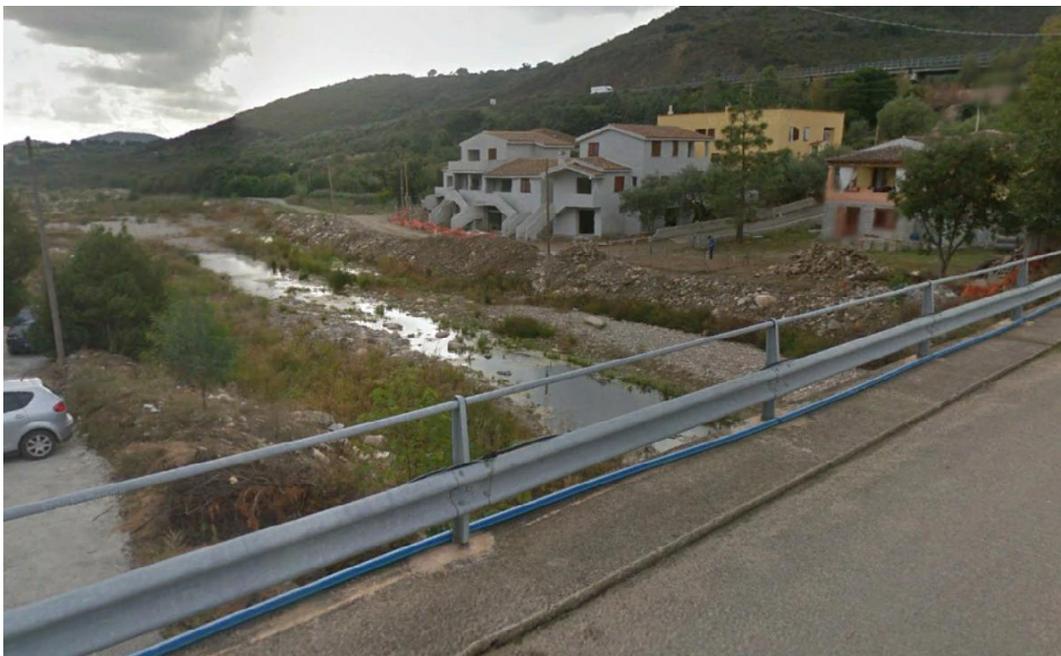
**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



**Figura 15 - Edifici a valle del ponte di Berruiles dopo l'alluvione del 2010**



**Figura 16 – Rispristino dell'alveo e delle costruzioni in località Berruiles interessate dall'alluvione del 2010**

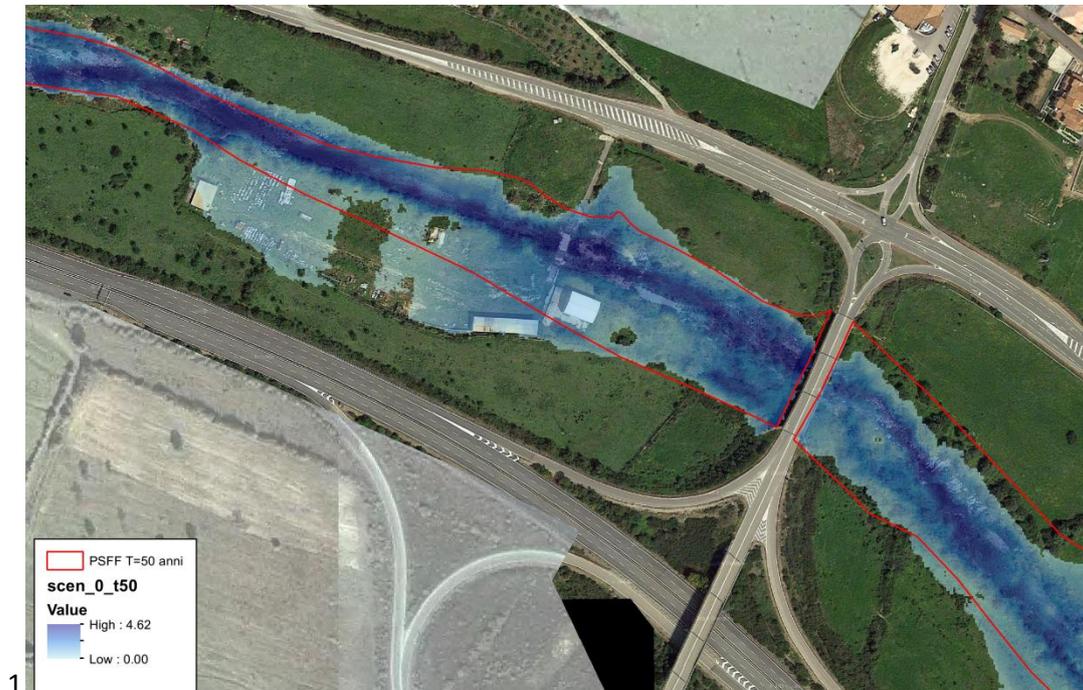


Figura 17 - Particolare dell'esondazione a monte del raccordo fra S.S. 131 d.c.n. e S.S. 125

### Tempo di ritorno T=100 anni

Per la portata relativa al tempo di ritorno di 100 anni non si hanno sostanziali incrementi delle aree allagabili rispetto alla situazione descritta per il tempo di ritorno di 50 anni. Alcune differenze per quanto riguarda il tratto di monte riguardano:

- il sormonto per un breve tratto della strada in località "Stazzo bruciato" compreso fra la sezione n°185 e n°181;
- l'interessamento di un edificio, in destra a monte del ponte della S.S. 125 a causa del rigurgito prodotto dal ponte stesso.

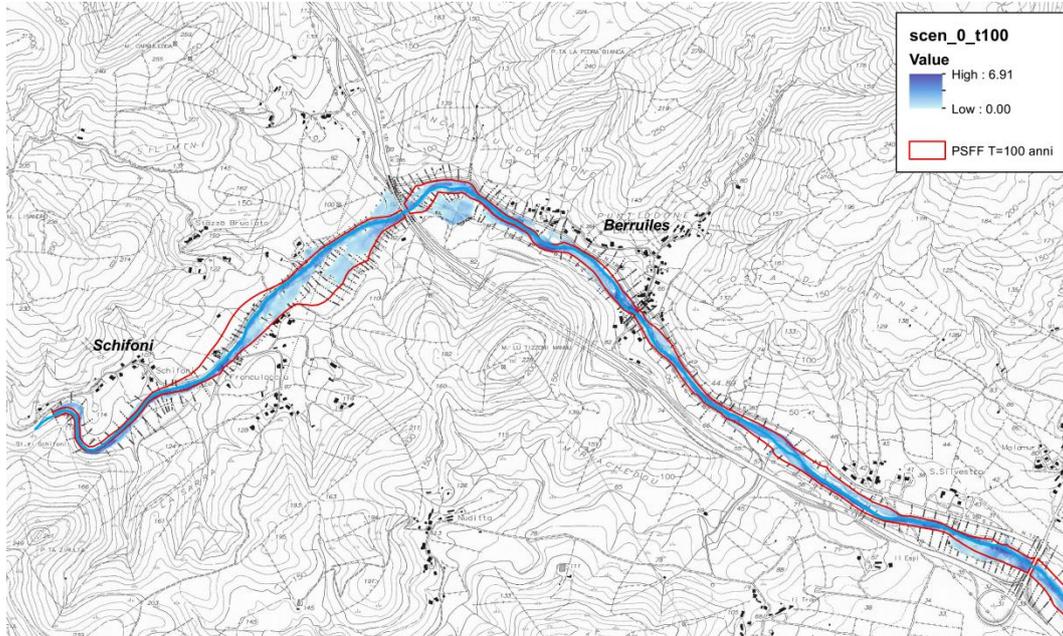


Figura 18 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di monte T=100 anni

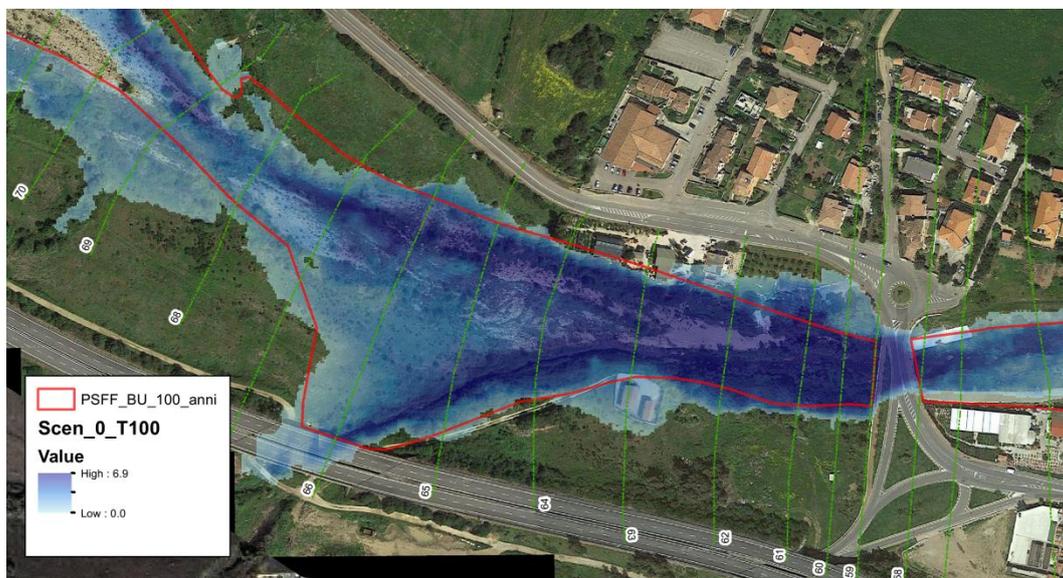


Figura 19 - Particolare della fascia di esondazione per T=100 anni prodotta dal ponte della S.S. 125



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



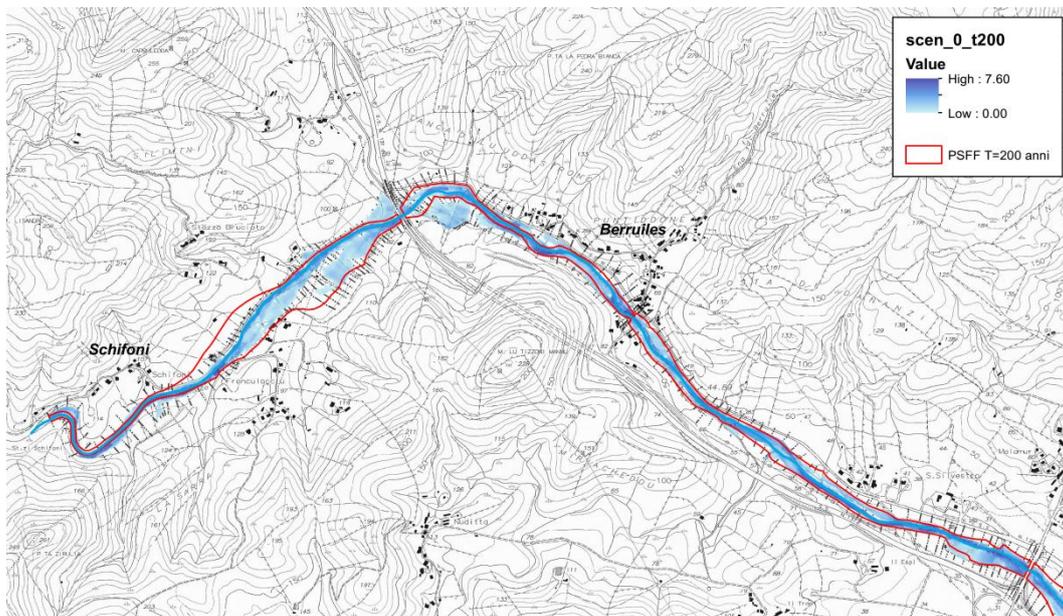
**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

### Tempo di ritorno T=200 anni

Per il tempo di ritorno di 200 anni, relativamente al tratto di monte, non vengono messe in evidenza criticità che non siano state già descritte per le portate relative ai tempi di ritorno minori.



**Figura 20 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di monte T=200 anni**

Per quanto riguarda gli attraversamenti, nel tratto di monte si hanno tre ponti stradali ed un ponte tubo:

- il ponte stradale in località Schifoni viene sormontato per tutti i tempi di ritorno considerati;
- il ponte tubo a valle del viadotto della S.S. 131 viene interessato dalla corrente per tutti i tempi di ritorno;
- il ponte stradale in località Berruiles consente il transito della corrente con un franco accettabile per tutti i tempi di ritorno;
- Il ponte di raccordo fra la S.S. 125 e la S.S. 131 consente il transito della corrente senza interferire con essa per tutti i tempi di ritorno.

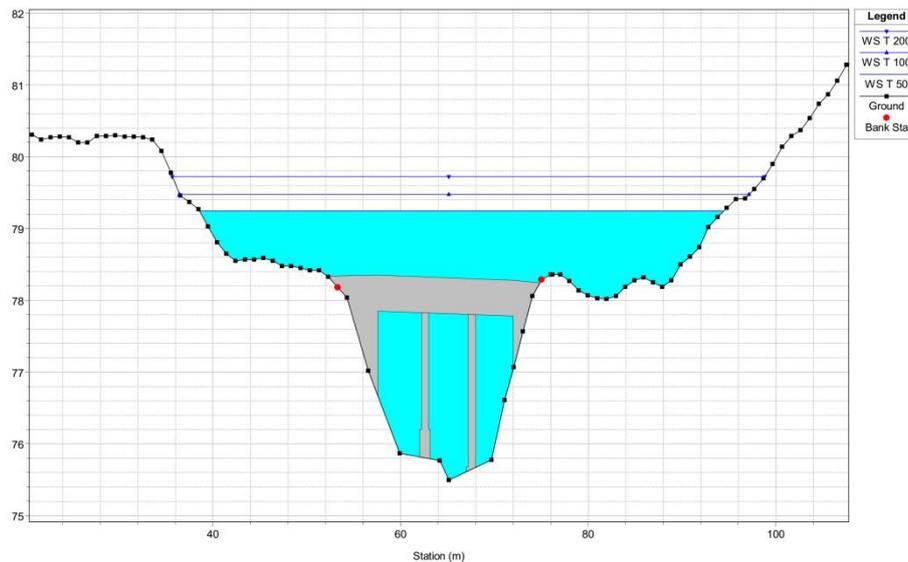


Figura 21 - Ponte in località Franculacciu

#### 4.2.2 Simulazione relativa al tratto di valle

La simulazione del tratto di valle, che si estende dal ponte della S.S.125 alla foce, ha evidenziato alcune criticità specialmente in prossimità dell'abitato di Budoni. Gli elevati tiranti indotti da sezioni idrauliche non sempre sufficienti e dall'interazione dei ponti con la corrente producono fenomeni di esondazione già per tempi di ritorno bassi.

Nel tratto in cui il fiume lambisce la periferia nord dell'abitato di Budoni, a causa dell'assenza di arginature sottodimensionate (è presente un arginello in cattivo stato di conservazione) si verificano esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica.

In prossimità della foce le aree di esondazione diventano sempre più ampie, andando ad occupare tutta l'area umida a ridosso della quale sono stati realizzati negli ultimi decenni alcuni insediamenti turistici. Di seguito si riporta la descrizione di tali criticità per i diversi tempi di ritorno.



## Tempo di ritorno T=50 anni

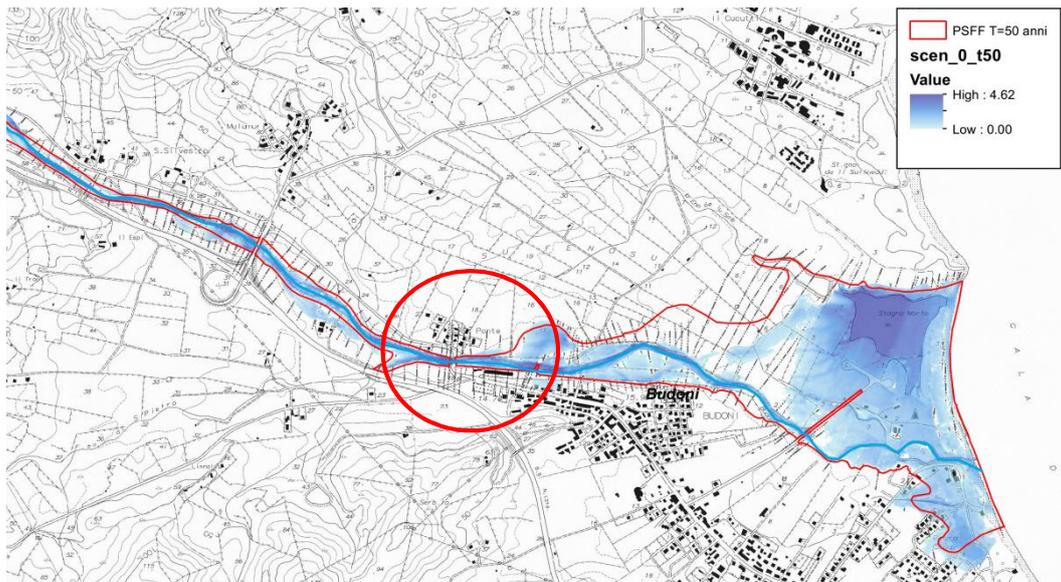


Figura 22 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di valle T=50 anni

La simulazione relativa al tratto di valle per la portata cinquantennale ha dato risultati molto simili a quelli ottenuti dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. Le uniche differenze riguardano il tratto a monte e a valle del ponte di via Foscolo:

- a monte, l'esondazione in sinistra idraulica indotta dal rigurgito del ponte avviene più a monte rispetto al punto indicato nel PSFF, nella sezione n°57.
- in prossimità del ponte di via Foscolo la corrente defluisce in pressione pur non sormontando l'impalcato, tuttavia la rampa di accesso al ponte in sinistra, più bassa, viene sormontata.
- immediatamente a valle del ponte, l'infittimento delle sezioni ha permesso di individuare un punto, in prossimità della sezione n°45, in cui un modesto argine di protezione, realizzato con materiale scadente ed in cattivo stato di conservazione, viene sormontato: la corrente di piena una volta fuoriuscita provoca un'esondazione che interessa una fascia dell'abitato che costeggia via Tasso.



**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

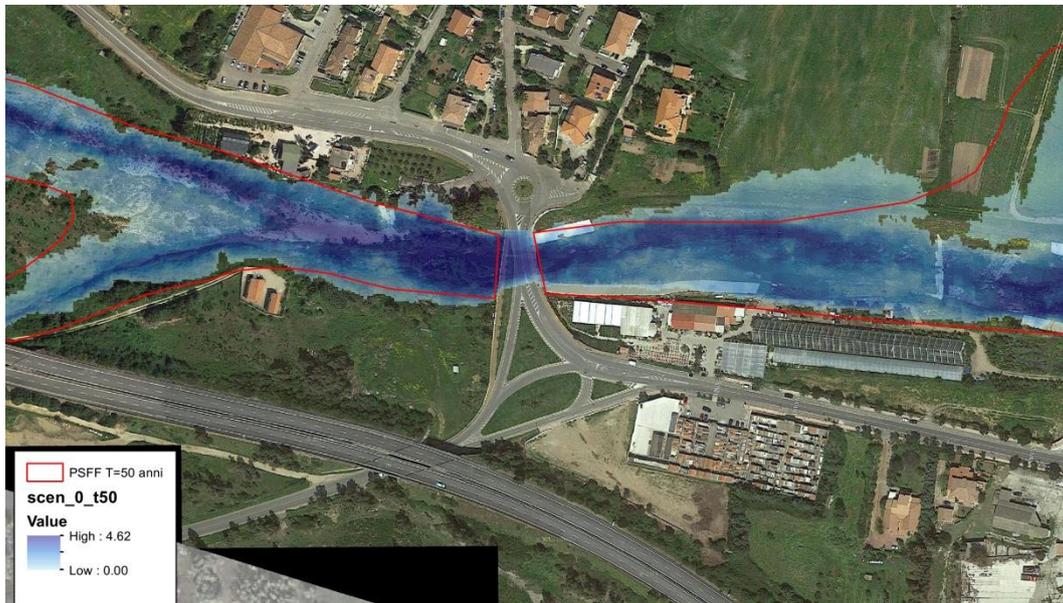


Figura 23 - Particolare dell'esondazione in sinistra idraulica a valle del ponte sulla S.S. 125



Figura 24 - Particolare dell'esondazione in destra a valle del ponte di via Foscolo

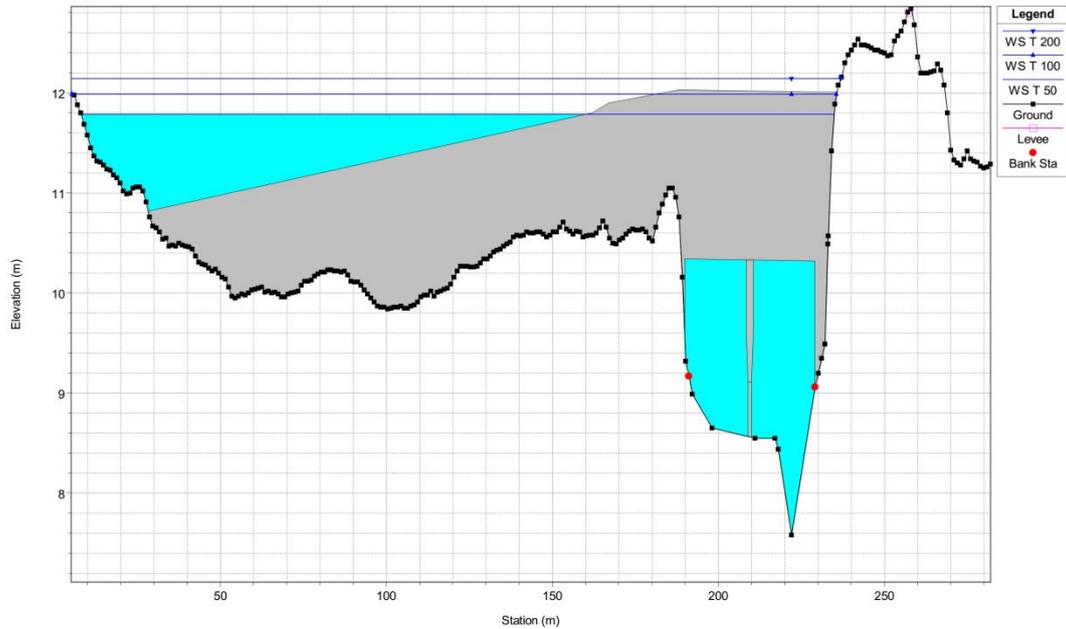


Figura 25 - Ponte di via Foscolo

Nell'area fociva, le esondazioni provenienti da monte e l'incremento e la quota del pelo libero derivante dalla condizione di valle determinano un allagamento diffuso su tutta la fascia costiera che va ad interessare alcuni insediamenti turistici. In particolare in sinistra idraulica risulta investita dalla corrente l'area del Camping Salamaghe, già soggetta ad un evento alluvionale del 2010 che ha provocato la distruzione del campeggio.



Figura 26 - Arginello in destra idraulica a valle del ponte di via Foscolo



**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

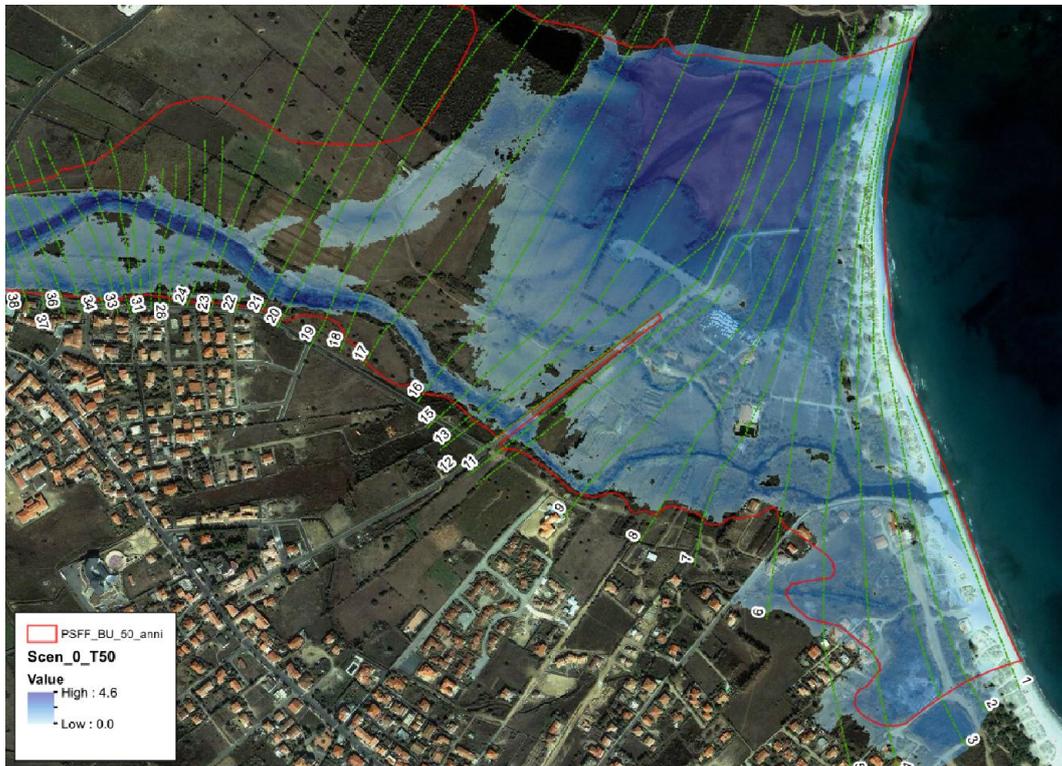


Figura 27 - Area fociva fiume Budoni



### Tempo di ritorno T=100 anni

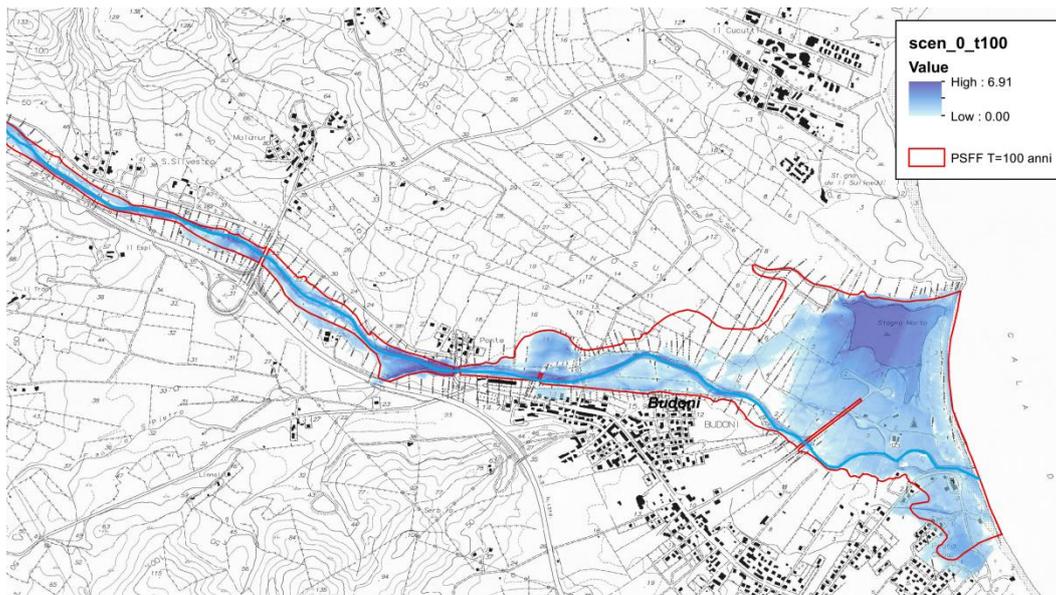


Figura 28 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di valle T=100 anni

La simulazione relativa al tempo di ritorno di 100 anni non mostra ulteriori punti di criticità, tuttavia si evidenzia l'importante rigurgito generato dal ponte della S.S. 125 che il P.S.F.F. segnala solo per la portata relativa al tempo di ritorno di 200 anni.

In prossimità del ponte di via Foscolo il livello idrico arriva a lambire l'estradosso del ponte senza però sormontarlo completamente.

In prossimità della sezione n°19 l'alveo divaga verso sinistra in direzione dell'area umida.

### Tempo di ritorno T=200 anni

La simulazione relativa alle portate con tempo di ritorno duecentennale si differenzia da quella relativa ai tempi di ritorno minori in particolare per due punti:

- in prossimità del ponte della S.S. 125 dove il tirante idrico arriva a sormontare l'impalcato, seppur con tiranti molto limitati: l'eventuale esondazione tende a rientrare nell'alveo immediatamente a valle del ponte;
- in prossimità del ponte di via Foscolo si ha il sormonto dell'impalcato.

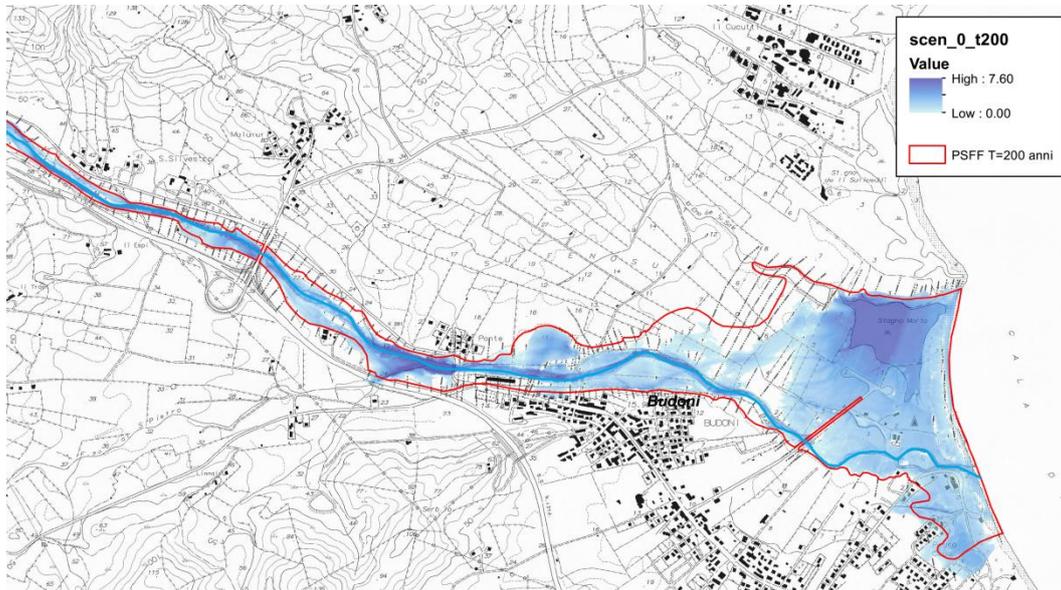


Figura 29 - Confronto fra simulazione PGRA e simulazione PSFF - Tratto di valle T=200 anni

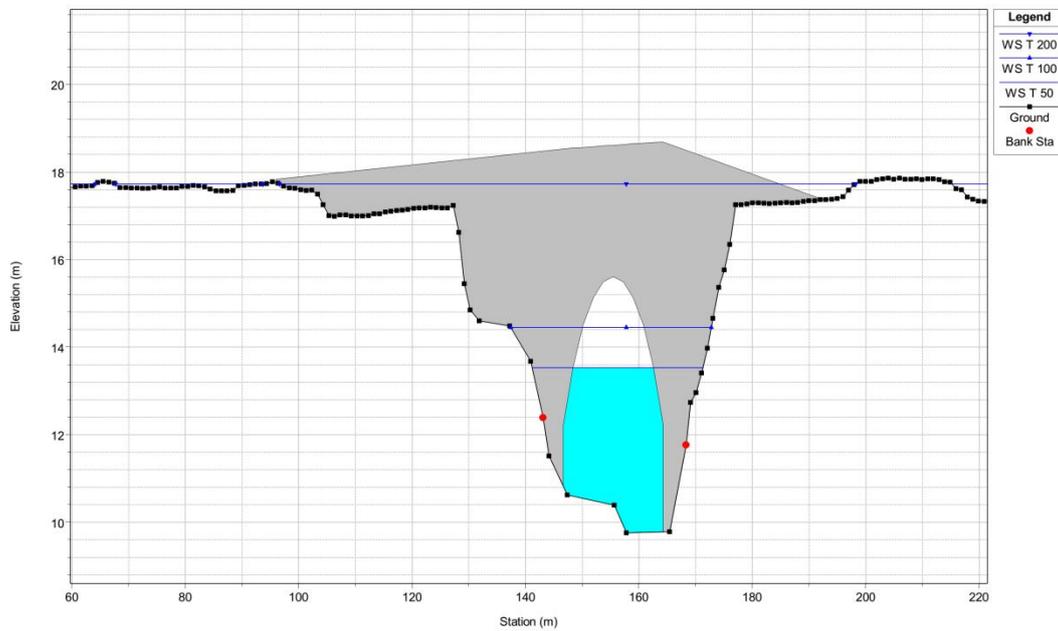


Figura 30 - Ponte della S.S. 125



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

#### 4.2.3 Criticità specifiche attuali

Nel presente studio l'ipotesi del collasso arginale è stata valutata con riferimento alla sola azione esercitata dalla corrente idrica di piena e sulla base dei soli dati geometrici disponibili, mancando, allo stato attuale, una caratterizzazione geotecnica delle condizioni strutturali interne degli argini, necessari per la valutazione del coefficiente di sicurezza dell'ammasso terroso.

A tale proposito si precisa che gli arginelli del fiume Budoni, presenti solo in un breve tratto della parte valliva ed in cattivo stato di conservazione, sono da considerarsi come non tracimabili in quanto non sono dotati di soglie adeguatamente protette che consentano il sormonto e lo sfioro in sicurezza delle portate di piena in eccesso alla capacità di deflusso nella sezione arginata.

Il collasso del corpo arginale è, pertanto, ipotizzato a seguito del sormonto dello stesso. Sono però trascurate criticità legate a possibili fenomeni di sifonamento o di instabilità dell'ammasso.

La geometria del modello idraulico, aggiornato con l'utilizzo dei dati Lidar, ha permesso di stabilire in maniera sistematica l'andamento altimetrico del suolo e degli argini con una densità di circa 1.5 punti per m<sup>2</sup> e un'accuratezza altimetrica corrispondente +/- 1 s che corrisponde ad un errore medio +/- 15 cm. Considerando che generalmente le aree sulle sommità arginali sono sgombre da vegetazione massiva o di alto fusto, si può considerare la migliore prestazione del dato rilevabile con l'ausilio del Lidar. In tal senso, l'incertezza derivante dal dato altimetrico sulla geometria degli argini e quindi sulla stabilità sotto l'azione idraulica deve essere necessariamente rapportato a quella accuratezza: nel seguito pertanto la condizione che induce al sormonto e, conseguentemente, all'apertura di una possibile breccia nel corpo arginale viene fatta corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco minimo di ampiezza minore o uguale a 20 cm.

La portata di piena  $Q_{amm}$  corrispondente a tale valore limite è stata valutata mediante l'analisi idraulica del tronco fluviale del Budoni ripetuta sistematicamente per valori differenti e per intervalli costanti, individuando di volta in volta le sezioni che presentano il franco idraulico minore. Tali portate sono state associate ad un tempo di ritorno T mediante l'interpolazione dei tempi di ritorno relativi alle portate utilizzate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

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

Le sezioni scelte sono quelle in cui le simulazioni hanno evidenziato le situazioni più critiche.



**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 3 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte della S.S. 125**

Sezione "Ponte S.S.125"		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (intradosso)	Q = 320 m <sup>3</sup> /s	79 anni
Franco annullato (intradosso)	Q = 340 m <sup>3</sup> /s	96 anni

--	--

**Tabella 4 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la Sezione n°55**

Sezione 55		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (argine sinistro)	Q = 50 m <sup>3</sup> /s	8 anni
Franco annullato (argine sinistro)	Q = 70 m <sup>3</sup> /s	12 anni

--	--



**Tabella 5 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la Sezione n°45**

Sezione 45		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (argine destro)	Q = 170 m <sup>3</sup> /s	29 anni
Franco annullato (argine destro)	Q = 190 m <sup>3</sup> /s	33 anni

--	--

**Tabella 6 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte di via Foscolo**

Sezione "Ponte via Foscolo"		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (intradosso)	Q = 51 m <sup>3</sup> /s	8 anni
Franco annullato (intradosso)	Q = 70 m <sup>3</sup> /s	12 anni

--	--



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

#### 4.2.4 Volumi di piena delle aree esondate

Sulla base delle simulazioni effettuate sono state calcolate le aree ed i volumi di esondazione determinati dalle piene con tempo di ritorno 50, 100 e 200 anni.

**Tabella 7 - Scenario 0 - Aree e volumi esondati**

T [anni]	50	100	200
Aree [m <sup>2</sup> ]	1,097,931	1,180,055	1,257,437
Volumi [m <sup>3</sup> ]	1,301,487	1,511,131	1,705,047



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## 5 Procedura operativa per il di calcolo del danno di piena nel Bacino fiume Budoni

Come ampiamente illustrato nella Relazione metodologica del PGRA, la procedura per la determinazione del danno si basa sul database DBEE degli elementi d'uso riclassificati in categorie di danno. A ciascuno di tali elementi è stato associato un valore massimo di danno specifico espresso in euro a metro quadrato.

Tabella 8 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo

	DESCRIZIONE CATEGORIA ELEMENTO ESPOSTO	LABEL	COSTO [€/m2]
1	Area con edificio residenzaiale	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 infrastrutture a rete (idriche, elettriche)	T	40.00
9	Aree occupate da corpi idrici	H	-
10	Aree protette di pregio ambientale	J	-
11	Aree storiche archeologiche	K	-
12	Altre aree con danni non tangibili	X	-

Alle 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) corrisponde un valore del danno di piena che in questa fase di elaborazione non viene stimato in termini economici.

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



E' stato anche precisato come l'organizzazione delle informazioni territoriali contenute nel database dell'uso del suolo segue l'impostazione originaria del progetto Corine Land Cover, organizzata secondo una legenda articolata in tre livelli gerarchici via via modificati per tenere conto delle specificità della regione per giungere, con la legenda finale riportata nelle tabelle date precedentemente.

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

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>.

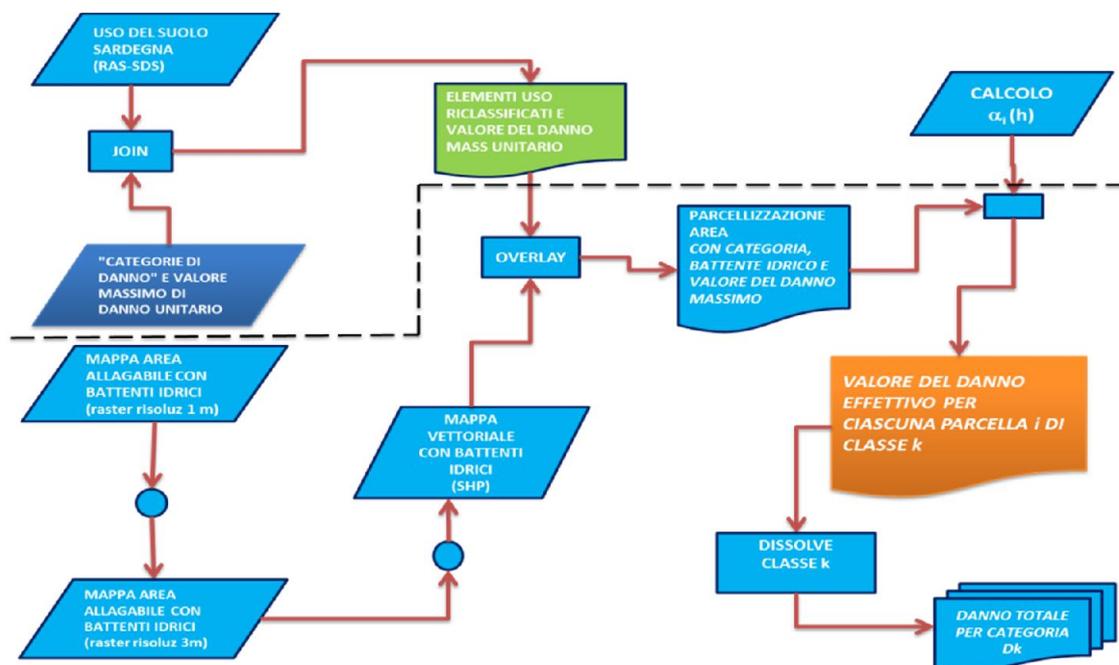


Figura 31 - - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso



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

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

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

La procedura sviluppata nello Studio determina quindi, preliminarmente, il valore del coefficiente di parcellizzazione di piena  $\alpha_k(h_i)$  in relazione alla categoria  $k$  di appartenenza dell'elemento del rischio secondo la classificazione in 12 classi, come esplicitato nella tabella precedente. La determinazione del coefficiente di parcellizzazione è affidata a relazioni che esprimono con un'espressione polinomiale le curve di danno in funzione del battente idrico, come descritto nei paragrafi precedenti. Si osserva che per battenti idrici maggiori di 5 m il coefficiente alfa assume il valore unitario mentre battenti idrici inferiori a 1 cm si associano a un valore nullo dello stesso coefficiente. Si osserva, inoltre, che alle 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 che in questa fase di elaborazione non viene stimato in termini economici.

La procedura di calcolo ALFA, illustrata nella Figura 31, 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. La procedura di determinazione del danno è rappresentata mediante il diagramma di flusso in Figura 31.

## 5.1 DANNO DI PIENA RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

Preliminarmente, considerando lo stato di fatto attuale, la simulazione idraulica degli eventi di piena valutati per i diversi tempi di ritorno ( $T_r=50, 100$  e  $200$  anni) ha individuato l'estensione dell'area vulnerata come indicato nei paragrafi precedenti.

Sulla base della suddivisione in classi degli elementi territoriali, nella tabella seguente sono riportate le aree interessate ed esposte al danno di piena per categoria attribuita e complessivamente con riferimento ai tre tempi di ritorno dell'evento di piena. Per ciascun tempo di ritorno, la tabella riporta, inoltre, la stima del valore atteso del danno 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

Come si può leggere dalla tabella, l'estensione delle aree vulnerate non ha grandi variazioni per i diversi tempi di ritorno, assumendo il valore di 1,097 km<sup>2</sup>, relativo alla portata con tempo di ritorno cinquantennale, 1.18 km<sup>2</sup> per la portata con tempo di ritorno cento anni e 1.257 km<sup>2</sup> per la portata con tempo di ritorno cinquecento anni. I danni causati dagli eventi simulati passano da circa 12,7 milioni di euro per la portata cinquantennale a 17,48 milioni di euro per quella duecentennale.

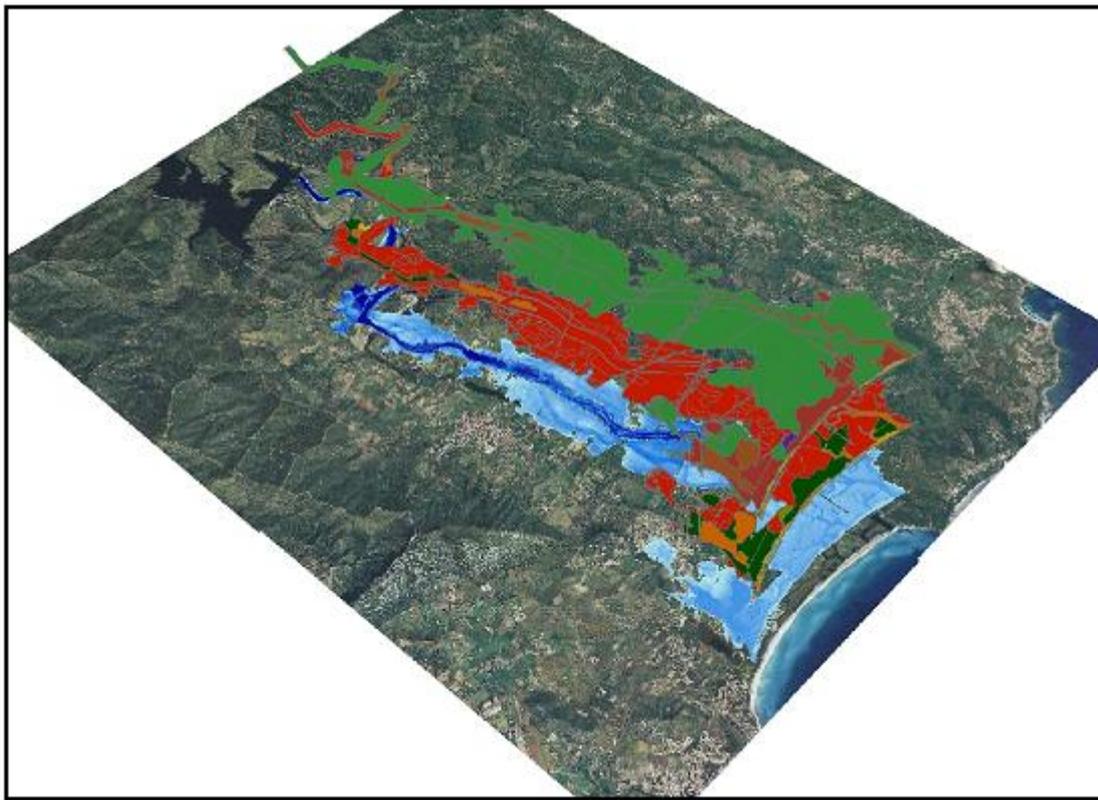
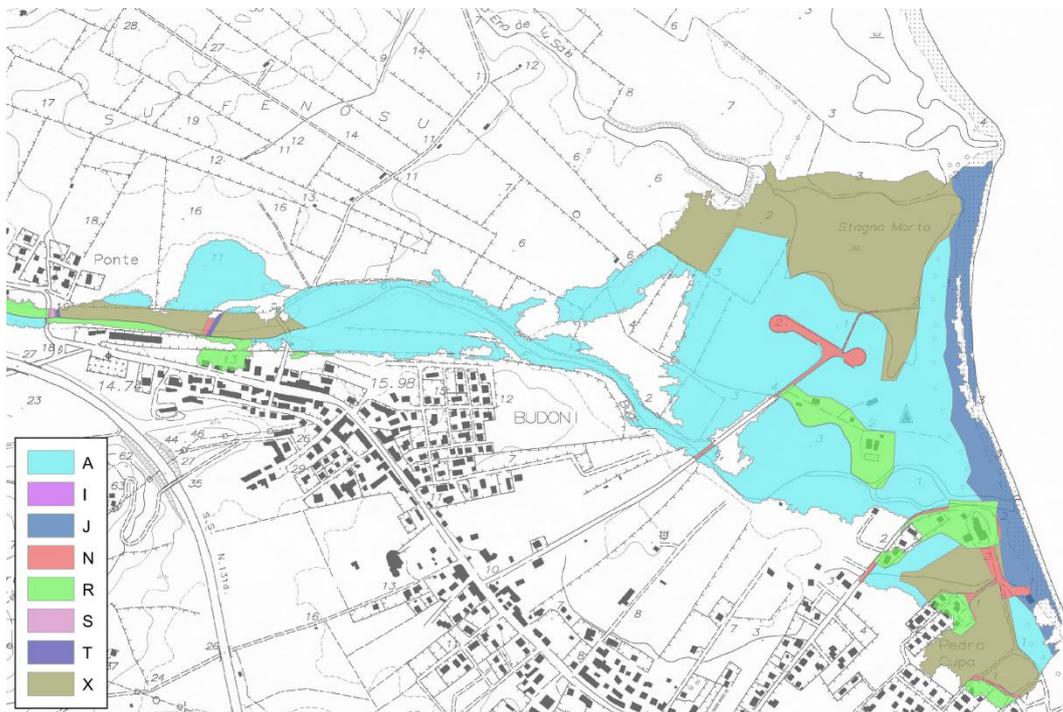


Figura 32 - Overlay degli strati informativi necessari alla valutazione del danno - esempio



**Tabella 9 - Danni e aree interessate dagli eventi di piena per categorie d'uso del suolo**

Categoria	50 anni		100 anni		200 anni	
	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]
A	729,689	€ 212,527	799,240	€ 243,841	862,591	€ 273,661
I	2,275	€ 321,394	2,319	€ 360,070	2,368	€ 395,309
J	56,393	-	56,850	-	59,824	-
N	16,744	€ 61,084	17,744	€ 66,426	18,938	€ 73,230
R	65,593	€ 12,030,150	71,600	€ 14,766,869	78,546	€ 16,618,795
S	1,119	€ 23,242	2,273	€ 36,506	3,031	€ 50,837
T	4,795	€ 41,211	5,335	€ 48,885	5,545	€ 55,816
X	221,322	-	224,694	-	226,595	-
<b>Somma</b>	<b>1,097,931</b>	<b>€ 12,689,608</b>	<b>1,180,055</b>	<b>€ 15,522,597</b>	<b>1,257,437</b>	<b>€ 17,467,649</b>



**Figura 33 - Categorie di danno per le aree esondate del fiume Budoni nel tratto di valle (T=50 anni)**



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



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

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



**Figura 34 - Categorie di danno per le aree esondate del fiume Budoni nel tratto di monte**



**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

Come richiamato nelle premesse, tutti gli interventi definiti con la metodologia di seguito applicata ed illustrata più ampiamente nella sezione metodologica, 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 del Rischio Alluvioni inteso come strumento di pianificazione territoriale sovraordinata, secondo quanto previsto dalle norme Comunitarie, Nazionali e regionali applicabili. Si richiamano in particolare le Norme di Attuazione del PAI della Regione Autonoma della Sardegna, in specifico per quanto riportato 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).

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 arginali è effettuato sulla base della modellazione idraulica precedentemente illustrata e prendendo a riferimento le quote idriche relative all'evento di piena bicentenario ( $T_r = 200$  anni) stimato in PSFF. 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;



**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

- 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;
- 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.

## **6.2 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA**

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

1. interventi strutturali di costruzione e/o demolizione:
  - a. realizzazione di nuove arginature e adeguamento delle quote di quelle esistenti.
2. interventi non strutturali (manutenzione ordinaria e/o straordinaria):
  - a. manutenzioni periodiche delle formazioni arginali esistenti;
  - b. manutenzioni periodiche delle nuove arginature.



**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 caratteristiche dimensionali delle opere di arginatura che si propongono di seguito sono funzionali al contenimento delle piene aventi tempo di ritorno di 200 anni con il franco assegnato pari a 1.20 m; esse sono state quantificate anche in relazione alla presenza degli argini esistenti dei quali si prevede l'eventuale l'adeguamento plano-altimetrico. I rilievi dello stato attuale sono stati eseguiti sulla base del DTM (LIDAR), stimando il volume corrispondente alle geometrie di progetto sulla base dei risultati dell'analisi idraulica.

La loro geometria consente sia la percorribilità sommitale con uno stradello ricavato al colmo dell'argine per le attività di manutenzione e sorveglianza, da raccordarsi alla viabilità pedonale o ciclabile sia la fruizione pubblica dei piani arginali.

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

### **6.3 TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI**

Dall'analisi idraulica del fiume Budoni è emerso che le criticità riscontrate sono dovute principalmente all'insufficienza idraulica di alcuni ponti e alla presenza edificazioni nelle aree di espansione naturale del fiume, sia localmente, come nel caso di alcuni edifici della frazione di Berruiles, sia in maniera più estesa, in prossimità della zona fociva, dove sono presenti diversi insediamenti turistici. In relazione a quest'ultima criticità si è tuttavia ritenuto opportuno non intervenire con opere di contenimento dei deflussi lasciando alla zona, che possiede un elevato valore naturalistico e paesaggistico, la sua attuale naturalità nella regimazione delle portate.

Per la mitigazione del rischio idraulico si è fatto riferimento a due soli interventi:

- il primo è di tipo manutentivo e punta a migliorare le caratteristiche di deflusso nell'alveo, in particolare sotto i ponti ove si sono riscontrate le maggiori criticità;
- il secondo prevede una protezione con riferimento alla portata con Tr di 50 anni e prevede la realizzazione di un'opera di difesa longitudinale che costeggia via Tasso per evitare l'allagamento in destra idraulica a valle del ponte di via Foscolo.

#### **6.3.1 Intervento tipo A - Realizzazione di un'opera di protezione longitudinale**

L'intervento prevede la difesa dell'abitato di Budoni a valle del ponte di via Foscolo. Come già riportato nei capitoli precedenti, il ponte di via Foscolo è insufficiente per tutte le portate simulate, ma viene sormontato a partire dalla portata relativa al tempo di ritorno di 100 anni. Fermo restando che una protezione completa dell'abitato si avrebbe solo con la demolizione ed il rifacimento del ponte con caratteristiche tali da garantire



**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

un franco adeguato, in questa fase si propone un'opera di difesa longitudinale che possa mitigare il rischio con Tr di 50 anni.

Vista l'esistenza di un argine, seppure in pessime condizioni, si è optato per una sistemazione che prevede la ricarica dell'argine attuale di via Tasso a partire dal ponte di via Foscolo per una lunghezza totale di 365 metri. La ricarica, oltre a migliorare le caratteristiche geotecniche dell'arginello esistente, deve avere un sovrizzo medio di 1.3 metri necessario per impedire l'esondazione della portata cinquantennale con un franco di 1.2 metri, garantendo la sicurezza dell'abitato. Sebbene la quota dell'argine sia tale da garantire anche un contenimento della portata relativa al tempo di ritorno di cento anni (seppure con franco limitato), l'insufficienza idraulica del ponte immediatamente a monte non consente di assicurare la mitigazione del rischio per un tempo superiore ai 50 anni. Le elevate velocità impongono inoltre la protezione dell'argine con una mantellata.

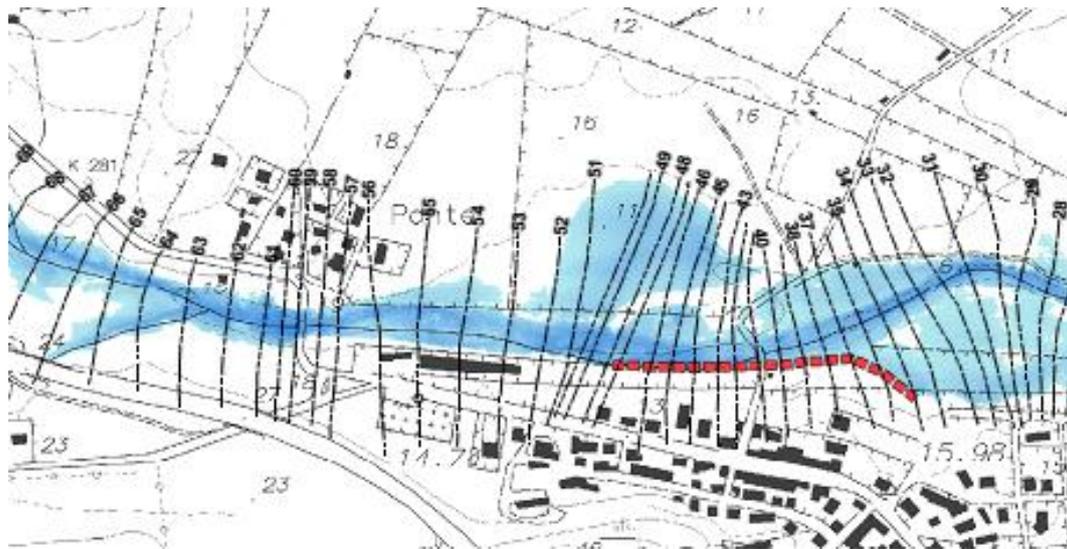


Figura 35 – Sovralzo dell'arginello destro lungo via Tasso

### 6.3.2 Intervento tipo M di manutenzione degli argini e dell'alveo

L'intervento di tipo M riguarda la manutenzione di tutto il tratto arginato di valle (a partire dal ponte della S.S. 125 e fino alla sezione n°19) mediante il taglio della vegetazione e la pulizia e la eventuale ricarica dei rilevati arginali, in particolare in prossimità dei ponti.



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 STIMA DEL COSTO DI REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

In questo Studio, la necessità di ottenere una valutazione del costo degli interventi coerente con il livello di dettaglio consentito dalla fase preliminare di progettazione ha indotto a considerare le necessarie generalizzazioni nella previsione delle esecuzioni e nella stima del costo delle opere da realizzare. A tale scopo è stata adottata una procedura di determinazione per via geometrica delle quantità delle lavorazioni e utilizza, per quanto possibile, il modello digitale di terreno LIDAR ad alta risoluzione per la predisposizione di elaborati. La realizzazione di profili di terreno (profili longitudinali, sezioni trasversali etc) necessari a definire con la migliore approssimazione disponibile la geometria dell'opera in progetto è pertanto ottenuta sulla base della geometria data dal modello digitale. La stima dei costi degli interventi sulle arginature è stata effettuata considerando la geometria dell'opera in progetto sulla base delle tipologie predefinite 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 simili nel territorio isolano da parte di amministrazioni, enti pubblici o società di gestione.

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 opportuno, per la procedura di individuazione dello scenario progettuale economicamente efficiente, considerare l'IVA nel quadro economico.

Nel quadro economico generale dello scenario un capitolo di spesa separato riguarda gli oneri di manutenzione delle opere esistenti e di quelle previste, i quali appaiono pertanto evidenziati e riferiti a un intervallo temporale annuale pur considerando che, in relazione a particolari condizioni, questi si potrebbero presentare più o meno frequentemente (due interventi all'anno, un intervento ogni due anni, ecc.) nella programmazione dei lavori. Di seguito si fornisce la sintesi della valutazione del costo degli interventi precedentemente descritti. Ulteriori elementi sono forniti negli allegati.



**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 10 - Valutazione economica degli interventi**

Descrizione	um	q.tà	p.el.	Importo
A - Realizzazione di un'opera di protezione longitudinale	m	365	634.34	231'534
M - Manutenzione dell'alveo	m	1'188	28.6	34'000



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



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

## 7 Scenari di intervento

### 7.1 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

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

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

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

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

#### 1.1 SCENARIO 0

Nello scenario zero sono stati inseriti solo gli oneri annui di manutenzione per le opere esistenti, consistenti nella pulizia dell'alveo e ripristini locali dei rilevati nel tratto compreso fra il ponte della S.S. 125 e la sezione n°19, oltre la quale il fiume supera l'abitato di Budoni. L'area ha un'estensione di circa 50'000 m<sup>2</sup> per un costo di manutenzione di circa 34'000 euro per anno.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

**Tabella 11 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 0" a monte**

INTERVENTI	IMPORTO
TOTALE LAVORI	
SPESE GENERALI (15%)	
TOTALE LAVORI E SPESE in cifra tonda	
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	€ 34'000

**Tabella 12 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 0**

Categoria	50 anni		100 anni		200 anni	
	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]
A	729,689	€ 212,527	799,240	€ 243,841	862,591	€ 273,661
I	2,275	€ 321,394	2,319	€ 360,070	2,368	€ 395,309
J	56,393	-	56,850	-	59,824	-
N	16,744	€ 61,084	17,744	€ 66,426	18,938	€ 73,230
R	65,593	€ 12,030,150	71,600	€ 14,766,869	78,546	€ 16,618,795
S	1,119	€ 23,242	2,273	€ 36,506	3,031	€ 50,837
T	4,795	€ 41,211	5,335	€ 48,885	5,545	€ 55,816
X	221,322	-	224,694	-	226,595	-
<b>Somma</b>	<b>1,097,931</b>	<b>€ 12,689,608</b>	<b>1,180,055</b>	<b>€ 15,522,597</b>	<b>1,257,437</b>	<b>€ 17,467,649</b>

## 1.2 SCENARIO 1

Lo scenario prevede la realizzazione dell'intervento A, consistente nel sovrizzo dell'arginello esistente lungo via Tasso di un'altezza media di 1.3 metri, che eviti l'esondazione della portata relativa ad un tempo di ritorno di 50 anni.

In seguito alla realizzazione dell'intervento si ha una riduzione del danno atteso di circa 409.000 euro, pari al danno provocato agli edifici localizzati lungo via Tasso da un'eventuale esondazione della portata cinquantennale.



**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 13 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"**

Interventi	Importo
A - Sopralzo arginale destro nel tronco di valle lungo via Tasso	
Totale Lavori	€ 231'532
Spese generali (16%)	€ 37'045
Totale lavori e spese	€ 268'577
In cifra tonda	€ 269'000
Totale oneri per la manutenzione	€ 34'000'

**Tabella 14 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 1**

Categoria	50 anni		100 anni		200 anni	
	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]
A	723,911	€ 212,539	799,240	€ 243,841	862,591	€ 273,661
I	2,275	€ 321,394	2,319	€ 360,070	2,368	€ 395,309
J	53,492	-	56,850	-	59,824	-
N	16,620	€ 60,990	17,744	€ 66,426	18,938	€ 73,230
R	60,559	€ 11,621,326	71,600	€ 14,766,869	78,546	€ 16,618,795
S	1,119	€ 23,242	2,273	€ 36,506	3,031	€ 50,837
T	4,394	€ 41,212	5,335	€ 48,885	5,545	€ 55,816
X	221,442	-	224,694	-	226,595	-
<b>Somma</b>	<b>1,083,812</b>	<b>€ 12,280,703</b>	<b>1,180,055</b>	<b>€ 15,522,597</b>	<b>1,257,437</b>	<b>€ 17,467,649</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 delle opere strutturali 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 relazione ad una analisi Costi-Benefici che prenda in considerazione sia i costi associati all’intervento che i benefici derivanti dalla realizzazione dello stesso intervento, quantificati in termini di riduzione del danno atteso, sia anche in funzione del soddisfacimento di 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 sono 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 misure di emergenza da attuare prima degli eventi, a seguito degli allertamenti, misure da attuare durante le fasi di emergenza per l’evento di piena e misure di post-evento. Con opportune modalità, prima delle piene le popolazioni dovranno essere allertate, potranno essere evacuate e si potranno adottare quelle azioni che limitano i danni dell’esondazione sulle infrastrutture e sui beni più sensibili. Prima e durante l’evento si dovranno adottare misure di intervento e sorveglianza sul territorio: esempi tipici possono essere rappresentati da interdizione all’uso d’infrastrutture di trasporto, realizzazione di lavori temporanei di innalzamento di strutture di protezione, apertura di varchi per agevolare il deflusso, ecc. Dopo la piena dovranno essere adottate le misure che agevolano un rapido recupero nella possibilità di svolgere le regolari attività produttive, e la riutilizzazione delle infrastrutture temporaneamente interdette.



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDENZA  
Direzione Generale Agenzia Regionale del  
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E  
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

L'analisi economica di efficienza, nella stima della riduzione dei danni, di queste misure di emergenza non è agevole: essa è complicata dal fatto che sono difficilmente prevedibili le tendenze individuali ad agire. Spesso questo avviene in maniera non uniforme e talvolta non facilmente prevedibile, specie se il territorio non ha subito vulnerazioni da piena in tempi recenti che consentano, anche sulla base del senso comune, ai singoli di attivarsi con le modalità corrette per affrontare e il superamento della situazione di pericolosità. Sicuramente l'efficienza delle azioni di emergenza s'incrementa 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 fiume Budoni, nelle in analisi di dettaglio sviluppate nel Capitolo 3 sono date le informazioni sulle aree attualmente a pericolosità di alluvione sulla base del PSFF, mentre nel Capitolo 4 sono riportati i risultati ottenuti con la modellazione idraulica aggiornata.

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

Per gli scenari d'intervento definiti nel Capitolo 7 è stato calcolato l'andamento del flusso attualizzato di costi e benefici e il valore finale del VAN secondo i criteri di valutazione della efficienza economica illustrati nella relazione metodologica del Bacino pilota del Coghinas. 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:



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

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

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 orizzonte temporale si ritiene coerente con le analisi da realizzare. Per alcuni interventi potranno essere considerati ulteriori oneri di sostituzione di apparecchiature o rifacimento di opere, quando necessari su questo arco temporale.

Di seguito si considereranno sinteticamente gli scenari d'intervento ipotizzati per il fiume Budoni, riprendendo le caratterizzazioni economiche più estesamente descritte nel Capitolo 7.



**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

### 8.3.1 Scenario 0 – Situazione attuale

Nello scenario zero, pur non inserendo nuove opere infrastrutturali, sono stati inseriti interventi ritenuti assolutamente necessari per il miglioramento delle condizioni deflusso che prevedono oneri annui di manutenzione per le opere esistenti, consistenti nella pulizia dell'alveo e ripristini locali dei rilevati nel tratto compreso fra il ponte della S.S. 125 e la sezione n°19, oltre la quale il fiume supera l'abitato di Budoni. L'area ha un'estensione di circa 50'000 m<sup>2</sup> per un costo di manutenzione stimato in circa 34'000 euro per anno.

La sintesi della valutazione dei danni di piena, riferita allo stato attuale e 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 15 – Danni e aree – Scenario 0**

50 anni		100 anni		200 anni	
Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]
<b>1,097,931</b>	<b>€ 12,689,608</b>	<b>1,180,055</b>	<b>€ 15,522,597</b>	<b>1,257,437</b>	<b>€ 17,467,649</b>

### 8.3.2 Scenario 1

Come già illustrato precedentemente, lo scenario prevede il sovrizzo dell'arginello esistente lungo via Tasso di un'altezza media di 1.3 metri, che eviti l'esondazione della portata relativa ad un tempo di ritorno di 50 anni.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da tali interventi è di 269.000,00 euro.

Gli oneri di manutenzione annui restano valutati in € 34.000,00 per anno.

Sulla base della capacità di deflusso attuale, come definita nel paragrafo 4.2.3, è stato assunto che il danno nullo sia atteso con un tempo di ritorno non superiore a i 12 anni.

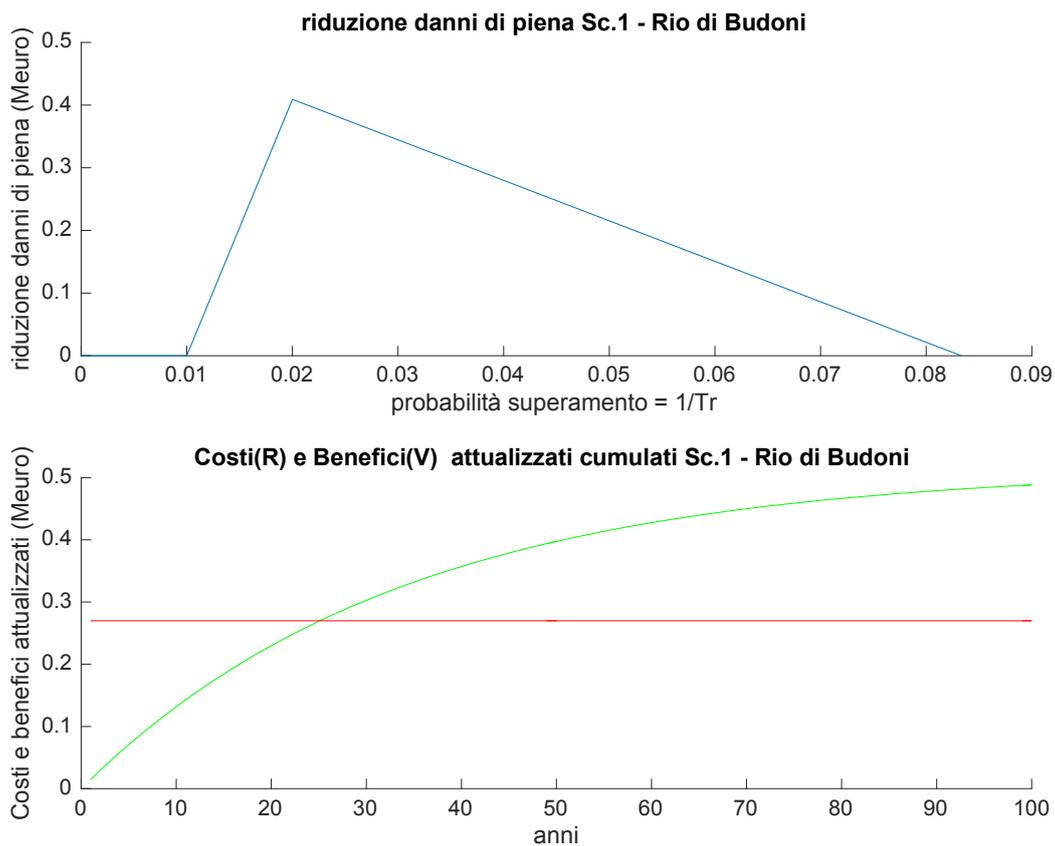
In seguito alla realizzazione dell'intervento si ha una riduzione del danno atteso di circa 409.000 euro associato all'esondazione della portata cinquantennale, mentre l'intervento non determina riduzione di danno atteso per portate con tempi di ritorno superiori.



La Figura 36 visualizza come questo scenario indica la convenienza economica dalla sua realizzazione considerando un orizzonte temporale di circa 25 anni.

**Tabella 16 - Danni e aree - Scenario 1**

50 anni		100 anni		200 anni	
Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]	Area [m <sup>2</sup> ]	Danno [€]
<b>1,083,812</b>	<b>€ 12,280,703</b>	<b>1,180,055</b>	<b>€ 15,522,597</b>	<b>1,257,437</b>	<b>€ 17,467,649</b>



**Figura 36 - Scenario 1 - Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici**