

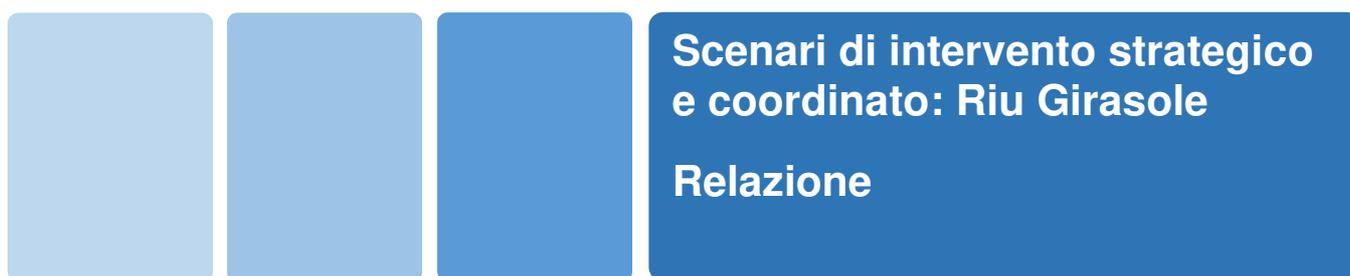


**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA**  
**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

PRESIDÈNZIA  
PRESIDENZA  
AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

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

**secondo ciclo di pianificazione**



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



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

PRESIDÈNZIA  
PRESIDENZA  
AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

***Autorità di Bacino della Sardegna***

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

Direttore Generale: Antonio Sanna

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

Coordinamento tecnico-amministrativo: Gianluigi Mancosu

Coordinamento operativo: Luisa Manigas

Elaborazioni GIS: Gian Luca Marras

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

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

Responsabile Scientifico: Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni GIS: Giovanni Cocco

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

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

***DIREZIONE GENERALE DELLA PROTEZIONE CIVILE***

Direttore Generale: Antonio Pasquale Belloi

Direttore del Servizio pianificazione e gestione delle emergenze: Mauro Merella

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

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

***DIREZIONE GENERALE DEI LAVORI PUBBLICI***

Direttore Generale: Piero Dau

Direttore del Servizio opere idriche e idrogeologiche: Costantino Azzena

Gruppo di lavoro: Roberta Daino, Alberto Spano

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

Per tutti gli approfondimenti: [www.regione.sardegna.it/pianogestionerischioalluvioni](http://www.regione.sardegna.it/pianogestionerischioalluvioni)



|  |    |
|--|----|
| Figura 6.7 - Foce del rio Girasole e area depressa in sponda sinistra con campeggi sull'area dunale (circa 100 ha).....  | 50 |
| Figura 6.8 – Alluvione Novembre 2008: effetti sui camping in sponda sinistra (http://fiumepremaera.blogspot.it/). .....  | 51 |
| Figura 6.9 – Adeguamento in quota dell' argine in sponda destra a monte della SS 125 L = 1650 m .  | 54 |
| Figura 6.10 – Adeguamento in quota degli argini in sponda destra e sinistra a valle della SS 125 L = 2400 m .....  | 56 |
| Figura 6.11 – Area da sistemare dal punto di vista idraulico a ridosso dei nuovi argini (500 ha).....  | 58 |
| Figura 6.12 – Colatore argine destro a valle della SS 125 .....  | 58 |
| Figura 6.13 – Colatore argine sinistro a valle della SS 125.....   | 58 |
| Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per Tr=5 anni ..... | 72 |
| Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per Tr=5 anni ..... | 74 |



## Indice delle Tabelle

|   |    |
|---|----|
| Tabella 4.1 - Valori del rapporto $Q_u/Q_i$ nel tronco a valle di Santa Lucia per i tempi di ritorno indicati (bacino I PSFF) ..... | 35 |
| Tabella 4.2 - Volumi di allagamento allo stato attuale .....  | 39 |
| Tabella 5.3 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo .....  | 40 |
| Tabella 5.4 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....                | 43 |
| Tabella 6.5 – Valutazione economica degli interventi .....  | 60 |
| Tabella 7.6 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0" .....  | 62 |
| Tabella 7.7 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno.....                | 62 |
| Tabella 7.8 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1" .....  | 63 |
| Tabella 7.9 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno .....                  | 64 |
| Tabella 7.10 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1" .....   | 65 |
| Tabella 7.11 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno .....                 | 66 |
| Tabella 8.12 – Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno.....            | 71 |
| Tabella 8.13 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno .....                           | 72 |
| Tabella 8.14 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno .....                           | 73 |



## 1 Premesse

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

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

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

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

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



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 rio Girasole 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 funzionalmente efficienti e possibilmente inseriti in un contesto di eventuale realizzazione anche per step funzionali successivi, ma che comunque mantengano, esaminati singolarmente, adeguata efficienza tecnica nel mitigare la pericolosità da eventi di piena.

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



## 2 Descrizione sintetica del sistema idrografico

Il riu Girasole trae origine dalle sorgenti del monte Orguda (1361 m s.m.), nel comune di Villagrande Strisaili, dove è conosciuto come riu Bacu Gorbini, scorre per circa 21,7 km in direzione sud-est sino alla confluenza col riu Isadalu, quindi raggiunge il mare a nord dello stagno di Tortolì scorrendo in direzione ovest-est. Per una più ampia descrizione delle caratteristiche morfologiche, geologiche e idrologiche del bacino si rimanda alle relazioni del PSFF. Il corso d'acqua, nel tratto sopralacuale, è denominato riu Bau sa Teula; oltrepassata la diga del lago S. Lucia, il corso d'acqua assume il nome dei riu Mirenu ed infine di riu Girasole, nel tratto focivo a valle dell'abitato di Lotzorai.

Nei 12 km dell'asta, dalla confluenza in mare sino a monte del ponte della strada comunale sa Murta, l'assetto del rio è fortemente condizionato dall'invaso artificiale della diga di S. Lucia, posta 8 km a monte della foce e realizzata nei primi anni '50, che influenza il regime dei deflussi condizionando i colmi di piena e trattenendo il materiale detritico proveniente dalla parte alta del bacino.

A monte dell'invaso, l'alveo è in condizioni naturali, di tipo monocursale, poco sinuoso, inciso e ben definito tra i versanti granitici, con sezione di deflusso in magra di larghezza media intorno ai 35 m; le uniche opere esistenti si concentrano in corrispondenza di un centro di itticoltura, in località C. Melis.

A valle della diga la larghezza media dell'alveo di magra passa a valori prossimi ai 50 m, con assenza di fenomeni significativi di erosione lungo le sponde. L'alveo è interamente regimato da opere di difesa spondale e argini di contenimento dei deflussi idrici, per una lunghezza di circa 6 km fino alla foce in mare. La sezione di deflusso di piena, delimitata dalle arginature, ha larghezza pressochè costante mentre la pendenza del profilo di fondo è modesta e i depositi fluviali sono prevalentemente sabbiosi e limosi.

Il tratto compreso tra il ponte dell'acquedotto e il ponte della S.S.125 presenta una serie di opere finalizzate a stabilizzare l'assetto planimetrico dell'alveo e al contenimento dei livelli idrici; lungo questo tratto, in sponda destra, sono presenti numerosi insediamenti agricoli.

Il tratto che va dal ponte della S.S.125 allo sbocco a mare è arginato lungo entrambe le sponde, con argini in terra rivestiti in blocchi di pietra intasati nella parte inferiore del paramento lato fiume. A circa 500 m dalla foce, è presente una traversa di derivazione a scopo irriguo, in grado di alimentare la rete di canali esterni, mentre al termine del tratto arginato, in sponda destra, vi è uno sfioratore laterale con funzione di scolmatore di piena.

La realizzazione degli argini ha stabilizzato il tracciato planimetrico dell'alveo nella piana costiera, interessata da zone umide costituite da stagni e lagune isolate da ampie porzioni di terra emersa su cui è diffusa un'importante attività agricola.



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

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

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

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

**Nel tratto montano** è caratterizzato dall'invaso di S. Lucia che dà origine all'omonimo bacino artificiale. Il rio ha, nel tronco montano sopralacuale e in quello montano sublacuale, caratteristiche di torrente, con pendenza significativa ed alveo di magra monocursale mediamente stretto.

**Il tratto medio vallivo** esteso sino al paese di Lotzorai, è caratterizzato da un alveo tipo monocursale ma a lunghi tratti ramificato, con forma poco incisa e piuttosto ampia. Rispetto al tratto montano la pendenza media diminuisce e la sezione di deflusso aumenta: conseguentemente la velocità media decresce. L'ambito alluvionale è delimitato, con continuità in destra e a tratti in sinistra, da un sistema arginale.

**Il tratto vallivo regimato** in cui il rio, dopo aver oltrepassato la strada statale presso Lotzorai, scorre monocursale, negli ultimi 2,5 km, affiancato parallelamente da due arginature continue in terra. Al di fuori degli argini, la pianura alluvionale litoranea si estende in larghezza per oltre 2 km tra lo stagno di Tortoli a sud e il riu Pramaera a nord.

In merito agli aspetti idraulici occorre sottolineare che il regime dei deflussi è condizionato dalla presenza del lago S. Lucia (volume di massimo invaso pari a  $1.5 \text{ Mm}^3$ ) che, con un'azione di laminazione, regola le portate rilasciate a valle. Il PSFF ha pertanto ipotizzato di suddividere l'asta complessiva in due tratti il tratto sopralacuale e quello sublacuale: il primo ha come condizione di valle (sezione 14) la quota di massimo invaso pari a 62 m slm, il secondo come condizione di monte (sezione 13) le portate laminate rilasciate a valle dell'opera di invaso.

Inoltre poiché nel tratto sublacuale sono presenti delle strutture arginali la modellazione idraulica in questo tratto deve articolarsi secondo due scenari: argini **non tracimabili** e **argini tracimabili**; la prima condizione consente di stabilire se gli argini esistenti sono sufficienti al contenimento delle piene con diversi tempi di ritorno, la seconda interviene solo per quei tempi di ritorno che



determinano il sormonto arginale e serve per tracciare le fasce fluviali corrispondenti alle portate che determinano tracimazione.

Nello specifico si rileva che la modellazione con argini non sormontabili ha evidenziato che nel tratto sublacuale gli argini sono sufficienti al contenimento della piena centenaria, mentre mediamente i livelli idrici risultano superiori alla quota di sommità delle arginature per portate con tempo di ritorno pari a 200 anni, per cui per le portate T200 si è proceduto a costruire ed implementare uno scenario con argini sormontabili.

In totale quindi sono tre gli scenari costruiti ed implementati:

- tratto montano (sino al lago S.Lucia) con portate naturali;
- tratto sublacuale (lago – foce) con argini non sormontabili e portate laminate per ogni tempo di ritorno;
- tratto sublacuale (lago – foce) con argini sormontabili e portate laminate T200.



### 3.1 SINTESI DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati delle simulazioni possono essere discussi separatamente per il tratto montano e per quello sublacuale.

**Tratto a monte del lago di S. Lucia** - la corrente defluisce in condizioni subcritiche per tutti gli eventi considerati, se si eccettua un passaggio locale per le condizioni critiche in virtù di un salto di fondo. La pendenza media elevata, pari a 1,5%, associata alle caratteristiche morfologiche evidenzia un alveo dallo sviluppo tipicamente montano; le velocità risultano piuttosto elevate, in media superiori ai 3 m/s nel caso di portate di piena con elevato tempo di ritorno.

L'andamento dell'area interessata dal deflusso segue la morfologia dell'alveo: il deflusso di piena ordinario ha velocità media di 2,5 m/s e la larghezza interessata non supera generalmente i 40 m.

La larghezza interessata dai deflussi di piena più intensi segue piuttosto bene l'andamento dell'alveo inciso, aumentando fino a valori pari ad un centinaio di metri in località Case Brontu e allo sbocco a lago.

Non sono presenti in ambito fluviale insediamenti abitativi né attraversamenti. Nello stretto passaggio morfologico vallivo a circa 600 m dal lago, si registra la presenza, in sponda destra, di una azienda ittica ubicata a ridosso del letto di magra. Nel breve tronco, la pendenza di fondo del riu è controllata da una soglia, mentre la sponda lato azienda è difesa da un muro in calcestruzzo per una lunghezza di circa 250 m.

**Tratto sublacuale lago S. Lucia - foce: livelli di piena in presenza di argini non sormontabili** - Le simulazioni evidenziano come la corrente defluisca in condizioni subcritiche (corrente lenta) per tutto il tratto oggetto di studio e per tutti gli eventi considerati, se si eccettua il passaggio in condizioni critiche in corrispondenza di una soglia ubicata presso gli edifici del Consorzio di Bonifica (sez. 9).

Le velocità di deflusso si mantengono alte nel primo 1,5 km di corso d'acqua a valle della diga, principalmente in virtù della pendenza elevata (in media pari a 1,0%) e della stretta morfologia valliva. In questo tratto i valori di velocità risultano superiori a 3,0 m/s.

Nel tratto di monte, compreso tra la diga e il doppio attraversamento stradale-acquedottistico, la portata di piena, pur non risultando contenuta nell'alveo inciso, defluisce su una fascia limitata, di ampiezza inferiore a 90 m, anche per gli eventi più estremi.

Circa 1,5 km a valle della diga, il corso d'acqua è intersecato in breve successione da due ponti e da una soglia. Il primo è un ponte-canale (Figura 3.1) che interferisce significativamente con la piena, a causa del restringimento indotto dalla grande pila centrale e dalle spalle. Il franco appare



insufficiente per portata con tempo di ritorno 100 anni, mentre diventa completamente inadeguato per tempi di ritorno maggiori durante i quali il moto avviene in pressione.

L'attraversamento stradale successivo al ponte-canale (circa 50 m a valle del primo), appare adeguato al passaggio di portate con tempo di ritorno anche cinquecentennale. Tale ponte permette l'attraversamento della strada consorziale Tradalla mediante tre arcate di 26 m di luce ciascuna e quota di intradosso sufficiente a garantire condizioni di sicurezza rispetto ai livelli calcolati nella simulazione idraulica.

Oltrepassato il doppio attraversamento stradale-acquedottistico, la valle si amplia e contemporaneamente la pendenza media diminuisce; la sezione di deflusso aumenta progressivamente fino a superare i 180 m di larghezza media, mentre i valori di velocità si presentano mediamente più bassi, compresi tra 1,5 e 2,5 m/s.

Solo localmente si riscontrano valori di velocità più elevati, in corrispondenza della soglia del Consorzio di Bonifica, a partire dalla quale sino a Lotzorai, la sezione di deflusso è delimitata in destra da un sistema arginale il quale contiene i livelli idrici corrispondenti alla piena con tempo di ritorno 100 anni; portate più elevate determinano livelli idrici superiori, localmente, alla quota di coronamento dei rilevati per cui sarà necessario ricorrere allo **scenario ad argini sormontabili**.

Raggiunto l'abitato di Lotzorai, in corrispondenza dell'attraversamento della strada statale S.S. 125, il riu si immette nell'ultimo tratto focivo, arginato lungo entrambe le sponde sino a mare.

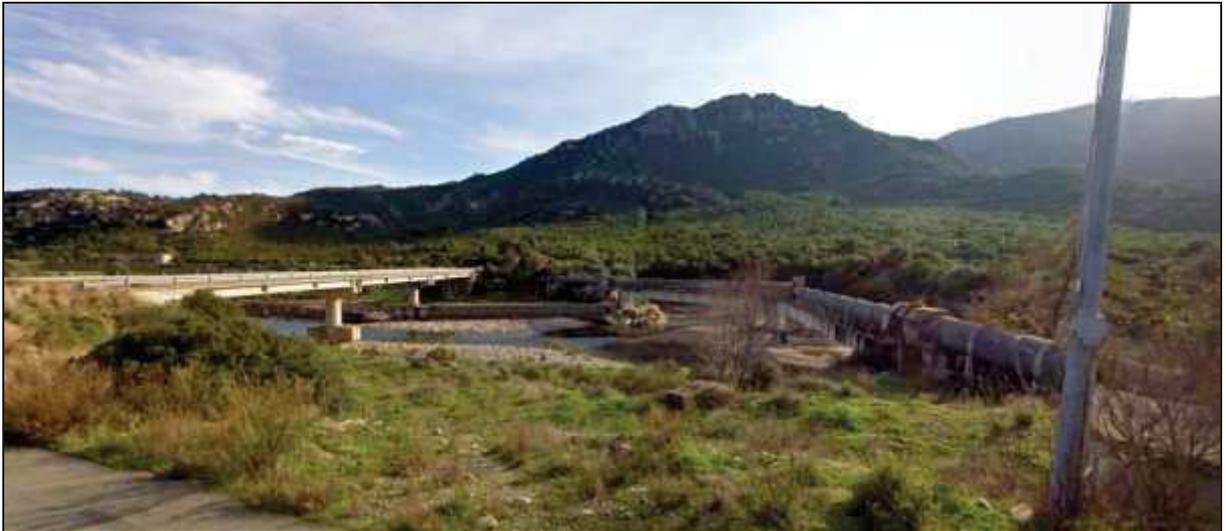
Il ponte della S.S. 125 a tre campate con luce centrale ad arco (Figura 3.2), appare con franco insufficiente per la portata con tempo di ritorno 50 anni, inadeguato per il tempo di ritorno di 100 anni, mentre l'evento duecentennale comporterebbe la tracimazione dell'impalcato. Va però tenuto presente che in questo tratto i rilevati arginali esistenti non sono sufficienti al contenimento dei livelli della piena di 200 anni; lo scenario di simulazione ad argini non tracimabili non è pertanto significativo per tali condizioni di portata e quindi il grado di sollecitazione idraulica del ponte è meglio rappresentato dalle simulazioni "con argini tracimabili".

A partire dal paese di Lotzorai, il corso d'acqua si presenta arginato (Figura 3.3) su entrambe le sponde per una lunghezza indicativamente pari a 2,5 km. In tale tratto la sezione interessata dal deflusso presenta un andamento regolare, comprendendo tutta la larghezza disponibile da argine ad argine (circa 135 m). Dall'analisi dei livelli idrici derivanti dalle simulazioni effettuate, appare l'inadeguatezza delle strutture di contenimento idraulico per eventi confrontabili con l'evento duecentennale per cui sarà necessario ricorrere per questo tempo di ritorno allo **scenario ad argini sormontabili**.

Infine è necessario indicare la presenza nel corpo arginale destro, a circa 150 m dalla foce, del manufatto di uno scolmatore di piena a stramazzo laterale (Figura 3.4). L'opera, che presenta luci di fondo e stramazzo superficiale, ha la funzione di derivare parte della portata del riu Girasole convogliandola verso il grande stagno di Tortoli, 1,2 km a sud dalla foce del riu. La significativa



vicinanza dell'opera al mare è tale da ritenere trascurabile un eventuale effetto di laminazione dello scolmatore sulla piena.



**Figura 3.1 – Ponte canale e ponte su strada consorziale Tradalla**



**Figura 3.2 – Ponte SULLA ss 125**



Figura 3.3 – Argine sinistro a valle della SS 125



Figura 3.4 – Scolmatore a stramazzo laterale nella foce del rio Girasole



### **Tratto sublacuale lago S.Lucia - foce: livelli di piena in presenza di argini tracimabili**

Il tratto interessato dalle simulazioni idrauliche con scenario ad argini tracimabili è compreso tra la soglia del Consorzio di Bonifica e la foce ed è relativo ai tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

Questo tipo di simulazione è indispensabile per stimare, almeno in prima approssimazione, l'estensione delle aree inondabili e i relativi tiranti idrici in corrispondenza dei tratti arginati continui situati a protezione dei grandi appezzamenti coltivati ad est e ad ovest di Lotzorai, ma inadeguati al contenimento dei livelli delle piene di 200 e 500 anni.

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

Le aree a maggiore criticità appaiono essere i territori bonificati e depressi a sud del riu, direzione stagno di Tortolì. Inoltre l'elevata interferenza provocata dall'attraversamento della S.S. 125 può indurre, a causa del rilevante rigurgito, l'allagamento anche delle ampie aree coltivate a sud-ovest di Lotzorai.

In sintesi, in base ai risultati delle simulazioni, possiamo individuare tre tronchi fluviali omogenei:

**il tratto montano** – è quello a cavallo dell'invaso di S.Lucia, fino alla strada consorziale (Figura 3.1), dal carattere tipicamente torrentizio con pendenza significativa (1%) e letto naturale monocursale di larghezza mediamente pari a 40 m: per gli eventi più intensi la portata di piena, pur non risultando contenuta nell'alveo inciso, defluisce su una fascia limitata, di ampiezza inferiore a 90 m; solo localmente, in prossimità di confluenze secondarie, la valle si apre e la fascia d'esondazione può superare i 150 m. Le velocità, arriva sino ad oltre 3,0 m/s per la portata cinquecentennale con picchi oltre i 4 m/s in corrispondenza di strutture e contrazioni della sezione di deflusso. Le zone di allagamento sono pressochè disabitate è presente solo qualche casa isolata, come l'azienda ittica ubicata in località Funtana s'Argiolas che può esser interessata da episodi di allagamento.

Se si esclude la diga di S. Lucia, le opere di sistemazione idraulica sono quasi del tutto assenti. A termine del tratto montano il rio è intersecato in breve successione da due ponti: il primo ponte canale interferisce significativamente con la piena e appare inadeguato al passaggio di portate superiori ad un tempo di ritorno di 100 anni, mentre il secondo, stradale e di recente realizzazione, garantisce condizioni di sicurezza rispetto ai profili idraulici per tutti gli eventi simulati.

**il tratto medio-vallivo**, esteso sino a Lotzorai; è compreso tra le sezioni a valle dei due attraversamenti in Figura 3.1 e l'abitato di Lotzorai, a monte del ponte della statale S.S. 125. L'alveo



di piena ordinaria mantiene una tipologia monocursale, a lunghi tratti ramificata, con forma poco incisa e piuttosto ampia, mentre la pendenza media di fondo diminuisce allo 0,4%. La sezione di deflusso aumenta progressivamente fino a superare i 180 m di larghezza media, mentre i valori di velocità si presentano mediamente più bassi rispetto al tratto montano, compresi tra 1,5 e 2,5 m/s. L'ambito alluvionale compreso tra gli edifici del Consorzio di Bonifica e Lotzorai è delimitato, con continuità in destra e a tratti in sinistra, da un sistema arginale che appare adeguato al controllo dei livelli di deflusso per piene con tempi di ritorno 100 anni; portate più elevate possono provocare il sormonto, localmente, delle arginature. Lo stesso attraversamento della S.S.125 a Lotzorai appare inadeguato al transito di piene con tempo di ritorno superiore ai 100 anni; portate più elevate possono condurre al sormonto, in destra, della strada d'accesso.

Alle portate di piena valutate nel PSFF per un tempo di ritorno di 200 e 500 anni, consegue la tracimazione degli argini e le stesse determinano l'allagamento delle ampie aree subpianeggianti a sud del rio, dove sono presenti alcuni insediamenti agricoli, con altezze d'acqua superiori a 1,0 m.

**il tratto focivo arginato** - è compreso tra il ponte della strada statale Orientale Sarda S.S.125 e la confluenza a mare. Il fiume scorre a mare per 2,5 km controllato da arginature parallele, distanti circa 135 m; l'alveo tipo è monocursale. Al di fuori degli argini, la pianura alluvionale litoranea si estende in larghezza per oltre 2 km tra lo stagno di Tortoli a sud e il riu Pramaera a nord. Il profilo longitudinale indica, nel tratto focivo, una pendenza media al fondo di 0,16%, tuttavia, a causa della ristretta sezione di deflusso, le velocità in gioco per le portate più elevate rimangono alte e comprese tra 1,5 e 2 m/s. Le simulazioni evidenziano come la corrente defluisca in condizioni subcritiche per tutto il tratto oggetto di studio e per tutti gli eventi considerati.

Le caratteristiche idrauliche sono molto simili al tratto medio vallivo, ma l'assetto idraulico è caratterizzato dagli interventi di regimazione eseguiti: durante gli eventi di piena il deflusso è contenuto, per eventi con tempo di ritorno 100 anni, all'interno dei rilevati arginali e la larghezza di deflusso copre interamente la distanza trasversale tra le due opere. Per eventi superiori al tempo di ritorno di 100 anni si ha la tracimazione dei corpi arginali e lo schema ad argini tracimabili permette di quantificare i tiranti d'acqua e l'estensione di allagamento del territorio retrostante le opere idrauliche. Tanto in sinistra che in destra idraulica il deflusso, facilitato dalla presenza di canali di bonifica e irrigazione, può provocare estesi allagamenti con tiranti che possono superare, nelle aree più depresse, 1 m di altezza. E' necessario evidenziare la presenza, in area inondabile, di bassi rilevati stradali che possono ostacolare, deviare e limitare la propagazione del deflusso nell'area alluvionale.

L'ampia pianura litoranea soggetta ad allagamento è caratterizzata da una rilevante antropizzazione del territorio: gli interventi di bonifica hanno ridotto le superfici frequentemente allagabili dal fiume e risanato le zone depresse, recuperando terreni per la coltivazione e l'insediamento di attività prevalentemente agricole.

**Infrastrutture** - Dal punto di vista infrastrutturale con riferimento alla piena bicentenaria le infrastrutture stradali di maggiore interesse che insistono lungo il tronco sono:



- **Il ponte sulla SS 125** (Figura 3.2 e Figura 3.5): appare inadeguato al transito di piene con tempo di ritorno superiore ai 100 anni; portate più elevate possono condurre al sormonto, in destra, della strada d'accesso;
- **Ponte sulla strada Tradalla** (Figura 3.1) appare adeguato al passaggio di portate con tempo di ritorno anche cinquecentennale. Tale ponte permette l'attraversamento della strada consorziale Tradalla mediante tre arcate di 26 m di luce ciascuna e quota di intradosso sufficiente a garantire condizioni di sicurezza rispetto ai livelli calcolati nella simulazione idraulica.

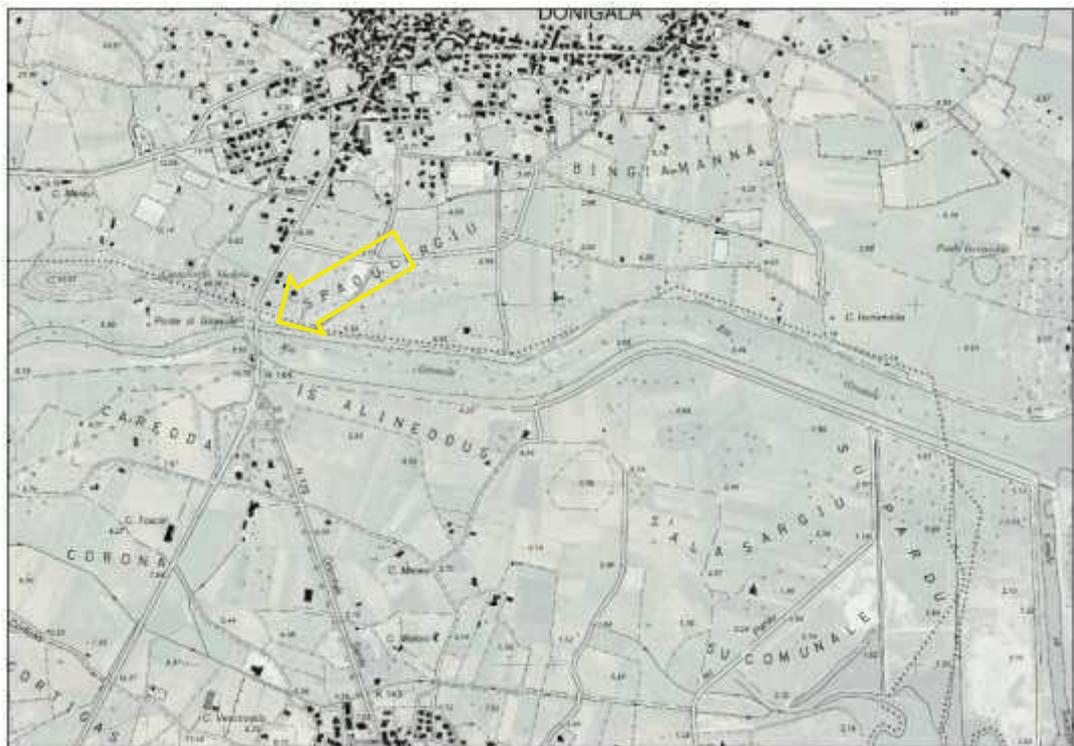


Figura 3.5– Viabilità in prossimità dell'abitato di Lotzorai. Posizione del ponte sul rio S.S: 125 Orientale Sarda

Oltre alle strutture stradali è presente anche un attraversamenti della rete acquedottistica irrigua: un ponte canale prima della strada consorzile Tradalla. L'attività di sopralluogo in situ ha permesso di constatare che il ponte interferisce significativamente con la piena e appare inadeguato al passaggio di portate superiori ad un tempo di ritorno di 100 anni.



| 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 canale ai piedi del monte Su Crobu    | 11.3    | 27,37                     | 24,93                   | 26,79 | 27,27 | 27,67 | 28,25 | 2,44       | 0,58 | 0,1   | -0,3  | -0,88 |
| Ponte strada cons.le Tradalla               | 10.3    | 31,08                     | 24,76                   | 26,58 | 27,01 | 27,38 | 27,81 | 6,32       | 4,5  | 4,07  | 3,7   | 3,27  |
| Ponte di Girasole - S.S.125 Orientale Sarda | 4.3     | 9,39                      | 7,16                    | 9,04  | 10,01 | 10,40 | 11,20 | 2,23       | 0,35 | -0,62 | -1,01 | -1,81 |

Figura 3.6– Franchi in corrispondenza di infrastrutture di attraversamento



Si coglie l'occasione per osservare che il **modello idraulico del PSFF presenta alcune criticità** riguardanti la geometria adottata per rappresentare l'asta fluviale, sia riguardo al numero che alla disposizione ed estensione delle sezioni trasversali di modello. In particolare, in una corretta predisposizione delle sezioni trasversali di calcolo è necessario che esse siano disposte ortogonalmente alla direzione della corrente di piena e quindi quasi mai esse appariranno come elementi geometrici lineari, ma più spesso avranno un andamento curvilineo approssimabile da una spezzata. Inoltre, le sezioni dovrebbero avere una estensione tale da intercettare, in caso di esondazione, la superficie del pelo libero, evitando che il software di calcolo, non riuscendo a confinare la piena, eriga degli argini virtuali che portano inevitabilmente ad una sovrastima dei livelli idrici e delle aree di allagamento.

Una terza criticità riguarda, ulteriormente, il fatto che le sezioni considerate nel PSFF sono mediamente distanti circa 500/600 m per cui ad esempio il tratto vallivo del rio è modellato con appena 5 sezioni di calcolo (Figura 3.7). In questo modo aumenta la probabilità che non vengano considerate nel modello di simulazione informazioni topografiche importanti come ribassi arginali, confluenze di rii minori, variazioni di sezione o altri elementi che, generando discontinuità locali, provocano conseguenze sui fenomeni di allagamento e sulla mappatura delle aree pericolose.

Nella Figura 3.8 si riportano alcuni dettagli delle zone interessate da inondazione. Per una documentazione completa si rimanda al quadro di unione delle aree pericolose allegate allo studio.



Figura 3.7 – Stralcio modello PSFF con sezioni di calcolo

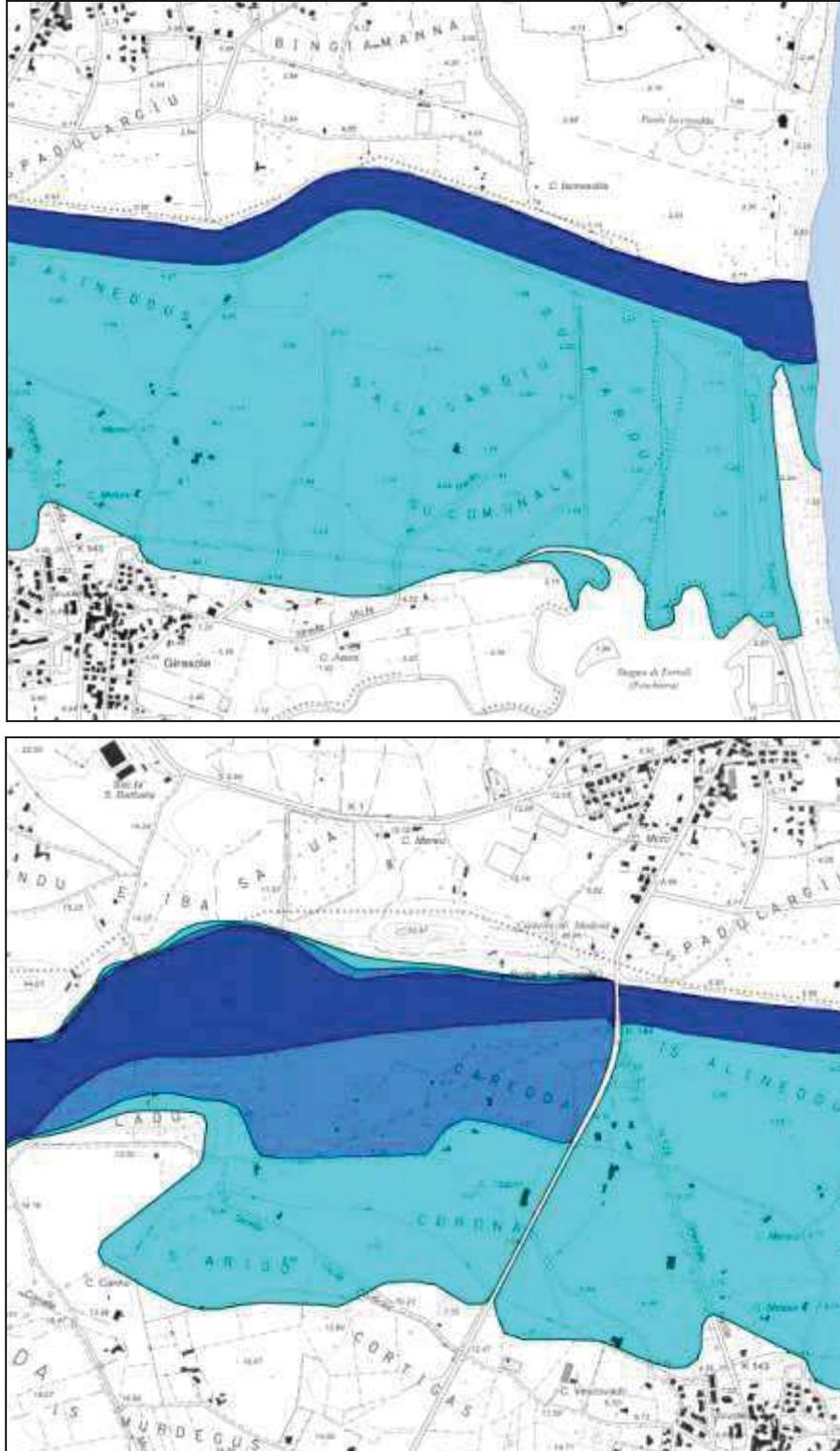


Figura 3.8 - Criticità individuate dal PSFF



## 4 Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale

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

Ma vi è anche un'altra ragione profonda e sostanziale che ha condotto ad aggiornare la modellazione idraulica stato attuale: la disponibilità di una migliore e più puntuale descrizione della morfologia e della topografia del territorio grazie al rilievo LIDAR con risoluzione spaziale a maglia di 1 m per la fascia costiera del bacino e per il territorio percorso dal corso d'acqua, che consente di descrivere in modo dettagliato l'andamento del terreno e di delineare con maggior precisione sia la geometria delle sezioni da implementare nel modello che le aree allagabili e i relativi battenti idrici.

In termini di dati di input il nuovo modello monodimensionale ha considerato il medesimo tronco fluviale analizzato dal PSFF che comprendeva n. 35 sezioni trasversali (di cui 7 a monte e 28 a valle della diga comprensive di quelle corrispondenti alle infrastrutture stradali), ma le stesse sezioni sono state riestrate dal DTM 1 m, estese fino a intercettare il pelo libero e incrementate a monte del ponte per circa 2400 m e valle della SS125 fino alla foce per un totale di 107 sezioni (Figura 4.1). In questo modo si riesce a tenere conto:

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

Sempre in termini di dati input nel nuovo modello idraulico predisposto in questo studio si è optato per conservare sia l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza, come considerati nel PSFF, sia le condizioni al contorno, le quali sono state mantenute a monte (altezza di moto uniforme corrispondente alla pendenza del 8 per mille) come a valle (livello idrico sulla spiaggia pari a +1.80 sul medio mare). Anche la geometria delle strutture trasversali di attraversamento, come l'impalcato del ponte sulla SS 125, in quanto dichiaratamente originata da un rilievo locale, è stata conservata.

Dal punto di vista idrologico sono state considerate le stesse portate già adottate nel PSFF con la stessa successione di incrementi da monte verso valle: in particolare le portate del tratto sublacuale a valle della diga di Santa Lucia sono quelle laminate.

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

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

E' fondamentale aver chiaro che l'aggiornamento e l'affinamento del modello ha riguardato soprattutto la parte immediatamente a monte della SS 125 e tutto il tratto vallivo fino alla foce in quanto solo in queste aree risultano presenti elementi a rischio di classe elevata (E3 o E4) ed è quindi importante fare un valutazione dettagliata del danno di piena. Da ciò si spiega il fatto che layout e rappresentazioni grafiche si limitano a evidenziare quanto accade in questa porzione di territorio, ritenendo poco significativa una valutazione del danno da piena nelle zone scarsamente abitate a monte della diga di Santa Lucia o poco a valle della stessa dove tra l'altro anche il PSFF non evidenzia particolari criticità.

La nuova modellazione idraulica ha consentito, in definitiva, di attribuire ai circa 5 kmq di aree allagate il relativo battente idrico con risoluzione spaziale di 1 m e la valutazione delle velocità.



Figura 4.1 – Sezioni idrauliche analizzate nel PSFF e nella nuova modellazione con DTM 1 m



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

La nuova modellazione idraulica per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni ha dato risultati allineati con quelli del PSFF. In particolare la simulazione con scenario ad argini non tracimabili anche in questo caso ha mostrato la sostanziale tenuta dei due argini a valle della SS 125 anche se con franchi molto modesti (Figura 4.6), pertanto per questi tempi di ritorno non è stato necessario ricorrere allo scenario ad argini sormontabili. A monte della SS 125 invece lo scenario ad argini non sormontabili è stato sufficiente solo per la portata T50, mentre per quella centenaria la mappe di pericolosità sono state tracciate eliminando l'opzione levee dal modello, risultando, per questo tempo di ritorno, insufficiente l'argine in sponda destra a ridosso del ponte anche a causa del profilo di rigurgito legato a questa infrastruttura.

In definitiva, sia per il tempo di ritorno T50 che per quello T100, il risultato delle simulazioni non evidenzia sostanziali differenze sulla estensione delle aree allagabili sia in sponda destra che in sponda sinistra tanto a monte quanto a valle della SS 125 (Figura 4.2 Figura 4.3). Modeste differenze si presentano localmente per l'aggiornamento della base topografica utilizzata nella costruzione della geometria delle sezioni trasversali e nella fase di restituzione sul terreno dei tiranti idrici e delle aree allagabili.

Relativamente ai franchi idraulici arginali a valle della SS 125, come anticipato, per portate corrispondenti a tempi di ritorno di 100 sull'argine sinistro si hanno valori piuttosto bassi che si attestano intorno ai 25 cm (sezione 611.47 Figura 4.8), a dimostrazione che l'intervento di soprizzo arginale sarà sicuramente da inserire negli scenari di progetto.

Analizzando il profilo corrispondente alla portata T100 e il tabulato dei franchi idraulici (Figura 4.6 Figura 4.7 e Figura 4.8) si rileva anche il punto debole dell'argine destro a monte della SS 125 in corrispondenza della sezione 2766.61 dove il franco negativo indica la inadeguatezza dell'argine e la necessità di intervenire con un adeguamento sulla quota dello stesso.

Per il tempo di ritorno di 200 anni, invece, come mostra la mappa di allagamento in Figura 4.4, la modellazione idraulica aggiornata fornisce, soprattutto in sponda sinistra a valle della SS 125, risultati abbastanza differenti rispetto a quella del PSFF; in questo tratto l'allagamento coinvolge innanzitutto la sponda destra fino a lambire l'abitato di Girasole in coerenza con quanto già indicato nel PSFF, ma la piena duecentenaria mette in crisi anche l'argine in sponda sinistra determinando una vasta area pericolosa che va a interessare una zona prevalentemente agricola con presenza di case rurali, diverse aree attrezzate a campeggio (Le Cernie, Cavallo Bianco, Iscixedda) e infine va a lambire la parte più meridionale dell'abitato di Lotzorai.

Questa differenza per i tempi di ritorno più elevati tra area documentata a pericolosità nel PSFF e quanto risulta dalla modellazione idraulica aggiornata trova anche riscontro nei recenti fenomeni alluvionali che hanno interessato il sito negli ultimi anni. In proposito si richiama l'evento del 28 Novembre 2008 che ebbe degli effetti disastrosi in questo territorio poiché determinò il collasso in



**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

più punti della struttura arginale in sponda sinistra (Figura 4.5). In effetti, proprio l'argine sinistro del rio va segnalato per la sua debolezza strutturale e per la sua altezza non sufficiente al contenimento della piena T200, anche a causa dell'azione erosiva innescata dalle alte velocità che il rio presenta in questo tratto. In definitiva, sia modellazione aggiornata che evento storico sono allineati evidenziando come effetti della piena una esondazione che va a lambire le case della periferia di Lotzorai anche se con battenti modesti.

Per le portate duecentenarie i battenti in tutta l'area di allagamento sinistra e destra si attestano mediamente intorno ai 2 metri, anche se vi sono diverse porzioni di agro che sono interessate da altezze d'acqua di poco meno di 0.5 metri.



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

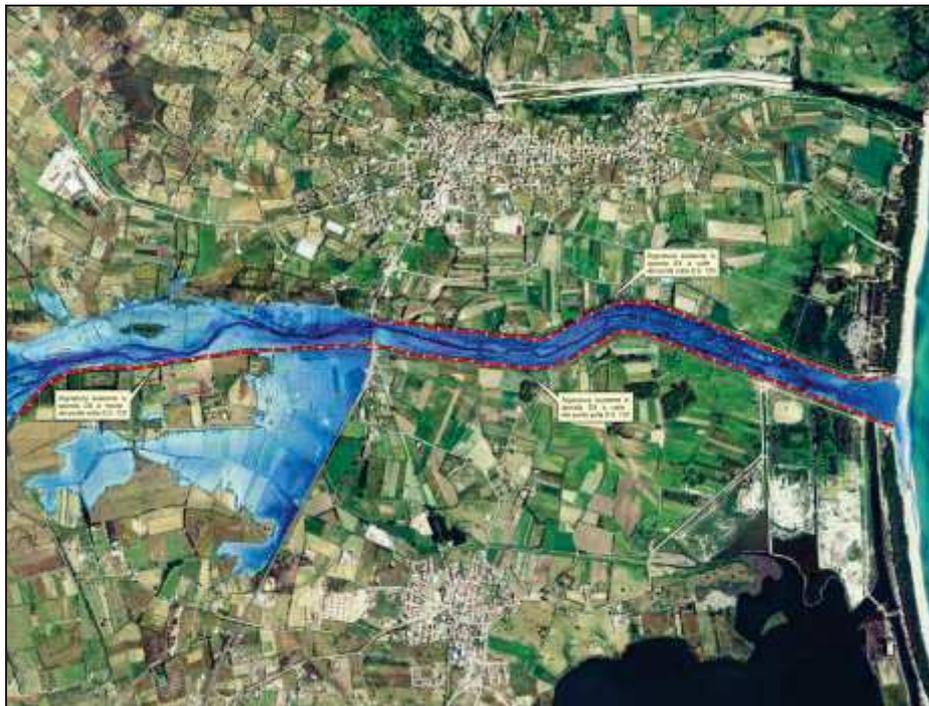






Figura 4.5 – Alluvione 28 Novembre 2008: cedimento arginale in sponda sinistra (punti indicati dalla freccia gialla)

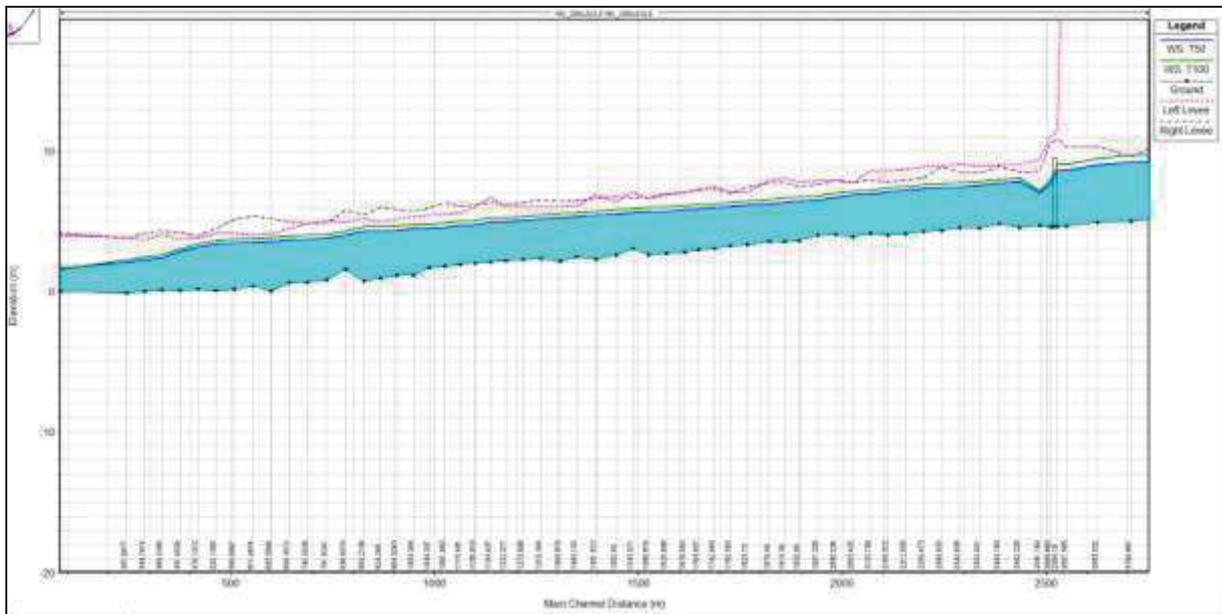


Figura 4.6 – Profilo T50 e T100 e franchi sugli argini esistenti a valle della SS 125 (franco sull'argine sinistro modesto)

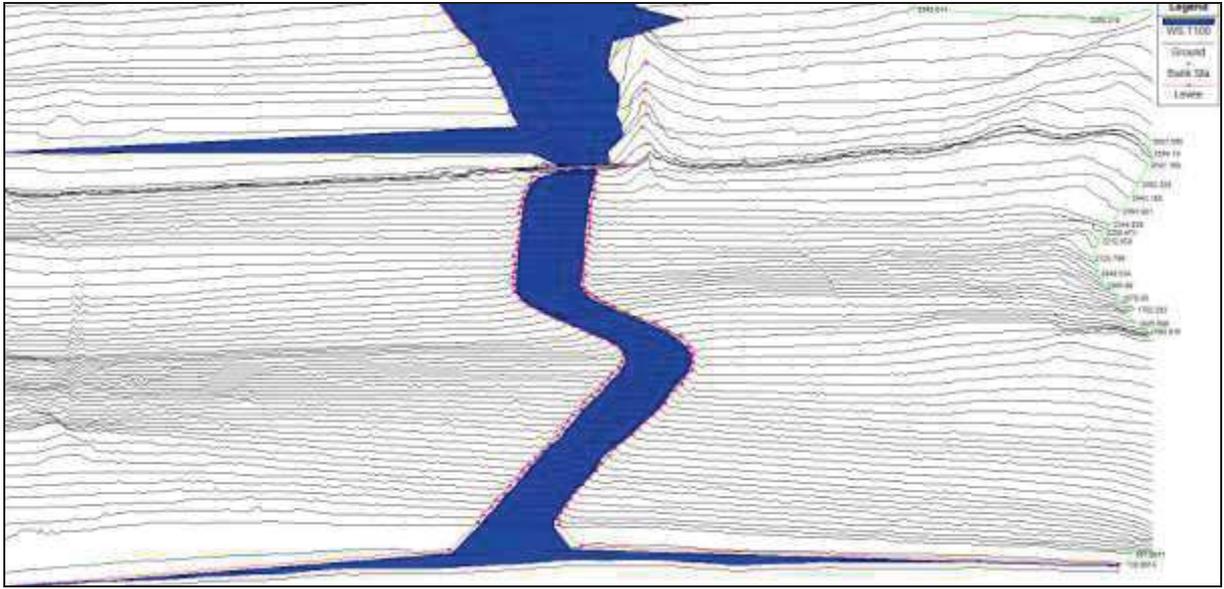


Figura 4.7 – Perimetrazioni aree allagabili per T100 contenute dai rilevati arginali



HEC-RAS Plan: SCE0 REV01150 Locations: User Defined Profile: T100

| River        | Reach        | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Max Chl Dpth<br>(m) | Vel Total<br>(m/s) | Froude # Chl | L. Levee Frbrd<br>(m) | R. Levee Frbrd<br>(m) |
|--------------|--------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2847.302  | T100    | 681.00            | 5.27             | 9.61             | 4.39                | 1.74               | 0.39         | 25.15                 | 0.95                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2766.061  | T100    | 681.00            | 5.01             | 9.72             | 4.71                | 0.27               | 0.06         | 16.29                 | -0.15                 |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2683.522  | T100    | 681.00            | 4.93             | 9.46             | 5.07                | 2.01               | 0.42         | 33.31                 | 0.84                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2607.585  | T100    | 681.00            | 4.65             | 9.04             | 4.64                | 3.03               | 0.59         | 24.79                 | 1.22                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2584.19   | T100    | 681.00            | 4.59             | 9.05             | 4.81                | 2.94               | 0.53         | 2.38                  | 1.79                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2570      | Bridge  |                   |                  |                  |                     |                    |              |                       |                       |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2566.683  | T100    | 681.00            | 4.59             | 7.93             | 3.63                | 4.99               | 1.13         | 3.05                  | 2.60                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2541.169  | T100    | 681.00            | 4.68             | 7.16             | 2.66                | 5.81               | 1.74         | 2.23                  | 1.42                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2492.228  | T100    | 681.00            | 4.54             | 8.09             | 4.06                | 2.78               | 0.61         | 0.94                  | 0.43                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2443.193  | T100    | 681.00            | 4.84             | 7.95             | 3.96                | 2.80               | 0.62         | 1.05                  | 0.97                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2393.921  | T100    | 681.00            | 4.52             | 7.83             | 3.66                | 2.75               | 0.61         | 1.03                  | 0.58                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2344.839  | T100    | 681.00            | 4.54             | 7.72             | 4.69                | 2.68               | 0.58         | 1.35                  | 0.78                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2300.635  | T100    | 681.00            | 4.31             | 7.65             | 5.13                | 2.54               | 0.54         | 1.26                  | 1.21                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2256.473  | T100    | 681.00            | 4.30             | 7.59             | 4.87                | 2.43               | 0.50         | 1.28                  | 0.51                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2212.858  | T100    | 681.00            | 4.10             | 7.46             | 5.00                | 2.61               | 0.56         | 1.20                  | 0.44                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2169.312  | T100    | 681.00            | 4.02             | 7.38             | 4.67                | 2.52               | 0.54         | 1.17                  | 0.39                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2125.799  | T100    | 681.00            | 4.17             | 7.18             | 4.83                | 2.85               | 0.64         | 1.39                  | 0.71                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2083.425  | T100    | 681.00            | 3.89             | 7.15             | 4.74                | 2.50               | 0.53         | 0.57                  | 0.63                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 2040.534  | T100    | 681.00            | 4.05             | 6.99             | 4.78                | 2.72               | 0.60         | 0.89                  | 0.93                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1997.335  | T100    | 681.00            | 4.03             | 6.79             | 5.29                | 2.96               | 0.68         | 1.09                  | 0.79                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1950.99   | T100    | 681.00            | 3.61             | 6.72             | 5.71                | 2.68               | 0.58         | 1.05                  | 0.72                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1915.38   | T100    | 681.00            | 3.58             | 6.63             | 5.47                | 2.66               | 0.58         | 1.41                  | 1.12                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1878.58   | T100    | 681.00            | 3.54             | 6.55             | 4.87                | 2.66               | 0.58         | 1.37                  | 1.18                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1823.73   | T100    | 681.00            | 3.33             | 6.42             | 4.91                | 2.64               | 0.58         | 0.62                  | 0.98                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1782.593  | T100    | 681.00            | 3.24             | 6.33             | 5.06                | 2.63               | 0.57         | 0.78                  | 0.63                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1742.849  | T100    | 681.00            | 3.04             | 6.25             | 5.15                | 2.60               | 0.56         | 1.21                  | 1.03                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1704.657  | T100    | 681.00            | 2.98             | 6.17             | 4.96                | 2.56               | 0.55         | 1.01                  | 1.09                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1670.563  | T100    | 681.00            | 2.77             | 6.11             | 4.91                | 2.52               | 0.54         | 0.95                  | 0.96                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1625.698  | T100    | 681.00            | 2.69             | 6.01             | 4.67                | 2.57               | 0.55         | 0.87                  | 0.95                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1580.816  | T100    | 681.00            | 2.60             | 5.95             | 5.06                | 2.42               | 0.50         | 0.62                  | 0.73                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1543.571  | T100    | 681.00            | 3.08             | 5.88             | 4.86                | 2.43               | 0.51         | 1.22                  | 0.70                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1502.45   | T100    | 681.00            | 2.62             | 5.82             | 4.97                | 2.41               | 0.50         | 0.54                  | 0.98                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1451.613  | T100    | 681.00            | 2.30             | 5.68             | 4.74                | 2.56               | 0.54         | 1.19                  | 0.92                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1405.133  | T100    | 681.00            | 2.48             | 5.60             | 4.83                | 2.52               | 0.54         | 0.47                  | 0.92                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1365.019  | T100    | 681.00            | 2.17             | 5.54             | 4.67                | 2.41               | 0.50         | 0.50                  | 0.86                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1318.346  | T100    | 681.00            | 2.34             | 5.43             | 4.60                | 2.51               | 0.54         | 0.56                  | 1.12                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1273.808  | T100    | 681.00            | 2.29             | 5.33             | 4.63                | 2.55               | 0.56         | 0.72                  | 1.01                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1232.377  | T100    | 681.00            | 2.19             | 5.24             | 4.57                | 2.55               | 0.55         | 0.77                  | 0.94                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1194.427  | T100    | 681.00            | 2.13             | 5.23             | 4.53                | 2.23               | 0.45         | 1.45                  | 1.09                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1156.918  | T100    | 681.00            | 2.02             | 5.04             | 4.46                | 2.67               | 0.60         | 0.98                  | 1.11                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1119.401  | T100    | 681.00            | 1.92             | 4.99             | 5.01                | 2.48               | 0.53         | 0.62                  | 1.06                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1081.883  | T100    | 681.00            | 1.78             | 4.87             | 4.52                | 2.62               | 0.59         | 0.58                  | 1.47                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1044.337  | T100    | 681.00            | 1.71             | 4.81             | 4.57                | 2.50               | 0.55         | 0.59                  | 1.10                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 1004.346  | T100    | 681.00            | 1.14             | 4.78             | 4.58                | 2.26               | 0.47         | 0.55                  | 0.90                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 964.3243  | T100    | 681.00            | 1.15             | 4.64             | 4.29                | 2.52               | 0.55         | 0.52                  | 1.19                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 924.269   | T100    | 681.00            | 0.93             | 4.61             | 4.61                | 2.28               | 0.47         | 0.36                  | 1.35                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 884.2138  | T100    | 681.00            | 0.77             | 4.60             | 4.47                | 2.00               | 0.38         | 0.57                  | 0.88                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 838.0279  | T100    | 681.00            | 1.58             | 4.28             | 3.99                | 2.93               | 0.65         | 0.64                  | 1.51                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 791.8241  | T100    | 681.00            | 0.83             | 4.05             | 3.94                | 3.13               | 0.72         | 1.00                  | 0.78                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 745.5936  | T100    | 681.00            | 0.85             | 3.99             | 3.69                | 2.76               | 0.59         | 0.82                  | 0.83                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 699.3512  | T100    | 681.00            | 0.81             | 3.92             | 3.63                | 2.60               | 0.55         | 0.53                  | 1.06                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 655.3994  | T100    | 681.00            | -0.01            | 3.85             | 3.84                | 2.49               | 0.53         | 0.24                  | 1.36                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 611.4674  | T100    | 681.00            | -0.40            | 3.81             | 3.80                | 2.32               | 0.47         | 0.21                  | 1.58                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 566.0047  | T100    | 681.00            | 0.16             | 3.68             | 3.74                | 2.52               | 0.53         | 0.49                  | 1.45                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 520.1385  | T100    | 681.00            | 0.08             | 3.62             | 3.76                | 2.41               | 0.49         | 0.51                  | 0.84                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 476.1312  | T100    | 681.00            | 0.16             | 3.37             | 3.33                | 2.92               | 0.66         | 0.44                  | 0.62                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 431.9524  | T100    | 681.00            | -0.09            | 3.04             | 3.05                | 3.37               | 0.83         | 0.66                  | 1.17                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 388.2395  | T100    | 681.00            | 0.12             | 2.59             | 2.69                | 3.79               | 1.00         | 1.46                  | 1.76                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 344.7414  | T100    | 681.00            | 0.01             | 2.43             | 2.42                | 3.13               | 0.76         | 1.22                  | 1.72                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 301.8977  | T100    | 681.00            | -0.10            | 2.25             | 2.35                | 3.09               | 0.77         | 1.57                  | 1.55                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 138.9914  | T100    | 681.00            | 0.02             | 1.54             | 1.52                | 2.88               | 0.79         | 2.42                  | 2.60                  |
| RIU_GIRASOLE | RIU_GIRASOLE | 57.48135  | T100    | 681.00            | -2.50            | 1.80             | 4.30                | 0.07               | 0.01         | 1.20                  | 1.20                  |

Figura 4.8 – Argini rio Girasole a valle della SS 125: franchi sulla portata centenaria (Right Levee Frbrd - Left Levee Frbrd)



Relativamente al comportamento delle infrastrutture stradali, limitando l'analisi al ponte sulla SS 125 (Figura 4.9), si conferma che la portata con T200 sormonta il ponte, mentre la portata cinquantenaria e centenaria transitano rispettivamente con franchi di 1.05 e 0.75 cm (Figura 3.8).



**Figura 4.9 – Ponte sulla SS 125**

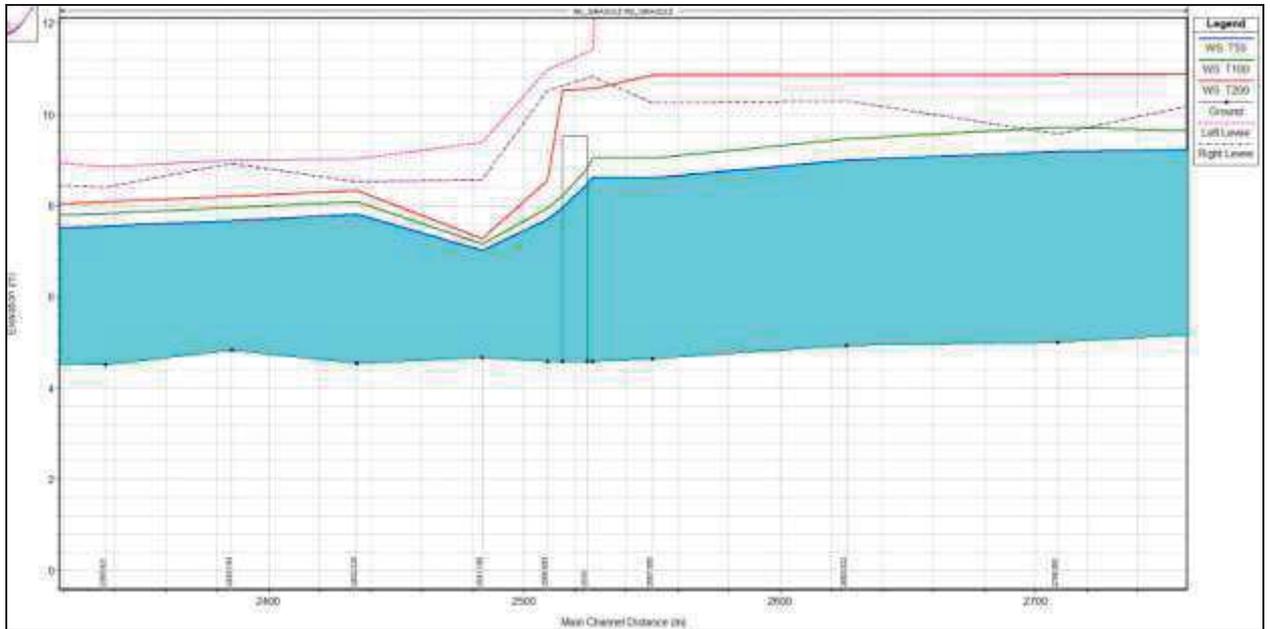


Figura 4.10 – Ponte sulla SS 125: profili per T50, T100 e T200 - la portata duecentenaria scavalca il ponte

#### 4.1 PORTATE MASSIME COMPATIBILI CON LA SITUAZIONE ATTUALE

Uno dei parametri che è stato necessario stimare per una corretta valutazione del danno effettivo è stato quello della portata compatibile con l'attuale sezione idraulica del rio che di seguito è definita come portata di piena  $Q_{amm}$ , intendendosi con questo termine la portata di soglia al di sotto della quale si può ritenere che vi sia danno nullo.

Allo scopo il rio è stato suddiviso in due tratti rispettivamente a monte e a valle della SS 125; nel primo caso la portata di soglia è stata valutata rispetto alla sezione naturale senza tenere conto dell'argine in sponda destra, nel secondo invece la portata ammissibile è quella che può essere contenuta con un franco stabilito all'interno della sezione artificiale arginata e al di sopra della quale è lecito assumere che vi sia il collasso arginale.

Si deve precisare che l'ipotesi del collasso arginale viene valutata con riferimento all'azione idraulica esercitata dalle acque di piena sulla base dei soli dati geometrici disponibili, mancando allo stato attuale una caratterizzazione geotecnica che illustri le condizioni strutturali interne utili alla valutazione il coefficiente di sicurezza dell'ammasso terroso.

A tale proposito si ricorda che gli argini del Girasole sono da considerarsi come non tracimabili in quanto non sono dotati di soglie rivestite che consentano il loro sormonto e lo sfioro in sicurezza delle portate di piena in eccesso. Il collasso del corpo arginale è ipotizzato come dovuto al sormonto dello stesso corpo arginale e dunque trascurando l'incidenza dei possibili fenomeni di sifonamento.



In merito all'entità del franco idraulico relativo alla portata massima compatibile si richiama il fatto che la geometria del modello idraulico, aggiornata con l'utilizzo dei dati Lidar, ha permesso di stabilire in maniera sistematica l'andamento altimetrico del suolo e degli argini con una densità di circa 1.5 punti per m<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 valutare la migliore prestazione del dato rilevabile con l'ausilio del Lidar. In tal senso, l'incertezza derivante dal dato altimetrico sulla geometria degli argini e quindi sulla loro stabilità sotto l'azione idraulica, deve essere necessariamente rapportata a questa accuratezza: la condizione che induce al superamento della quota arginale e quindi alla esondazione del rio viene fatta corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco minimo di ampiezza minore o uguale a 20 cm<sup>1</sup>.

La portata di piena  $Q_{amm}$  corrispondente a tale valore limite è stata valutata mediante l'analisi idraulica del tronco fluviale a monte e a valle del ponte sulla SS 125 ripetuta sistematicamente per valori differenti e per intervalli costanti, individuando di volta in volta le sezioni che presentano il franco idraulico minore. Tali portate sono state associate ad un tempo di ritorno T utilizzando i coefficienti di laminazione  $\epsilon p(T) = Q_u/Q_i$  (rapporto tra la portata massima di laminazione in uscita dal serbatoio e la portata massima di piena) corrispondente al tempo di ritorno T e contenuti nel PSFF<sup>2</sup>.

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

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

I risultati dell'indagine sono di seguito presentati sui due tronchi già citati in precedenza. Nelle tabelle che seguono sono indicati sia i tempi di ritorno relativi alle portate che determinano il franco idraulico di 20 cm e l'annullamento dello stesso sia la sezione maggiormente critica, riportando per completezza il risultato della modellazione idraulica.

**Tabella 4.1 - Valori del rapporto  $Q_u/Q_i$  nel tronco a valle di Santa Lucia per i tempi di ritorno indicati (bacino I PSFF)**

| T (anni) | $\epsilon p(I)$ |
|----------|-----------------|
| 50       | 0.87            |
| 100      | 0.88            |

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

<sup>2</sup> Piano stralcio per le fasce fluviali: Allegato 5\_15\_1\_1\_4\_Relazione monografica. Pag. 48



**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

|     |      |
|-----|------|
| 200 | 0.87 |
|-----|------|



**1° Tronco: Tra la diga di Santa Lucia e il ponte SS 125:**

| Franco idraulico | Sezione modello | Q (m <sup>3</sup> /s) | Tempo di ritorno (anni) |
|------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| franco annullato | 4384.92         | 194                   | 2                       |

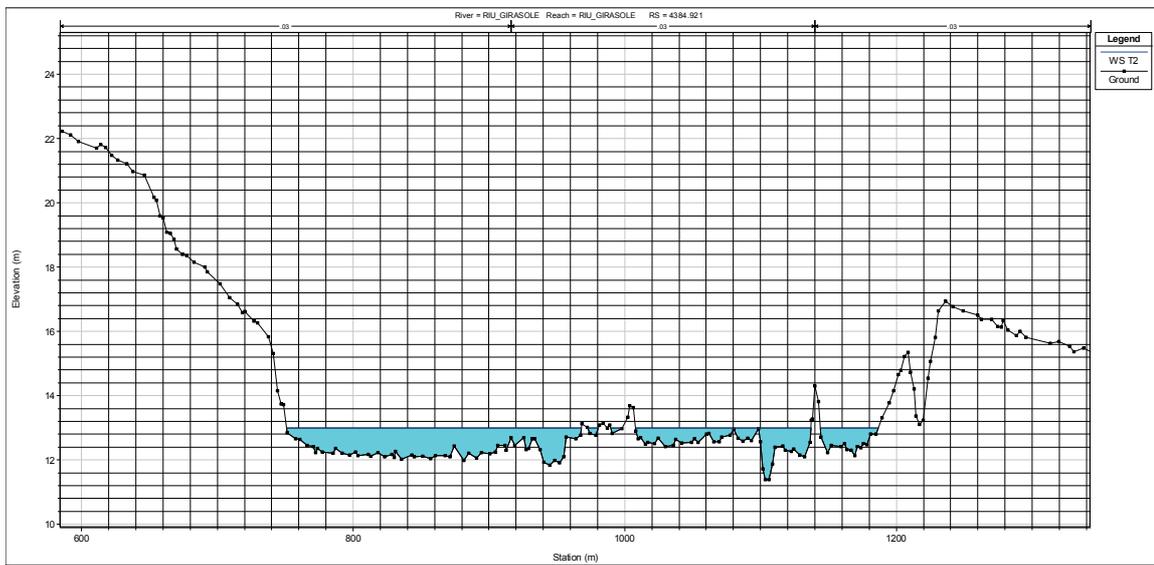




Figura 4.11 – Sezione idraulica a franco annullato a monte della SS 125

2° Tronco: Dal ponte sulla SS 125 fino alla foce – tratto arginato su sponda destra e sinistra:

| Franco idraulico           | Sezione modello | Q (m <sup>3</sup> /s) | Tempo di ritorno (anni) |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 20 cm (in sponda sinistra) | 611.47          | 778.41                | 100                     |
| franco annullato           | 611.47          | 897.72                | 120                     |

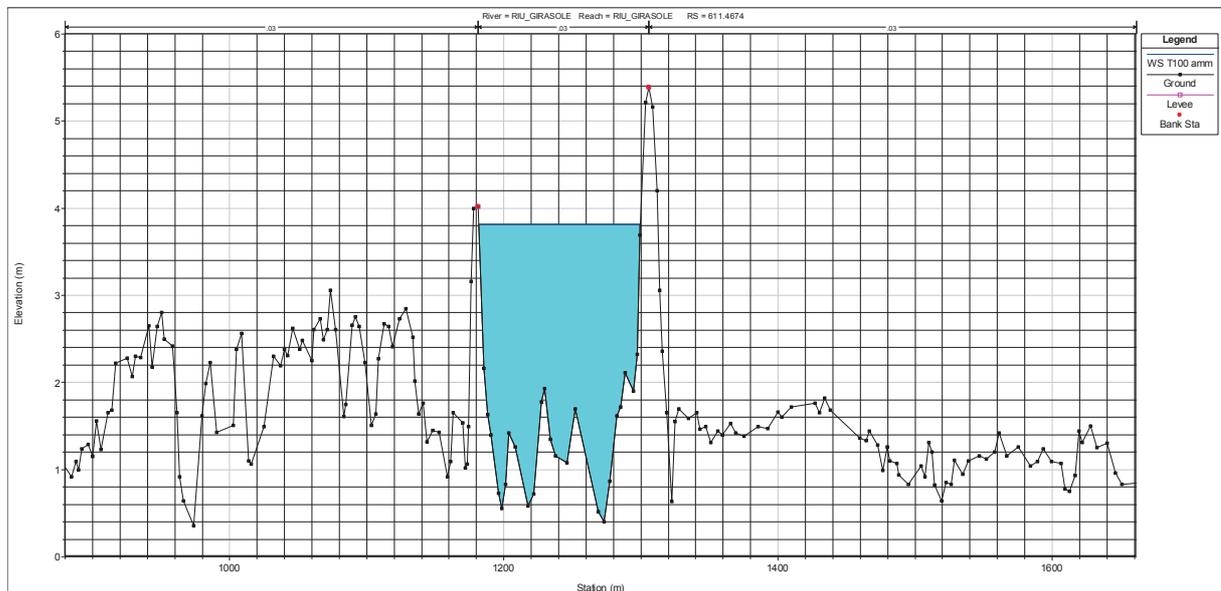




Figura 4.12 – Sezione idraulica a franco annullato a valle della SS 125

#### 4.2 VOLUME DI PIENA E AREE ESONDATE

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

Tabella 4.2 - Volumi di allagamento allo stato attuale

| Tr (anni) | W (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|
| 50        | 2'128'242           |
| 100       | 2'857'284           |
| 200       | 13'687'856          |



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

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

Il calcolo si basa sul database DBEE degli elementi d'uso riclassificati in categorie di danno a ciascuno dei quali è stato associato un valore massimo di danno specifico espresso in euro a metro quadrato (Tabella 5.3).

**Tabella 5.3 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo**

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

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

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



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

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

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

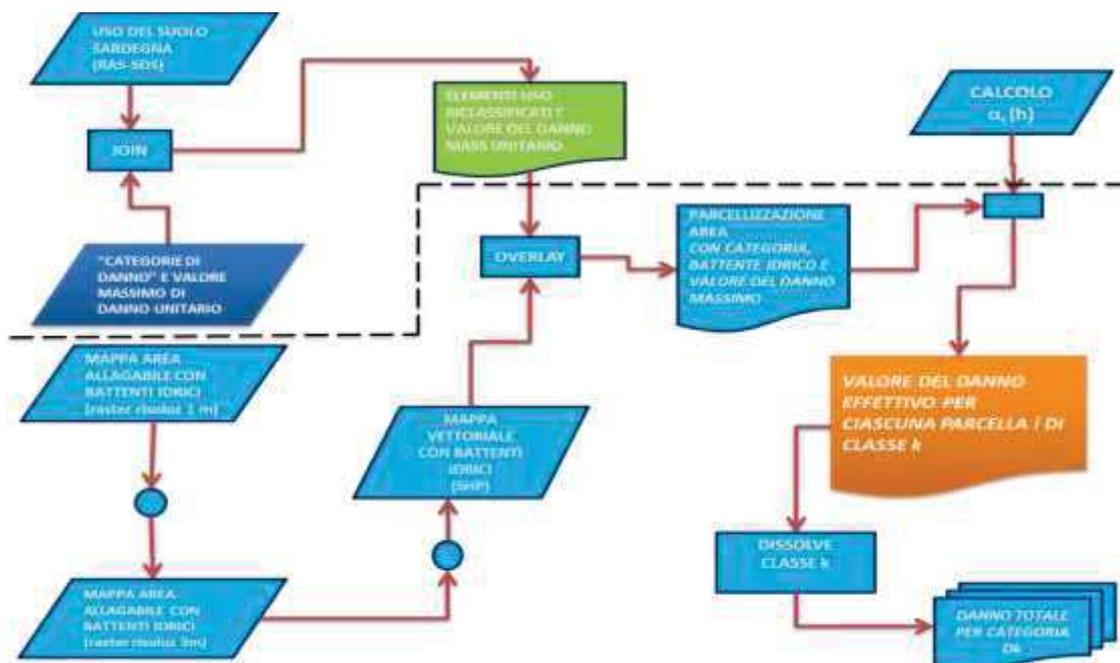


Figura 5.1 - Procedura di calcolo per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso

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



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

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

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

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

## 5.1 DANNO DI PIENA RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

Preliminarmente, considerando lo stato di fatto attuale, la simulazione idraulica degli eventi di piena assunti a riferimento ( $T_r=50, 100$  e  $200$  anni) ha individuato l'estensione dell'area vulnerata. Complessivamente sono interessati poco più di  $6 \text{ km}^2$  di territorio destinati alle categorie d'uso individuate in Tabella 5.3. Sulla base della suddivisione in classi degli elementi territoriali, nella Tabella 5.4 sono riportate le aree interessate ed esposte al danno di piena complessivamente e per categoria attribuita. In Tabella la estensione è riportata con riferimento ai tre tempi di ritorno dell'evento di piena. Per ciascun evento, la tabella riporta, inoltre, la stima del valore del danno di piena.

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

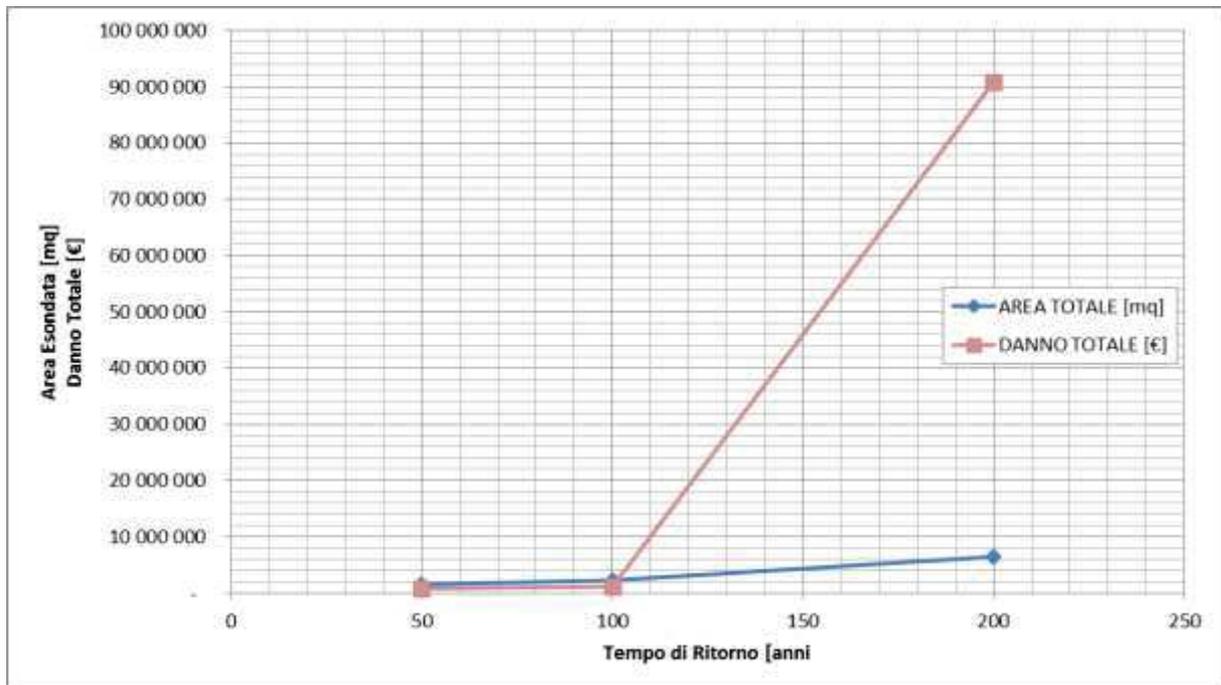
Questo andamento è da attribuire soprattutto al fatto che per tempi di ritorno superiori ai 100 anni a valle della SS 125 si ha il collasso arginale in sponda sinistra e a monte lo scavalco della SS 125 in sponda destra con la conseguente formazione di una vasta area a pericolosità media che interessa



non solo zone rurali, ma anche le periferie urbane di Girasole e Lotzorai e quindi una categoria di elementi di tipo residenziale (circa 223 500 mq) che non erano interessate da fenomeni critici per tempi di ritorno di 50 e 100 anni.

**Tabella 5.4 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno**

| Categoria elemento                              | Evento Tr=50 anni |            | Evento Tr=100 anni |            | Evento Tr=200 anni |            |
|---|-------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|   | Area (mq)         | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) |
| A - AGRICOLA                                    | 1 225 429         | 445 716    | 1 803 801          | 619 959    | 5 316 268          | 2 388 897  |
| C - COMMERCIALE                                 | -                 | -          | -                  | -          | 44 604             | 12 143 689 |
| H - CORPI IDRICI                                | 291 178           | -          | 299 027            | -          | 419 443            | -          |
| I - INDUSTRIALI                                 | 2 291             | 170 129    | 3 937              | 260 481    | 29 877             | 7 811 854  |
| J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE          | 16 551            | -          | 16 442             | -          | 28 537             | -          |
| K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE               | 5 101             | -          | 5 404              | -          | 30 950             | -          |
| N - STRADE COMUNALI                             | -                 | -          | -                  | -          | 16 317             | 89 116     |
| R - RESIDENZIALE                                | -                 | -          | -                  | -          | 223 593            | 67 960 494 |
| S - STRADE STATALI                              | 797               | 21 908     | 1 083              | 24 553     | 11 898             | 177 356    |
| T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE) | 5 414             | 80 005     | 17 197             | 189 461    | 22 669             | 291 602    |
| X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI          | 53 146            | -          | 53 576             | -          | 315 775            | -          |
| Totale  | 1 599 908         | 717 758    | 2 200 467          | 1 094 454  | 6 459 930          | 90 863 010 |



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



## 6 Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno

### 6.1 METODOLOGIA DI INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI

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

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

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

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



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

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

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

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

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



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

In coerenza con quanto già specificato nell'ambito della relazione monografica del PSFF, il tratto di asta analizzato inizia qualche chilometro prima della diga di Santa Lucia e termina alla foce in mare; tuttavia l'area di maggior interesse comprende un tratto di circa 5200 m a cavallo della SS 125 (circa 2,5 km a monte e 2,5 km a valle del ponte).

Il tratto a monte del ponte della S.S.125 (Figura 6.1) presenta, soprattutto in sponda destra, una serie di opere finalizzate a stabilizzare l'assetto planimetrico dell'alveo e al contenimento dei livelli idrici; lungo questo tratto sono presenti numerosi insediamenti agricoli.

Il tratto che va dal ponte della S.S.125 allo sbocco a mare (Figura 6.2) è arginato lungo entrambe le sponde, con argini in terra rivestiti in blocchi di pietra intasati nella parte inferiore del paramento lato fiume. A circa 500 m dalla foce, è presente una traversa di derivazione a scopo irriguo, in grado di alimentare la rete di canali esterni, mentre al termine del tratto arginato, in sponda destra, vi è uno sfioratore laterale con funzione di scolmatore di piena.

A parte la diga di Santa Lucia e queste opere arginali non sono presenti altre opere di mitigazione o salvaguardia.

Le conseguenze sul territorio degli eventi di piena simulati per la situazione attuale (Scenario 0), illustrati nei paragrafi precedenti, hanno evidenziato la possibilità che vaste aree della piana a valle della SS 125, in sponda destra e sinistra del rio, siano interessate dall'esondazione per tempi di ritorno superiori ai 100 anni. Fino alla portata centenaria il rio ha un comportamento idraulicamente sufficiente evidenziato dalla sostanziale tenuta dei due argini, mentre per tempi di ritorno maggiori si ha un collasso dell'argine sinistro nelle sezioni focive e contestualmente l'allagamento delle aree in sponda destra imputabile non tanto ad un cedimento dell'argine destro, quanto piuttosto ad una esondazione del rio a monte della SS 125 che va ad interessare dapprima le aree agricole limitrofe al ponte, quindi, scavalcata la SS 125, si spinge a valle allagando i terreni in sponda destra fino alla foce.

I danni, relativamente limitati per tempi di ritorno di 50 e 100 anni in quanto il deflusso, se si eccettua una ridotta esondazione in destra a monte della SS 125, è quasi completamente contenuto nell'alveo, diventano invece piuttosto rilevanti per tempi di ritorno maggiori di 100 anni a causa dei fenomeni di esondazione e allagamento sopra descritti che vanno a lambire la periferia sud di Lotzorai e quella nord di Girasole.

L'incremento esponenziale del danno nel passaggio da T100 a T200 nasce da una parte dal collasso arginale che porta ad un incremento notevole delle aree di allagamento nelle golene, dall'altra dal coinvolgimento nei fenomeni di allagamento di parti urbane di Lotzorai e Girasole e quindi di zone abitate caratterizzate da massimi costi unitari di danno.



E' altresì evidente che in questo sistema di opere di mitigazione un ruolo chiave è svolto dalle arginature a valle della SS 125 che, sebbene teoricamente sufficienti per portate T50 e T100, si presentano, comunque, in un pessimo stato di manutenzione (Figura 6.3 e Figura 6.4) e con franchi idraulici in alcuni tratti insufficienti (Figura 6.5).



Figura 6.1 – Argini a monte della SS 125

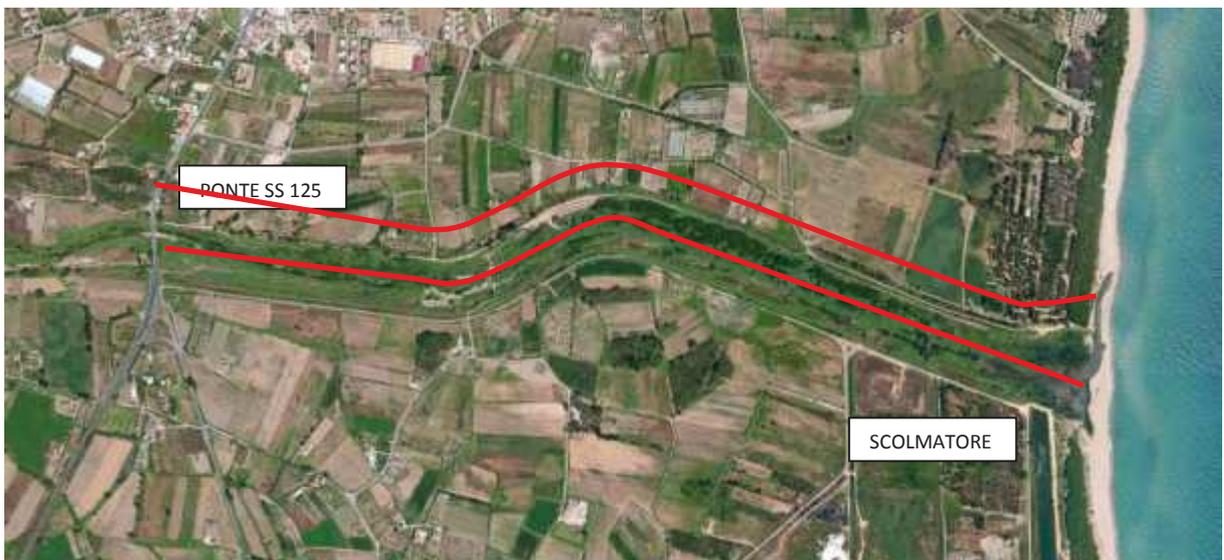


Figura 6.2 – Argini a valle della SS 125



**Figura 6.3 – Rilevato arginale sinistro zona foce (si noti il pessimo stato di manutenzione)**



**Figura 6.4 – Rilevato arginale destro zona foce (si noti il mediocre stato di manutenzione e l'assenza del colatore dx)**

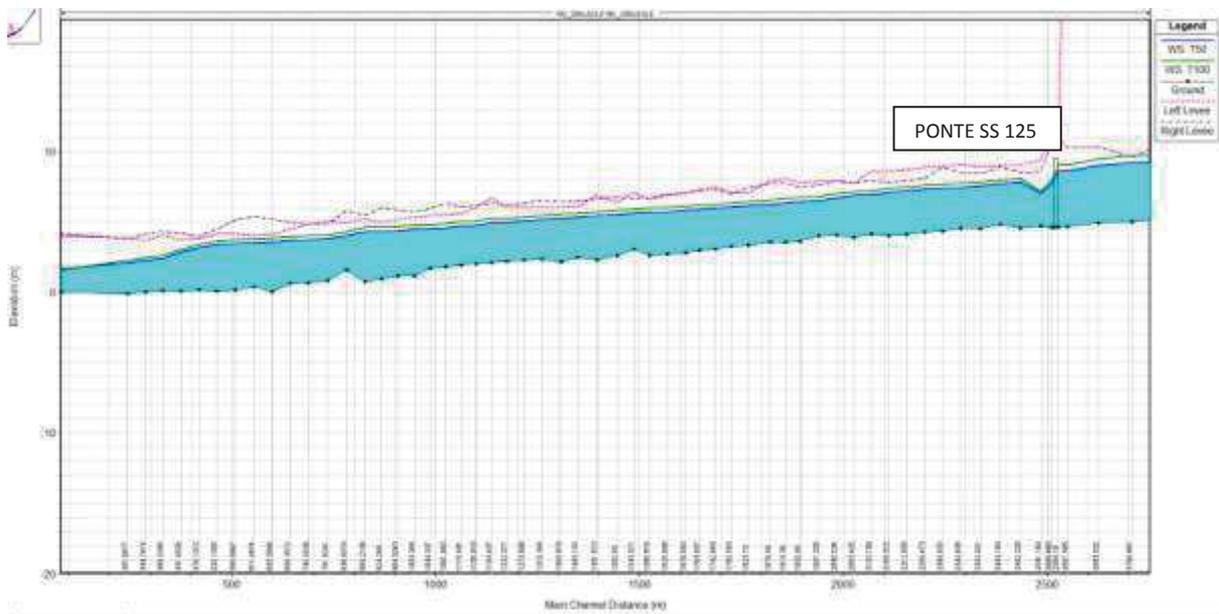


Figura 6.5 – Franchi idraulici per le opere arginali sul rio Girasole a valle della SS. 125

Per quanto riguarda le attuali opere di sistemazione idraulica secondarie insistenti sulle aree esterne ai rilevati arginali come colatori e canali di dreno, si rileva che anche queste sono in pessime condizioni di manutenzione (Figura 6.6) e spesso risultano assenti. A questo consegue che l'acqua drenata in un'ampia zona limitrofa, non potendo essere convogliata verso il rio Girasole per l'ostacolo rappresentato dagli argini, non ha possibilità di defluire anche per le basse pendenze e origina vaste zone umide (Figura 6.7) sia in sponda destra che in sponda sinistra sfruttando le depressioni del terreno. Oltre all'assenza di una efficiente rete di colatori e di canali di dreno, si registra la presenza di alcuni sifoni (Figura 6.6) che bypassano l'alveo e rendono comunicanti le aree allagabili in destra idraulica e soprattutto in sinistra già potenzialmente interessata dalle piene del rio Pramaera. Si tratta di bypass dimensionati prevalentemente per la bonifica dei terreni agricoli che non hanno alcuna funzione in termini di limitazione dei fenomeni di piena e che semmai trasferiscono gli allagamenti da una parte all'altra del rio pur con evidenti ritardi legati alle loro caratteristiche dimensionali.

La inadeguatezza della rete di dreno secondaria, unita al pessimo stato di manutenzione degli argini, ai franchi spesso insufficienti e alle caratteristiche morfologiche e altimetriche del sito, rende di fatto tutta l'area limitrofa al corso d'acqua principale molto vulnerabile, a prescindere dalla tenuta o meno degli argini stessi. Si evidenzia, nuovamente, che in queste aree, depresse e chiuse verso il mare dalla barra dunale, sono ubicati 3 campeggi (Le Cernie, Cavallo Bianco e S'Iscrixidda; v. Figura 6.7) e altre aree attrezzate che sono state interessate dai recenti fenomeni alluvionali (Figura 6.8).



Figura 6.6 – Sistema di raccolta acque in sponda sinistra (il canale secondario proviene dall'abitato di Lotzorai).



Figura 6.7 - Foce del rio Girasole e area depressa in sponda sinistra con campeggi sull'area dunale (circa 100 ha).



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



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



Figura 6.8 – Alluvione Novembre 2008: effetti sui camping in sponda sinistra (<http://fiumepremaera.blogspot.it/>).



### 6.3 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

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

In generale ci si può ricondurre alle seguenti tipologie:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Altri interventi possono riguardare la necessità di **adeguamento del franco** dei ponti. Nel caso specifico, come documentato nel paragrafo 4, il ponte sulla SS125 risulta sufficiente per la portata cinquantenaria e centenaria, mentre viene scavalcato dalla portata bicentenaria. Un intervento completo richiederebbe dunque anche il rifacimento del ponte per il transito della portata T200, ma questo avrebbe delle implicazioni tecniche rilevanti per la difficoltà realizzativa per cui in questa versione dello studio si è ritenuto di ipotizzare esclusivamente interventi di adeguamento **in sagoma**



**e quota degli argini esistenti tanto a monte quanto a valle della SS 125** a protezione non solo dei campeggi e delle case rurali, ma soprattutto delle periferie urbane di Lotzorai e Girasole.

#### 6.4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A SALVAGUARDIA DELLE AREE ESONDATE

##### Intervento A. Adeguamento argine in terra in sponda DX a monte della SS 125

Come noto la insufficienza idraulica in sponda destra del Girasole a monte della SS 125 nasce già con la piena centenaria sulle sezioni immediatamente a ridosso del ponte e determina l'allagamento di una piccola porzione di area a destinazione agricola che lambisce la stessa statale senza peraltro superarla (Figura 4.3). Per tempi di ritorno superiori l'allagamento in destra presenta tiranti idrici tali da portare al superamento della strada statale e al trasferimento della piena a valle della SS 125 fino all'ostacolo della barra dunale (Figura 4.4).

In questa ottica un primo intervento ipotizzato è quello dell'adeguamento in quota dell'argine destro esistente a monte della statale in modo da garantire il deflusso delle acque di piena relative all'evento di portata bicentenaria con il franco assegnato di m 1.20 (Figura 6.9 in giallo).

L'intervento, che si estende per circa 1650 m, impedisce il collasso arginale in sponda destra anche con la portata T200 e affranca dalla pericolosità idraulica tutte le aree agricole vallive e soprattutto la periferia urbana di Girasole.

Naturalmente il sopralzo dell'argine destro non ha alcun effetto sulle aree allagate in sponda sinistra che permangono potendo essere ridotte solo con un adeguamento dell'argine sinistro a valle della SS 125 (Figura 6.9).

Se si tiene conto che l'altezza media dell'argine esistente è di circa 1.70 m e che il nuovo argine ha necessità di un'altezza media di 2.50, si può stimare che sarà necessario un sopralzo arginale medio di 80 cm per garantire il transito della portata di progetto con franco adeguato di 1.20 m; il nuovo argine avrà una scarpa 2/1 e la pista al colmo del rilevato, di larghezza di 3 m, dovrà essere raccordata alla viabilità locale.

L'adeguamento in quota dell'argine esistente comporta l'impegno di nuove aree agricole immediatamente a ridosso dell'argine talvolta occupate dalla viabilità locale. Per tenere conto della delocalizzazione di tale viabilità e del ripristino dei collegamenti è prevista una apposita voce per espropriazioni nel capitolo delle spese.

La Figura 6.9 illustra l'intervento e la conseguente riduzione di pericolosità in sponda destra per la portata due centenaria.



Figura 6.9 – Adeguamento in quota dell' argine in sponda destra a monte della SS 125 L = 1650 m .



### **Intervento B. Adeguamento argini in terra in sponda DX e SX a valle della SS 125**

Come precisato nel paragrafo precedente gli argini del rio Girasole a valle della SS 125 appaiono sufficienti per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni, mentre creano situazioni di criticità per tempi di ritorno pari a 200 anni. In particolare l'argine sinistro arriva al collasso, mentre quello destro manifesta dei franchi idraulici piuttosto ridotti.

In questa ottica un secondo intervento che si ritiene efficace è quello dell'adeguamento in quota di entrambi gli argini a valle della statale in modo da garantire il deflusso delle acque di piena relative all'evento di portata bicentenaria con il franco assegnato di m 1.20 (Figura 6.10 in giallo).

L'intervento, che interessa sia l'argine destro che sinistro per una lunghezza di circa 2400 m ciascuno, da una parte impedisce il collasso arginale in sponda sinistra anche con la portata T200, dall'altra dota entrambi i rilevati arginali di franco di 1.20 m, allineando le opere con i corretti criteri di progettazione.

Se si tiene conto che l'altezza media dell'argine destro esistente è di circa 3.00 m e che il nuovo argine ha necessità di un'altezza media di 3.50, si può stimare che sarà necessario un sopralzo arginale medio di 50 cm per garantire il transito della portata di progetto con franco adeguato di 1.20 m; per quanto riguarda l'argine sinistro mediamente più basso di quello destro, la sua altezza media si attesta a 2.50 m, mentre il nuovo argine ha altezza media ancora di 3.50 per cui si stima un sopralzo medio di 1 m.

Il nuovo argine avrà una scarpa 2/1 e la pista al colmo del rilevato, di larghezza di 3 m, dovrà essere raccordata alla viabilità locale.

L'adeguamento in quota degli argini esistenti comporta l'impegno di nuove aree agricole immediatamente a ridosso dell'argine talvolta occupate dalla viabilità locale (Figura 6.6). Per tenere conto della delocalizzazione di tale viabilità e del ripristino dei collegamenti è prevista una apposita voce per espropriazioni nel capitolo delle spese.

La Figura 6.10 illustra l'intervento e la conseguente riduzione di pericolosità in sponda destra e sinistra per la portata due centenaria, se coordinato con l'intervento a monte della SS 125 sull'argine destro.



Figura 6.10 – Adeguamento in quota degli argini in sponda destra e sinistra a valle della SS 125 L = 2400 m .



### Intervento C. Sistemazione idraulica reticolo nelle aree allagabili a ridosso degli argini esistenti

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

L'estensione stimata della zona oggetto di sistemazione ammonta a circa 500 ha all'interno della quale area si prevede la riapertura di nuovi canali con opere accessorie e la realizzazione di attraversamenti che consentono il ripristino delle viabilità eventualmente interrotte.





**Figura 6.11 – Area da sistemare dal punto di vista idraulico a ridosso dei nuovi argini (500 ha).**



**Figura 6.12 – Colatore argine destro a valle della SS 125**



**Figura 6.13 – Colatore argine sinistro a valle della SS 125**



---

## 6.5 STIMA DEL COSTO DI REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

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

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

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

Per la stima economica si è fatto riferimento:

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

Nella Tabella 6.5 sono sintetizzate le descrizioni degli interventi come sopra delineati e sono inoltre riportate le stime dei costi per ciascuno rimandando il prospetto analitico di computo all'allegato R6 specifico.

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

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

Si ipotizza che l'origine dei finanziamenti per la realizzazione delle opere designate sia di provenienza statale e pertanto non si è ritenuto utile, per la procedura di individuazione dello scenario



progettuale economicamente e finanziariamente sostenibile, considerare l'IVA nel quadro economico.

Nel quadro economico generale dello scenario un capitolo di spesa separato riguarda gli oneri di manutenzione delle opere esistenti e di quelle previste, i quali appaiono pertanto evidenziati e riferiti a un intervallo temporale annuale pur considerando che, in relazione a particolari condizioni, questi si potrebbero presentare più o meno frequentemente (due interventi all'anno, un intervento ogni due anni oppure tre anni eccetera) nella programmazione dei lavori.

**Tabella 6.5 – Valutazione economica degli interventi**

|   | Descrizione  | u.m. | q.ta | prezzo     | Importo        |
|---|--|------|------|------------|----------------|
| 1 | A. Adeguamento argine in terra in sponda DX a monte della SS 125   | m    | 1650 | € 1 151.68 | € 1 900 270.00 |
| 2 | B. Adeguamento argini in terra in sponda DX e SX a valle della SS 125                                      | m    | 2400 | € 2 414.69 | € 5 795 251.20 |
| 3 | C. Sistemazione idraulica reticolo nelle aree allagabili a ridosso degli argini esistenti o in adeguamento | ha   | 500  | € 3 300.00 | € 1 650 000.00 |
| 4 | D. Manutenzione argini esistenti o in adeguamento a monte e valle della SS 125                             | m    | 6450 | € 13.00    | € 83 850.00    |



## 7 Scenari di intervento

### 7.1 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

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

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

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

Nel caso del rio Girasole in base alle criticità riscontrate in stato attuale, si sono ipotizzati due scenari di intervento (SC 1 e SC 2), che vengono presentati di seguito con una sintetica descrizione delle varie componenti sia dal punto di vista progettuale che dal punto di vista dell'analisi costi benefici.

Nella configurazione attuale, individuata come "scenario zero", sono stati comunque inseriti gli interventi non strutturali, come 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 ad oggi ancora completata.



## 7.2 SCENARIO 0 (STATO ATTUALE)

Nello scenario zero sono stati inseriti sia la sistemazione idraulica del reticolo a monte degli argini esistenti che gli oneri annui di manutenzione per le opere esistenti pari a circa 83.850 euro per anno (Tabella 7.6).

**Tabella 7.6 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0"**

| INTERVENTI   | IMPORTO            |
|--|--------------------|
| C. Sistemazione idraulica reticolo nelle aree allagabili a ridosso degli argini esistenti o in adeguamento | 1 650 000          |
| TOTALE LAVORI  | 1 650 000          |
| SPESE GENERALI (15%)   | 247 500            |
| TOTALE LAVORI E SPESE  | 1 897 500          |
| in cifra tonda   | <b>€ 1 900 000</b> |
| TOTALE oneri manutenzione (per anno)   | <b>€ 83 850</b>    |

Nel seguito (Tabella 7.7) si riporta per comodità la valutazione dei danni da piena, già fornita nel capitolo precedente e riferita allo stato attuale, la quale è stata assunta come riferimento per la quantificazione dei benefici conseguenti alla realizzazione delle opere strutturali individuate tra gli interventi precedentemente descritti.

**Tabella 7.7 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno**

| Categoria elemento                              | Evento Tr=50 anni |            | Evento Tr=100 anni |            | Evento Tr=200 anni |            |
|---|-------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|   | Area (mq)         | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) |
| A - AGRICOLA                                    | 1 225 429         | 445 716    | 1 803 801          | 619 959    | 5 316 268          | 2 388 897  |
| C - COMMERCIALE                                 | -                 | -          | -                  | -          | 44 604             | 12 143 689 |
| H - CORPI IDRICI                                | 291 178           | -          | 299 027            | -          | 419 443            | -          |
| I - INDUSTRIALI                                 | 2 291             | 170 129    | 3 937              | 260 481    | 29 877             | 7 811 854  |
| J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE          | 16 551            | -          | 16 442             | -          | 28 537             | -          |
| K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE               | 5 101             | -          | 5 404              | -          | 30 950             | -          |
| N - STRADE COMUNALI                             | -                 | -          | -                  | -          | 16 317             | 89 116     |
| R - RESIDENZIALE                                | -                 | -          | -                  | -          | 223 593            | 67 960 494 |
| S - STRADE STATALI                              | 797               | 21 908     | 1 083              | 24 553     | 11 898             | 177 356    |
| T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE) | 5 414             | 80 005     | 17 197             | 189 461    | 22 669             | 291 602    |
| X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI          | 53 146            | -          | 53 576             | -          | 315 775            | -          |
| Totale  | 1 599 908         | 717 758    | 2 200 467          | 1 094 454  | 6 459 930          | 90 863 010 |



### 7.3 SCENARIO 1 OPERE DI PROTEZIONE A MONTE DELLA SS 125

Nello scenario 1 sono stati inseriti oltre all' intervento C) già individuato nello scenario 0, anche l'intervento A) denominato **Adeguamento argine in terra in sponda DX a monte della SS 125** che consente di affrancare la sponda destra dalla piena duecentenaria, senza peraltro intervenire a valle della SS 125 dove l'argine destro non ha un franco adeguato per Q200 e quello sinistro è proprio insufficiente e va a collasso. Infine vi sono da computare gli oneri manutenzione degli argini in adeguamento e di quelli esistenti.

La valutazione complessiva di tali interventi come sopra sinteticamente descritta supera di poco più di 4 milioni di euro, cui vanno ad aggiungersi le spese generali da valutarsi per circa € 570.000 per un totale di lavori e spese di circa € 4.120.000. Tra gli oneri di manutenzione annui sono stati confermati quelli relativi agli argini esistenti o in adeguamento per un totale di circa € 83.850 per anno.

Il prospetto dei costi è presentato nella tabella seguente (Tabella 7.8), insieme con l'entità stimata per gli oneri di manutenzione.

**Tabella 7.8 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"**

| INTERVENTI   | IMPORTO            |
|--|--------------------|
| A. Adeguamento argine in terra in sponda DX a monte della SS 125   | 1 900 270          |
| C. Sistemazione idraulica reticolo nelle aree allagabili a ridosso degli argini esistenti o in adeguamento | 1 650 000          |
| TOTALE LAVORI  | 3 550 270          |
| TOTALE SPESE GENERALI (16%)  | 568 043            |
| TOTALE LAVORI E SPESE  | 4 118 313          |
| in cifra tonda   | <b>€ 4 120 000</b> |
| TOTALE oneri manutenzione (per anno)   | <b>€ 83 850</b>    |

L'obiettivo principale dello scenario 1 è, come precisato, quello della salvaguardia degli esposti in sponda destra del rio, costituiti prevalentemente dalla periferia urbana di Girasole e da alcune aree a destinazione agricola; tale obiettivo è stato conseguito con l'adeguamento in quota dell'arginatura esistente con soprizzo medio di 80 cm per una lunghezza totale di 1650 m.

Rispetto alla situazione attuale si osserva naturalmente una diminuzione dell'estensione delle aree allagate soprattutto in sponda destra. Nella tabella seguente (Tabella 7.9) è consegnata, oltre l'estensione delle aree esondate con la configurazione studiata delle opere per tutti i tempi di ritorno studiati, anche la valutazione dei danni conseguenti in capo a ciascuna categoria di beni.



| Categoria elemento                              | Evento Tr=50 anni |                | Evento Tr=100 anni |                | Evento Tr=200 anni |                   |
|---|-------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|
|   | Area (mq)         | Valore (€)     | Area (mq)          | Valore (€)     | Area (mq)          | Valore (€)        |
| A - AGRICOLA                                    | 1 224 455         | 445 732        | 1 340 187          | 510 007        | 3 030 618          | 1 320 746         |
| C - COMMERCIALE                                 | -                 | -              | -                  | -              | 44 604             | 12 144 019        |
| H - CORPI IDRICI                                | 291 095           | -              | 300 755            | -              | 311 864            | -                 |
| I - INDUSTRIALI                                 | 2 266             | 169 853        | 3 937              | 260 481        | 5 169              | 385 217           |
| J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE          | 16 598            | -              | 16 472             | -              | 15 939             | -                 |
| K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE               | 5 098             | -              | 5 296              | -              | 7 413              | -                 |
| N - STRADE COMUNALI                             | -                 | -              | -                  | -              | 7 881              | 36 331            |
| P - STRADE PROVINCIALE                          | -                 | -              | -                  | -              | 15                 | 55                |
| R - RESIDENZIALE                                | -                 | -              | -                  | -              | 139 128            | 36 875 294        |
| S - STRADE STATALI                              | 797               | 21 908         | 829                | 23 291         | 2 777              | 68 634            |
| T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE) | 5 411             | 80 002         | 5 722              | 91 903         | 5 705              | 101 618           |
| X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI          | 53 104            | -              | 55 116             | -              | 64 646             | -                 |
| <b>Totale</b>                                   | <b>1 598 823</b>  | <b>717 494</b> | <b>1 728 314</b>   | <b>885 683</b> | <b>3 635 759</b>   | <b>50 931 915</b> |



#### 7.4 SCENARIO 2 OPERE DI PROTEZIONE A MONTE E A VALLE DELLA SS 125

Nello scenario 2 sono stati inseriti oltre all' intervento A) e C) già inseriti nello scenario 1, anche l'intervento B) denominato **Adeguamento argini in terra in sponda DX e SX a valle della SS 125** che consente, coordinato con gli altri due interventi, di affrancare le aree agricole e le zone periferiche degli abitati di Lotzorai e Girasole dalle portate bicentinarie con un franco di 1.20 m. In aggiunta vi sono da computare gli oneri manutenzione degli argini in adeguamento.

La valutazione complessiva di tali interventi come sopra sinteticamente descritta supera di poco più di 9 milioni di euro, cui vanno ad aggiungersi le spese generali da valutarsi per circa € 1.500.000 per un totale di lavori e spese di quasi € 11.000.000. Tra gli oneri di manutenzione annui sono stati confermati quelli relativi agli argini esistenti o in adeguamento per un totale di circa € 83.850 per anno.

Il prospetto dei costi è presentato nella tabella seguente (Tabella 7.10), insieme con l'entità stimata per gli oneri di manutenzione.

**Tabella 7.10 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"**

| INTERVENTI   | IMPORTO             |
|--|---------------------|
| A. Adeguamento argine in terra in sponda DX a monte della SS 125   | 1 900 270           |
| B. Adeguamento argini in terra in sponda DX e SX a valle della SS 125                                      | 5 795 251           |
| C. Sistemazione idraulica reticolo nelle aree allagabili a ridosso degli argini esistenti o in adeguamento | 1 650 000           |
| TOTALE LAVORI  | 9 345 521           |
| TOTALE SPESE GENERALI (16%)  | 1 495 283           |
| TOTALE LAVORI E SPESE  | 10 840 804          |
| in cifra tonda   | <b>€ 10 845 000</b> |
| TOTALE oneri manutenzione (per anno)   | <b>€ 83 850</b>     |

L'obbiettivo principale dello scenario 2 è, come precisato, quello della salvaguardia degli esposti sia in sponda destra che in sponda sinistra del rio tanto a monte quanto a valle della SS 125. A valle in particolare si evita che le piene interessino le periferie urbane di Girasole e Lotzorai con un notevole incremento del beneficio in termini di riduzione di danno; tale obiettivo è stato conseguito con l'adeguamento in quota delle arginature esistenti con soprizzo medio di 50 cm per l'argine destro e di 100 cm per quello sinistro per una lunghezza totale di 2400 m.

Rispetto alla situazione attuale si osserva l'azzeramento delle aree allagate su entrambe le sponda. Nella tabella seguente (Tabella 7.11) è consegnata, oltre l'estensione delle aree esondate con la configurazione studiata delle opere per tutti i tempi di ritorno studiati, anche la valutazione dei danni conseguenti in capo a ciascuna categoria di beni.



**Tabella 7.11 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno**

| Categoria elemento                              | Evento Tr=50 anni |                | Evento Tr=100 anni |                | Evento Tr=200 anni |                  |
|---|-------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|------------------|
|   | Area (mq)         | Valore (€)     | Area (mq)          | Valore (€)     | Area (mq)          | Valore (€)       |
| A - AGRICOLA                                    | 1 225 682         | 445 777        | 1 340 187          | 510 007        | 1 532 514          | 610 644          |
| H - CORPI IDRICI                                | 291 203           | -              | 300 755            | -              | 312 495            | -                |
| I - INDUSTRIALI                                 | 2 291             | 170 129        | 3 937              | 260 481        | 5 176              | 385 943          |
| J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE          | 16 607            | -              | 16 472             | -              | 15 974             | -                |
| K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE               | 5 101             | -              | 5 296              | -              | 6 730              | -                |
| P - STRADE PROVINCIALE                          | -                 | -              | -                  | -              | 19                 | 62               |
| R - RESIDENZIALE                                | -                 | -              | -                  | -              | 0                  | 0                |
| S - STRADE STATALI                              | 797               | 21 908         | 829                | 23 291         | 894                | 29 456           |
| T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE) | 5 414             | 80 005         | 5 722              | 91 903         | 5 782              | 103 628          |
| X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI          | 53 155            | -              | 55 116             | -              | 55 682             | -                |
| <b>Totale</b>                                   | <b>1 600 250</b>  | <b>717 818</b> | <b>1 728 314</b>   | <b>885 682</b> | <b>1 935 265</b>   | <b>1 129 733</b> |



## 8 Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento

### 8.1 PREMESSE

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

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

### 8.2 INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA

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



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 importante sarà comunque considerata: riguarda la definizione del livello di pericolosità da associare a specifiche infrastrutture e, conseguentemente, al territorio sotteso.

In specifico per il tratto del Girasole a monte e a valle della SS 125 si ricorda che nelle in analisi di dettaglio sviluppate nel Capitolo 3 si sono date le informazioni sulle aree attualmente a pericolosità di alluvione, mentre nel Capitolo 4 sono riportati i risultati ottenuti con la modellazione idraulica aggiornata. Questo ha permesso tra l'altro di stabilire che **nel tratto di alveo a monte della SS 125 l'allagamento in sponda sinistra e la fuoriuscita dell'acqua, che viene fatto corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco di altezza inferiore a 20 cm, avvenga con portate di piena di circa 124 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>amm</sub>) che corrisponde ad un tempo di ritorno di 2 anni.** Questo valore del tempo di ritorno può essere assunto come indice di allertamento grave del territorio della parte a monte della SS 125 nella situazione attuale. Per portate inferiori a Q<sub>amm</sub> si ha assenza di esondazioni.

**Nel tratto arginato a valle della SS 125 invece il collasso arginale in sponda sinistra (franco di 20 cm sull'argine più basso) si ha per una portata di piena di 778.41 con tempo di ritorno valutabile intorno ai 100 anni che nella situazione attuale può essere assunto come indice di allertamento grave del territorio a valle della SS 125.**



In sintesi si ritiene che nella stesura attuale del PGRA si dovrà necessariamente fornire una analisi degli elementi critici di interazione con un deflusso delle acque, sia in termini di opere di protezione esistenti che di infrastrutture che, comunque, interagiscono con i corsi d'acqua al fine di definire le portate che possono defluire senza pericolo per i territori adiacenti con la attuale capacità di deflusso negli alvei. A seguire può essere impostata una operazione di inversione della funzione che da luogo alla curva probabilistica degli eventi estremi di piena e di determinare il tempo di ritorno atteso per l'evento che diviene critico per il territorio. Quest'operazione è però spesso complicata dal dover considerare la riduzione sulle portate operate dai serbatoi di laminazione a monte. In linea di massima, come già detto nei paragrafi precedenti, nel PGRA si opererà con le tecniche di modellazione idrologica già utilizzate nel PSFF e richiamate nel paragrafo 4.1.

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

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

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

e che l'investimento iniziale per la realizzazione dello scenario d'intervento dia luogo ad 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 visto, il modello di valutazione 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  $r$

cumulati

si può 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



**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

riferimento a un tasso  $r$  relativamente basso, assunto pari al 3% che può essere giustificato con riferimento al secondo punto sopra dato.

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



### Scenario 0 – Situazione attuale

Nello scenario zero sono stati inseriti lavori di sistemazione idraulica delle aree a monte degli argini esistenti e i relativi lavori di manutenzione ordinaria.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da interventi di sistemazione è di 1.900.000,00 euro.

Gli oneri di manutenzione sono valutati in € 83.850 per anno.

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

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

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

**Tabella 8.12 – Scenario 0 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno**

| CATEGORIA ELEMENTO | Evento Tr=50 anni |            | Evento Tr=100 anni |            | Evento Tr=200 anni |            |
|--------------------|-------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|                    | Area (mq)         | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) |
| Totale             | 1 599 908         | 717 758    | 2 200 467          | 1 094 454  | 6 459 930          | 90 863 010 |

### Scenario 1 – Opere di protezione a monte della SS 125

Nello scenario 1 sono stati inseriti gli interventi del sopralzo arginale in sponda destra a monte della SS 125 che risulta importante non solo per la protezione delle aree agricole a monte, ma anche per quelle a valle della statale compresa la periferia dell'abitato di Girasole. In questo scenario sono inserite come opere complementari anche la sistemazione idraulica delle aree a monte degli argini esistenti con canali di raccolta dedicati.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da tali interventi è di 4.120.000,00 euro.

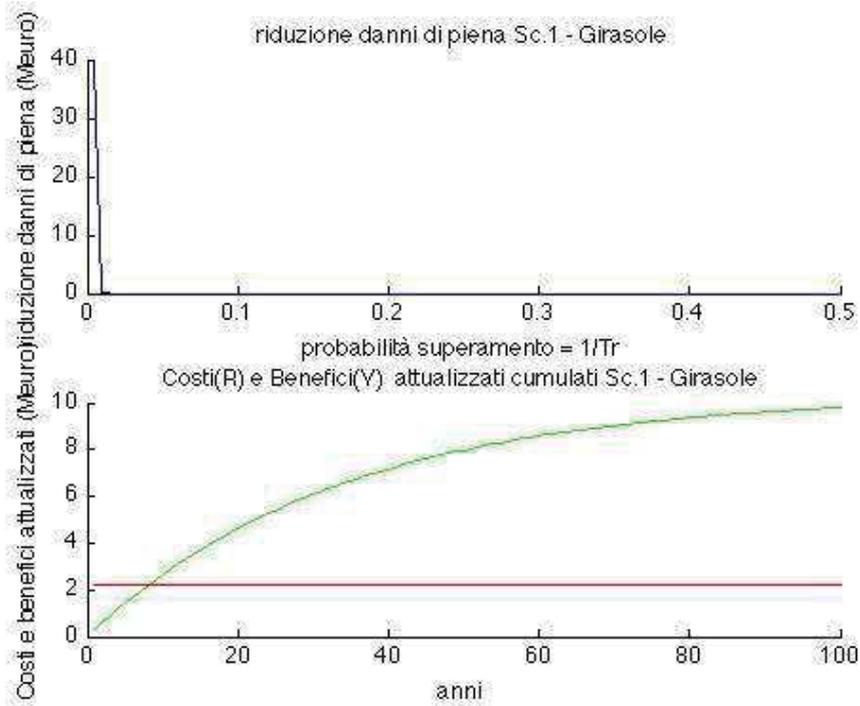
Gli oneri di manutenzione annui sono stati valutati pari a € 83.850 per anno.

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



**Tabella 8.13 – Scenario 1: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno**

| CATEGORIA ELEMENTO | Evento Tr=50 anni |            | Evento Tr=100 anni |            | Evento Tr=200 anni |            |
|--------------------|-------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|                    | Area (mq)         | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) |
| Totale             | 1 598 823         | 717 494    | 1 728 314          | 885 683    | 3 635 759          | 50 931 915 |



**Figura 8.1 – Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per Tr=2 anni**

Come si evidenzia dalla Figura 8.1, nel determinare la curva di riduzione del danno di piena si è considerato che, nella situazione attuale, il tempo di ritorno per il quale si può ipotizzare danno nullo sia  $Tr=2$  anni. Questo valore è completamente coerente con quanto affermato nei capitoli precedenti nell'analisi dello stato di fatto. Tuttavia si ritiene che il tempo di ritorno di 2 anni che determina l'esondazione della sola parte a monte del ponte sulla SS 125 nel corso del fiume possa interessare una zona a scarsa valenza, anche in relazione alla frequenza elevata dell'evento critico stimato. In definitiva danni significativi di piena sono considerati solo per eventi con  $Tr$  maggiore di 50 anni, e divengono particolarmente significativi con  $Tr = 200$  anni, come si evidenzia dalla Figura 8.1.

Il valore del beneficio medio annuo atteso conseguente a questo scenario di intervento è pari a circa  $300 \cdot 10^3$  euro/anno.



La Figura 8.1 visualizza i flussi attualizzati di costi e benefici e come, nell'arco temporale esaminato; è evidente come questo scenario di intervento determina una convenienza economica conseguente alla sua realizzazione con un orizzonte temporale di ammortamento di circa 10 anni.

### Scenario 2 – Opere di protezione a monte e a valle della SS 125

Nello scenario 2 sono stati inseriti gli interventi di adeguamento in quota degli argini sia a monte che a valle della SS 125. Pertanto questo Scenario è comprensivo anche degli interventi previsti nello Scenario 1. In questo scenario sono inserite, ancora, come opere complementari le sistemazioni idraulica delle aree limitrofe agli argini modificati.

La valutazione complessiva degli oneri derivanti da tali interventi è di 10.845.000,00 euro. Gli oneri di manutenzione annui sono stati valutati pari a € 83.850 per anno.

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

**Tabella 8.14 – Scenario 2: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima del danno**

| CATEGORIA ELEMENTO | Evento Tr=50 anni |            | Evento Tr=100 anni |            | Evento Tr=200 anni |            |
|--------------------|-------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|                    | Area (mq)         | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) | Area (mq)          | Valore (€) |
| Totale             | 1 600 250         | 717 818    | 1 728 314          | 885 682    | 1 935 265          | 1 129 733  |

Come si evidenzia dalla Figura 8.2, nel determinare la curva di riduzione del danno di piena si è ugualmente considerato che, nella situazione attuale, il tempo di ritorno per il quale si può ipotizzare danno nullo sia  $Tr= 2$  anni, così come ipotizzato per lo Scenario 1 e coerentemente con quanto affermato nei capitoli precedenti nell'analisi dello stato di fatto.

Sulla base di queste considerazioni, il valore del beneficio medio annuo atteso conseguente a questo scenario di intervento aumenta significativamente ed è pari a circa  $675 \cdot 10^3$  euro/anno. Tuttavia, la Figura 8.2 che visualizza i flussi attualizzati di costi e benefici, evidenzia come, nell'arco temporale esaminato, questo scenario di intervento determina una convenienza economica conseguente alla sua realizzazione con un orizzonte temporale di ammortamento che si estende fino a circa 20 anni. Ovviamente questo fatto è da mettere in relazione con l'investimento necessario per questo Scenario 2 di intervento che è sensibilmente superiore rispetto a quello ipotizzato per lo Scenario 1.

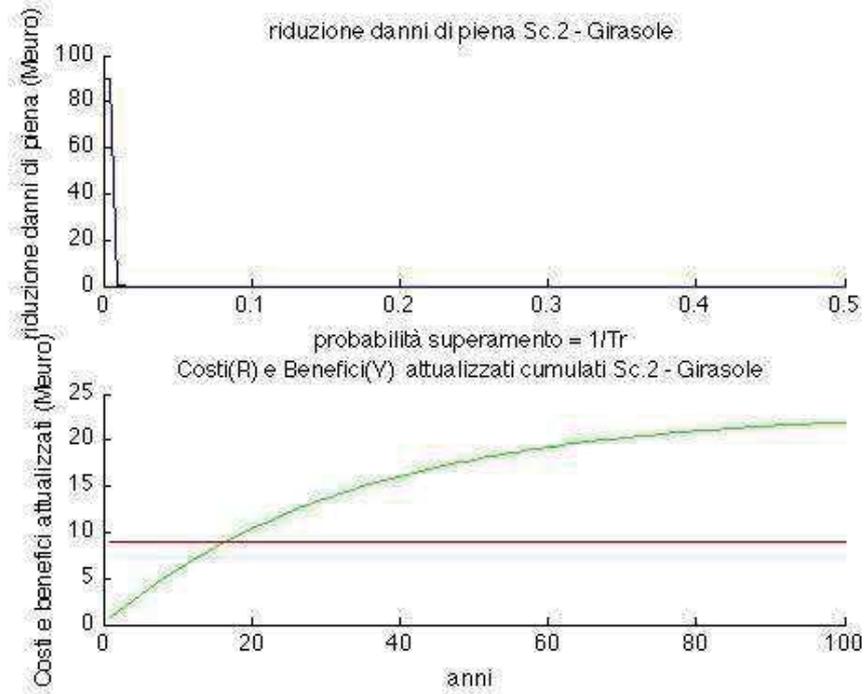


Figura 8.2 – Scenario 2: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici con ipotesi di azzeramento dei danni di piena per  $Tr=2$  anni