



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

tra

Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna

e

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

Finalizzato alla predisposizione del Piano di Gestione del Rischio di alluvioni sui principali corsi d'acqua del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49

PGRA2 – REVISIONE PGRA

Modellazione degli ambiti fluviali vallivi – Fiume Coghinias

Cagliari, dicembre 2020



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Sommario

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Premesse | 9 |
| 2 | Descrizione sintetica del sistema idrografico di riferimento | 11 |
| 2.1 | Bacino del f. Coghinias | 11 |
| 2.2 | Sbarramenti a Muzzone e a Casteldoria | 11 |
| 2.3 | Stato di fatto delle opere di salvaguardia idraulica nel bacino della bassa valle del Coghinias 14 | |
| 3 | Pericolosità idrauliche documentate | 19 |
| 3.1 | Prima fase di pianificazione (PSFF)..... | 19 |
| 3.2 | Seconda fase di pianificazione (PGRA 2017)..... | 20 |
| | Criterio di verifica del franco idraulico utilizzato nel PGRA | 22 |
| 4 | Aggiornamento della modellazione idraulica in seguito all'adozione del piano di laminazione delle piene per la diga di "Muzzone" | 26 |
| 4.1 | Nuovo studio idraulico | 26 |
| 4.2 | Risultati dello studio idraulico allo stato attuale..... | 28 |
| | Primo tronco: dalla diga Muzzone al rio Sa Contra..... | 29 |
| | Secondo tronco: tra la confluenza del rio Sa Contra e il lago di Casteldoria | 34 |
| | Terzo tronco: tra il lago di Casteldoria e Viddalba | 34 |
| | Quarto tronco: tra Viddalba e l'attraversamento della SP90 (loc. Monte di Campu) | 37 |
| | Quinto tronco: tra l'attraversamento della SP90 (loc. Monte di Campu) e la foce | 39 |
| 5 | Stima del danno di piena: Analisi territoriale per l'individuazione degli Elementi Esposti al danno di piena..... | 45 |
| 5.1 | Tipologie di cespiti territoriali contenute nella carta degli elementi esposti della Regione. 45 | |
| | Aree a destinazione insediativa o produttiva..... | 46 |
| | Reti di trasporto: | 48 |
| | Aree con beni culturali, storici e ambientali suscettibili di danni non tangibili | 48 |
| 6 | Calcolo del danno di piena nella Bassa valle del Coghinias | 50 |
| 6.1 | Danno di piena relativo allo stato attuale..... | 52 |
| 7 | Scenario di intervento di mitigazione del danno | 54 |



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

| | | |
|-----|--|----|
| 7.1 | Aspetti metodologici di individuazione degli interventi | 54 |
| 7.2 | Definizione tipologica delle opere di sistemazione idraulica e criteri di individuazione | 55 |
| 7.3 | Stato attuale, interventi di manutenzione ordinaria e loro stima (Scenario zero) | 57 |
| 7.4 | Scenario di intervento considerato (Scenario 1) | 58 |
| | Descrizione degli interventi..... | 58 |
| | Stima degli costo degli interventi..... | 73 |
| 8 | Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento | 74 |
| 8.1 | Premesse | 74 |
| 8.2 | Interazioni tra PGRA e piani di emergenza | 77 |
| 8.3 | Obiettivi e definizione degli interventi strutturali..... | 79 |
| 8.4 | Analisi economica degli scenari d'intervento ipotizzati..... | 83 |
| | Scenario 0 – Situazione attuale | 84 |
| | Scenario 1 – Realizzazione delle opere di protezione nella bassa valle..... | 85 |



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Indice delle Figure

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 - Ambiti territoriali di pericolosità da alluvione individuati nel PSFF | 10 |
| Figura 2.1 – Bacino idrografico del f. Coghinas | 12 |
| Figura 2.2 - Sbarramento del f. Coghinas a Muzzone | 13 |
| Figura 2.3 - Diga Casteldoria | 13 |
| Figura 2.4 -Corografia di bacino e opere di sbarramento del f. Coghinas | 14 |
| Figura 2.5 – Nella figura sono presentate: le idrovore di Viddalba (a), quella in sponda destra con chiavica a quota m 2 slm (b) e quella in sponda sinistra con chiavica a quota 0.5 s slm (c). | 16 |
| Figura 2.6 - Estensione territoriale della bassa valle del f. Coghinas | 17 |
| Figura 2.7 - Foce del f. Coghinas vista dalla sommità del compendio dunale (in direz. SW) e di alcuni edifici del complesso turistico edificato sull'area dunale. | 18 |
| Figura 3.1 - Criticità individuate dal PSFF per Viddalba, Santa Maria Coghinas e Valledoria nel tronco fluviale a valle di Casteldoria | 20 |
| Figura 4.1 - Sezioni di controllo adottate (PSFF) | 28 |
| Figura 4.2 - Profilo longitudinale 1° tronco per l'evento con Tr=200 anni | 29 |
| Figura 4.3 - Aree fluviali interessate dalla piena per Tr=200 anni lungo il 1° tronco fluviale a valle di Muzzone | 31 |
| Figura 4.4 - Profili di velocità media nelle sezioni del 2° tronco fluviale | 32 |
| Figura 4.5 – Sezioni idrauliche in corrispondenza degli attraversamenti della SS127 | 32 |
| Figura 4.6 - Ponte ferroviario (Tr 200 anni) | 32 |
| Figura 4.7 - Allagamento delle aree di confluenza con il rio Giobaduras (sopra: Tr=50 anni, sotto: Tr=200 anni). (In rosso la delimitazione nel PSFF) | 33 |
| Figura 4.8 - Profilo di corrente dell'evento con Tr=50 e 200 anni per il 3° tronco fluviale tra il lago di Casteldoria e Viddalba | 34 |
| Figura 4.9 - Profili di velocità media nelle sezioni del 3° tronco fluviale | 35 |
| Figura 4.10 – Aree allagabili nel tronco a valle di Casteldoria presso le Terme e Viddalba (Tr=50 anni). In rosso la delimitazione nel PSFF) | 35 |
| Figura 4.11 - Allagamento presso Viddalba (Tr = 200 anni) e in rosso la delimitazione nel PSFF | 36 |
| Figura 4.12 - Passerella pedonale presso lo stabilimento termale (Tr 50-200-500 anni) | 36 |
| Figura 4.13 - Ponte lungo la SP 146 a Viddalba | 37 |
| Figura 4.14 - Profilo di corrente dell'evento con Tr=50 e 200 anni per il 4° tronco fluviale | 37 |
| Figura 4.15 - Profili di velocità media nelle sezioni del 4° tronco fluviale | 38 |
| Figura 4.16 - Sezione con il franco minimo (Tr= 50 anni) | 38 |
| Figura 4.17 - Attraversamento lungo la SP90 | 39 |
| Figura 4.18 - Profilo di corrente dell'evento con Tr=50 e 200 anni per il 5° tronco fluviale | 40 |
| Figura 4.19 - Profili di velocità media nelle sezioni del tronco fluviale focivo | 40 |



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

| | |
|---|----|
| Figura 4.20 – Insufficienza idraulica dell'argine destro (Tr=50 anni) | 40 |
| Figura 4.21 – Allagamento per l'evento con Tr=50 anni | 41 |
| Figura 4.22 - Insufficienza idraulica dell'argine sinistro e destro (Tr=100 anni) | 42 |
| Figura 4.23 – Allagamento per l'evento con Tr=100 anni | 42 |
| Figura 4.24 – Situazione delle aree allagabili presso Santa Maria Coghinas (Tr=100 anni) | 43 |
| Figura 4.25 - Tratti arginali critici nell'evento con Tr= 200 anni | 43 |
| Figura 4.26 – Allagamento per l'evento con Tr=200 anni | 44 |
| Figura 6.1 - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso | 51 |
| Figura 7.1 – Intervento di adeguamento dell'argine in terra di sponda sinistra del f. Coghinas | 59 |
| Figura 7.2 – Primo tronco arginale di sponda sinistra: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto) | 60 |
| Figura 7.3– Secondo tronco arginale di sponda sinistra: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto) | 60 |
| Figura 7.4 – Planimetria di allagamento corrispondente alla piena bicentenaria e intervento di arginatura a protezione di Viddalba (il tratto rosso indica l'esondazione come da PSFF) | 61 |
| Figura 7.5 – Tronco arginale di sponda destra a protezione di Viddalba: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto) per la sola porzione in fregio alla sponda del fiume Coghinas. | 62 |
| Figura 7.6 – Intervento di adeguamento dell'argine in terra di sponda destra e realizzazione della soglia tracimabile | 63 |
| Figura 7.7– Argine di sponda destra lungo l'alveo principale: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto) e posizione della soglia a quota corrispondente a franco annullato per la portata bicentenaria. | 64 |
| Figura 7.8- Assetto idrografico della bassa valle alla fine dell'Ottocento (Carta Idrografica del Regno d'Italia, 1890). Si osservi l'ampia area delimitata dai bracci fluviali lungo il versante di destra nelle aree oggi denominate "Pischina Manna", "Brazzu di Colbu" e "Tamarigagiu", attualmente ricadenti nell'area retroarginale di sponda destra. | 66 |
| Figura 7.9 – Andamento meandriforme del basso corso del f. Coghinas (da valle presso la duna verso monte) | 67 |
| Figura 7.10 – Azioni erosive in atto lungo la sponda esterna del meandro all'inizio del tratto focivo. | 67 |
| Figura 7.11 – In alto: ortofoto anni 1977, 2008, 2011. Si osserva il progressivo avvicinamento delle anse con tendenza evolutiva al salto del meandro. Un evento di piena intenso potrebbe modificare sostanzialmente la situazione attuale. In basso: assetto della foce del f. Coghinas dalle Ortofoto (anno 1954 e 2008). | 68 |
| Figura 7.12 – Territorio dell'area dunale in erosione e tronco fluviale meandriforme (a sinistra nel 2006 a destra allo stato attuale) | 69 |



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

- Figura 7.13 - Sezione e prospetto di una barriera basale in viminata costituita da viminata, inclinata e semi interrata, realizzata con un intreccio di verghe di castagno o ornello e da pali di intelaiatura e controintelaiatura di castagno (da Bovina et al., 2003). 69
- Figura 7.14 – Schema di un intervento tipo per il sostegno alla sponda mediante gabbionate di elementi cilindrici (burghe o gabbioni) posate sulla fossa di erosione 70
- Figura 7.15 – Esempio di intervento di stabilizzazione con pali infissi sul piede della sponda e burghe di consolidamento (da completare con il riempimento e la riprofilatura della sponda) 70
- Figura 7.16 - Tratto fluviale in corrispondenza delle anse con l'erosione della duna costiera in prossimità degli edifici di un insediamento. La freccia indica un braccio fluviale che attualmente si riattiva solo in occasione delle piene provenienti in buona parte dai rilasci dagli sbarramenti a monte 71
- Figura 7.17 - L'area SIC "Foci del Coghinas" (ITB010004) 72
- Figura 8.8.1 - Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici 86



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Indice delle Tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 3.1 – Valori del rapporto Q_u/Q_i nel tronco fluviale a valle del serbatoio di Muzzone per i tempi di ritorno indicati | 23 |
| Tabella 4.1 - Portate laminate al colmo di piena con applicazione dello scenario di riferimento adottato nel Piano di Laminazione dell'invaso di Muzzone (da studio DICAAR) e quelle di PSFF | 27 |
| Tabella 4.2 – Franchi idraulici effettivi lungo il primo tronco in corrispondenza degli attraversamenti | 30 |
| Tabella 4.3 - Franco idraulico degli attraversamenti (3° tronco) | 36 |
| Tabella 4.4 - Franco idraulico degli attraversamenti (4° tronco) | 39 |
| Tabella 5.1 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo | 45 |
| Tabella 6.1 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno..... | 53 |
| Tabella 7.1 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0" | 57 |
| Tabella 7.2 – Intervento sull'argine di sponda sinistra: stima delle grandezze dimensionali dell'intervento in sponda sinistra..... | 61 |
| Tabella 7.3 – Intervento sull'argine di sponda destra a Viddalba: stima delle grandezze dimensionali dell'intervento | 62 |
| Tabella 7.4 – Intervento sull'argine di sponda destra a monte (tronco 1) e a valle (tronco 2) del tratto tracimabile: stima delle grandezze dimensionali dell'intervento | 65 |
| Tabella 7.5 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1" | 73 |
| Tabella 8.1 - Portate laminate al colmo di piena con applicazione dello scenario di riferimento adottato nel Piano di Laminazione dell'invaso di Muzzone (da studio DICAAR) e quelle di PSFF | 79 |
| Tabella 8.2 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno..... | 85 |



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

1 Premesse

La presente relazione si inserisce nell'ambito del Progetto di collaborazione tecnico-scientifica di cui alla Convenzione in data 20 aprile 2020: "Accordo di collaborazione tra Agenzia Regionale di Distretto Idrografico della Sardegna e DICAAR finalizzato a collaborazione tecnico-scientifica nell'ambito della Seconda Fase di Pianificazione del PGRA, 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".

In particolare nella Convenzione, al punto 3) dell'Art. 1, è previsto che il DICAAR fornisca supporto scientifico e tecnico per attività di ricerca finalizzate alla ridefinizione delle fasce fluviali con pericolosità idraulica e alla modellazione degli ambiti fluviali per i quali, a seguito della modifica delle portate critiche attese a valle di alcuni grandi invasi, come conseguenza della predisposizione dei relativi Piani di Laminazione, si sono evidenziate variazioni significative nelle portate da considerare per la definizione delle Fasce Fluviali ai diversi tempi di ritorno. Nella Convenzione sono, pertanto, previste da ridefinire le Fasce fluviali di pertinenza dei seguenti corsi d'acqua: 1) Flumendosa a valle di Nuraghe Arrubiu; 2) Coghinas a valle di Muzzone. Si tratta di una attività che integra quanto finora realizzato nel PGRA e che, per quanto riguarda in specifico il fiume Coghinas che sarà di seguito esaminato, individua ulteriormente gli interventi di mitigazione da porre in atto per la salvaguardia del territorio vallivo agli sbarramenti.

Infatti, sempre nella citata Convenzione tra ADIS e DICAAR, al punto 4) è prevista la "Verifica delle ipotesi infrastrutturali per la mitigazione del rischio di alluvione" negli ambiti fluviali definiti al punto 3), ove siano avvenute variazioni delle portate critiche attese a valle di alcuni grandi invasi come conseguenza della predisposizione dei relativi Piani di Laminazione. A seguito della modifica delle portate critiche attese a valle degli invasi di Muzzone e Casteldoria, si ritiene infatti necessario rivalutare gli interventi necessari per la mitigazione del rischio idraulico, modificando quindi conseguentemente le previsioni degli interventi infrastrutturali di mitigazione considerati nella prima fase del PGRA.

A completamento della presente relazione, sono in allegato consegnate le tavole nelle quali sono rappresentati i risultati ottenuti con riferimento ad un quadro di unione che individua la loro suddivisione in singoli elementi cartografici che consentono adeguata definizione dei risultati, oltre ulteriori elementi che dettagliano i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica nello Scenario 0 (Stato attuale) e nello Scenario 1 (Post intervento).



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

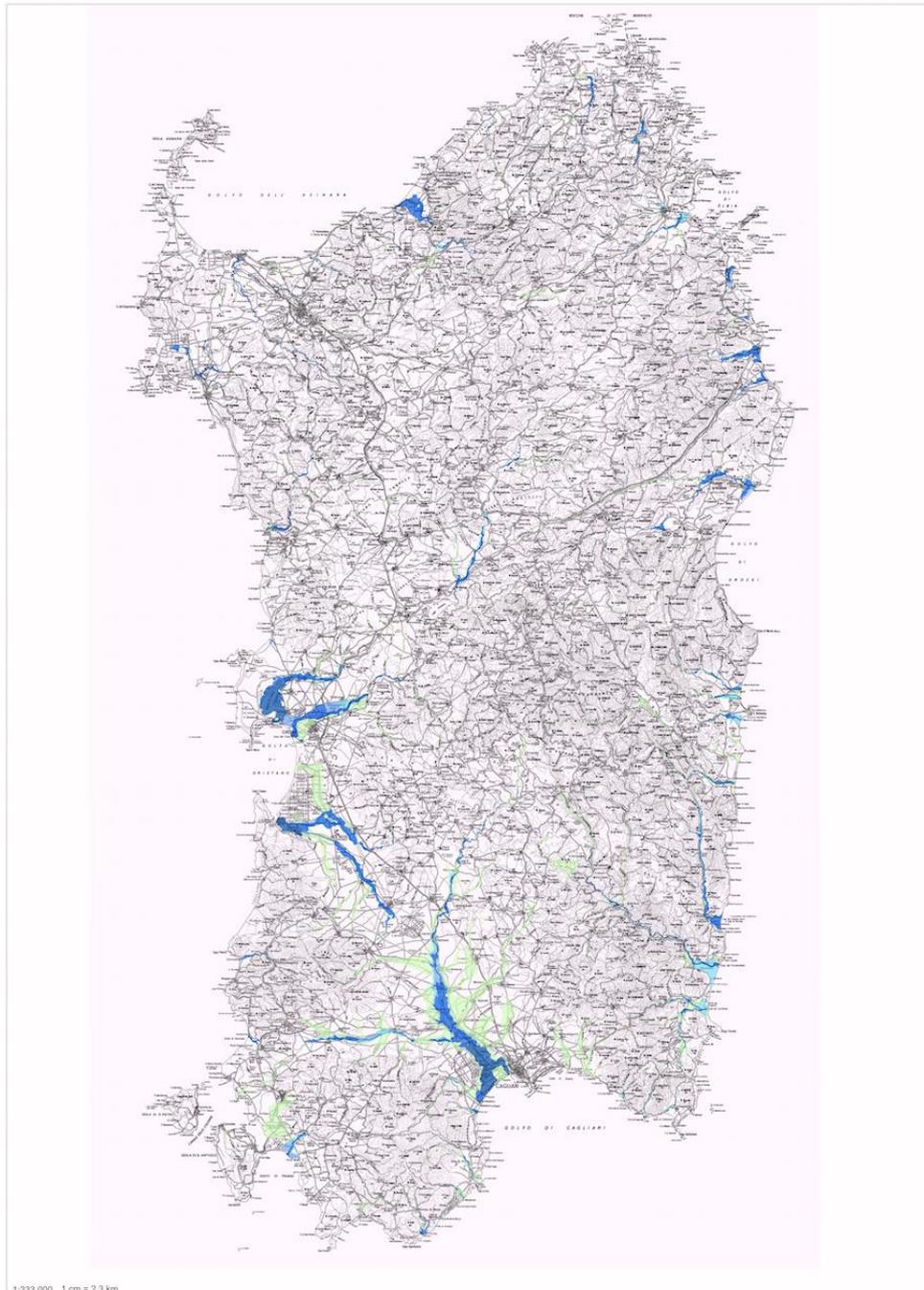


Figura 1.1 - Ambiti territoriali di pericolosità da alluvione individuati nel PSFF



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

2 Descrizione sintetica del sistema idrografico di riferimento

2.1 BACINO DEL F. COGHINAS

Il bacino in esame si sviluppa per 2510 kmq e rappresenta il terzo per estensione dopo il Tirso e il Fluminimannu tra i bacini principali dell'isola, in un'area geograficamente ricadente tra le alture dell'Anglona, l'altipiano di Campeda, la catena del Goceano, i monti di Alà dei Sardi e il massiccio del Limbara.

Il reticolo idrografico del bacino ha uno sviluppo complessivo di 5171 km e l'asta idrografica principale si estende nella direttrice N-S per circa 102 km. Il maggiore affluente è il rio Mannu di Berchidda il quale, con il bacino del sub affluente rio Mannu di Oschiri-Pattada, si estende per circa 780 kmq.

Nel tratto fluviale del f. Coghinas a valle della confluenza del rio Mannu di Berchidda col il Mannu di Ozieri, si trovano i due sbarramenti:

- la diga di Muzzone che determina un lago artificiale con volume totale di invaso (ai sensi del DM 24/03/1982) di 283.56 milioni di m³ a fini idroelettrici, ma che deve garantire anche adeguata laminazione delle piene e il soddisfacimento delle utenze multi-settoriali di carattere civile, irrigue e industriali
- la diga di Casteldoria che sottende un invaso di dimensioni ridotte con volume totale di invaso (ai sensi del DM 24/03/1982) di 8.03 milioni di m³, completamente tracimabile, utilizzato a fini idroelettrici e come presa per le utenze irrigui e idropotabili.

I laghi suddividono l'intero corso in 3 tronchi principali: quello più montano (L= 61 km fino all'invaso di Muzzone) che drena un'area di circa 850 kmq; quello intermedio (compreso tra quest'ultimo e il lago di Casteldoria) per una lunghezza di circa 26 km e il tronco a valle dell'omonimo sbarramento fino alla foce, per una lunghezza di circa 15.8 km.

La foce è situata in corrispondenza di un varco verso il mare su cordone dunale continuo, in parte stabile ma per lo più ancora attivo e dell'altezza massima che varia tra 15-20 m, a valle di una piana costiera formatasi con i depositi alluvionali del fiume stesso.

2.2 SBARRAMENTI A MUZZONE E A CASTELDORIA

La diga Muzzone lungo il fiume Coghinas, nel territorio del comune di Oschiri (SS), assolve ai compiti di produzione di energia elettrica nella centrale idroelettrica omonima ubicata a valle dello sbarramento e di regolazione dei deflussi ai fini della utilizzazione della risorsa idrica. Attualmente gestita da Enel Green Power s.p.a. la diga, in esercizio dal 1926, è a gravità ordinaria in muratura di



pietrame con malta di cemento, a pianta rettilinea e profilo triangolare, alta 58 m con sviluppo al coronamento di

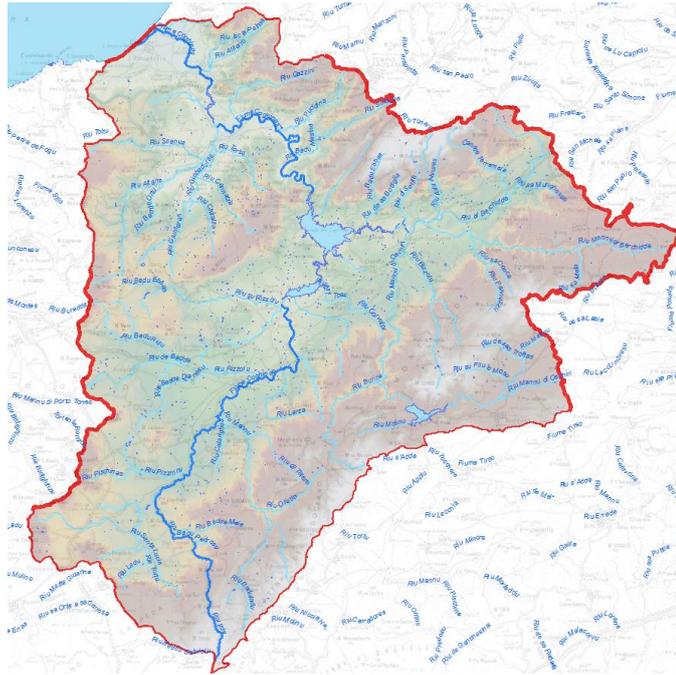


Figura 2.1 – Bacino idrografico del f. Coghinas

185.6 m. Lo sbarramento determina un invaso con capacità totale di invaso di 283.6 milioni di metri cubi.

L'opera è dotata di uno scarico di superficie, uno scarico di mezzofondo, uno scarico di alleggerimento e uno scarico di fondo che consentono un efflusso complessivo di 1'199 m³/s con il lago alla quota massima di invaso.

La centrale idroelettrica è ubicata in caverna con galleria di presa di alimentazione della centrale in spalla destra cui corrisponde una massima portata turbinabile pari a 28 m³/s e successivamente rilasciata in alveo qualche km più a valle mediante una galleria di restituzione.

La diga Casteldoria, gestita anch'essa da ENEL alimenta le utenze potabili, irrigue ed industriali dell'area nord occidentale della Sardegna ed è dotata anch'essa di una centrale idroelettrica. Costruita nel 1963 a gravità ordinaria in calcestruzzo, ha quota 29 m slm al coronamento con uno sviluppo di 97 m ed è dotata di luci sfioranti con paratoie in corpo diga, uno scarico di alleggerimento in galleria e scarico di fondo in corpo diga. Il serbatoio ha una capacità complessiva di 8 Mm³ con quota lago a 26 m slm corrispondente al massimo invaso per la diga. L'invaso artificiale di Casteldoria



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

si sviluppa lungo la valle del fiume Coghinas per più di 5 km e, a valle dello sbarramento, il fiume prosegue per circa 2 km in una valle stretta ed incisa, in cui l'unico insediamento presente è costituito dallo stabilimento termale di Casteldoria e dove l'alveo non ha possibilità di divagazione.



Figura 2.2 - Sbarramento del f. Coghinas a Muzzone



Figura 2.3 - Diga Casteldoria



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

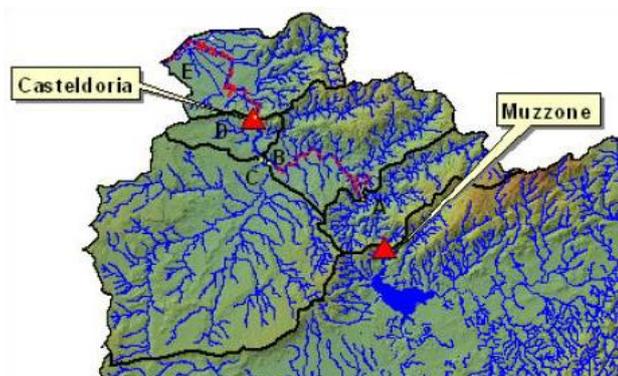


Figura 2.4 -Corografia di bacino e opere di sbarramento del f. Coghinias

2.3 STATO DI FATTO DELLE OPERE DI SALVAGUARDIA IDRAULICA NEL BACINO DELLA BASSA VALLE DEL COGHINAS

Come già detto nei paragrafi precedenti, l'area d'indagine della bassa valle comprende, principalmente, i territori dei comuni di Valledoria, S. Maria Coghinias e Viddalba, in provincia di Sassari. L'assetto territoriale è caratterizzato dalla dominante ambientale della piana alluvionale costiera del Coghinias che presenta una configurazione ad anfiteatro confinato da rilievi, alla base dei quali si allineano gli insediamenti e alcune infrastrutture viarie (principalmente la strada che collega Castelsardo con Santa Teresa di Gallura).

Come ampiamente descritto in PSFF, nei pressi di Viddalba si apre un'ampia zona pianeggiante, principalmente destinata all'agricoltura, in cui l'alveo inciso ha andamento sinuoso, quote di fondo prossime al livello medio marino per quasi tutto il tratto. Nell'attraversamento della piana costiera l'alveo, in seguito alla bonifica effettuata nei primi decenni del secolo scorso, scorre tra i rilevati arginali, alcuni rilievi collinari e la duna costiera. In un primo tratto, l'alveo presenta un andamento debolmente sinuoso con una modesta tendenza alla ramificazione. Più a valle, l'alveo si allarga e a valle del ponte della S.P. 90 l'asta fluviale assume un andamento meandriforme, finché non giunge nei pressi della duna costiera presso la quale l'alveo si rettifica e si allarga progressivamente fino a diventare una sorta di laguna, parallela alla costa, per poi giungere finalmente al mare attraverso una bocca che ha dimensioni variabili a seguito delle situazioni di deflusso che attraversa la linea delle dune litoranee.

Il rilevato arginale, in sponda sinistra, ha inizio appena a valle di S. Maria Coghinias e prosegue sino alla foce, nei pressi di Valledoria, salvo una breve interruzione nella zona di Ponte Coghinias, in corrispondenza del Monte di Campu. Poco a monte di quest'ultimo, appena a valle dell'immissione del Canale Nuragheddu, ha inizio, invece, l'arginatura in sponda destra, che presenta uno sviluppo



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 breve e termina in zona costiera, immediatamente a valle di un'immissione di un canale irriguo controllato da una chiavica con idrovora.

Nelle aree oggetto dello studio ricadono anche vaste estensioni di interesse paesaggistico lungo le sponde del fiume Coghinas, tutelate per legge per una fascia di ampiezza di 150 m, e la fascia di rispetto costiero (300 m) (ex art. 142 D.Lgs 42/2004 come sostituito dall'art. 12 del d.lgs. n. 157 del 2006, poi modificato dall'art. 2 del d.lgs. n. 63 del 2008). Altre zone di pregio ambientale sono individuabili nella zona costiera tra le quali l'area del Sito di interesse comunitario (SIC "Foci del Coghinas"), e una zona di protezione regionale (ZPS) che include il compendio dunale sabbioso della fascia litoranea.

Per quel che riguarda l'assetto ambientale e paesaggistico, tra i numerosi elementi di particolare pregio, individuati nell'ambito del Piano Paesaggistico Regionale, si ricordano: le sorgenti termali alla base del rilievo del castello dei Doria che rappresentano una potenziale risorsa per il territorio; le zone umide di foce fluviale del Coghinas, che si aprono attraverso il lido sabbioso di Valledoria e rappresentano un importante ecosistema umido costiero; il compendio sabbioso costiero rappresentato dalla spiaggia e dal vasto campo dunale retrostante che è strutturato in diversi ordini e stadi evolutivi (comprendenti formazioni sabbiose antiche di deposizione eolica) ed è caratterizzato da importanti coperture vegetali di formazioni a ginepro. Di particolare pregio risulta, inoltre, l'alveo ordinario e di piena attuale del basso corso del Coghinas, delimitato dalla fascia alluvionale terrazzata che accompagna il tracciato meandriforme nella piana oltre che le aree di interesse botanico delle foci del Coghinas e delle dune di Badesi.

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

La bassa valle è interessata da opere di difesa la cui conformazione attuale presenta uno sviluppo di arginature in terra di circa 8500 m in parte sinistra e di 1600 m in destra idraulica, quest'ultima a protezione di un'area con estensione di circa 290 ettari caratterizzata da usi prettamente agricoli (seminativi, ortive) e priva di insediamenti abitativi. Per descrivere in modo adeguato le strutture arginali esistenti in sponda sinistra, da monte verso valle sono state schematicamente suddivise in 2 tronchi:

- il 1° tronco, della lunghezza di circa 4200 m, da monte dell'abitato di S. Maria Coghinas fino al rilievo Monte di Campu prima del ponte della SP90;
- il 2° tronco, dalla ripresa a valle della SP90 fino all'idrovora, per una lunghezza di 4387 m.



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Le attuali opere di sistemazione idraulica connesse con i rilevati arginali sono articolate nella rete di drenaggio secondaria con fossi di raccolta che immettono nei canali colatori le portate provenienti da monte che sono immerse nell'alveo arginato mediante chiaviche dotata di idrovore. Di tali impianti, lungo il tratto considerato, sono stati già individuati, rispettivamente:

- idrovora di sponda destra presso Viddalba (quota m 8.50 slm)
- idrovora di sponda destra presso loc. "Pischina Miali" (quota m 2 slm)
- idrovora di sponda sinistra presso un camping in prossimità della foce (quota m 0.5 slm circa).



a)



b)



c)

Figura 2.5 – Nella figura sono presentate: le idrovore di Viddalba (a), quella in sponda destra con chiavica a quota m 2 slm (b) e quella in sponda sinistra con chiavica a quota 0.5 s slm (c).

Ciascuno di tali impianti sottende una propria area di drenaggio e una parte della rete idrografica del territorio: l'impianto esistente a monte di Viddalba sottende un'area di circa 1 km² che comprende anche buona parte dell'abitato, il cui dreno appare effettuato da un unico elemento idrografico naturale che raccoglie e porta a consegna il deflusso presso l'idrovora mediante una breve canalizzazione artificiale. L'impianto è costituito da una vasca di calma e da un impianto di presa delle pompe idrovore in una struttura collocata presso la rotonda all'incrocio con la SP146 (Figura 2.5).

Un secondo impianto è presente a quota 2 m slm in destra idraulica: esso sottende un bacino assai più importante che comprende i rilievi a sud-est dell'abitato di Badesi ed ha una estensione di 9.3 km² che si colloca in posizione contermina rispetto al bacino principale del f. Coghinas e al rio Balbara Farru. La rete di drenaggio appare costituita da un torrente (rio La Tozza) che drena la parte più montana del bacino mentre, a quote più basse, esso riceve i contributi da due canalizzazioni pressoché parallele che si sviluppano ad altimetria sfalsata.



Un terzo impianto di idrovora è presente a quota 0.5 slm: esso sottende l'area a valle della lunga arginatura di sponda sinistra, da Valledoria a S. Maria Coghinas, per circa 12 km² alimentata da una rete di canali che attraversano l'ampia valle. La rete di drenaggio appare quindi estesa e ben ramificata con due collettori principali di scolo disposti entrambi in direzione parallela alla lunga arginatura dei quali, quello più a occidente, accoglie i contributi dei versanti delle modeste alture costituenti la sponda sinistra morfologica del f. Coghinas.

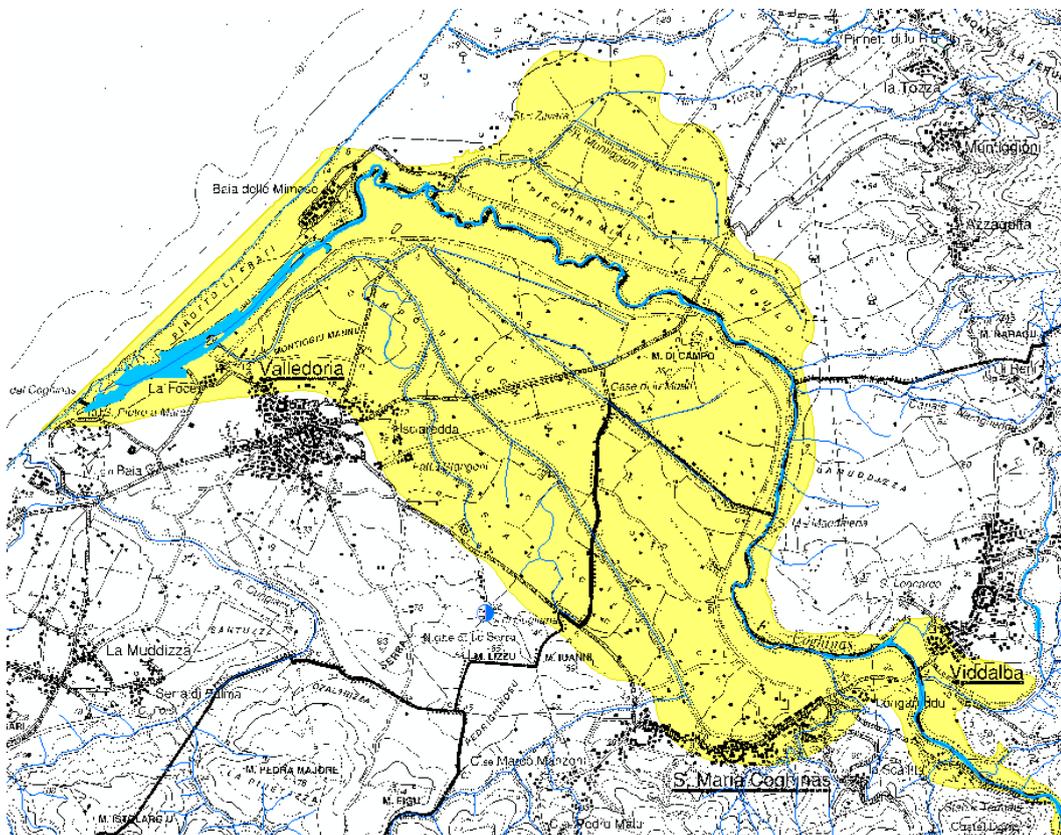


Figura 2.6 - Estensione territoriale della bassa valle del f. Coghinas



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 2.7 - Foce del f. Coghinas vista dalla sommità del compendio dunale (in direz. SW) e di alcuni edifici del complesso turistico edificato sull'area dunale.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3 Pericolosità idrauliche documentate

Ai fini della protezione idraulica del territorio, l'area fluviale del fiume Coghinas è stata oggetto di studio sia nell'ambito della pianificazione idrogeologica regionale (PAI) sia negli aggiornamenti del PSFF (2015) e del PGRA (2017): nei paragrafi seguenti si sintetizzano gli aspetti salienti estratti dai relativi Studi ed i contenuti delle elaborazioni che hanno contribuito alla definizione dell'attuale perimetrazioni delle aree associate a pericolosità idraulica.

3.1 PRIMA FASE DI PIANIFICAZIONE (PSFF)

Lo sviluppo degli studi di modellazione ha visto una **prima fase di modellazione** riguardante il tratto fluviale vallivo rispetto all'invaso di Muzzone (lago del Coghinas) suddiviso in due tronchi denominati sopralacuale e sublacuale rispetto al lago di Casteldoria.

I risultati riportati nel PSFF mostrano particolare criticità nei centri abitati di Viddalba, Santa Maria Coghinas e Valledoria con interessamento delle zone residenziali e della viabilità di collegamento oltre che le ampie zone rurali di fondovalle che in corrispondenza di insediamenti turistici costieri presenti sia nelle aree dunali più elevate ("Baia delle Mimose") sia in corrispondenza della zona fociva in sponda sinistra, con il parziale interessamento delle aree di un camping in territorio di Valledoria.

Nella seguente Figura 3.1 si riportano alcuni dettagli su tali zone.

In particolare, le perimetrazioni delle aree allagabili mostrano come il centro abitato di Viddalba sia interessato da una criticità derivante dalle quote idriche raggiunte dal F. Coghinas in corrispondenza della confluenza in destra del rio Badu Crabili la cui incisione determina l'intrusione della piena nell'alveo verso monte e in un'area di cintura dell'abitato, oltre alla parziale sommersione del raccordo stradale esistente in corrispondenza della viabilità di collegamento verso Santa Maria Coghinas. In sponda sinistra, l'allagamento interessa aree estese di territorio fino ad interessare gli edifici dell'abitato di Santa Maria Coghinas e la strada principale interna fino a circa la zona centrale dell'abitato.

Oltre l'abitato di Santa Maria Coghinas e verso il tratto finale, superata l'ampia curva in direzione nord-ovest, le acque negli eventi di piena si estendono fino ad invadere il fondovalle per tutta l'ampiezza disponibile, con larghezze di allagamento di circa 3 km in corrispondenza della zona del rilievo denominato "Monte di Campu". Similmente che in sponda sinistra, in destra idraulica le arginature sono tracciate dalla portata cinquantenaria, fin dai primi tratti presidiati dalle arginature in zona Padula, a monte del Ponte Coghinas sulla SP 90 e interessano tutta l'area morfologicamente disponibile.



Infine, come detto, nel tratto più vallivo, ove il Fiume percorre un tratto parallelo alla zona dunale, è stato evidenziato l'allagamento dell'area in sponda destra prossima al complesso Baia delle Mimose (località Li Frati) e della chiavica posta in corrispondenza dell'idrovora (prossimità del camping "La Foce").

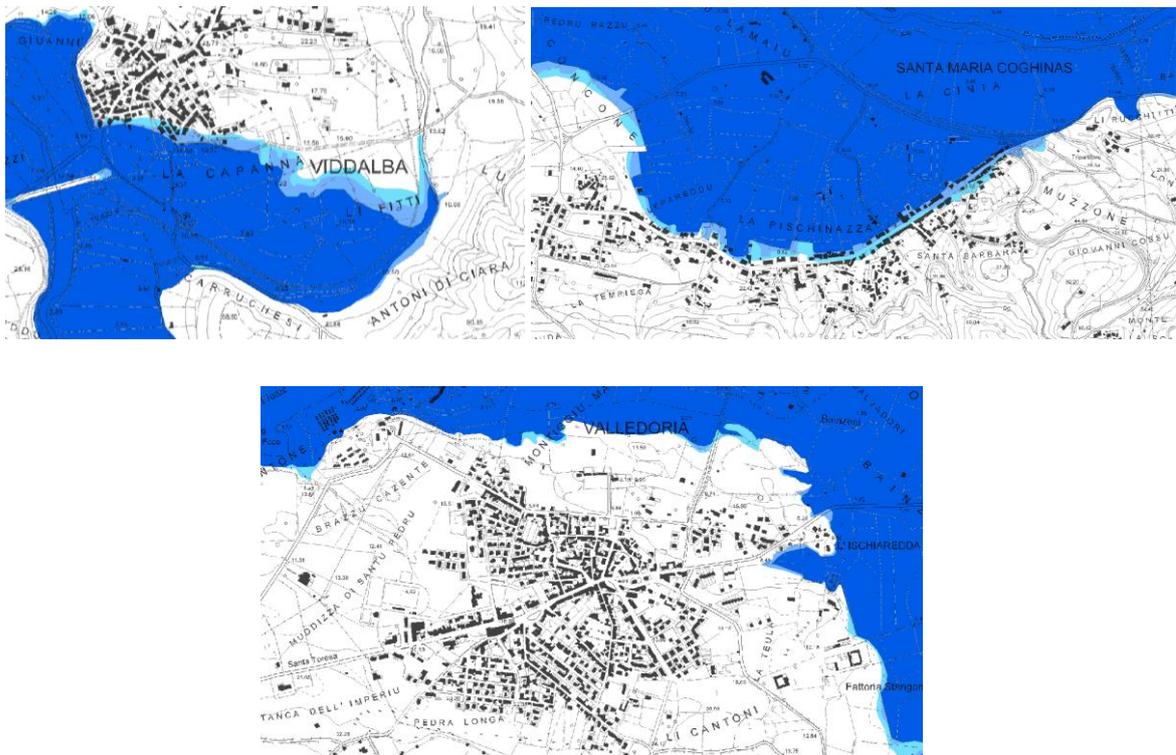


Figura 3.1 - Criticità individuate dal PSFF per Vidalba, Santa Maria Coghinas e Valledoria nel tronco fluviale a valle di Castledoria

3.2 SECONDA FASE DI PIANIFICAZIONE (PGRA 2017)

In una seconda fase di pianificazione, nell'ambito dello sviluppo del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), sono stati ripetuti gli studi di modellazione idraulica per un aggiornamento determinato dalla disponibilità di rilievi Lidar a maglia di 1 m del territorio e con l'introduzione di una metodologia di analisi costi-benefici a giustificazione degli interventi strategici per la difesa delle aree più esposte al rischio di insufficienza arginale, secondo scenari di intervento sviluppati della fase conclusiva dello studio.

Con riferimento al tronco fluviale sublacuale, l'analisi ha replicato il funzionamento del modello di simulazione idraulica con l'utilizzo del software Hec-RAS con le medesime ipotesi e fasi di



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

elaborazione già utilizzate nelle elaborazioni del PSFF, ma con la disponibilità del modello digitale del terreno che consente una più dettagliata individuazione delle criticità da allagamento. In PGRA sono state individuate, come causa degli allagamenti, sia la generale inadeguatezza delle attuali arginature fluviali nella bassa valle (presenti in destra e sinistra idraulica lungo il tronco fluviale vallivo) sia l'insufficienza di alcuni attraversamenti del corso d'acqua nelle infrastrutture stradali attualmente esistenti. Il nuovo studio idraulico del corso d'acqua ha anche acquisito lo studio sedimentologico e vegetazionale utilizzato per l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza. Le condizioni al contorno assunte nel PSFF non sono state modificate e sono state mantenute con livello idrico in corrispondenza della foce pari a +1.80 sul livello medio mare.

In PGRA è stata conservata anche la geometria delle strutture trasversali di attraversamento utilizzate nello studio del PSFF, definita sulla base di un adeguato rilievo in situ. Ugualmente, l'analisi di modellazione idraulica è stata eseguita per eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

Gli scenari di stima del danno sono stati valutati in PGRA **prendendo in considerazione le effettive quote idriche di allagamento riscontrabili ai diversi tempi di ritorno degli eventi attesi e le attuali situazioni di uso del territorio interessato dall'esonazione. Infatti, lo scopo del PGRA non è stato solo quello di determinare le perimetrazioni delle aree allagabili ai diversi tempi di ritorno, ma anche di valutare i possibili interventi di mitigazione sulla base di una analisi costi-benefici, seguendo le indicazioni della Normativa Comunitaria e Nazionale.**

Rispetto al modello idraulico del PSFF il risultato delle simulazioni di PGRA non hanno evidenziato particolari differenze sulla estensione delle aree allagabili: modeste differenze si presentano localmente dovute all'aggiornamento della base topografica utilizzata nella costruzione della geometria delle sezioni trasversali.

In particolare è stato confermato l'allagamento dell'intero fondovalle, soprattutto nel tronco a valle dell'abitato di S. Maria Coghinas, data l'insufficienza delle arginature rispetto alle portate in esame. In particolare il nuovo studio in PGRA ha evidenziato la criticità della quota arginale sinistra presso l'abitato di S. Maria Coghinas nella quale, in corrispondenza dell'evento cinquantennale, è superata la soglia critica. La causa maggiore di queste criticità è riconducibile sia all'entità delle portate attese, sia alla conformazione plano-altimetrica delle arginature attuali che evidenziano un progressivo restringimento delle sezioni di deflusso in quel tratto nella bassa valle.

Lo studio idraulico in PGRA ha consentito di attribuire ai circa 16 kmq di aree allagate un battente idrico definito sulla base delle maglie del DTM con risoluzione spaziale di 1 m e la stima delle velocità all'interno di 40 porzioni di perimetro bagnato per ciascuna sezione trasversale.

Con riferimento alla piena bi-centenaria, sono state determinate in PGRA le quote idriche in corrispondenza delle opere di attraversamento ritrovando, in linea di massima, il quadro di criticità già delineatosi nel PSFF e che sono di seguito elencate:



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

- **Nuovo ponte lungo la SP 146 presso Viddalba:** pur non essendo la struttura dell'impalcato interamente sommersa la quota idrica lambisce l'intradosso dell'impalcato a m 10.74 con conseguente assenza di franco libero;
- **ponte sul F. Coghinas presso Monte di Campu,** parallelo alla SP90 : benché in condizioni di piena vi sia ancora un ridotto franco libero di 40 cm (quota idrica 7.80 m slm e una quota di intradosso della travata principale pari a 8.20 slm) la struttura è in condizioni di pericolosità ai sensi dell'art. 21 del PAI (Indirizzi per la progettazione, realizzazione e manutenzione delle infrastrutture);
- **ponte sul rio Badu Crabile lungo la SP 35** in direzione Bordigiadas in prossimità del depuratore di Viddalba: con la quota della carreggiata a 10.70 m slm rispetto alla quota idrica di rigurgito di 11.50 m, il ponte è sommerso e impraticabile.

Criterio di verifica del franco idraulico utilizzato nel PGRA

L'ipotesi del collasso arginale è stata valutata con riferimento all'azione esercitata dalle acque sulla base dei soli dati geometrici disponibili, mancando allo stato attuale una caratterizzazione geotecnica che documenti le condizioni interne delle arginature, utili alla valutazione il coefficiente di sicurezza dell'ammasso terroso.

A tale proposito, si precisa che da un punto di vista di conformazione, (ulteriori indagini sarebbero necessari per la caratterizzazione geotecnica) gli argini del fiume Coghinas sono da considerarsi come non-idonei per essere tracimati in quanto non sono dotati di soglie che consentano il sormonto e lo sfioro in sicurezza delle portate di piena in eccesso rispetto alla capacità di deflusso e, pertanto, il collasso del corpo arginale è stato ipotizzato in caso di sormonto dello stesso, peraltro trascurando l'incidenza dei possibili fenomeni di sifonamento.

La geometria del territorio nel modello idraulico, basato sui 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 m² e un'accuratezza altimetrica corrispondente +/- 1 s che corrisponde ad un errore medio +/- 15 cm in quota.

Valgono in questo caso le considerazioni già sviluppate in PGRA nello studio del fiume Coghinas riguardanti l'attendibilità delle quote del terreno legate alla presenza di vegetazione sulle sommità arginali. L'incertezza derivante nel dato altimetrico sulla geometria degli argini e quindi sulla loro stabilità sotto l'azione idraulica deve essere necessariamente rapportato alle condizioni del rilievo effettuato. Si è assunta la condizione critica che induce al sormonto (e conseguentemente



all'apertura di una breccia nel corpo arginale) con il superamento della quota idrica corrispondente a un franco minimo di ampiezza minore o uguale a 20 cm¹.

In PGRA, la portata di piena Q_{amm} corrispondente a tale valore limite della capacità di deflusso è stata valutata mediante l'analisi idraulica del tronco fluviale della Bassa valle del f. Coghinas 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 valutati nel PSFF². Successivamente, mediante l'inversione della metodo diretto TCEV, è stato stimato il valore del tempo di ritorno da associare alla portata non laminata.

Operativamente, considerando i valori di $\epsilon p(T)$, da riferirsi al tronco fluviale a valle del serbatoio di Muzzone (Tabella 3.1) e fino alla sezione di foce, è stata determinata la relazione regressiva tra T e $\epsilon p(T)$:

$$\epsilon p(T) = 5.8323 \cdot e^{-6 \cdot T^2} - 0.000246876 \cdot T + 0.680725 .$$

Il valore della portata non laminata è ottenuto dalla relazione:

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

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

I risultati dell'indagine sono di seguito presentati suddividendo il tratto fluviale in tre tronchi come appresso specificato. Nelle tabelle che seguono sono indicati sia i tempi di ritorno relativi alle portate che determinano il franco idraulico di 20 cm e l'annullamento dello stesso sia la sezione maggiormente critica nel corso d'acqua esaminato, riportando per completezza il risultato della modellazione idraulica

Tabella 3.1 – Valori del rapporto Q_u/Q_i nel tronco fluviale a valle del serbatoio di Muzzone per i tempi di ritorno indicati

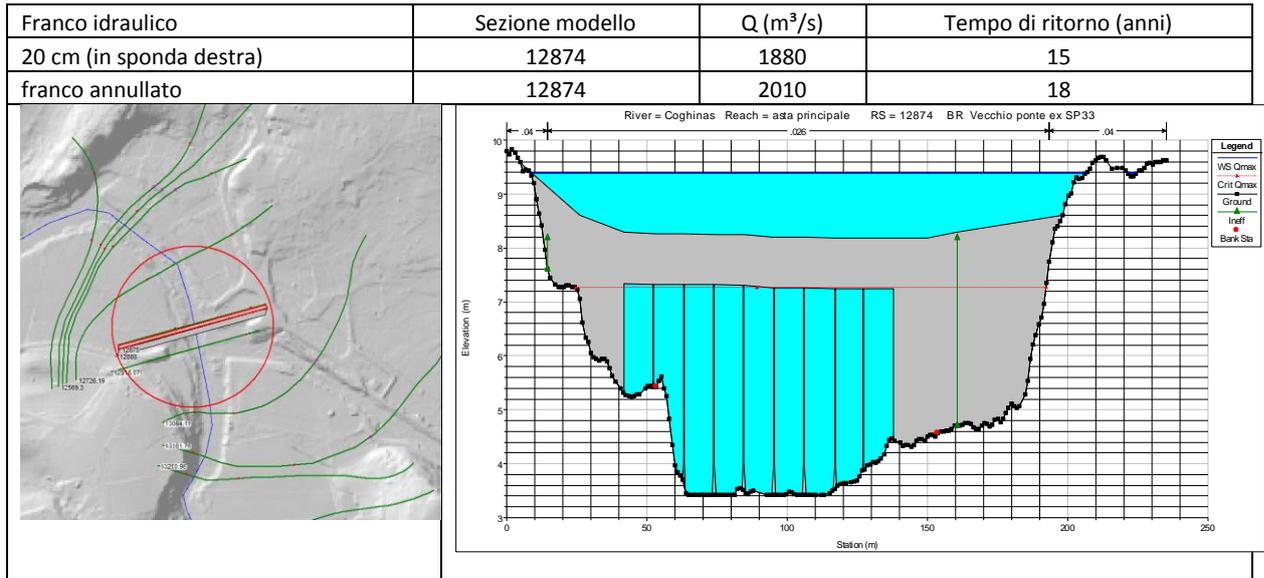
| T (anni) | $\epsilon p(E)$ |
|----------|-----------------|
| 2 | 0.680 |
| 50 | 0.683 |
| 100 | 0.714 |

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

² Piano stralcio per le fasce fluviali: Allegato 3_02_1_1_2_Relazione monografica. Pag. 48

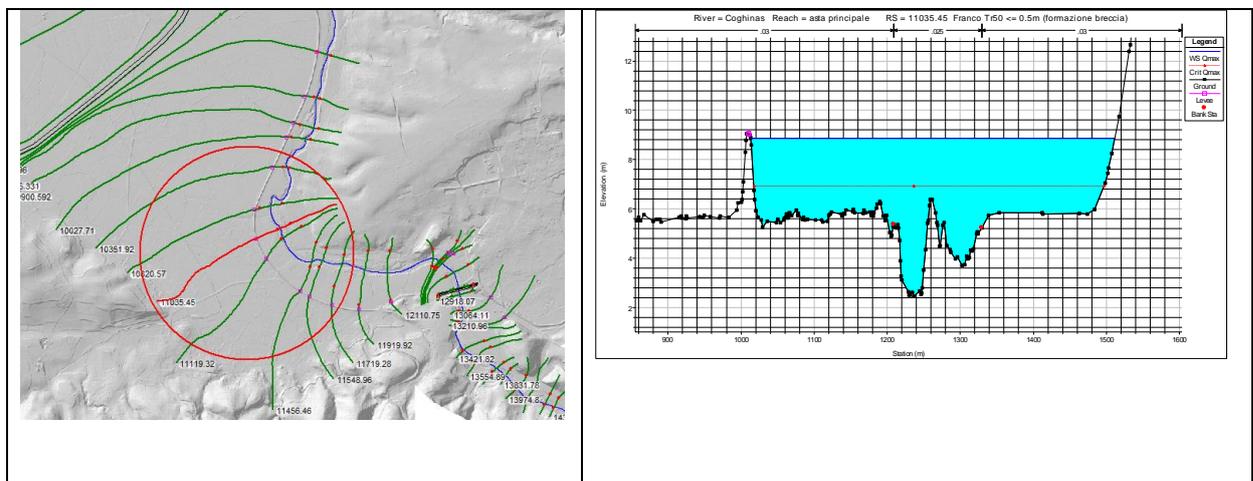


1° Tronco: *Dalla diga Casteldoria fino a ponte Viddalba (Ponte indicato come da demolire in PGRA ed attualmente già demolito) :*



2° Tronco: *Dal ponte di Viddalba (demolito) fino a ponte SP90:*

| Franco idraulico | Sezione modello | Q (m ³ /s) | Tempo di ritorno (anni) |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 20 cm (in sponda sinistra) | 11035 | 2250 | 25 |
| franco annullato | 11035 | 2380 | 29 |





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



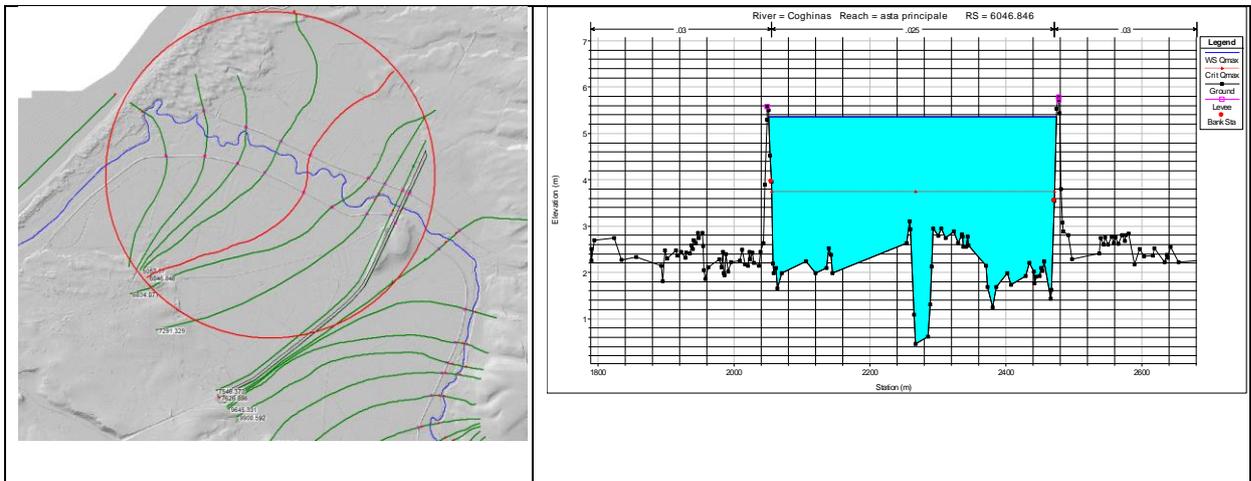
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3° Tronco: Dal ponte SP90 fino a foce:

| Franco idraulico | Sezione modello | Q (m ³ /s) | Tempo di ritorno (anni) |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| 20 cm (in sponda sinistra) | 6046 | 2650 | 40 |
| franco annullato | 6046 | 2950 | 57 |





REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

4 Aggiornamento della modellazione idraulica in seguito all'adozione del piano di laminazione delle piene per la diga di "Muzzone"

4.1 NUOVO STUDIO IDRAULICO

A seguito alla definizione del Piano di Laminazione Statica per l'invaso formato dallo sbarramento del Coghinas a Muzzone si è determinata una condizione di significativa riduzione delle portate al colmo attese ai diversi tempi di ritorno nelle sezioni di interesse vallive alla diga, rispetto a quanto previsto sia in PSFF che in PGRA. Conseguentemente è stato necessario l'aggiornamento dello studio idraulico finalizzato alla ridefinizione delle aree di pericolosità idraulica e delle criticità sulle infrastrutture esistenti, richiedendo la modellazione idraulica sull'intero tronco fluviale compreso fra la diga e la foce.

Si ricorda, inoltre, che nell'ambito di un Accordo di collaborazione con la Direzione Generale Assessorato Lavori Pubblici (DGLLPP) della RAS, il DICAAR ha fornito supporto tecnico specialistico per l'individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014

Pertanto, a seguito della rideterminazione delle portate al colmo di piena (portate laminate) a valle dell'invaso di Muzzone, nella presente fase di aggiornamento del PGRA sono state indagate e definite le aree di allagamento conseguenti e valutate le fasce di pericolosità in aderenza con quanto ipotizzato nel Piano di Laminazione adottato per l'invaso. Nella Tabella 4.1 seguente sono riportate le portate laminate determinate nel Piano di Laminazione (PdL) e quelle inizialmente adottate nel PSFF e nel PGRA. Le sezioni di controllo indicate sono riportate nella Figura 4.1. Il confronto tra le portate evidenzia la sostanziale riduzione nella loro entità.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 4.1 - Portate laminare al colmo di piena con applicazione dello scenario di riferimento adottato nel Piano di Laminazione dell'invaso di Muzzone (da studio DICAAR) e quelle di PSFF

| SEZIONE | 50 ANNI | | 100 ANNI | | 200 ANNI | | 500 ANNI | |
|--------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> |
| Diga Muzzone | 894 | | 1011 | | 1154 | | 1393 | |
| A | 989 | 1872 | 1127 | 2474 | 1294 | 2983 | 1570 | 3616 |
| B | 1139 | 2186 | 1309 | 2834 | 1514 | 3397 | 1848 | 4101 |
| C | 1516 | 2667 | 1769 | 3415 | 2070 | 4079 | 2551 | 4917 |
| D | 1549 | 2742 | 1809 | 3501 | 2118 | 4178 | 2612 | 5032 |
| E | 1667 | 2952 | 1953 | 3745 | 2292 | 4460 | 2832 | 5366 |

L'aggiornamento dello studio idraulico, che sarà di seguito illustrato, ha considerato lo sviluppo dell'asta fluviale compresa tra lo sbarramento di Muzzone e la foce: per semplificare la procedura l'asta fluviale è stata suddivisa in una porzione sopra-lacuale e in una sub-lacuale avendo a riferimento il lago di Casteldoria.

Come per gli studi precedenti il nuovo studio idraulico ha riguardato l'intero corso fluviale a valle di Muzzone e ha ripreso le valutazioni già effettuate dal PGRA sulla geometria delle sezioni e sulle scabrezze. Le condizioni al contorno di monte hanno fatto riferimento alla valutazione idrologica e al piano di laminazione citato considerando le sezioni di controllo riportate nella Tabella 4.1 con le portate da considerarsi nell'analisi idraulica.

Il lago formato dallo sbarramento di Casteldoria è stato considerato alla quota di 26 m s.l.m. (massima regolazione) mentre alla foce è stata assunta l'ipotesi cautelativa del livello marino a +1.80 m sul valore medio, coerentemente con quanto già assunto in PSFF ed in PGRA.

Al pari degli studi precedenti e con riferimento alla presenza delle arginature, il modello aggiornato ha considerato la efficacia del contenimento del deflusso di piena purché 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 e si procede alla seconda fase di modellazione ad argini trascinati.

Oltre alla revisione delle aree allagabili per gli eventi con tempo di ritorno assegnato, lo studio ha rivalutato il franco idraulico di piena in corrispondenza delle strutture di attraversamento presenti, considerando inoltre che il ponte dismesso presso l'abitato di Viddalba è stato nel frattempo demolito. Le strutture di attraversamento considerate sono quindi le seguenti:

- a) viadotto lungo la SS 672 in località S. Rocco costituito da pile e impalcato in CAP di recente realizzazione con quota impalcato a 70.90 m slm
- b) ponte lungo la SS 127 in località Sa Contra, ad arcate multiple in materiale lapideo (quota 47.82 m);



- c) ponte tubo in loc. Cantoniera lungo la SS127
- d) ponte lungo la ferrovia Sassari – Palau, con ampie luci ad arcate multiple (quota 46.50 m);
- e) Passerella pedonale presso lo stabilimento termale “Casteldoria”;
- f) nuovo ponte lungo la SP 146 presso Viddalba: costituito da pile e impalcato in CAP;
- g) ponte sul F. Coghinas presso Monte di Campu (viadotto “Coghinas”), costituito da pile e impalcato in CAP;
- h) ponte sul rio Badu Crabile lungo la SP 35 in direzione Bordigiadas in prossimità del depuratore di Viddalba con la quota della carreggiata a 10.70 m slm.

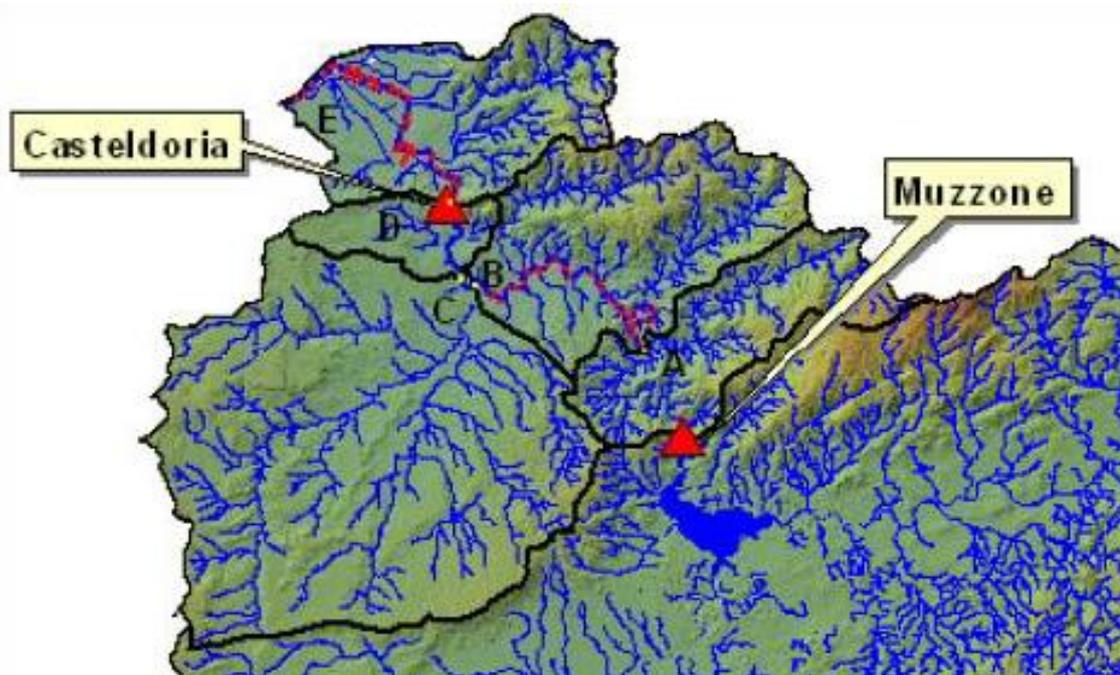


Figura 4.1 - Sezioni di controllo adottate (PSFF)

4.2 RISULTATI DELLO STUDIO IDRAULICO ALLO STATO ATTUALE

Il corso del fiume Coghinas a valle di Muzzone è stato suddiviso in tronchi omogenei e le elaborazioni hanno analizzato il comportamento idraulico del corso d’acqua nei tratti individuati come di seguito indicato:



- il primo tratto (tra Muzzone e Casteldoria o “tratto di monte”) così articolato:
 - tronco tra Muzzone e la confluenza del rio sa Contra
 - tronco tra la confluenza del rio sa Contra e l’invaso di Casteldoria
- il secondo tratto (tra Casteldoria e la foce o “tratto di valle”) come di seguito suddiviso:
 - tronco tra Casteldoria e Viddalba
 - tronco tra Viddalba e la SP90 (Monte di Campu)
 - tronco tra la SP90 (Monte di Campu) e la foce.

Primo tronco: dalla diga Muzzone al rio Sa Contra

Le aree interessate dalla corrente ai vari tempi di ritorno non presentano allargamenti per effetto della morfologia fluviale della valle che appare ben incassata ed incisa e non consente la possibilità di ampie espansioni e, rispetto a quella ottenuta dagli studi precedenti è comunque caratterizzata da ampiezze inferiori della sezione bagnata rispetto a quelle già studiate.

Nella Figura 4.3 è presentato uno stralcio della planimetria delle aree allagate nel primo tronco studiato, per quanto riguarda l’evento bicentenario. Nella stessa figura è anche indicato il limite di esondazione riportato nel PSFF per l’evento di uguale tempo di ritorno.

Si evidenzia che, anche per la portata della piena bi-centenaria tutti gli attraversamenti presentano ampi franchi idraulici, come sintetizzati nella Tabella 4.2.

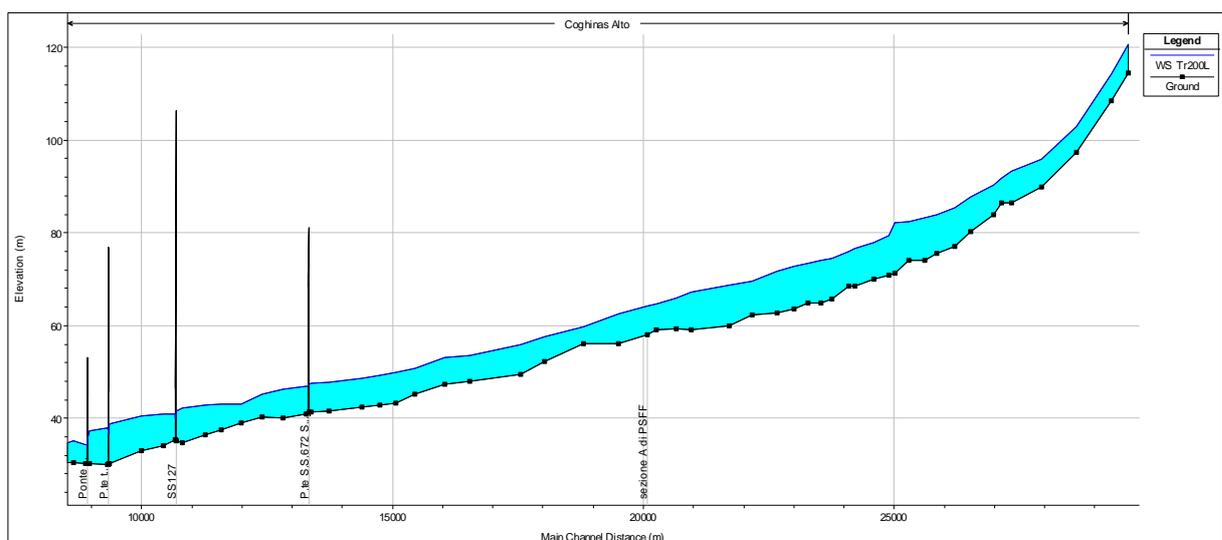


Figura 4.2 - Profilo longitudinale 1° tronco per l’evento con $Tr=200$ anni



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

Tabella 4.2 – Franchi idraulici effettivi lungo il primo tronco in corrispondenza degli attraversamenti

| Descrizione | Franco idraulico (200 anni) |
|---|-----------------------------|
| viadotto lungo la SS 672 | 21 m |
| ponte lungo la SS 127 | 6 m in chiave |
| ponte tubo in loc. Cantoniera | 9.10 m |
| ponte lungo la ferrovia Sassari – Palau | 10.3 m |

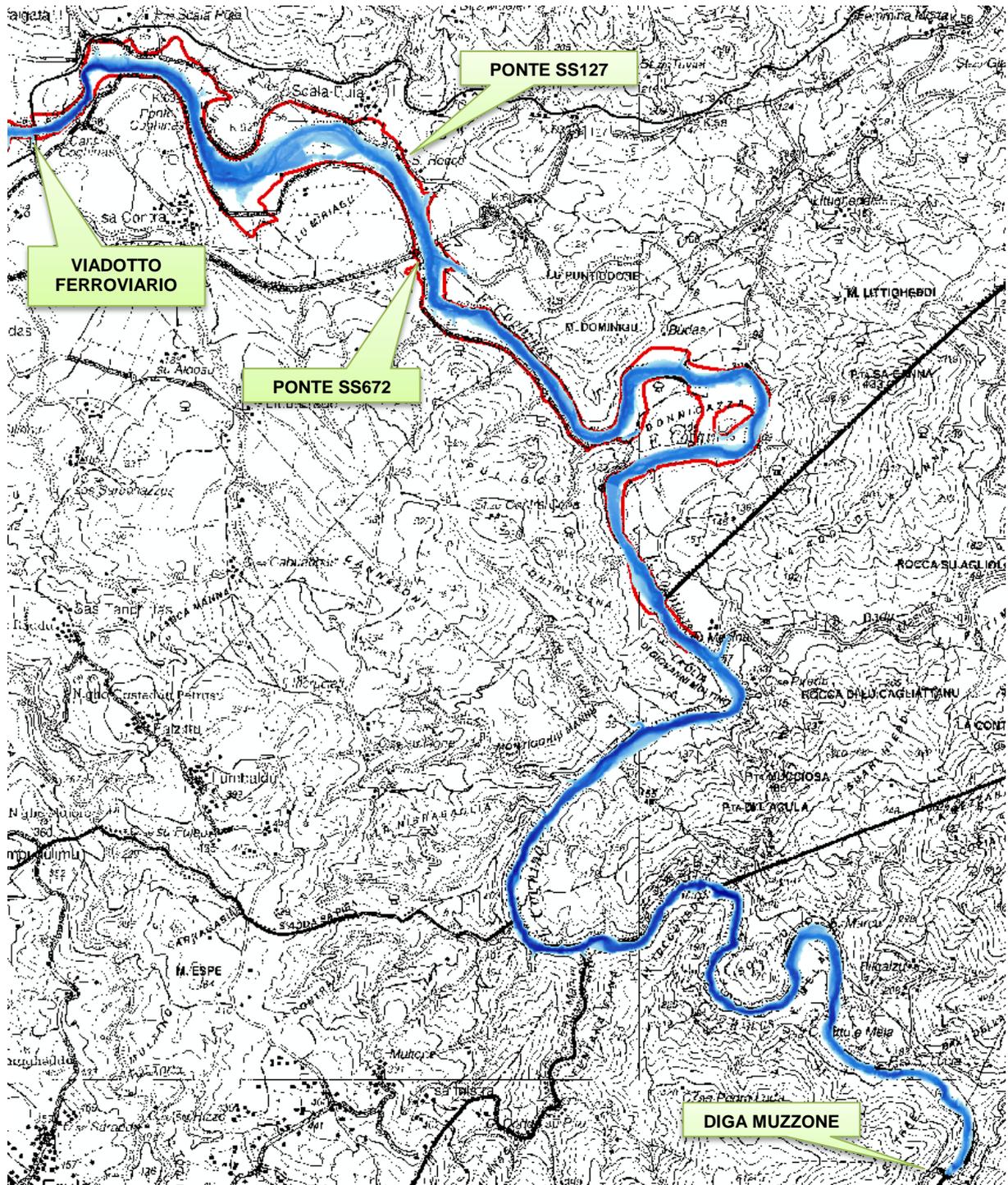


Figura 4.3 - Aree fluviali interessate dalla piena per $T_r=200$ anni lungo il 1° tronco fluviale a valle di Muzzone

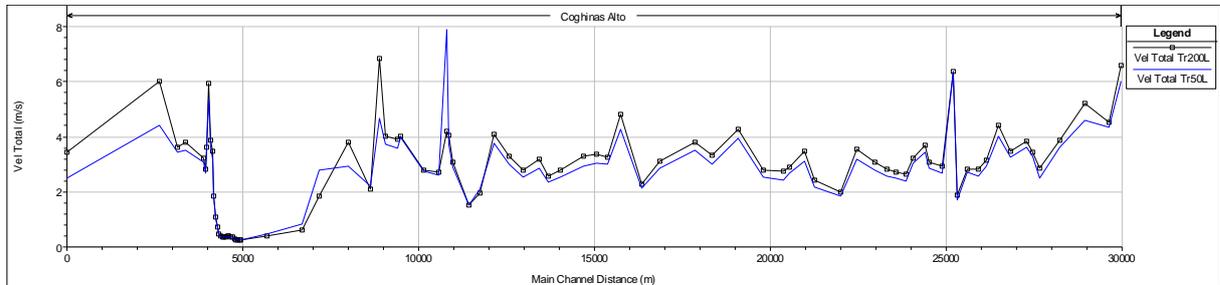


Figura 4.4 - Profili di velocità media nelle sezioni del 2° tronco fluviale

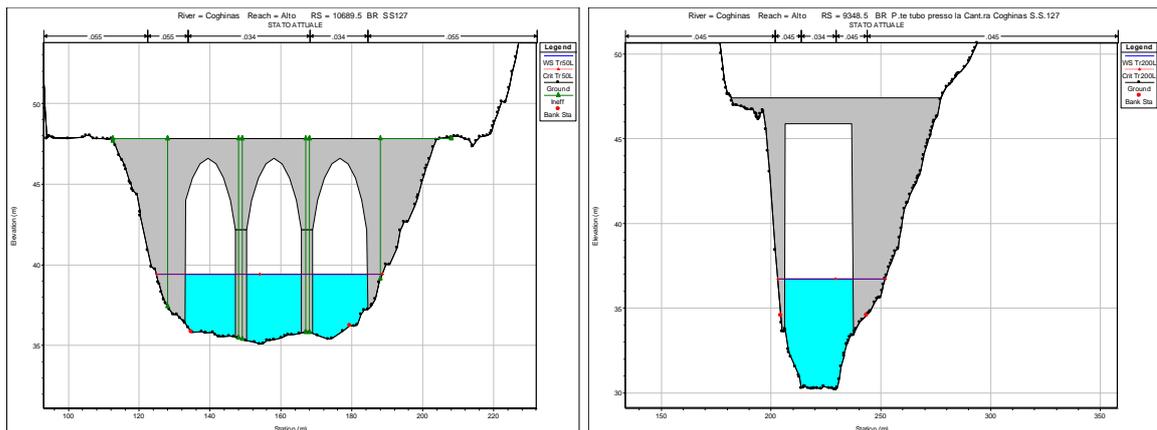


Figura 4.5 – Sezioni idrauliche in corrispondenza degli attraversamenti della SS127

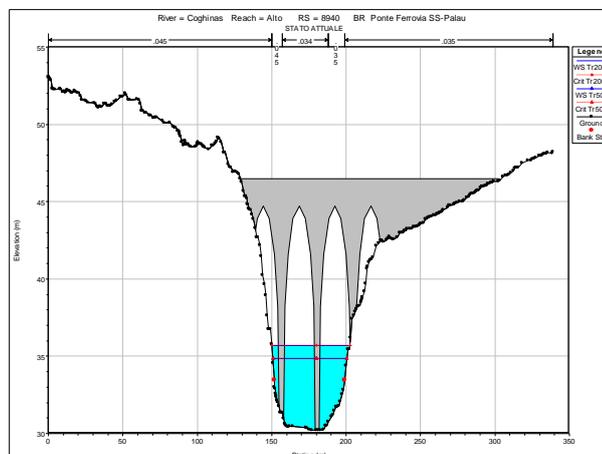


Figura 4.6 - Ponte ferroviario (Tr 200 anni)

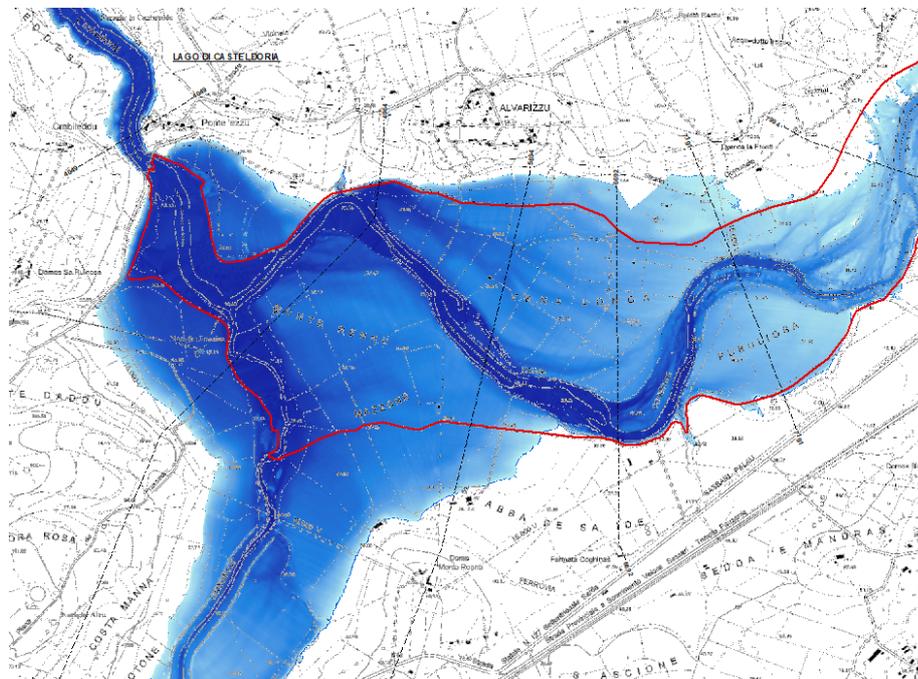
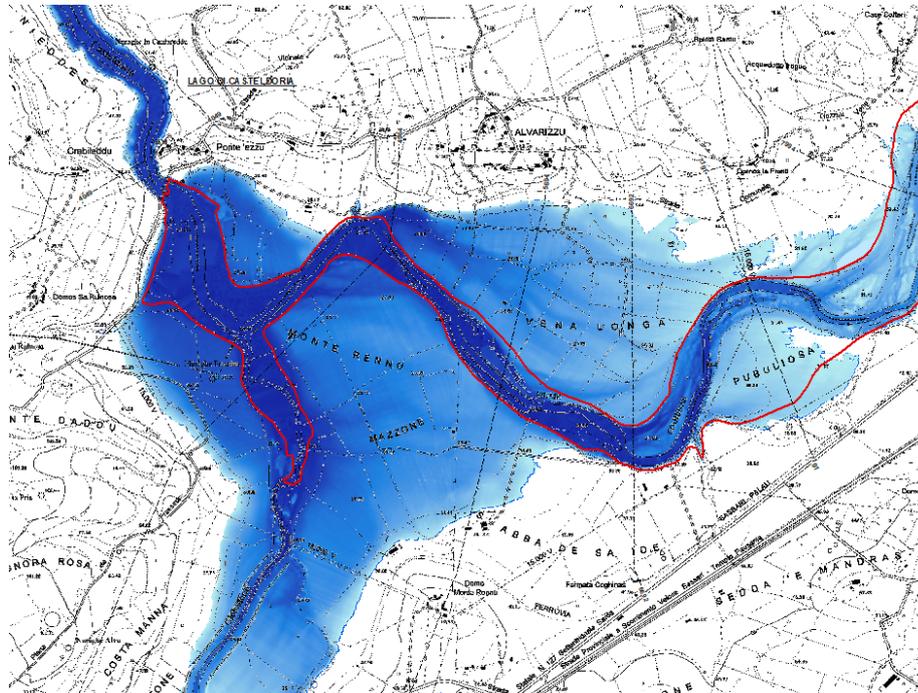


Figura 4.7 - Allagamento delle aree di confluenza con il rio Giobaduras (sopra: $Tr=50$ anni, sotto: $Tr=200$ anni). (In rosso la delimitazione nel PSFF)



Secondo tronco: tra la confluenza del rio Sa Contra e il lago di Casteldoria

In tale tronco la morfologia fluviale muta in maniera netta avendosi una notevole apertura della valle soprattutto in corrispondenza della confluenza in sponda sinistra con il rio Giobaduras ove la corrente di piena ha la possibilità di espandersi notevolmente. Dal punto di vista modellistico tale possibilità è stata studiata considerando sezioni trasversali assai ampie al fine di estendere la determinazione del tirante idrico anche nell'alveo degli affluenti potenzialmente interessato -per motivi morfologici- dall'espansione di piena. Superata l'area di confluenza, il tracciato fluviale raggiunge la quota di massimo invaso del lago di Casteldoria alla quota 26 m slm.

Nella Figura 4.7 è presentato uno stralcio dell'area di allagamento a monte del lago di Casteldoria in corrispondenza della immissione del rio Giobaduras.

Come appare evidente dalla figura (in particolare nella parte relativa alla piena bi-centenaria) sono riscontrabili notevoli differenze tra la perimetrazione individuata dallo studio idraulico eseguito nell'ambito del PSFF e quella riscontrata nelle analisi condotte nel presente studio, seppure considerando portate più basse. Tali differenze sono certamente da ricondursi alla differente base topografica utilizzata nello studio PSFF e allo scarso dettaglio del modello digitale di terreno disponibile per la elaborazione delle perimetrazioni di allagamento nel PSFF. La disponibilità attuale del DTM ha consentito di sanare alcune incongruenze tra le sezioni di calcolo e le perimetrazioni a suo tempo indicate in PSFF.

Terzo tronco: tra il lago di Casteldoria e Viddalba

Superato il lago di Casteldoria, l'alveo fluviale percorre la stretta valle lambendo lo stabilimento termale (terme di Casteldoria) e l'abitato di Viddalba in corrispondenza della confluenza con il rio Badu 'e Caprile. Per tale tronco si delineano aree di allagamento complessivamente ridotte rispetto alle

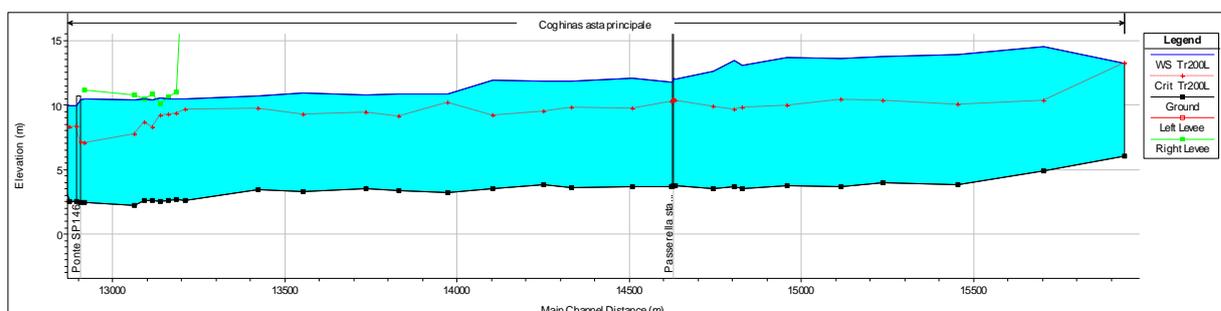


Figura 4.8 - Profilo di corrente dell'evento con $Tr=50$ e 200 anni per il 3° tronco fluviale tra il lago di Casteldoria e Viddalba



precedenti condizioni analizzate dal PSFF-PGRA evidenziandosi in particolare che per il tempo di ritorno di 50 e 100 anni le zone prossime all'abitato di Viddalba, presso il depuratore, risultano non più interessate da alcun allagamento.

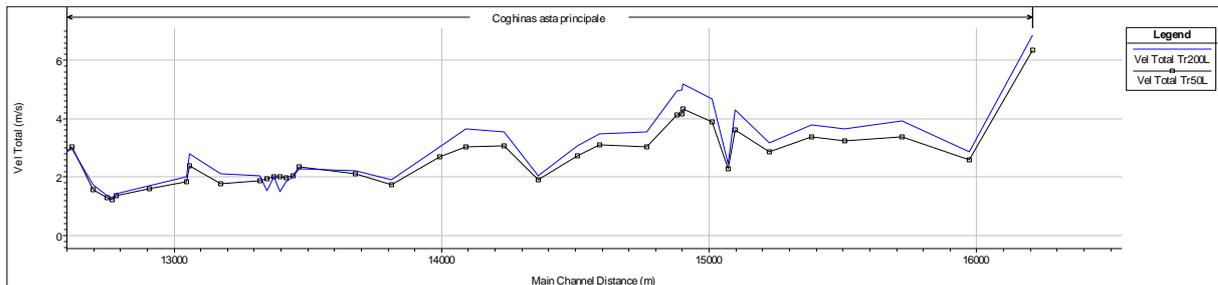


Figura 4.9 - Profili di velocità media nelle sezioni del 3° tronco fluviale

Per l'evento bicentenario invece si determina l'allagamento della zona a sud dell'abitato dovuto alla insufficienza delle arginature presenti nell'area del depuratore anche se in misura inferiore di come già segnalato dagli studi precedenti.

In tale tratto, sono presenti l'attraversamento in corrispondenza dello stabilimento termale e il ponte della strada provinciale 146 per Viddalba: mentre il primo presenta valori di franco ampiamente verificati, per la struttura lungo la provinciale il franco per $Tr = 50$ anni è di 1 m riducendosi a 0.6 m per $Tr=200$ anni e si annulla del tutto per l'evento con $Tr = 500$ anni.

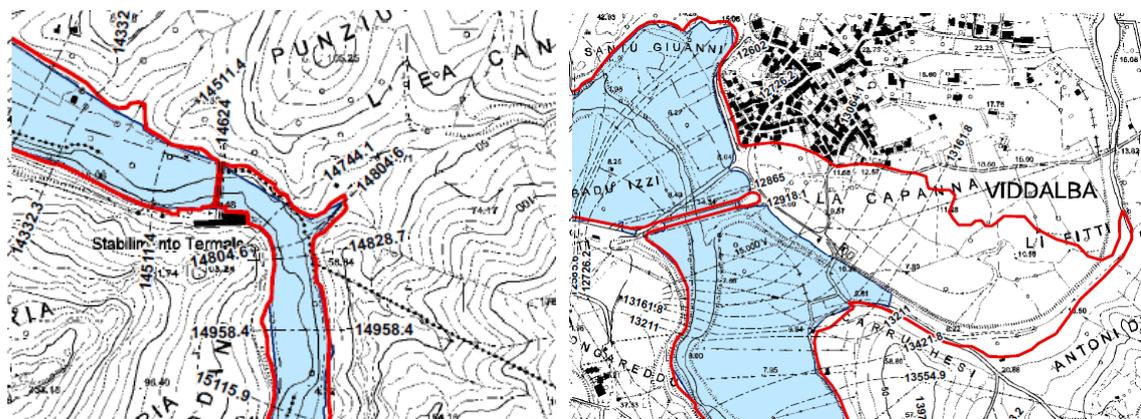


Figura 4.10 – Aree allagabili nel tronco a valle di Casteldoria presso le Terme e Viddalba ($Tr=50$ anni). In rosso la delimitazione nel PSFF)

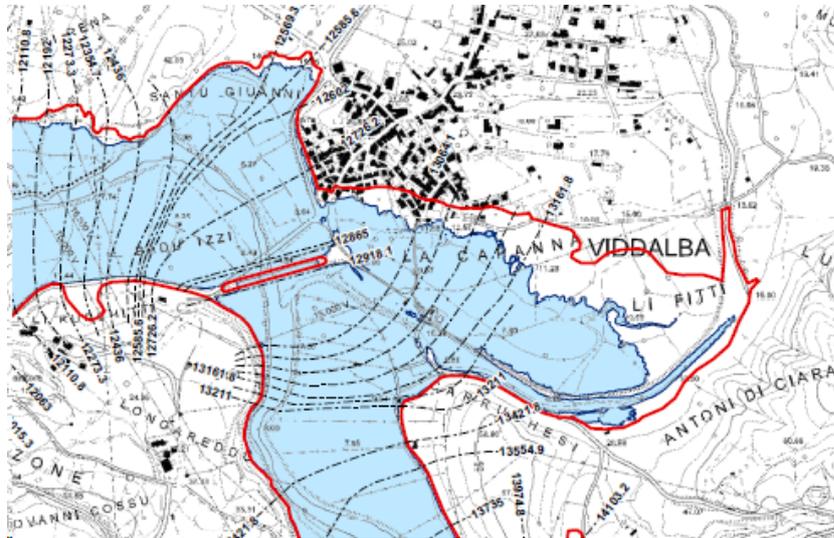


Figura 4.11 - Allagamento presso Viddalba (Tr = 200 anni) e in rosso la delimitazione nel PSFF

Tabella 4.3 - Franco idraulico degli attraversamenti (3° tronco)

| Descrizione | Franco idraulico (200 anni) |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Passerella pedonale stab. term. | 2.0 m agli appoggi, 5.1 m in chiave |
| ponte lungo la SP 146 | 0.6 m |

Nella Tabella 4.3 è riportato il valore del franco idraulico per la piena con Tr=200 anni mentre la Figura 4.12 e la Figura 4.13 rappresentano le sezioni bagnate risultanti in corrispondenza degli attraversamenti interessati in questo tronco.

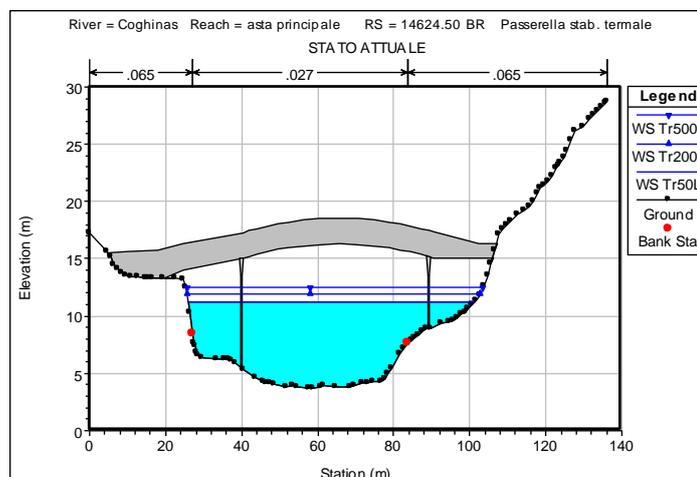


Figura 4.12 - Passerella pedonale presso lo stabilimento termale (Tr 50-200-500 anni)

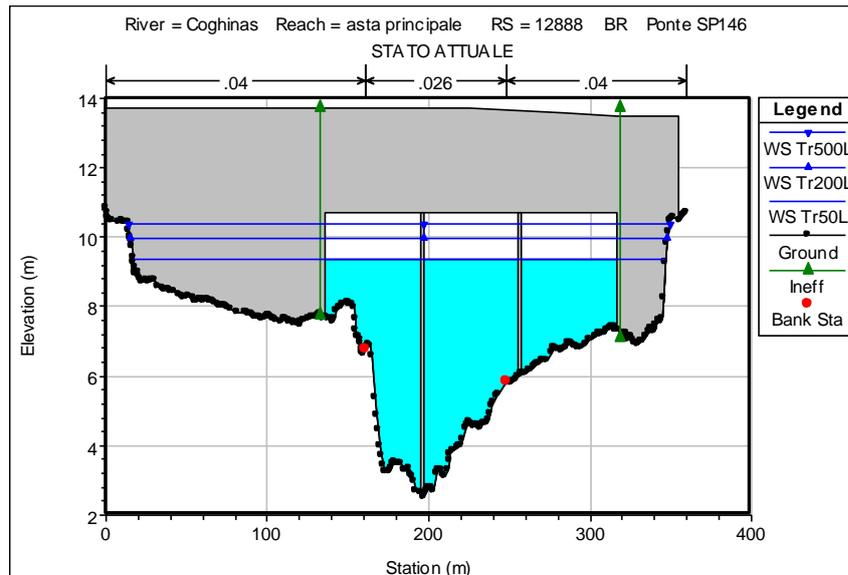


Figura 4.13 - Ponte lungo la SP 146 a Viddalba

Quarto tronco: tra Viddalba e l'attraversamento della SP90 (loc. Monte di Campu)

Come evidenziato dagli studi precedenti, tale tratto presenta situazioni di maggiore criticità rispetto agli esiti dell'analisi idraulica in quanto l'intero corso del fiume è arginato alla parte sinistra e per un lungo tratto anche per quella di sponda destra. Inoltre, soprattutto ove l'arginatura insista su un solo lato di sponda, la larghezza delle sezioni si presenta variabile con allargamenti e restringimenti dettati dalla morfologia della sponda non presidiata o dalla presenza degli attraversamenti (in prossimità di Monte di Campu).

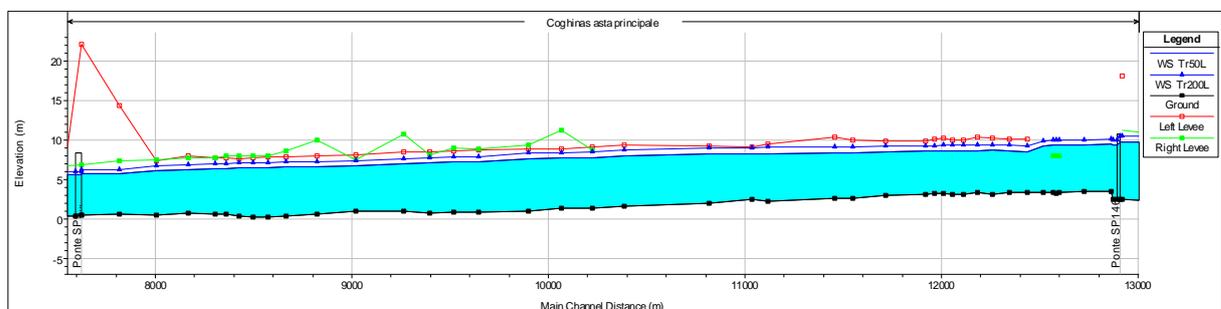


Figura 4.14 - Profilo di corrente dell'evento con Tr=50 e 200 anni per il 4° tronco fluviale

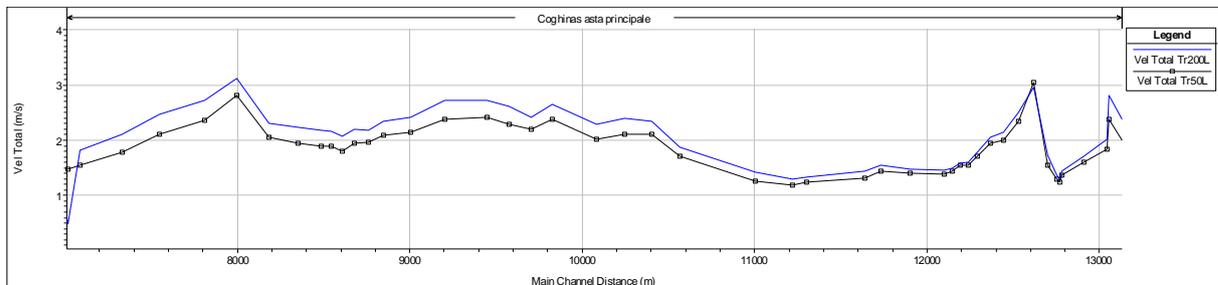


Figura 4.15 - Profili di velocità media nelle sezioni del 4° tronco fluviale

Con le nuove portate da Piano di Laminazione, il risultato delle elaborazioni evidenzia per l'evento con $Tr = 50$ anni l'assenza di allagamenti nella valle principale in quanto la quota della corrente fluviale permane sempre inferiore al valore della quota di colmo arginale sinistro, anche se il franco di legge non è mai rispettato.

In particolare, lungo l'arginatura sinistra il franco minimo (pari a 80 cm) si presenta in corrispondenza della curvatura massima del tracciato presso S. Maria Coghiras. Riguardo all'argine destro, il tronco studiato non presenta tracimazioni stante il valore del franco disponibile che non è mai inferiore a 20 cm.

Per l'evento con $Tr=100$ e 200 anni si ha una progressiva riduzione dei franchi effettivi pur evidenziandosi quote idriche ancora inferiori rispetto a quella della sommità delle difese sia in sinistra che in destra idraulica. Anche per questi eventi si evidenzia come il valore minimo del franco residuo è stato calcolato nella sezione in corrispondenza del tratto di maggiore curvatura sull'argine sinistro (franco residuo pari a circa 20 cm). Lungo l'argine sinistro il valore medio del franco effettivo è di 0.7 m per la piena con $Tr = 200$ anni e di 0.8 m per l'argine destro fino al ponte lungo la SP90.

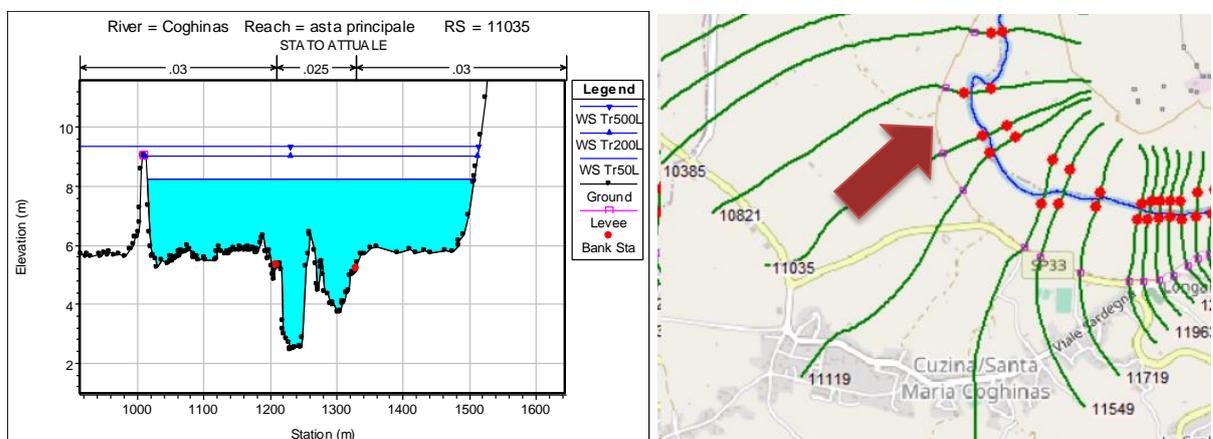


Figura 4.16 - Sezione con il franco minimo ($Tr= 50$ anni)



Infine per $Tr= 200$ anni in tale tronco si segnala come l'attraversamento lungo la provinciale per Bordigadas si presenta sormontato (quota piano viabile 10.5 m slm) corrispondente alla quota idrica nella sezione di calcolo pari a m 10.6 slm, mentre il viadotto "Coghinas" (Figura 4.17) conserva un franco di 2.3 m e, pertanto, rispetta il franco di legge.

Tabella 4.4 - Franco idraulico degli attraversamenti (4° tronco)

| DESCRIZIONE | FRANCO IDRAULICO (200 ANNI) |
|----------------------------|-----------------------------|
| ponte sul rio Badu Crabile | sormontato |
| viadotto "Coghinas" | 2.30 m |

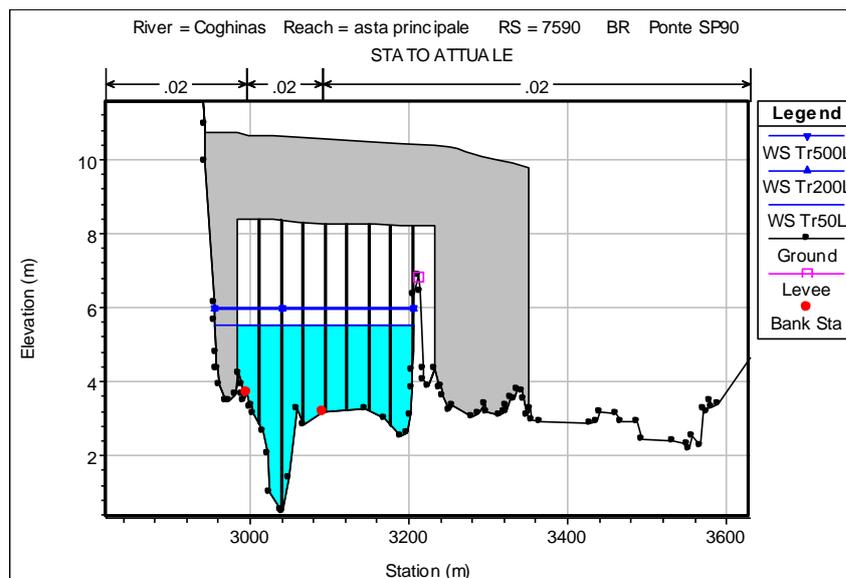


Figura 4.17 - Attraversamento lungo la SP90

Quinto tronco: tra l'attraversamento della SP90 (loc. Monte di Campu) e la foce

Oltrepassato il viadotto "Coghinas", l'alveo procede arginato sia in sinistra che in destra idraulica con valori di franco residuo che si riducono in corrispondenza dell'argine destro presso la chiavica in località "Pischina Miali" ove si individua una insufficienza delle quote arginali riscontrabile per circa 150 m di lunghezza già per l'evento cinquantennale. L'allagamento indotto dalla possibile breccia è individuabile con il metodo topografico considerando l'isoipsa corrispondente alla quota idrica (per $Tr=50$ anni, 4.7 m slm) nella sezione di insufficienza idraulica. L'applicazione del metodo delinea area di circa 2.8 km² (Figura 4.21) che si estende nell'area retrostante all'argine di sponda destra.

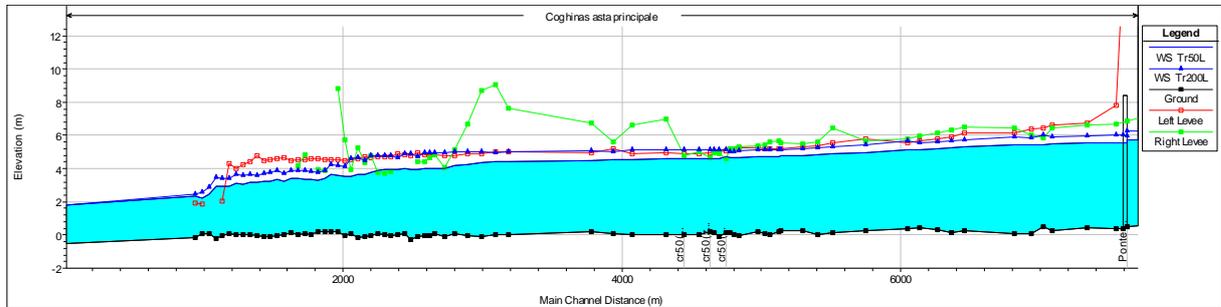


Figura 4.18 - Profilo di corrente dell'evento con $Tr=50$ e 200 anni per il 5° tronco fluviale

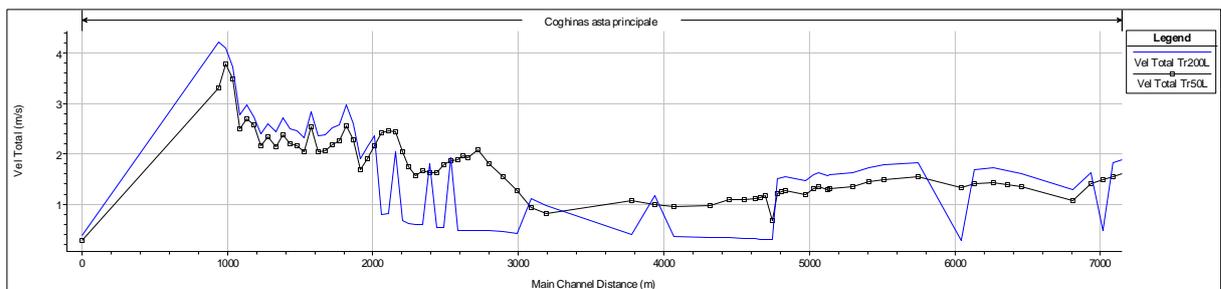


Figura 4.19 - Profili di velocità media nelle sezioni del tronco fluviale focivo

La Figura 4.20 documenta la sezione idraulica critica rappresentata nel modello e la planimetria di ubicazione lungo il tracciato fluviale.

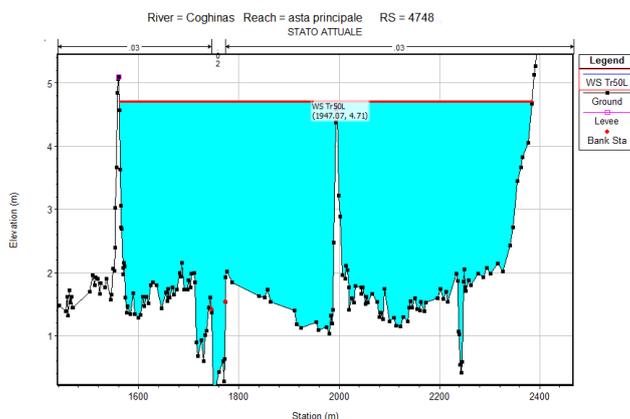


Figura 4.20 – Insufficienza idraulica dell'argine destro ($Tr=50$ anni)

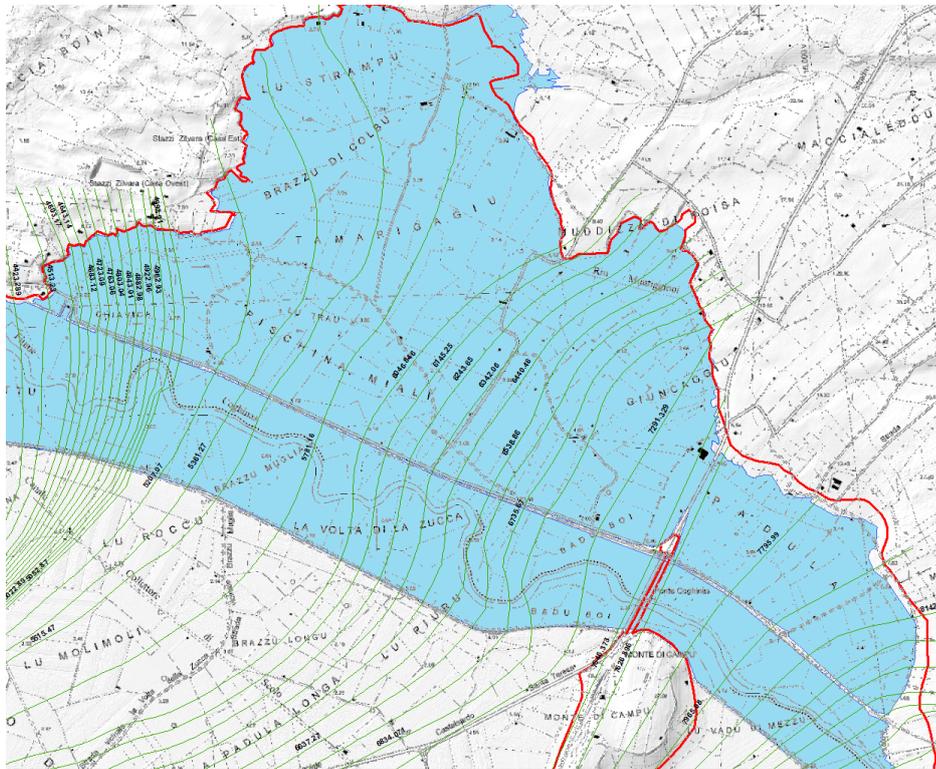


Figura 4.21 – Allagamento per l'evento con $Tr=50$ anni

Nel tronco fluviale in esame, l'evento con tempo di ritorno centenario determina criticità sia in sponda destra che sinistra quasi nella medesima progressiva rispetto a quella descritta per l'evento con $Tr=50$ anni.

Il tronco arginale interessato dal sormonto in sponda sinistra si sviluppa per una lunghezza di 100 m e provoca l'allagamento potenziale di un'area molto ampia che, seppure ridotta rispetto agli scenari corrispondenti alla situazione senza la laminazione della piena effettuata dall'invaso a monte, ha estensione che interessa le aree nei dintorni di Valledoria, la zona centrale della valle ("Campo di Coghinas") con alcune propaggini che interessano le zone a circa 700 m dall'abitato di Santa Maria senza tuttavia coinvolgere le aree edificate a monte della S.P. 90.

Nella sponda destra, la piena centenaria determina un ulteriore peggioramento della criticità riscontrata presso la chiavica, già evidenziato per l'evento con $Tr=50$ anni: il sormonto dell'argine si estende per una lunghezza di circa 350 m e interessa l'area retro arginale di destra già precedentemente individuata.

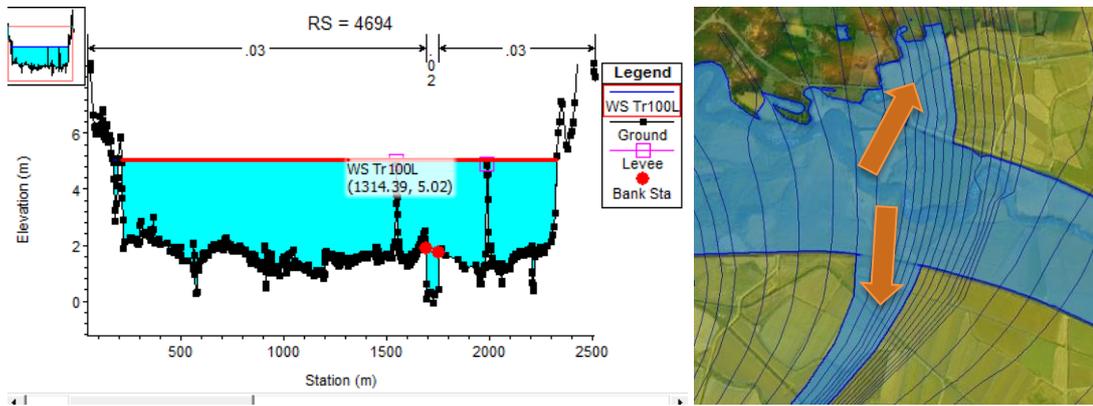


Figura 4.22 - Insufficienza idraulica dell'argine sinistro e destro (Tr=100 anni)

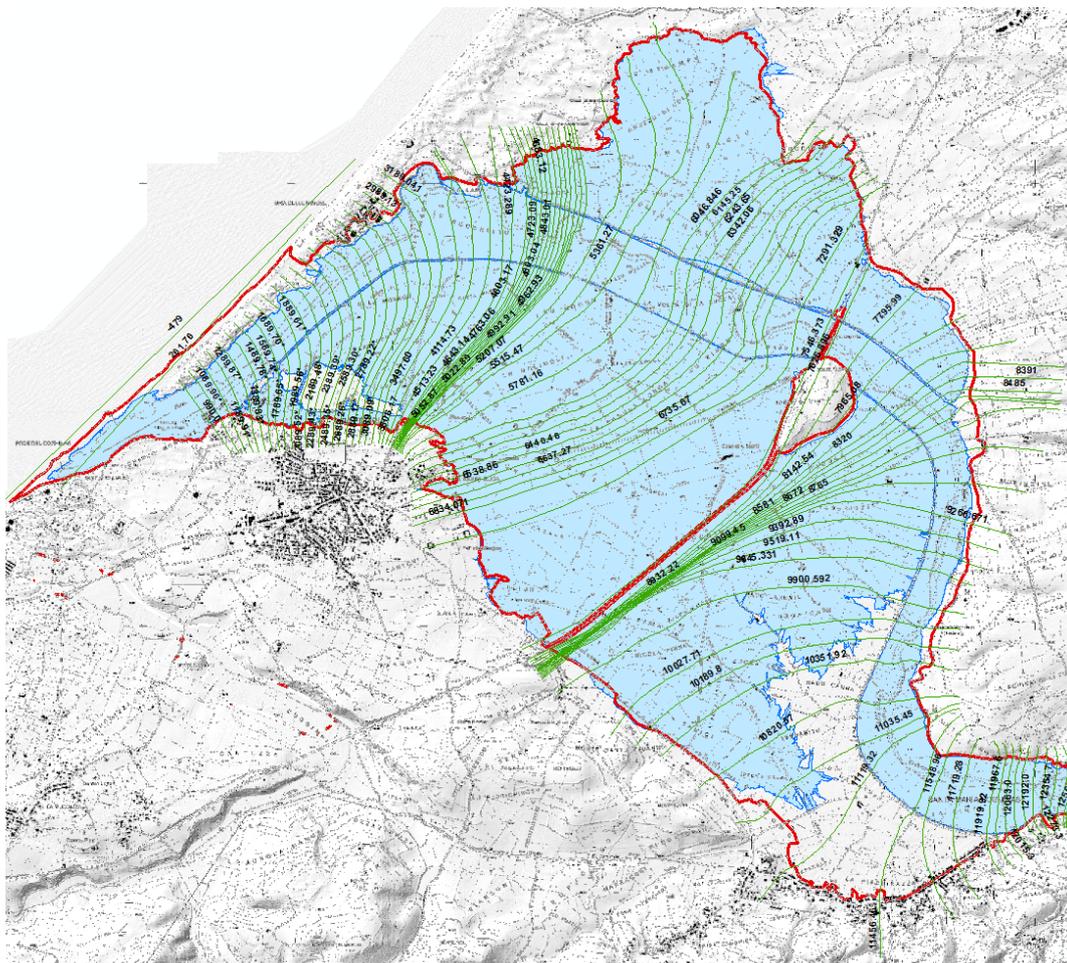


Figura 4.23 – Allagamento per l'evento con Tr=100 anni

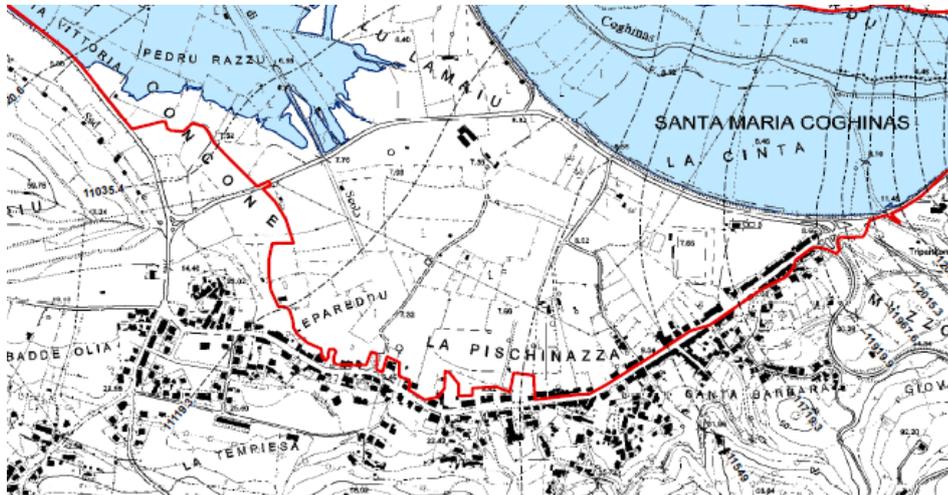


Figura 4.24 – Situazione delle aree allagabili presso Santa Maria Coghinas (Tr=100 anni)

L'evento con Tr=200 anni determina diffuse insufficienze arginali che si presentano lungo la sponda destra circa 400 m a valle della S.P. 90 e in sponda sinistra dopo ulteriori 600 m circa, e ancora in sponda destra in corrispondenza dell'impianto idrovoro.

Procedendo verso valle, si presenta il sormonto generalizzato dell'arginatura sinistra per circa 1500 m e la sovrapposizione degli effetti di tali criticità determina allagamenti la cui estensione è documentata nella Figura 4.26.

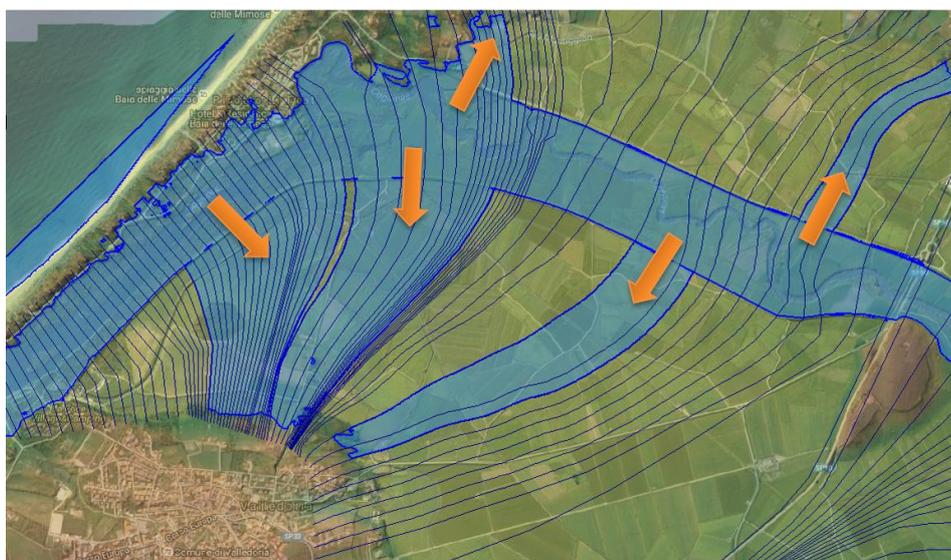


Figura 4.25 - Tratti arginali critici nell'evento con Tr= 200 anni

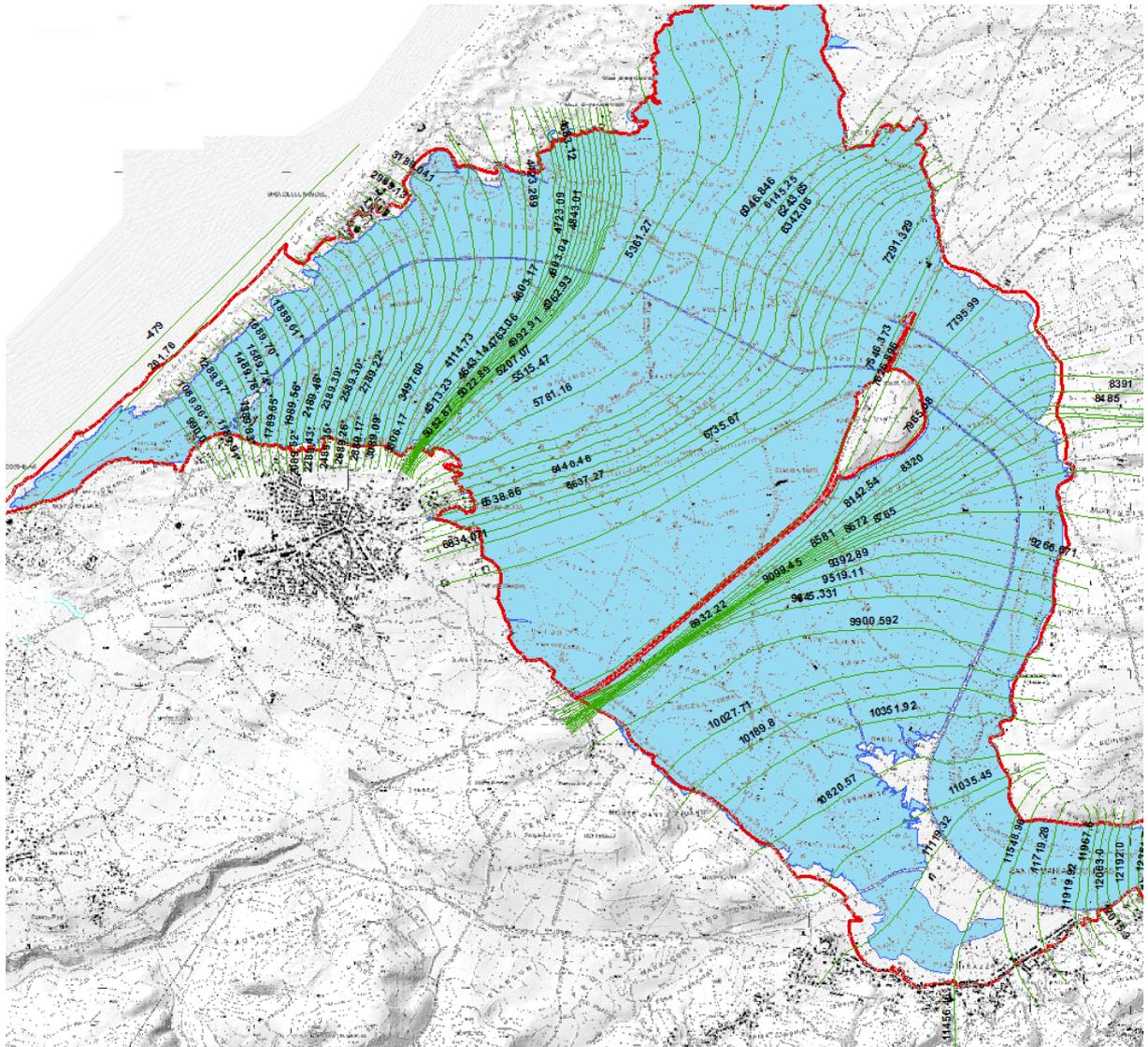


Figura 4.26 – Allagamento per l'evento con $Tr=200$ anni



5 Stima del danno di piena: Analisi territoriale per l'individuazione degli Elementi Esposti al danno di piena

Come più ampiamente illustrato nella Relazione Metodologica del PGRA della Regione Sardegna, nella stima del valore del danno subito dagli elementi vulnerati da un evento di allagamento è necessario procedere preliminarmente alla individuazione di “**classi d'uso del suolo**” cui attribuire un valore che può rappresentare quello di surrogazione del bene o il costo di ripristino della funzionalità a seguito del danno patito con l'alluvione.

Sulla base di quanto riportato nella Relazione Metodologica, in questo Studio si adotta una analoga ripartizione dei contenuti territoriali (aree e beni) inizialmente al fine di distinguere quelli suscettibili di un valore tangibile e misurabile, tipico dei beni reali, da quelli aventi valore non tangibile (come per i beni storici, culturali ed, in buona misura, quelli ambientali) per i quali è meno immediato stabilire un valore sulla base degli usuali metodi di stima.

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

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

5.1 TIPOLOGIE DI CESPITI TERRITORIALI CONTENUTE NELLA CARTA DEGLI ELEMENTI ESPOSTI DELLA REGIONE

In particolare, considerando gli elementi tipologici della Tabella 5.1 e quelli presenti nella cartografia degli elementi esposti della Regione Sardegna elaborata dall'ARDIS (Servizio Difesa del Suolo) sono stati individuati tre gruppi tipologici di uso del territorio come appresso descritto:

- la prima tipologia attiene alle aree a destinazione insediativa, commerciale, di servizi e produttiva;
- la seconda tipologia raggruppa le reti di comunicazione e di trasporto dei beni



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

- la terza tipologia territoriale raggruppa le aree con beni culturali, storici e ambientali suscettibili di danni non tangibili.

Aree a destinazione insediativa o produttiva

Ricadono in tale gruppo tipologico le aree e i beni del patrimonio edilizio in genere, (residenziale o commerciale), aree e beni per la produzione industriale, artigianale, aeroporti, strutture sanitarie, strutture pubbliche etc. In particolare sono state incluse:

I. AREE RESIDENZIALI

- 1) superfici artificiali
- 2) zone urbanizzate di tipo residenziale, a tessuto continuo, o compatto e denso, o rado, o discontinuo e rado, o rado e nucleiforme
- 3) fabbricati rurali
- 4) aree portuali e aeroporti
- 5) strutture sanitarie, ospedale, r.s.a., struttura di riabilitazione
- 6) edifici pubblici di strutture scolastiche, istituto comprensivo, scuola dell'infanzia, scuola primaria, scuola secondaria di primo grado, scuola secondaria di secondo grado
- 7) zone verdi artificiali non agricole o aree verdi urbane
- 8) cimiteri
- 9) edificio pubblico o sede di amministrazione comunale, provinciale, statale
- 10) ufficio postale

II. AREE A DESTINAZIONE COMMERCIALE:

- 1) zone commerciali o infrastrutturali
- 2) grandi impianti di concentrazione e smistamento merci
- 3) aree commerciali e dei servizi pubblici e privati
- 4) stazione di rifornimento carburante
- 5) aree ricreative e sportive
- 6) insediamenti commerciali e spazi annessi
- 7)

III. AREE INDUSTRIALI O ARTIGIANALI:

- 1) zone industriali ed infrastrutturali
- 2) aree industriali e dei servizi pubblici e privati
- 3) manufatti industriali
- 4) complesso IPPC: impianto integrato trattamento rifiuti e liquami o impianto trattamento acque reflue o impianto di depurazione: acque reflue urbane
- 5) allevamento zootecnico, azienda agro zootecnica
- 6) impianto di acquacoltura
- 7) discariche e depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli
- 8) cantieri
- 9) discarica inerti
- 10) insediamenti industriali, artigianali e spazi annessi
- 11) insediamento produttivo: allevamento zootecnico, agro zootecnica, impianto di acquacoltura



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

IV. AREE E BENI CONNESSI ALLA PRATICA AGRICOLA O FORESTALE:

- 1) superfici agricole utilizzate
- 2) seminativi, seminativi in aree non irrigue
- 3) colture intensive o estensive
- 4) seminativi in aree irrigue
- 5) seminativi semplici e colture orticole a pieno campo
- 6) risaie, vivai, coltura in serra
- 7) colture permanenti
- 8) vigneti, frutteti e frutti minori, oliveti
- 9) colture orticole
- 10) prati stabili, prati stabili (foraggiere permanenti), prati stabili (altri usi)
- 11) zone agricole eterogenee
- 12) colture temporanee associate a colture permanenti dell'olivo, vigneto, altre colture
- 13) sistemi colturali e particellari complessi
- 14) aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
- 15) aree agroforestali, territori boscati e ambienti semi-naturali, zone boscate
- 16) boschi di latifoglie, boschi a prevalenza di leccio e/o sughera
- 17) arboricoltura con essenze forestali di latifoglie
- 18) pioppeti, saliceti, eucalitteti ecc. anche in formazioni miste
- 19) sugherete, castagneti da frutto
- 20) altri usi connessi alla pratica forestale
- 21) boschi misti a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermofile (acero-frassino, carpino nero-orniello)
- 22) boschi a prevalenza di castagno, boschi a prevalenza di faggio
- 23) boschi a prevalenza di specie igrofile (boschi a prevalenza di salici e/o pioppi e/o ontani, ecc)
- 24) boschi e piantagioni a prevalenza di latifoglie non native (robinia, eucalipti, ailanto,
- 25) boschi di conifere, boschi a prevalenza di pini mediterranei (pino domestico, pino marittimo) e cipressete
- 26) arboricoltura con essenze forestali di conifere
- 27) boschi a prevalenza di abete bianco e/o abete rosso, boschi a prevalenza di larice e/o pino cembro, boschi e piantagioni a prevalenza di conifere non native (douglasia, pino insignne, pino strobo, ...),
- 28) boschi misti di conifere e latifoglie
- 29) zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
- 30) aree a pascolo naturale e praterie, praterie continue, praterie discontinue
- 31) brughiere e cespuglieti, cespuglieti e arbusteti
- 32) formazioni di ripa non arboree
- 33) aree a vegetazione sclerofilla
- 34) macchia mediterranea, macchia bassa e garighe
- 35) aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
- 36) aree a ricolonizzazione naturale
- 37) aree a ricolonizzazione artificiale
- 38) zone aperte con vegetazione rada o assente
- 39) colture in serra
- 40) prati artificiali



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Reti di trasporto:

In tale gruppo ricadono gli elementi appartenenti alla rete di trasporto territoriali inclusa la viabilità stradale, ferroviaria, le reti elettriche, acquedottistiche, gas etc. e loro infrastrutture tecniche. In particolare:

- V. STRADE COMUNALI
- VI. STRADE PROVINCIALI
- VII. STRADE IMPORTANTI
 - 1) Elementi della rete stradale statale
 - 2) Elementi della Rete ferroviaria
- VIII. INFRASTRUTTURE DELLE RETI IDRICHE, ELETTRICHE ETC
 - 1) impianti a servizio delle reti di distribuzione
 - 2) rete di approvvigionamento di acqua potabile
 - 3) impianti a servizio delle reti di distribuzione del gas
 - 4) linea della rete elettrica
 - 5) insediamento di grandi impianti di servizi
 - 6) reti ferroviarie e spazi annessi
 - 7) spazi accessori delle reti stradali

Aree con beni culturali, storici e ambientali suscettibili di danni non tangibili

In tale gruppo ricadono gli elementi territoriali ambientali, parchi, aree umide e di interesse per la tutela del patrimonio culturale per i quali non è stato stimato con gli usuali metodi estimativi un valore tangibile. Le classi di elementi territoriali inserite in questo gruppo tipologico sono le seguenti:

- IX. CORPI IDRICI
 - 1) letti di torrenti di ampiezza superiore a 25m
 - 2) acque continentali
 - 3) corsi d'acqua, canali e idrovie
 - 4) fiumi, torrenti e fossi
 - 5) canali e idrovie
 - 6) bacini d'acqua
 - 7) bacini d'acqua naturali
 - 8) bacini d'acqua artificiali
 - 9) acque marittime
 - 10) lagune, laghi e stagni costieri
 - 11) lagune, laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale
 - 12) acquacolture in lagune, laghi e stagni costieri
 - 13) corpi idrici non definiti in legenda
 - 14) estuari e delta
 - 15) mari
 - 16) aree marine a produzione ittica naturale
 - 17) acquacolture in mare libero



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

- 18) bacini artificiali
- 19) bacini naturali
- X. **AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE**
 - 1) parchi nazionali, regionali ed aree protette
 - 2) spiagge di ampiezza superiore a 25 m
- XI. **AREE A VALORE STORICO, ARTISTICO O ARCHEOLOGICO**
 - 1) edificio di culto
 - 2) aree funerarie
 - 3) architetture religiose
 - 4) insediamenti archeologici o aree archeologiche
 - 5)
- XII. **ALTRE AREE DI INTERESSE e/o CON DANNI NON TANGIBILI**
 - 1) zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati
 - 2) spiagge, dune e sabbie, spiagge di ampiezza superiore a 25m
 - 3) aree dunali non coperte da vegetazione di ampiezza superiore a 25m
 - 4) aree dunali coperte da vegetazione di ampiezza superiore a 25m
 - 5) distese di sabbia
 - 6) rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
 - 7) aree con vegetazione rada
 - 8) aree percorse da incendi
 - 9) zone umide, zone umide interne, paludi interne
 - 10) torbiere
 - 11) zone umide marittime, paludi salmastre, saline e zone intertidali
 - 12) aree a pascolo naturale
 - 13) aree con vegetazione rada <5% e >40%
 - 14) bosco di conifere, latifoglie, cespuglieti ed arbusteti, gariga
 - 15) pareti rocciose e falesie

Dalla classificazione precedente si deduce, in definitiva, una ripartizione in 12 classi secondo categorie associate al danno di piena, le quali sono state ricomprese nel **sistema informativo del Data-Base degli Elementi Esposti – DBEE - considerati nel presente Studio** . La denominazione delle categoria è sintetizzata dalla Tabella 5.1 seguente che riporta, oltre alla descrizione, il costo ad essa attribuito in termini di danno potenziale massimo specifico per unità di area territoriale interessata dall'allagamento corrispondente alla perdita totale del bene.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6 Calcolo del danno di piena nella Bassa valle del Coghinias

La procedura per la determinazione del danno si basa sul database DBEE degli elementi d'uso riclassificati in categorie di danno e, a ciascuno di tali elementi, come specificato nel capitolo precedente, è stato associato un valore massimo di danno specifico espresso in euro a metro quadrato.

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

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

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

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

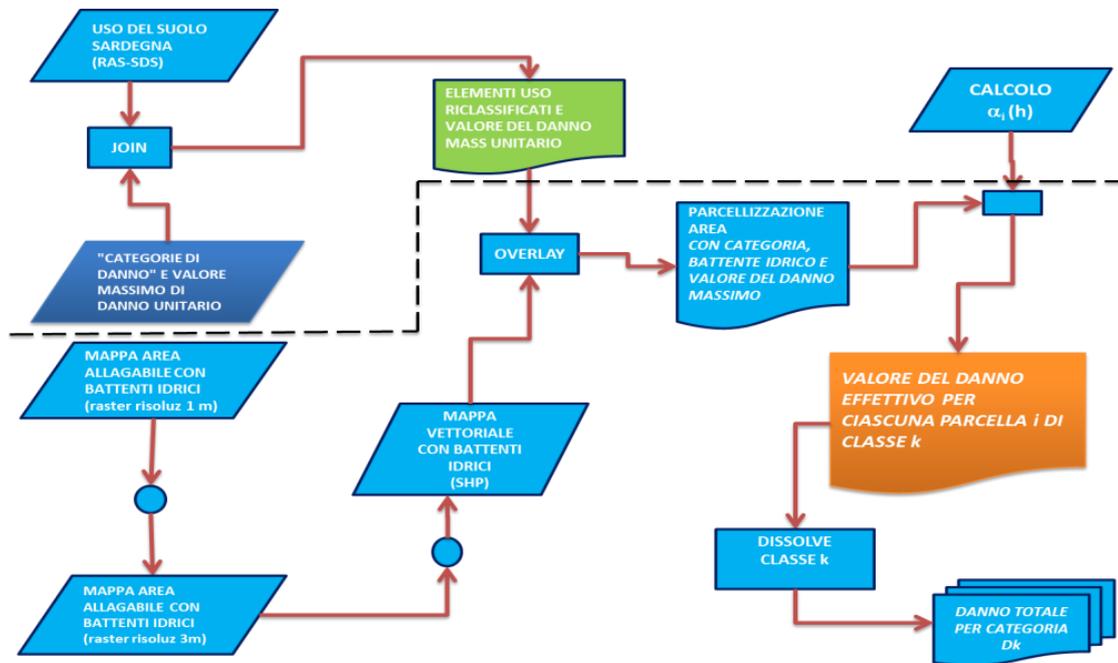


Figura 6.1 - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso

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

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

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

La **procedura di calcolo ALFA** esegue la stima del valore del coefficiente di parzializzazione 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 parzializzazione di danno $\alpha_j(h_j)$ in funzione del battente idrico.

Infine, attraverso una procedura informatica di aggregazione nelle varie classi delle categorie $k = 1, K$ di danno (dissolving) è quindi possibile calcolare il danno totale associato per ciascuna categoria. La procedura di determinazione del danno è rappresentata mediante il diagramma di flusso in Figura 6.1.

6.1 DANNO DI PIENA RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

Preliminarmente, considerando lo stato di fatto attuale, la simulazione idraulica degli eventi di piena assunti a riferimento ($Tr=50, 100$ e 200 anni) ha individuato l'estensione dell'area vulnerata come indicato nei paragrafi precedenti. Complessivamente sono interessati circa 16 km^2 di territorio destinati alle categorie d'uso individuate in Tabella 3.

Sulla base della suddivisione in classi degli elementi territoriali, nella

Tabella 6.1 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.



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 6.1 - 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 (ha) | Valore (migliaia €) | Area (ha) | Valore (migliaia €) | Area (ha) | Valore (migliaia €) |
| A - AGRICOLA | 383.2 | 1521 | 1154.5 | 4722 | 1248.5 | 5332 |
| C - COMMERCIALE | 1.7 | 4416 | 1.8 | 4931 | 1.8 | 5547 |
| I - INDUSTRIALI | 0.8 | 1199 | 4.0 | 4906 | 5.4 | 6731 |
| J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE | 199.1 | 0 | 204.3 | 0 | 208.8 | 0 |
| K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE | 1.4 | 0 | 1.8 | 0 | 4.7 | 0 |
| N - STRADE COMUNALI | 2.1 | 107 | 3.3 | 137 | 4.6 | 195 |
| P - STRADE PROVINCIALI | 0.6 | 60 | 7.0 | 556 | 8.0 | 716 |
| R - RESIDENZIALE | 2.1 | 5756 | 5.5 | 15646 | 5.9 | 18058 |
| T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE) | 6.4 | 1098 | 17.9 | 2766 | 19.8 | 3309 |
| X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI | 49.6 | 0 | 54.0 | 0 | 56.0 | 0 |
| Totale | 647.0 | 14157 | 1454.0 | 33665 | 1563.5 | 39888 |



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7 Scenario di intervento di mitigazione del danno

7.1 ASPETTI METODOLOGICI DI INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI

Nei paragrafi che seguono saranno descritti la metodologia di individuazione delle opere di mitigazione della pericolosità e gli scenari complessivi di intervento per la difesa idraulica limitatamente alla bassa valle del Coghinas, a valle dell'invaso di Casteldoria. Sulla base della metodologia già illustrata negli allegati metodologici del PGR, tutti gli interventi saranno 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. Pertanto, anche se nel seguito del testo non saranno esplicitamente richiamate, i requisiti degli interventi sono intesi compatibili con il PAI della Regione Autonoma della Sardegna e 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) delle Norme di Attuazione.

La procedura di individuazione degli interventi per la salvaguardia delle aree territoriali dotate di pericolosità idraulica ha tenuto conto della mappatura di pericolosità contenuta nel PSFF e nel PGR utilizzata come punto di riferimento per le analisi svolte nel presente studio che tuttavia ha sviluppato le simulazioni idrauliche sulla base della situazione aggiornata dal Piano di Laminazione sulla entità delle portate attese.

Rispettando la normativa in vigore, il dimensionamento delle opere di arginali è effettuato prendendo come 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.

Richiamando la metodologia adottata nel PRGA per la caratterizzazione degli interventi proposti e la loro aggregazione in scenari di intervento finalizzati alla mitigazione della pericolosità, lo schema concettuale utilizzato è stato il seguente:

- A. **analisi delle pericolosità allo stato attuale**, definizione sulla base dei risultati delle simulazioni idrauliche effettuate ai diversi tempi di ritorno e conseguente 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 mitigazione** e criteri per il dimensionamento delle opere in considerazione dell'impatto prevedibile e delle peculiarità ambientali già documentate in PGR;



- 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**, che in alcune situazioni possono risultare tra loro completamente alternativi, ovvero essere comprensivi di interventi già presenti in altri scenari, 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 e 100 anni) 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 di riferimento in considerazione delle pericolosità affrontate.

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. Il presente 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. Inoltre, a seguito dell'individuazione della proposta di intervento, si potrà 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.

7.2 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA E CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

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

1. **Interventi strutturali di costruzione e/o demolizione:**
 - a. realizzazione di nuove arginature e adeguamento delle quote di quelle esistenti;
 - b. demolizione senza ricostruzione di ponti e attraversamenti stradali per carreggiate a una e a due corsie;
 - c. opere di protezione spondale per limitare i fenomeni di erosione della duna costiera;
2. **Interventi non strutturali (manutenzione ordinaria e/o straordinaria):**



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

- a. manutenzioni periodiche a salvaguardia degli argini esistenti;
- b. manutenzioni periodiche delle nuove arginature in progetto.

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

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

L'innalzamento arginale, laddove compatibile con l'uso del territorio limitrofo, sarà sviluppato in modo da non ridurre la sezione a disposizione del deflusso nella zona golenale. Laddove siano presenti al fianco dell'argine in essere rilevanti infrastrutture, in particolare viabilità non limitata a stradelli per il traffico locale, potrà essere presa in esame la possibilità dell'innalzamento arginale con ampliamento della sezione del rilevato realizzata verso la zona golenale. Ovviamente, in tale caso nella modellazione idraulica si dovrà tener conto della riduzione di sezione libera a disposizione per il deflusso.

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

Accanto ai sopradescritti interventi di manutenzione sulle opere di difesa attiva, potrebbero essere previsti **interventi di demolizione** (ad es. di strutture di attraversamento esistenti). Altri interventi riguardano la necessità di **adeguamento del franco** idraulico in corrispondenza dei ponti.

Riguardo ai **criteri di individuazione degli interventi**, come già detto, l'articolazione degli scenari nei quali trovano corretta collocazione i singoli interventi segue il criterio di verifica della fattibilità tecnica, giustificazione economica e possibilità di realizzazione in step funzionali successivi. Ovviamente gli scenari trovano la loro prima giustificazione in relazione alle criticità idrauliche riscontrate nello stato attuale, espresse come pericolosità idraulica per gli eventi con diversi tempi di ritorno e dai risultati della modellazione della esondazione nel territorio .

In analogia con l'ottica propria delle progettazioni preliminari, lo studio degli scenari di intervento può prevedere anche la formulazione di ipotesi progettuali alternative mettendo in evidenza la



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

variabilità dei danni patiti (e dei benefici ritraibili in termini di loro riduzione) a fronte degli impegni economici sopportati per la realizzazione delle diverse alternative di intervento.

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

Nel seguito è preliminarmente descritto lo scenario di riferimento di stato attuale (Scenario zero), considerato come riferimento per la stima dei danni attesi nello stato di fatto che sarà assunta come entità dalla quale valutare i benefici attesi dalla realizzazione degli interventi ipotizzati negli scenari di intervento. Nella configurazione indicata come "Scenario zero" sono stati inseriti solo gli interventi non strutturali quali prescrizioni, manutenzioni ed interventi di ripristino della funzionalità di opere già esistenti.

Successivamente si considererà un solo scenario di intervento indicato come "Scenario 1" nel quale sono inseriti sia gli interventi strutturali che gli interventi non strutturali secondo una articolazione che sarà illustrata nei punti successivi.

7.3 STATO ATTUALE, INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E LORO STIMA (SCENARIO ZERO)

Nello "Scenario zero" sono stati inseriti gli interventi di ordinaria manutenzione come previsti nell'apposita voce che prevede in corretto mantenimento degli argini esistenti nella configurazione geometrica attuale. L'importo di tali interventi è valutato in termini di costo/anno ed è complessivamente pari a circa 156'000 euro al netto delle spese generali come da calcolo consegnato nell'allegato di stima e sintetizzato nella tabella seguente.

Oltre gli oneri annui di manutenzione sono state computate le spese generali in una percentuale del 15%, ottenendo un totale lavori e spese che ammonta a 180'000 euro/anno.

Tabella 7.1 - Valutazione dei costi relativi allo "scenario 0"

| INTERVENTI | IMPORTO |
|--|-----------|
| Oneri di manutenzione annua dei corpi arginali | 156 000 |
| SPESE GENERALI (15%) | 23 400 |
| TOTALE LAVORI E SPESE | 179 400 |
| in cifra tonda (per anno) | € 180 000 |



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7.4 SCENARIO DI INTERVENTO CONSIDERATO (SCENARIO 1)

L'obiettivo principale dello scenario di intervento che è stato considerato nel presente studio è quello della salvaguardia dell'abitato e dei territori di Viddalba, Santa Maria Coghinas e di Valledoria con riferimento all'evento di piena con $Tr=200$ anni. Lungo il corso fluviale più a monte, compreso tra Muzzone e Casteldoria non si ritengono urgenti, in questa fase di revisione del PGRA la realizzazione di ulteriori interventi di protezione dalle piene.

Oltre gli innalzamenti e le protezioni arginali, sono previsti alcuni interventi di protezione della sponda esterna in corrispondenza del meandro presso la zona a ridosso della duna costiera nel tratto focivo del fiume Coghinas (loc. Prunishedda), anche a difesa di un inserimento turistico ivi già realizzato .

Nei paragrafi seguenti è consegnata una descrizione sintetica delle opere che compongono lo scenario analizzato che comprendono, oltre quelli di realizzazione di specifici interventi strutturali, anche quelli di manutenzione annua per il mantenimento della funzionalità delle opere.

Descrizione degli interventi

Le opere previste nello scenario di intervento sono di seguito elencate:

- A) *Adeguamento dell'argine in terra di sponda sinistra del f. Coghinas per il ripristino del franco idraulico*

L'obiettivo complessivo dell'intervento di protezione idraulica della Bassa Valle è stato perseguito prevedendo l'adeguamento altimetrico dell'arginatura di sponda sinistra esistente nel tratto corrispondente al 4° e 5° tronco individuato nei capitoli precedenti e fino alla foce presso il cordone dunale. Complessivamente l'intervento prevede l'innalzamento fino al

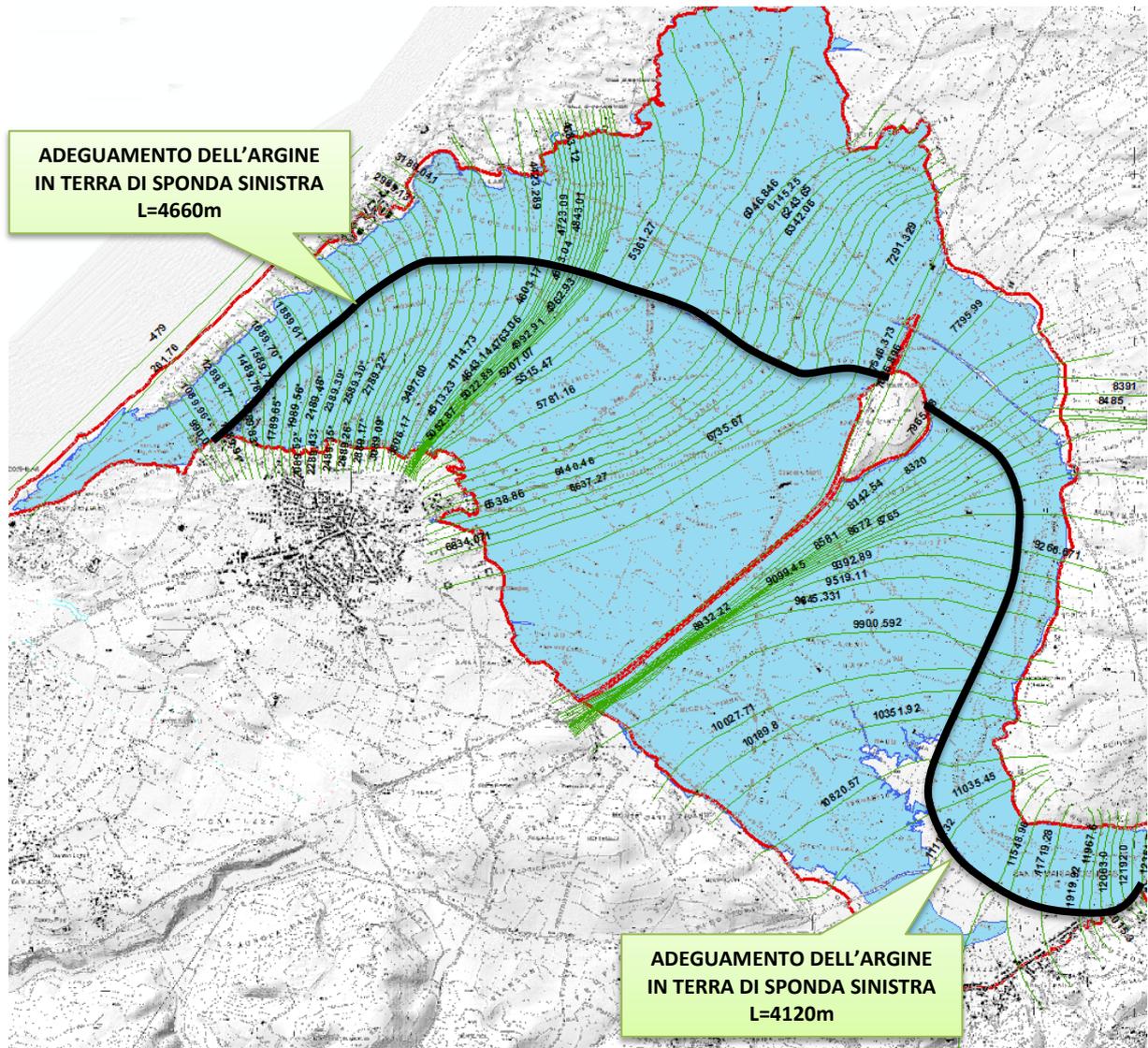


Figura 7.1 – Intervento di adeguamento dell'argine in terra di sponda sinistra del f. Coghinas

raggiungimento, per la piena con $T_r=200$ anni, del franco regolamentare dell'intero argine sinistro da S. Maria Coghinas a Valledoria per uno sviluppo lineare di 8780 m.

Per non interferire con la viabilità esistente, l'innalzamento arginale è ipotizzato sia realizzato con ampliamento della sezione dell'argine verso l'area golenale nel primo tratto, con sviluppo stimato in 4120 metri, nel quale l'argine corre affiancato alla viabilità principale (SP146 e viabilità di accesso alle aree golenali).

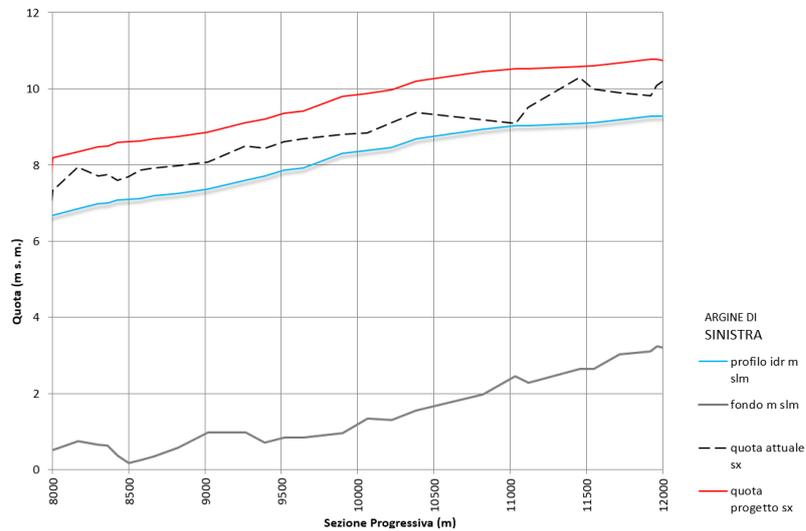


Figura 7.2 – Primo tronco arginale di sponda sinistra: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto)

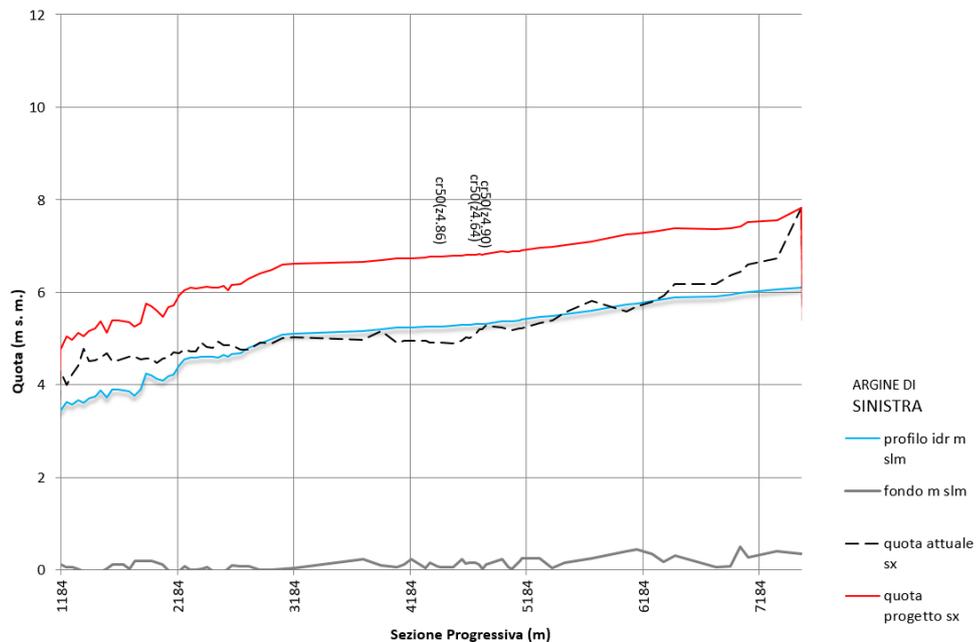


Figura 7.3– Secondo tronco arginale di sponda sinistra: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto)



Nella Tabella 7.2 sono consegnate le stime relative alle quantità che caratterizzano l'intervento.

Tabella 7.2 – Intervento sull'argine di sponda sinistra: stima delle grandezze dimensionali dell'intervento in sponda sinistra

| DESCRIZIONE | U.M. | PRIMO TRONCO | SECONDO TRONCO |
|--------------------------|----------------|--------------|----------------|
| lunghezza intervento | m | 4120 | 4660 |
| innalzamento massimo | m | 1.43 | 1.89 |
| innalzamento medio | m | 0.83 | 1.35 |
| Altezza massima sul p.c. | m | 5.04 | 5.96 |
| Altezza media | m | 4.6 | 5.0 |
| Lunghezza media param. | m | 8.2 | 9.0 |
| volume aggiuntivo | mc | 141 792 | 274 402 |
| impronta aggiuntiva | m ² | 27 464 | 50 896 |

B) Nuovo argine in sponda destra a protezione di Viddalba.

L'intervento consiste nell'adeguamento dell'argine destro del rio Badu 'e Caprile per il contenimento della piena bi-centenaria. Nello studio, la quota di tale opera è asservita alle quote idriche del fiume principale (fiume Coghinas) e in fase di progettazione si dovrà verificare anche con riferimento al deflusso del rio Baddu 'e Cabrile che vi si immette.



Figura 7.4 – Planimetria di allagamento corrispondente alla piena bicentenaria e intervento di arginatura a protezione di Viddalba (il tratto rosso indica l'esondazione come da PSFF)



La quantificazione dell'intervento è stata attualmente valutata considerando la porzione di arginatura che insiste nella prossimità dell'alveo del f. Coghinas alla quale è da aggiungere la parte che si addentra in fregio all'alveo dell'affluente per affrancare completamente la zona denominata "La Capanna" a sud-est dell'abitato. In questa sede la stima della lunghezza complessiva ha valutato circa 1050 m di sviluppo di argine.

Tabella 7.3 – Intervento sull'argine di sponda destra a Viddalba: stima delle grandezze dimensionali dell'intervento

| DESCRIZIONE | U.M. | QUANTITA' |
|--------------------------|------|-----------|
| lunghezza intervento | m | 1050 |
| innalzamento massimo | m | 1.81 |
| innalzamento medio | m | 0.59 |
| Altezza massima sul p.c. | m | 3.94 |
| Altezza media | m | 2.3 |
| Lunghezza media param. | m | 4.1 |
| volume aggiuntivo | mc | 4 359 |
| impronta aggiuntiva | mq | 1 023 |

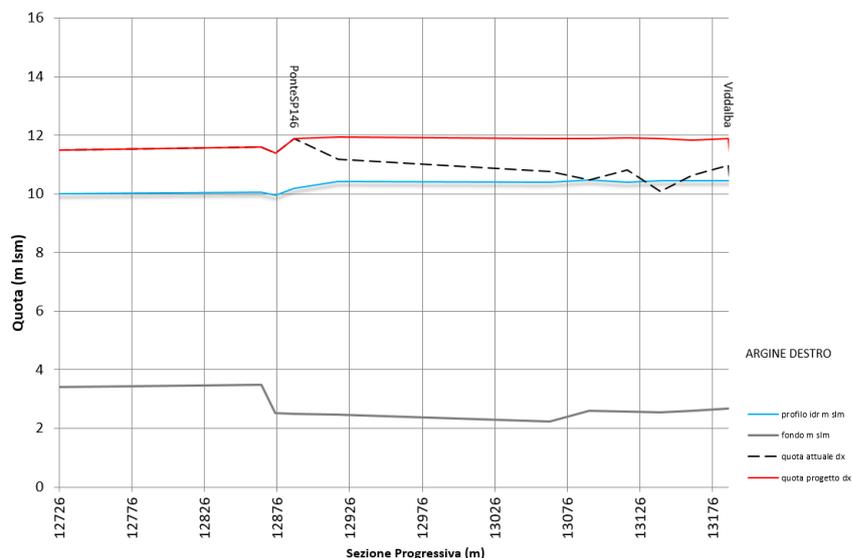


Figura 7.5 – Tronco arginale di sponda destra a protezione di Viddalba: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto) per la sola porzione in fregio alla sponda del fiume Coghinas.



C) *Ripristino del franco idraulico nell'argine destro non tracimabile e formazione di un tratto arginale tracimabile in destra idraulica per lo scollo delle piene cinquecentenarie*

Per la salvaguardia della valle dagli eventi più critici (con T_r maggiore di 200 anni) rispetto alle portate qui considerate come riferimento nella progettazione, in sponda destra è stata ipotizzata la realizzazione di una soglia sfiorante tracimabile realizzata in corpo all'arginatura.

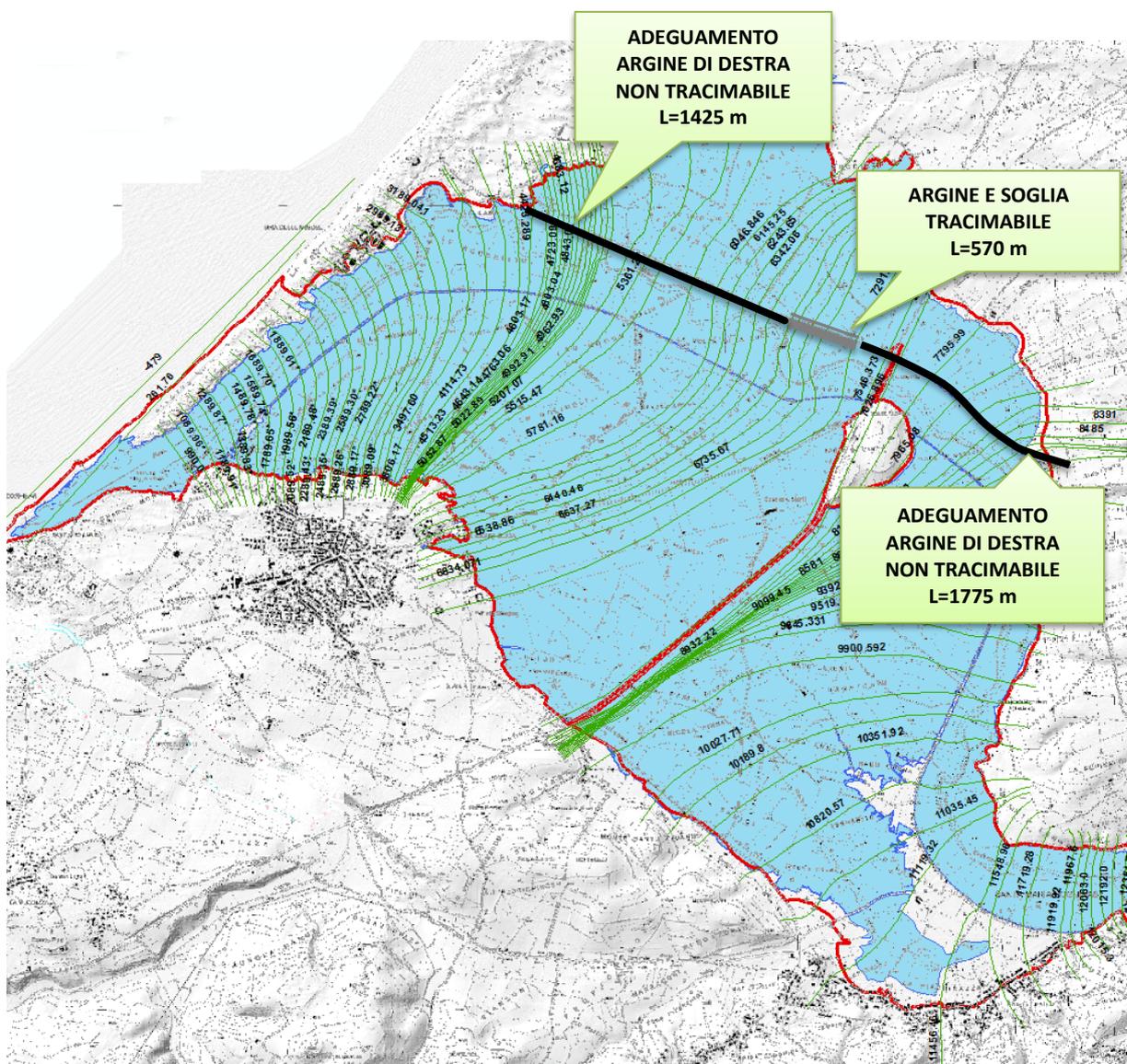


Figura 7.6 – Intervento di adeguamento dell'argine in terra di sponda destra e realizzazione della soglia tracimabile



L'argine tracimabile, avente lo scopo di scolare le portate di piena superiori a quelle dell'evento con $Tr=200$ anni, riversa le portate in eccesso in modo da interessare un'area agricola in sponda destra ed evitando l'esposizione delle aree abitate della sponda opposta al danno conseguente all'allagamento. Tale area infatti era naturalmente percorsa dalla corrente fluviale in occasione delle piene restando prevalentemente paludosa nei periodi di magra delle portate (Figura 7.8).

L'area interessata dall'esonazione dallo scolmatore (la cui estensione è di circa 3 km^2) attualmente è già classificata come area a pericolosità molto elevata. Come documentato nello studio idraulico, la soglia tracimabile (della lunghezza di circa 570 m) è ipotizzata avere quota del ciglio adeguata per contenere il deflusso della piena con $Tr=200$ anni. L'attivazione dello scolmatore avviene, quindi, per portate eccedenti tale valore e consente di mantenere in alveo un franco arginale adeguato anche in concomitanza dei massimi eventi previsti dal Piano di Assetto idrogeologico (Tempo di ritorno di 500 anni), ovvero di limitare l'esonazione in corrispondenza dell'insediamento turistico realizzato più a valle sulla duna costiera. A tal fine, l'estensione in lunghezza del tratto tracimabile è stato stimato in 570 metri.

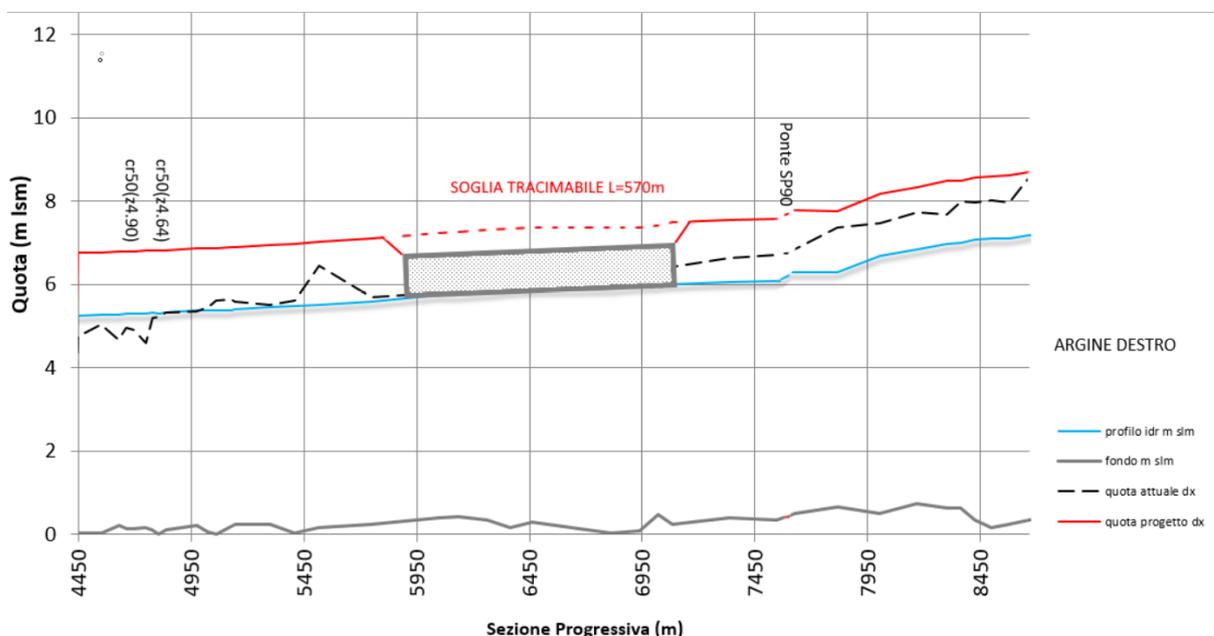


Figura 7.7– Argine di sponda destra lungo l'alveo principale: profilo longitudinale di corrente e del colmo arginale (attuale e di progetto) e posizione della soglia a quota corrispondente a franco annullato per la portata bicentenaria.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 7.4 – Intervento sull'argine di sponda destra a monte (tronco 1) e a valle (tronco 2) del tratto tracimabile: stima delle grandezze dimensionali dell'intervento

| DESCRIZIONE | U.M. | TRONCO 1 | TRONCO 2 |
|--------------------------|------|----------|----------|
| lunghezza intervento | m | 1775 | 1425 |
| innalzamento massimo | m | 0.96 | 2.20 |
| innalzamento medio | m | 0.65 | 1.24 |
| Altezza massima sul p.c. | m | 4.93 | 5.68 |
| Altezza media | m | 3.8 | 5.0 |
| Lunghezza media param. | m | 6.8 | 9.0 |
| volume aggiuntivo | mc | 26 900 | 137 000 |
| impronta aggiuntiva | mq | 5 500 | 25 500 |

L'intervento sull'argine in destra prevede, inoltre, l'adeguamento delle quote d'argine per le restanti parti non tracimabili e complessivamente interesserà l'intero sviluppo arginale di sponda destra per una lunghezza di circa m 3200.

D) Opere di protezione spondale a tutela della duna interna

La morfologia fluviale nel tratto più vallivo a ridosso della duna costiera, nel suo assetto attuale conferitogli dagli interventi di sistemazione realizzati con la costruzione dell'argine di sponda sinistra, ha ottenuto il risultato di avvicinare il letto fluviale di sponda destra al limite della duna. La stessa duna determina, quindi, la sponda naturale in destra nel tratto in cui non è presente l'argine. Prima del tratto parallelo alla costa, il corso fluviale presenta un andamento spiccatamente meandriforme, con anse di ampiezza crescente procedendo verso valle in modo tale che spesso lambiscono l'unghia arginale e la sponda dunale causando erosioni localizzate. I deflussi ordinari, controllati dalle opere di regolazione presenti a monte, fanno sì che la golena si presenta quasi sempre libera dalle acque, occupata da attività agricole oppure dalla vegetazione spesso infestante e tipica delle zone umide costiere che favorisce la deposizione dei sedimenti e l'interrimento degli stretti bracci fluviali. In tale contesto, l'alveo di magra tende a consolidare la propria conformazione planimetrica meandriforme anche nei tratti ove essa lambisce le sponde (naturali o artificiali) progredendo con l'azione erosiva (Figura 7.9).

Pertanto, l'individuazione dell'intervento a salvaguardia della duna costiera dall'erosione operata dalla corrente fluviale si inserisce in un contesto assai delicato e complesso che



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 7.8- Assetto idrografico della bassa valle alla fine dell'Ottocento (Carta Idrografica del Regno d'Italia, 1890). Si osservi l'ampia area delimitata dai bracci fluviali lungo il versante di destra nelle aree oggi denominate "Pischina Manna", "Brazzu di Colbu" e "Tamarigagiu", attualmente ricadenti nell'area retroarginale di sponda destra.



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 7.9 – Andamento meandriforme del basso corso del f. Coghinas (da valle presso la duna verso monte)



Figura 7.10 – Azioni erosive in atto lungo la sponda esterna del meandro all'inizio del tratto focivo.



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 7.11 – In alto: ortofoto anni 1977, 2008, 2011. Si osserva il progressivo avvicinamento delle anse con tendenza evolutiva al salto del meandro. Un evento di piena intenso potrebbe modificare sostanzialmente la situazione attuale. In basso: assetto della foce del f. Coghinas dalle Ortofoto (anno 1954 e 2008).



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 7.12 – Territorio dell’area dunale in erosione e tronco fluviale meandriforme (a sinistra nel 2006 a destra allo stato attuale)

richiede attente valutazioni degli effetti di eventuali interventi sulla sponda. Peraltro, la zona fociva ricade nell’area SIC “Foci del Coghinas ITB010004” con i conseguenti vincoli ambientali.

Nelle more di poter realizzare, in sede di sviluppo delle fasi di progettazione, le opportune valutazioni nel merito, nell’ipotesi di intervento qui considerata in Scenario 1 è inserito un intervento che si ritiene ammissibile in questo delicato contesto ambientale.

Per la difesa del piede della duna dall’azione erosiva del deflusso, si preveda l’utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica, per la protezione nelle aree di sponda e lo smorzamento dell’energia della corrente in corrispondenza del fronte di erosione nella sponda.

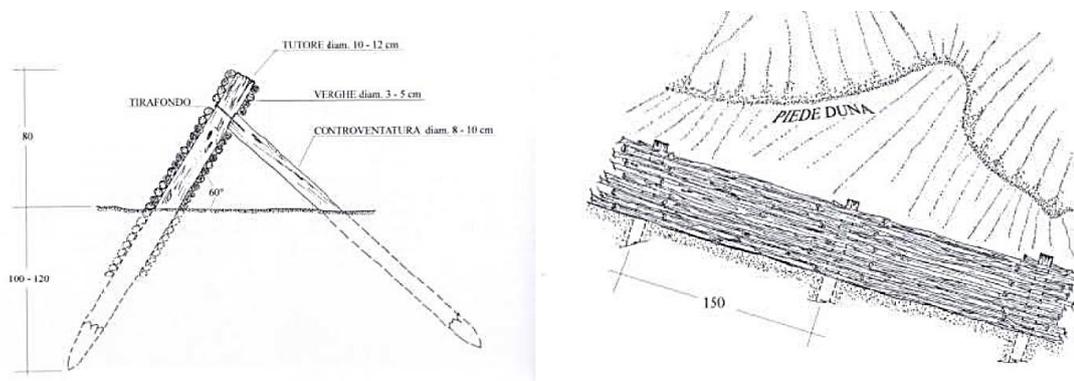


Figura 7.13 - Sezione e prospettiva di una barriera basale in viminata costituita da viminata, inclinata e semi interrata, realizzata con un intreccio di verghe di castagno o ornello e da pali di intelaiatura e controintelaiatura di castagno (da Bovina et al., 2003).



Come evidenziatosi dalle esperienze, l'ammissibilità di tali apprestamenti è legato all'utilizzo di azioni che garantiscano il rispetto della naturalità del sito, utilizzando rigorosamente barriere protettive e specie vegetali erbacee ed arbustive autoctone per il ripristino del profilo dunale il più possibile simile a quello preesistente.

In contesti simili hanno trovato applicazione interventi che prevedono l'utilizzo di gabbioni cilindrici non rigidi adagiati sul fondo e sulle sponde, rivestiti in geotessile per le parti emergenti e barriere in viminata con funzione di smorzamento dell'azione incidente della corrente e di frangivento nelle parti più elevate per la deposizione della sabbia (Figura 7.13). L'obiettivo dell'intervento è, ovviamente, quello di proteggere la sponda favorendo il deposito senza alterare l'ambiente naturale della fascia golenale come area di equilibrio fra la sponda fluviale e l'ambito retrodunale.

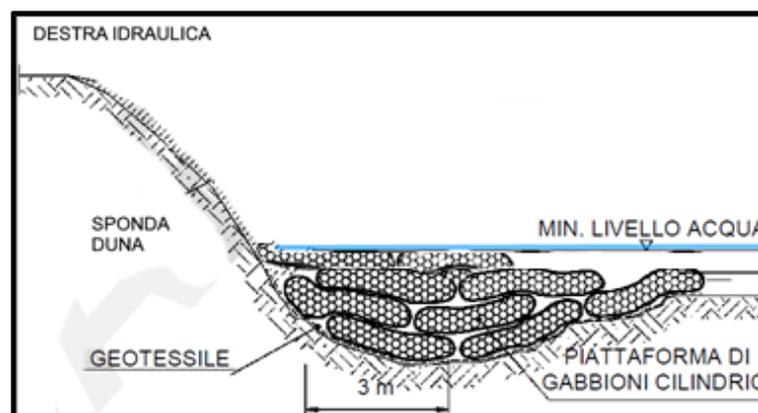


Figura 7.14 – Schema di un intervento tipo per il sostegno alla sponda mediante gabbionate di elementi cilindrici (burghe o gabbioni) posate sulla fossa di erosione



Figura 7.15 – Esempio di intervento di stabilizzazione con pali infissi sul piede della sponda e burghe di consolidamento (da completare con il riempimento e la riprofilatura della sponda)



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 7.16 - Tratto fluviale in corrispondenza delle anse con l'erosione della duna costiera in prossimità degli edifici di un insediamento. La freccia indica un braccio fluviale che attualmente si riattiva solo in occasione delle piene provenienti in buona parte dai rilasci dagli sbarramenti a monte

Con azione più incisiva, sempre allo scopo di limitare l'esposizione del declivio dunale all'azione della corrente erosiva, si può anche considerare l'opportunità di limitare la portata fluviale nel meandro, perlomeno con le portate di piena ordinaria, favorendo progressivamente il "salto" dello stesso (Figura 7.16) e nel contempo accentuando l'azione di deposizione dei sedimenti nel tratto relitto.



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

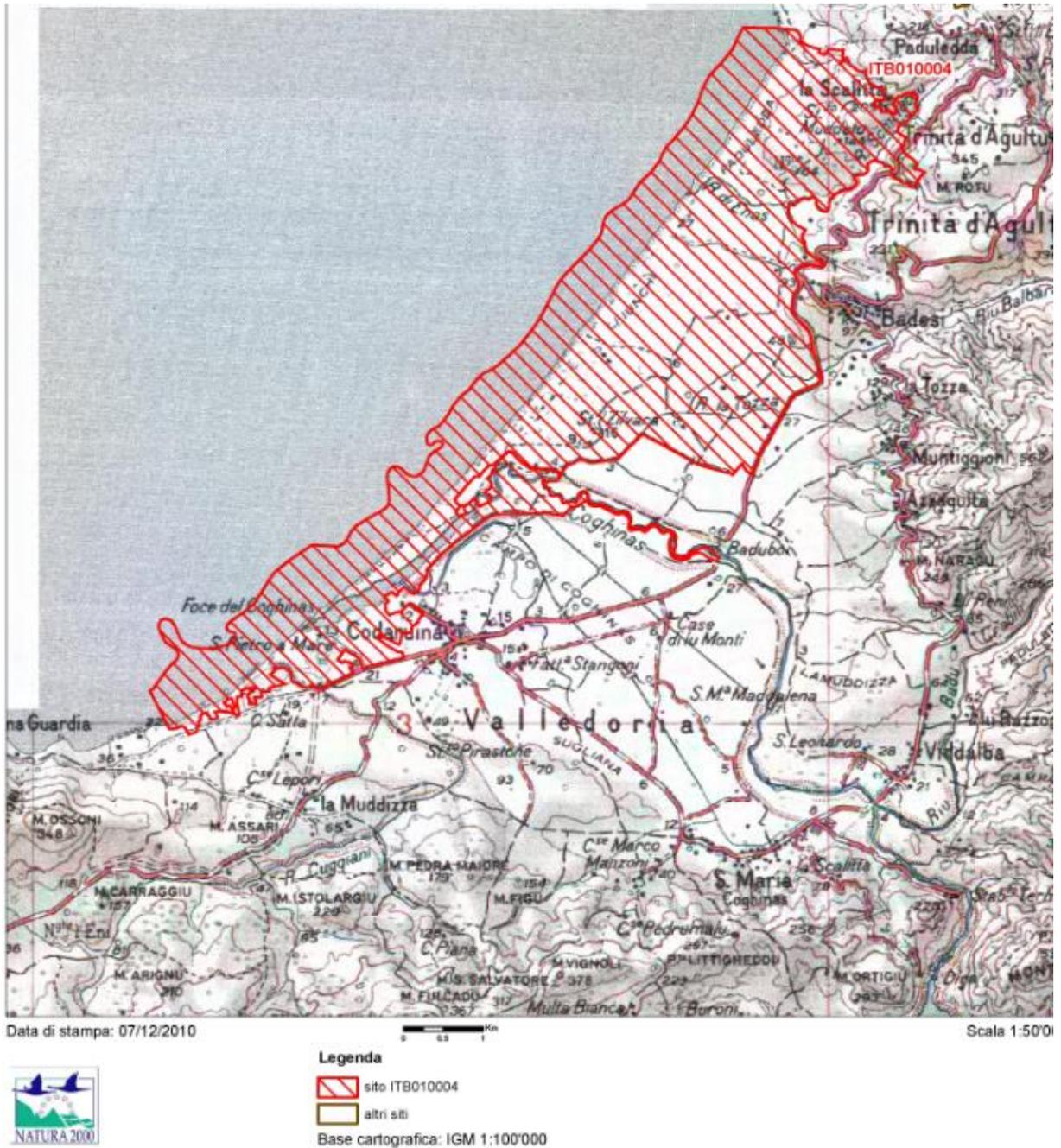


Figura 7.17 - L'area SIC "Foci del Coghinas" (ITB010004)



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

Stima degli costo degli interventi

La valutazione complessiva di tali interventi come sopra sinteticamente descritta è di circa 10,3 milioni di euro cui vanno ad aggiungersi le spese generali da valutarsi per circa € 1,65 M di Euro per un totale di lavori e spese di circa 12 M di Euro.

Tra gli oneri di manutenzione annui sono stati individuati quelli relativi alla manutenzione delle nuove opere di arginatura per un totale di circa € 194.000 per anno.

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

Tabella 7.5 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"

| INTERVENTI | | IMPORTO |
|--------------------------------------|---|--------------|
| 1 | Nuovo argine in sponda destra a protezione di Viddalba | 197 000 |
| 2 | Adeguamento dell'argine in terra di sponda sinistra del f. Coghinas per il ripristino del franco idraulico | 6 037 000 |
| 3 | Formazione di un tratto arginale tracimabile in destra idraulica per lo scolmo delle piene cinquecentenarie | 1 952 000 |
| 4 | Ripristino del franco idraulico nell'argine destro non tracimabile | 1 408 000 |
| 5 | Opere di protezione spondale a tutela della duna interna | 744 000 |
| TOTALE LAVORI | | 10 338 000 |
| TOTALE SPESE GENERALI | | 1 654 080 |
| TOTALE LAVORI E SPESE | | € 11 992 080 |
| in cifra tonda | | € 12 000 000 |
| TOTALE oneri manutenzione (per anno) | | € 194 000 |



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



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

8 Analisi Costi-Benefici degli scenari di intervento

8.1 PREMESSE

Nel Capitolo 2, che definisce in termini generali gli Obiettivi e le Attività principali dell'Accordo di collaborazione scientifica 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.

Com'è noto, l'analisi costi-benefici in ambito di investimenti pubblici è una tecnica di valutazione utilizzata per prevedere gli effetti di un progetto, di un programma o di un investimento, verificando se, con la realizzazione dell'intervento, la società ottenga un beneficio o un costo netto. E' uno strumento di supporto alla decisione che, inoltre, per mezzo del calcolo dei benefici e dei costi associati alla realizzazione di proposte alternative, evidenzia la proposta migliore fra le alternative progettuali. L'analisi costi-benefici ha quindi origine dalla necessità dell'operatore pubblico di dotarsi di uno strumento di calcolo per valutare il suo intervento ed infatti è stata introdotta ufficialmente in Italia dal F.I.O. (Fondo Investimenti Occupazione) nel 1988.

La principale teoria economica su cui basare questi ragionamenti è quella neoclassica o liberistica, che prevede un equilibrio generale tra domanda ed offerta. Questo equilibrio genera un sistema dei prezzi che (almeno in teoria) prevede una ottima allocazione di risorse tra usi alternativi, in cui sia il profitto dei produttori sia l'utilità dei consumatori sono massimizzati (entro i limiti di budget, o la disponibilità delle risorse). Perché ciò avvenga, è necessario che vi sia efficienza nel mercato ma, nella realtà, queste efficienze non sono sempre garantite e, soprattutto, intervengono i seguenti



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

aspetti: a) non vi è una equa distribuzione di reddito e di ricchezza tra i soggetti; b) siamo in condizioni di concorrenza “imperfetta” (monopolio, oligopolio, ecc.).

In questo quadro, si situano anche le valutazioni degli “interventi pubblici” per la difesa dagli eventi di piena, per i quali il sistema classico dell’analisi costi-benefici fatica a “regolare” correttamente la priorità di intervento. In termini generali, nella definizione e valutazione dei costi e dei benefici bisogna tenere conto della loro distinzione in “diretti” e “indiretti”. In modo particolare i secondi sono spesso difficilmente determinabili in quanto conseguono da effetti indiretti dell’intervento di protezione; inoltre in questa categoria ricadono generalmente voci difficilmente monetizzabili quali, per esempio, gli effetti sull’ambiente, che preferibilmente vanno quindi considerati come vincoli nel problema decisionale. Una volta individuati e stimati in termini monetari omogenei tutti i costi e i benefici, la valutazione vera e propria richiede siano considerate e valutate le voci e confrontate fra loro. In linea di principio, seguendo la metodologia classica della massimizzazione del valore attuale netto (VAN), si considera un prefissato orizzonte temporale di riferimento (vita delle opere in progetto) e per ciascun anno di vita del progetto si calcola un beneficio “totale attualizzato” a cui andrà sottratto il corrispondente costo “totale attualizzato”, ottenendo di ciascun anno di vita del progetto un “beneficio attuale netto” che dovrà essere aggregato in un valore finale sull’arco temporale di analisi. Questo valore cumulato del beneficio attuale netto, in ultima analisi, permette di valutare il progetto. Una volta attualizzati e aggregati i valori, si opera il vero e proprio confronto tra benefici e costi.

In alternativa, metodi di confronto si basano su altri due indici:

- Il Rapporto Benefici-Costi (RBC):
- Il saggio di rendimento interno (SRI)

Nell’analisi finanziaria privata, dove si applicano i prezzi di mercato, questi indici possono essere giustificati da investimenti alternativi a quello in esame, ma in questo caso di opere di difesa dai fenomeni di alluvione siamo tipicamente nel settore pubblico e alcuni “indicatori” non hanno un’agevole giustificazione.

Riprendendo il discorso sulla valutazione del VAN, un primo problema in questo percorso metodologico è dovuto al fatto che spesso intervengono aspetti non strettamente finanziari poiché questi soli non sono esaustivi nel descrivere i possibili impatti (positivi e negativi) di un progetto di difesa dalle piene. L’analisi dovrà necessariamente introdurre giudizi di opportunità anche su criteri sociali, calcolati dai risultati dell’analisi finanziaria mediante opportune correzioni per derivare il complesso dei costi e dei benefici legati all’opera in esame. Le variabili considerate da quest’analisi saranno spesso, quindi, oltre che economiche (più facilmente derivabili da analisi di tipo finanziario) anche di tipo sociale, naturalistico, di salvaguardia del patrimonio storico-architettonico, ecc. Non è, quindi, in genere possibile un’aggregazione diretta di tutte le voci considerate in quanto vi è una generale “disomogeneità” degli elementi che intervengono. Un’analisi di questo tipo richiederebbe



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

necessariamente approcci di tipo multi-obiettivo che introducano procedure di pesatura sulla funzione obiettivo o, in alternativa, di vincolo nel modello di ottimizzazione dell'intervento considerato.

Sarebbe inoltre opportuno sviluppare un'analisi di sensitività in corrispondenza dei valori adottati: In questo caso è necessario valutare i cosiddetti "prezzi ombra" (o prezzi di sconto). I prezzi ombra non sono prezzi reali, ma valutano gli impatti che un'attività, progetto, o investimento, ha sulla funzione di benessere misurata come la variazione marginale delle risorse considerate. Possono anche essere intesi come costi derivanti da un danno causato a una risorsa ambientale che altrimenti poteva essere pienamente goduta. In pratica possono essere considerati come una perdita di benefici. Un semplice esempio, può essere fatto considerando un aumento del livello di inquinanti ammesso in un corso d'acqua o nell'atmosfera a seguito della maggiore o minore efficienza degli impianti di trattamento (e dei relativi costi) previsti e valutando come questa variazione induce vari "danni" quantificabili monetariamente come una maggior spesa sanitaria, e, nel nostro caso di difesa dalle piene, una maggior spesa per interventi di restauro di edifici, monumenti, ecc.

In alternativa a quest'approccio fondamentalmente basato su una modellazione matematica del processo decisionale, si possono adottare degli approcci indiretti che implicano indagini di tipo più qualitativo sulle preferenze degli stakeholders (portatori di interesse):

- la valutazione contingente,
- l'analisi del comportamento:
- la valutazione basata su danni (costo opportunità).

Nella valutazione contingente, i soggetti della comunità interessata dal progetto devono dichiarare (attraverso questionari, generalmente) in modo diretto il valore che darebbero a quel dato bene intangibile o ambientale impattato dal progetto, sulla base di una ipotetica situazione di mercato. In questa classe di approccio, si devono anche includere le tecniche note con il nome di "disponibilità a pagare" (willingness to pay) e "disponibilità ad accettare" (willingness to accept). Si basano sull'idea di considerare quanto un consumatore è disposto a pagare di un certo bene A per avere un'unità in più (marginale) di un altro bene B. (o anche, quanto è disposto ad accettare di compensazione di A per evitare un danno B).

Nell'analisi di comportamento ci si basa sulla idea che certi valori economici siano il risultato di una aggregazione di caratteristiche diverse non valutabili separatamente e si stimano tramite i prezzi impliciti dei beni coinvolti.

I costi opportunità si basano sull'idea di sostituibilità di un bene (o insieme di beni) rispetto ad un altro, in relazione ad un determinato scopo; per esempio, un impiego alternativo di capitali: il costo di una strategia di prevenzione dell'abbandono dei rifiuti, in situazione di risorse limitate può essere alternativamente descritto come il costo di una bonifica di terreno contaminato.



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

Considerate le incertezze nelle valutazioni economiche sopra richiamate, nel seguito ci si rifarà alla trattazione classica della massimizzazione del VAN impostando un modello di tipo matematico per la stima delle grandezze considerate. In sintesi si stimeranno con le procedure precedentemente illustrate i benefici intesi come riduzione dei danni da alluvione e i costi delle opere di difesa, introducendo le necessarie procedure di attualizzazione dei flussi monetari.

Procedure alternative, che implicano una valutazione di preferenza delle comunità coinvolte, potranno eventualmente essere prese in considerazione dopo l'avviamento della fase di consultazione pubblica sugli interventi previsti.

8.2 INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA

Le procedure di gestione del rischio di alluvione dovrebbero integrare tra loro diverse tipologie di azioni svolte dagli Enti preposti, ma anche dalle comunità e da singoli individui per ridurre a un livello accettabile i danni conseguenti agli eventi di piena. Le azioni non strutturali consistono in misure di emergenza da attuare prima degli eventi, a seguito degli allertamenti, misure da attuare durante le fasi di emergenza 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'erosione 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 simulate 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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA

Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

nella 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 studio 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 tratti omogenei del corso d'acqua o a specifiche infrastrutture e, conseguentemente, al territorio sotteso interessato dalla inondazione. In specifico per la bassa valle del Coghinas, si ricorda che nelle 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. Tra i risultati dello studio del PGRA inoltre è stato stabilito che il collasso delle arginature, che viene fatto corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco di altezza inferiore a 20 cm, avvenga già con portate di piena di circa $1900 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{amm}). Per portate inferiori a Q_{amm} si ha assenza di esondazioni.

Nella situazione analizzata nella prima fase del PGRA (dunque considerando un limitato effetto di laminazione conseguente alla gestione dell'invaso di Muzzone) si è ottenuto che il valore del tempo di ritorno associato alla portata $Q_{\text{amm}}=1900 \text{ m}^3/\text{s}$ è di circa 15 anni nella zona del 1° Tronco (parte più montana) valore assunto come indice di allertamento grave del territorio della bassa valle nella situazione attuale (nel 2° e 3° Tronco del tratto vallivo come definiti in Capitolo 4, i tempi di ritorno dell'evento critico sono sensibilmente più alti).

La revisione dello studio delle aree allagabili, conseguente alla riduzione delle portate scaricate a valle valutate sulla base del Piano di Laminazione dell'invaso di Muzzone, ha evidenziato come alle portate di piena critiche stimate negli studi precedenti corrisponde un tempo di ritorno ben superiore avendosi una consistente riduzione del valore di colmo. Come è stato evidenziato nel capitolo 4, nella Tabella 8.1 si osserva che il valore del colmo di piena della portata laminata con tempo di ritorno di 200 anni è circa pari a quella non laminata con tempo di ritorno di 50 alla sezione fociva del bacino idrografico. Pertanto l'effetto conseguente della riduzione dei colmi si avrà necessariamente sui costi delle opere di adeguamento delle arginature al franco previsto dalla normativa sulle opere di protezione idraulica del territorio.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 8.1 - Portate laminare al colmo di piena con applicazione dello scenario di riferimento adottato nel Piano di Laminazione dell'invaso di Muzzone (da studio DICAAR) e quelle di PSFF

| SEZIONE | 50 ANNI | | 100 ANNI | | 200 ANNI | | 500 ANNI | |
|--------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> | <i>PdL</i> | <i>PSFF</i> |
| Diga Muzzone | 894 | | 1011 | | 1154 | | 1393 | |
| A | 989 | 1872 | 1127 | 2474 | 1294 | 2983 | 1570 | 3616 |
| B | 1139 | 2186 | 1309 | 2834 | 1514 | 3397 | 1848 | 4101 |
| C | 1516 | 2667 | 1769 | 3415 | 2070 | 4079 | 2551 | 4917 |
| D | 1549 | 2742 | 1809 | 3501 | 2118 | 4178 | 2612 | 5032 |
| E | 1667 | 2952 | 1953 | 3745 | 2292 | 4460 | 2832 | 5366 |

Nella revisione delle criticità date precedentemente sono state definite le portate che possono defluire senza pericolo per i territori adiacenti compatibilmente con la attuale capacità di deflusso negli alvei. Tale fase ha evidenziato come l'adozione dei piani di laminazione non sia di per sé sufficiente alla messa in sicurezza della bassa valle ma si dovrà comunque prevedere un piano di interventi sulla base dell'analisi degli elementi critici di interazione con il deflusso delle acque, sia in termini di opere di protezione esistenti che di infrastrutture

8.3 OBIETTIVI E DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI

Rifacendoci all'ambito di ottimizzazione economica classica, come già detto l'obiettivo primario dell'intervento pubblico è quello di massimizzare il benessere della comunità, anche se questo criterio non è sempre facilmente traducibile in criteri operativi per il pianificatore nei specifici contesti esaminati. Per una trattazione degli aspetti generali legati alla definizione dei concetti e obiettivi della pianificazione nell'ambito dei sistemi di protezione dalle piene si vedano, ad esempio, i testi di L.D. James & R.R. Lee (1971) e Maass & al., 1962. Tradizionalmente la misura della performance di un intervento è espressa in termini di benefici conseguibili e di relativi valori marginali conseguenti all'analisi economica e sono normalmente espressi in funzione delle probabilità di accadimento dell'evento di progetto (evento per il quale si dimensionano le opere di difesa). Ciascun valore marginale di costo e beneficio dovrebbe riflettere la combinazione di interventi strutturali e non strutturali richiesti ed i danni residui attesi. Un ugual livello di protezione dalle piene (in termini di danni attesi) può essere definito con diverse combinazioni di opere e interventi. In Maass (1962) è considerato l'esempio della realizzazione di opere di invaso per la laminazione dalle piene e, in alternativa, del miglioramento delle opere di inasamento della parte valliva di un corso d'acqua. La procedura per individuare l'assetto ottimo deve necessariamente



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

prendere in esame diverse combinazioni delle possibili alternative, con riferimento a ciascun livello di protezione ipotizzato.

In termini generali, la definizione della funzione di produzione (funzione che esprime le relazioni tra input e output del sistema in condizioni di massima efficienza tecnologica) per gli interventi di protezione dalle piene richiede che la sua formulazione sia ottenuta in due fasi successive: 1) con la prima si esprime la relazione tra input (costi dei fattori produttivi) e le dimensioni delle opere; 2) con la seconda si esprime la relazione tra le dimensioni delle opere e gli output del sistema (portate defluenti e conseguenti aree interessate dall'esondazione). La prima fase riguarda questioni più strettamente ingegneristiche di dimensionamento delle opere e può essere risolta compendiando i risultati nella funzione di costo delle opere che devono essere realizzate. La seconda fase è, in molti casi, più complessa, richiede l'interazione tra modelli idrologici e idraulici con l'assetto del territorio e la relazione che si può ottenere ha, di norma, un carattere probabilistico legato alla natura stocastica degli input idrologici.

Nel caso illustrato in Maass & al. (1962), i serbatoi di laminazione hanno la funzione di accumulare una parte dei volumi di piena riducendo le portate al colmo che defluiscono a valle della diga in modo tale che tali deflussi possono comunque transitare nell'alveo di valle entro una struttura adeguata a evitare rischi di esondazione. Data la natura degli eventi di piena si deve fare uso di relazioni di tipo probabilistico che legano le portate al colmo col tempo di ritorno ipotizzabile per tali eventi.

In termini modellistici, le relazioni di ottimalità marginale per ricavare la combinazione delle variabili nella configurazione ottima delle opere dovranno considerare l'espressione differenziale che mette in relazione il rapporto tra i costi marginali (CM) con il saggio di sostituzione tecnica dei fattori produttivi (SST):

$$\frac{CM_i}{CM_h} = SST_{hi} \quad (11.1)$$

Questa relazione tra le variabili di progetto massimizza il beneficio netto del sistema garantendo i livelli di protezione adeguata per l'area in esame. Inoltre, i costi marginali del sistema dovranno essere messi a raffronto con i rispettivi benefici, in termini di riduzione dai danni, per determinare la combinazione ottimale nelle dimensioni delle strutture e il livello ottimale di protezione dalle piene.

Poiché, come già detto, la funzione di produzione ha sostanzialmente caratteristiche di tipo stocastico, anche la funzione obiettivo del problema non potrà che essere espressa in termini stocastici. Dovrà, pertanto, essere utilizzato il concetto di "valore annuo atteso" dei benefici netti. Questi saranno ricavati sulla base della valutazione dei benefici lordi e dovranno essere intesi come riduzione dei danni conseguenti agli eventi di piena, attesi con una certa probabilità di accadimento,



a seguito alla realizzazione delle opere di invaso e di difesa arginale, e dei costi di realizzazione delle stesse opere.

Nel PGRA in esame, come già detto, si acquisiscono i risultati di analisi idrologica elaborati nel PSFF, pertanto si considera conosciuta l'entità delle portate al colmo in funzione dei tempi di ritorno, ovvero delle probabilità di superamento, o di non superamento, degli eventi di piena alle sezioni di interesse. Si ricorda che la relazione tra tempi di ritorno T_r , probabilità di superamento P_s e non superamento P_{ns} sono le seguenti:

$$P_s = \frac{1}{T_r} \quad ; \quad P_{ns} = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (11.2)$$

Per la valutazione dei benefici occorre associare a ciascun valore della portata di piena, e della relativa probabilità, la corrispondente entità del danno conseguente. Quest'operazione richiede che sia realizzata la procedura di modellazione idraulica descritta nei paragrafi precedenti e la stima dei danni sulla base dell'approccio modellistico ugualmente descritto nei paragrafi precedenti. Le procedure consentono, tramite l'applicazione delle espressioni di mettere in relazione la stima del danno con le caratteristiche d'uso del territorio e con il battente della lama d'acqua che si attende in caso di alluvione con assegnato tempo di ritorno.

La stima del valore di danno annuo atteso con riferimento alla "situazione attuale" ed a seguito della realizzazione di un assegnato "scenario di intervento" nella realizzazione delle opere è data dall'area sotto la curva che rappresenta l'andamento del danno al variare della probabilità di superamento:

$$E(D) = \int_0^1 D_s d(P_s) \quad (11.3)$$

Nella espressione (11.3) si è indicato con D_s il danno, valutato in termini economici, che si ha in corrispondenza delle probabilità di accadimento dell'evento di piena cui corrisponde la probabilità di superamento P_s .

L'espressione precedente si può modificare nella seguente:

$$\square E(D) = \int_0^\infty P_s d(D_s) \quad (11.4)$$

Nei calcoli pratici si lavora per intervalli di tempi di ritorno: $T_{r1}, T_{r2} \dots$ cui corrispondono probabilità di superamento: $P_{s1} = 1/T_{r1}, P_{s2} = 1/T_{r2} \dots$

L'espressione (11.4), operando su tempi di ritorno discreti, si modifica nella seguente:



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

$$E(D) = \sum_{i=1, N} [(D_i^{\text{inf}} + D_i^{\text{sup}})/2] [(1/T_r^{\text{inf}}) - (1/T_r^{\text{sup}})] \quad (11.5)$$

nella quale T_r^{inf} e T_r^{sup} sono i valori del tempo di ritorno all'estremo superiore e inferiore dell'intervallo di calcolo del danno atteso D_i .

La funzione di produzione deve essere quindi intesa come la relazione che lega la portata di piena Q_c attesa con un certo tempo di ritorno T_r , che si può ritenere controllata completamente dal sistema (alla quale corrisponde quindi un danno nullo) a seguito della realizzazione delle opere di difesa e di invaso.

Formalmente si può esprimere questa relazione nel seguente modo:

$$f(Q_{c, T_r}, x, y) = 0 \quad (11.6)$$

Con x ed y si intendono i vettori delle variabili rappresentanti, in termini economici omogenei, i fattori produttivi (in questo caso i costi per la realizzazione delle opere di difesa da alluvione) ed i prodotti (in questo caso i benefici conseguenti sul territorio) considerati negli scenari di intervento.

La ricerca dell'insieme dei punti che per ogni livello di tempo di ritorno T_r , ovvero per ogni livello di probabilità P_s , garantisce il soddisfacimento della espressione di ottimalità marginale (11.1) definisce il cosiddetto "percorso di espansione ottima" ossia la combinazione delle opere di protezione x che fornisce il livello di riduzione dei danni piena y al minimo costo.

Nell'ambito di teorico dell'ottimizzazione economica dell'intervento pubblico, ossia ponendoci l'obiettivo di massimizzare il benessere della comunità, dovremmo prescindere dalla definizione a priori di un tempo di ritorno dell'intervento, anche se questo criterio non è sempre facilmente traducibile in criteri operativi per il pianificatore. Occorrerebbe, a questo punto ricavare la funzione che rappresenta i benefici lordi del progetto equiparati, per definizione, alla differenza fra il valori attesi del danno in presenza di opere di protezione o in assenza di esse. I benefici sono quindi definiti come riduzione del valore atteso del danno, valutati rispetto a quelli attesi precedentemente la realizzazione del progetto.

In proposito sarebbe da osservare che spesso la realizzazione delle opere di protezione è utilizzata per svincolare ampie zone di territorio nelle quali, precedentemente alla costruzione delle opere di protezione, erano impedita la realizzazione di infrastrutture di pregio. La conseguenza di questa variazione d'uso è importante nella quantificazione complessiva del danno medio annuo atteso, è può comportare effetti addirittura opposti rispetto alla definizione dei benefici attesa.

L'andamento della curva dei benefici lordi medi annui, assieme a quella dei costi medi annui di intervento, in funzione dell'entità dell'evento di piena per il quale si ha protezione completa consente di definire la soluzione corrispondente al massimo valore dei benefici netti medi annui che



coincide con l'uguaglianza dei rispettivi valori marginali con la produzione marginale (PM) definibile con l'intervento:

$$\frac{CM_i}{BM_j} = PM_{j,i} \quad (11.7)$$

In termini applicativi, nei prossimi paragrafi, per lo scenario di intervento definito nei paragrafi precedenti 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 riportati di seguito in questa relazione.

8.4 ANALISI ECONOMICA DEGLI SCENARI D'INTERVENTO IPOTIZZATI

Per ognuno degli scenari d'intervento definiti nel Capitolo 10, 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:

$$F_0 = \left[\frac{1}{(1+r)^i} \right] F_i \quad (11.8)$$

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

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

r = tasso di interesse utilizzato.

La scelta del valore del tasso r è fondamentale, poiché influenza i valori cumulati di costo e beneficio del progetto, ma non è però univoca. Alcune ipotesi, tra le più comuni sono: 1) adottare i tassi di interesse applicati dalle banche e dalle aziende di commerciali ai prestiti a lungo termine; 2) decidere i tassi di sconto sulla base di scelte realizzate a livello politico che considerano anche aspetti di equità



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

e solidarietà sociale; 3) adottare il tasso di rendimento dell'investimento della risorsa finanziaria, anche con riferimento a aspetti produttivi alternativi.

Nelle applicazioni che seguono, si è fatto riferimento a un tasso r relativamente basso, assunto pari al 3% che può essere giustificato con riferimento al secondo punto sopra dato.

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

Di seguito si considera lo scenario d'intervento ipotizzato nella bassa valle del Coghinas, riprendendo le caratterizzazioni di costo economiche più estesamente giustificate nei Capitoli precedenti.

Scenario 0 – Situazione attuale

Nello scenario zero, Situazione attuale, non sono state inserite nuove opere infrastrutturali, in quanto gli interventi già segnalati e ritenuti assolutamente necessari per il miglioramento delle condizioni deflusso (che prevedevano la demolizione del vecchio ponte sul Coghinas presso l'abitato di Viddalba e la demolizione del ponte lungo la strada provinciale per Valledoria) o sono stati realizzati a compimento delle nuove opere di attraversamento già previste oppure non più necessarie a seguito dell'apprezzabile miglioramento del franco idraulico disponibile. La valutazione delle spese generali è quantificata in valore percentuale del 15% . Pertanto, si ottiene un totale lavori e spese che ammonta a €/anno 180.000.= per i lavori di ordinaria manutenzione degli argini esistenti nello stato attuale.

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, giustificata nei capitoli precedenti, è riportata per comodità nella tabella seguente, ed è assunta come riferimento per la quantificazione dei benefici conseguenti alla realizzazione delle opere considerate negli scenari di intervento.

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.

Nel seguito si riporta la valutazione dei danni da piena, 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.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 8.2 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate per categoria di danno e stima analitica del danno

| CATEGORIA ELEMENTO | Evento Tr=50 anni | | Evento Tr=100 anni | | Evento Tr=200 anni | |
|---|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | Area (ha) | Valore (migliaia €) | Area (ha) | Valore (migliaia €) | Area (ha) | Valore (migliaia €) |
| A - AGRICOLA | 383.2 | 1521 | 1154.5 | 4722 | 1248.5 | 5332 |
| C - COMMERCIALE | 1.7 | 4416 | 1.8 | 4931 | 1.8 | 5547 |
| I - INDUSTRIALI | 0.8 | 1199 | 4.0 | 4906 | 5.4 | 6731 |
| J - AREE PROTETTE DI PREGIO AMBIENTALE | 199.1 | 0 | 204.3 | 0 | 208.8 | 0 |
| K - AREE STORICHE E ARCHEOLOGICHE | 1.4 | 0 | 1.8 | 0 | 4.7 | 0 |
| N - STRADE COMUNALI | 2.1 | 107 | 3.3 | 137 | 4.6 | 195 |
| P - STRADE PROVINCIALI | 0.6 | 60 | 7.0 | 556 | 8.0 | 716 |
| R - RESIDENZIALE | 2.1 | 5756 | 5.5 | 15646 | 5.9 | 18058 |
| T - INFRASTRUTTURE E RETI (IDRICHE, ELETTRICHE) | 6.4 | 1098 | 17.9 | 2766 | 19.8 | 3309 |
| X - ALTRE AREE CON DANNI NON TANGIBILI | 49.6 | 0 | 54.0 | 0 | 56.0 | 0 |
| Totale | 647.0 | 14157 | 1454.0 | 33665 | 1563.5 | 39888 |

Scenario 1 – Realizzazione delle opere di protezione nella bassa valle

Nello scenario 1 sono stati inseriti sia gli interventi del nuovo argine in sponda destra a protezione dell'abitato di Viddalba che di adeguamento delle arginature esistenti per garantire il franco idraulico. Pertanto, In questo scenario sono inserite tutte le opere di ringrosso e innalzamento dell'argine di sponda sinistra e di sponda destra da Monte di Campu fino al tratto a ridosso della duna costiera. E' inoltre prevista la realizzazione di un tratto tracimabile dell'argine in destra la cui soglia è disposta a quota idonea a contenimento delle portate bicentinarie (a franco annullato per le piene attese per questo tempo di ritorno). Sono stati inoltre inseriti gli interventi di stabilizzazione della sponda retrodunale, sulla base delle indicazioni fornite precedentemente.

Come più ampiamente specificato nei paragrafi precedenti, la valutazione complessiva degli oneri derivanti dalla realizzazione di tale scenario di intervento è di circa 12 milioni di Euro.

Gli oneri di manutenzione annui sono stati valutati pari a € 194.000 per anno.

Ipotizzando completamente realizzato lo scenario di intervento dimensionato con riferimento all'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, rispetto alla situazione attuale si riscontra la eliminazione delle aree di esondazione. Il deflusso del fiume è riconducibile alle sole zone di pertinenza dell'alveo di piena .



L'area retro-arginale di sponda destra a valle di Monte di Campu, attualmente classificata come dotata di pericolosità molto elevata, a seguito della realizzazione dello scenario di intervento ipotizzato nel presente studio sarà eventualmente interessata solo da allagamenti conseguenti a piene con tempo di ritorno maggiori di 200 anni che attiveranno il deflusso dallo scolmatore da realizzare in sponda destra.

La Figura 8.1 visualizza i flussi attualizzati di costi e benefici e come, nell'arco temporale esaminato. Il valore del beneficio medio annuo atteso in questo scenario è pari a $836 \cdot 10^3$ euro/anno. La Figura mostra come questo scenario evidenzia una convenienza economica dalla sua realizzazione pur considerando un orizzonte temporale relativamente breve, pari a circa 20 anni.

Nell'analisi economica si è ipotizzato che, nello stato attuale, danni significativi di piena siano attesi per l'evento con tempo di ritorno pari a 20 anni.

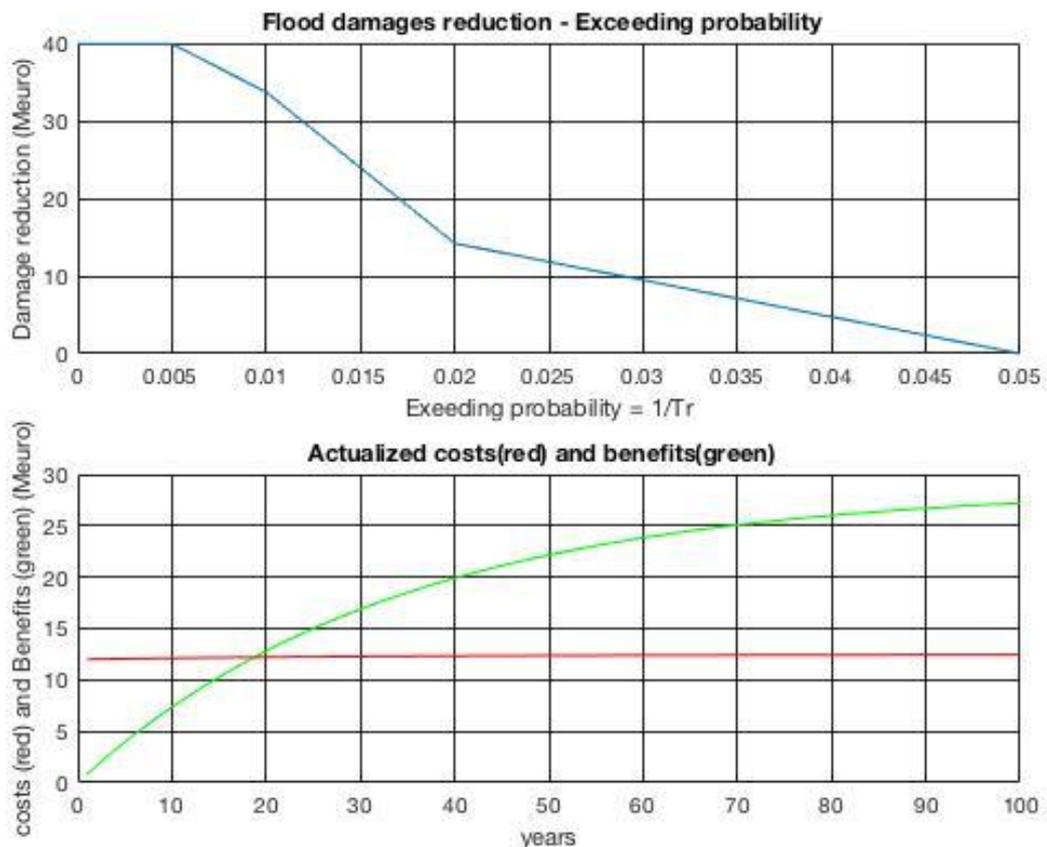


Figura 8.8.1 - Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici