

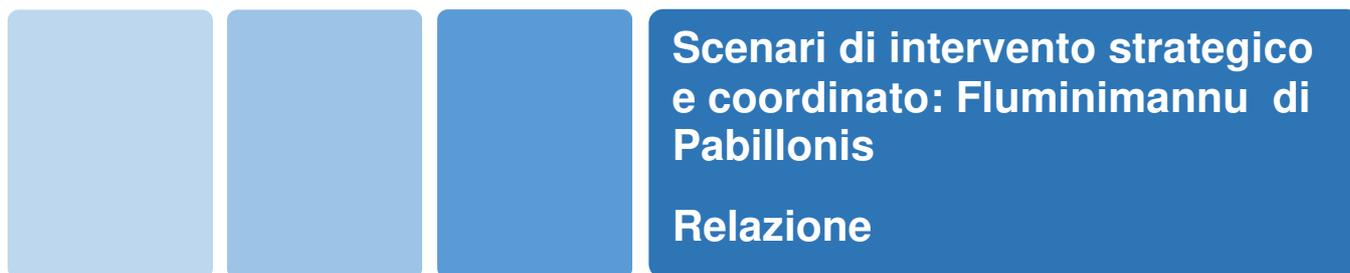


REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDÈNZIA
PRESIDENZA
AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

Piano di gestione del rischio di alluvioni

secondo ciclo di pianificazione



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



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

PRESIDÈNZIA
PRESIDENZA
AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

Autorità di Bacino della Sardegna

DIREZIONE GENERALE DELL'AGENZIA REGIONALE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA

Direttore Generale: Antonio Sanna

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

Coordinamento tecnico-amministrativo: Gianluigi Mancosu

Coordinamento operativo: Luisa Manigas

Elaborazioni GIS: Gian Luca Marras

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

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

Responsabile Scientifico: Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni GIS: Giovanni Cocco

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

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

DIREZIONE GENERALE DELLA PROTEZIONE CIVILE

Direttore Generale: Antonio Pasquale Belloi

Direttore del Servizio pianificazione e gestione delle emergenze: Mauro Merella

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

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

DIREZIONE GENERALE DEI LAVORI PUBBLICI

Direttore Generale: Piero Dau

Direttore del Servizio opere idriche e idrogeologiche: Costantino Azzena

Gruppo di lavoro: Roberta Daino, Alberto Spano

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

Per tutti gli approfondimenti: www.regione.sardegna.it/pianogestionerischioalluvioni



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	6
2	Descrizione sintetica del sistema idrografico: Bacino del Fluminimannu di Pabillonis.....	9
3	Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF	16
4	Aggiornamento della modellazione idraulica nella situazione attuale e confronto con le mappature del PSFF 26	
4.1	Premessa	26
4.2	Risultati della simulazione idraulica nello stato attuale (Scenario 0).....	29
4.2.1	Simulazione relativa al tratto di monte.....	29
4.2.2	Simulazione relativa al tratto di valle	36
4.2.3	Criticità specifiche attuali	43
4.2.4	Volumi di piena nelle aree esondate.....	49
5	Procedura operativa per il di calcolo del danno di piena nel Bacino del Fluminimannu di Pabillonis....	50
5.1	Danno di piena relativo allo stato attuale	52
6	Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno.....	55
6.1	Metodologia di individuazione degli interventi.....	55
6.2	Definizione tipologica delle opere di sistemazione idraulica	56
6.3	Tipologia degli interventi.....	57
6.3.1	Intervento tipo A – Apertura di una nuova luce nel ponte della S.S. 126	58
6.3.2	Intervento di tipo B – Demolizione del ponte della Ex S.S. 197	60
6.3.3	Intervento tipo C – Demolizione del ponte “San Gavino sud”	60
6.3.4	Intervento tipo D - Demolizione del ponte della S.S. 197	61
6.3.5	Intervento tipo E – Demolizione degli argini presso San Gavino Monreale, allargamento della sezione idraulica e realizzazione di nuovi argini.....	62
6.3.6	Intervento tipo F – Realizzazione dei nuovi canali colatori e delle opere di drenaggio del reticolo minore	64
6.3.7	Intervento tipo G - Realizzazione del nuovo ponte sulla S.S. 197	66
6.3.8	Intervento tipo H- Realizzazione del nuovo ponte sulla Strada provinciale ex S.S. 197.....	66



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

6.3.9	Intervento tipo M1 di manutenzione del tratto arginato compreso fra il ponte della S.S. 197 e la strada provinciale ex S.S. 197	66
6.3.10	Intervento tipo M2 di manutenzione del tratto arginato a valle del ponte della S.S. 126.....	66
6.4	Stima del costo di realizzazione degli interventi	66
7	Scenari di intervento	69
7.1	Criteri di individuazione.....	69
7.2	Scenario 0	69
7.3	Scenario 1	70
7.4	Scenario 2	72
8	Analisi Costi Benefici degli scenari di intervento.....	74
8.1	PREMESSE.....	74
8.2	INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA	74
8.3	ANALISI ECONOMICA DEGLI SCENARI D'INTERVENTO IPOTIZZATI	76
8.3.1	Scenario 0 – Situazione attuale	77
8.3.2	Scenario 1 – Interventi di urgenti di adeguamento del ponte S.S. 126.....	78
8.3.3	Scenario 2	79



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 - Inquadramento idrografico del Fluminimannu di Pabillonis.....	9
Figura 2 – Il Fluminimannu di Pabillonis e i principali affluenti.....	10
Figura 3 - Tratto tra la confluenza del riu Bruncu Fenugo ed il ponte della vecchia S.S. N. 197.....	12
Figura 4 –Fluminimannu presso Pabillonis.....	13
Figura 5 - Fluminimannu presso San Nicolò d'Arcidano.....	14
Figura 6 - Pericolosità idraulica nel comune di San Gavino - P.S.F.F.....	17
Figura 7 – Pericolosità idraulica comune di Pabillonis – P.S.F.F.....	18
Figura 8 - Pericolosità idraulica nel comune di San Nicolò d’Arcidano – P.S.F.F.....	19
Figura 9 - Pericolosità tratto finale arginato - P.S.F.F.....	20
Figura 10 – Confronto fra modello P.S.F.F. e modello P.G.R.A. – Tratto a monte	27
Figura 11 - Confronto fra modello P.S.F.F. e modello P.G.R.A. – Tratto di valle	28
Figura 12 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto presso San Gavino – Tr=50 anni	30
Figura 13 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto presso Pabillonis – Tr=50 anni.....	31
Figura 14 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto compreso fra Pabillonis e San Nicolò d’Arcidano – Tr=50 anni.....	32
Figura 15 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto presso San Gavino – Tr=100 anni	33
Figura 16 – Perimetrazione pericolosità idraulica - Tratto presso Pabillonis – Tr=100 anni.....	34
Figura 17 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Dettaglio comune di Pabillonis – Tr=100 anni.....	35
Figura 18 - Perimetrazione pericolosità idraulica - Tratto compreso fra Pabillonis e San Nicolò d’Arcidano – Tr=100 anni.....	35
Figura 19 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto arginato presso San Nicolò d’Arcidano - Tr=50 anni	37
Figura 20 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto focivo - Tr=50 anni.....	38
Figura 21 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto arginato presso San Nicolò d’Arcidano - Tr=100 anni	39
Figura 22 – Perimetrazione idraulica – Dettaglio abitato di San Nicolò d’Arcidano – Tr=100 anni	40
Figura 23 - Profilo longitudinale e sezione idraulica in prossimità del ponte della S.S. 126 – P.S.F.F.....	40
Figura 24 – Ponte sulla S.S. 126.....	41
Figura 25 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto focivo - Tr=100 anni.....	41
Figura 26 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto arginato presso San Nicolò d’Arcidano - Tr=200 anni	42
Figura 27 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto focivo - Tr=200 anni.....	43
Figura 28 - - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso.....	51



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 29 - Categorie di danno per le aree esondate del Fluminimannu di Pabillonis nel tratto di San Gavino (Tr=200 anni)	54
Figura 30 - Categorie di danno per le aree esondate del Fluminimannu di Pabillonis nel tratto di San Nicolò (Tr=200 anni)	54
Figura 31 – Ponte della S.S. 126 presso San Nicolò d’Arcidano (CBSM).....	58
Figura 32 - Ponte sulla strada S.S. 126 - Schematizzazione dello stato attuale	59
Figura 33 - - Ponte sulla strada S.S. 126 - Schematizzazione dell’intervento A.....	59
Figura 34 – Ponte della ex S.S. 197 presso San Gavino Monreale – Schematizzazioine dello stato attuale....	60
Figura 35 –Ponte “San Gavino Sud” – Vista sul ponte.....	61
Figura 36 –Ponte della S.S. 197 presso San Gavino Monreale (Ponte tangenziale ovest PSFF).....	61
Figura 37 – Fluminimannu presso San Gavino – Stato attuale – Tr=50 anni.....	62
Figura 38 – Realizzazione di una nuova sezione idraulica arginata presso San Gavino Monreale.....	63
Figura 39 - Schematizzazione della nuova sezione idraulica – In nero lo stato attuale e in rosso la nuova sezione.....	63
Figura 40 – Sistemazione della nuova sezione idraulica	64
Figura 41 – Scala delle portate – In blu la situazione attuale e in rosso la situazione ex post.....	64
Figura 42 – Stato attuale del controfosso destro del Fluminimannu di Pabillonis presso San Gavino	65
Figura 43 – Sistemazione della rete di drenaggio secondaria	65
Figura 44 - Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici	79
Figura 45 - Scenario 2: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici	80



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Sintesi delle superfici incrementalmente interessate dalle fasce di esondazione – P.S.F.F.	21
Tabella 2 - Simulazione argini non tracimabili - Tratto arginato presso San Gavino - P.S.F.F.	22
Tabella 3 - Simulazione argini non tracimabili - Tratto arginato a valle della S.S. 126 - P.S.F.F.	23
Tabella 4 – Livelli idrici e franchi idraulici in corrispondenza dei ponti sul Fluminimannu di Pabillonis – P.S.F.F.	24
Tabella 5 – Portate di deflusso di piena per il Fluminimannu di Pabillonis.....	28
Tabella 6 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte San Gavino Monreale (Ponte S.S.197).....	46
Tabella 7 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del Ponte Sud – S.Gavino Monreale	46
Tabella 8 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la Sezione arginata 28253	47
Tabella 9 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte sud-ovest San Gavino Monreale (ex S.S. 196).....	47
Tabella 10 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per una sezione tipo nel secondo tronco del tratto intermedio.....	48
Tabella 11 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per una sezione tipo nel tratto arginato focivo.....	48
Tabella 12 - Scenario 0 - Aree e volumi esondati	49
Tabella 13 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo	50
Tabella 14 - Danni e aree interessate dagli eventi di piena per categorie d'uso del suolo.....	53
Tabella 15 - Valutazione economica degli interventi	68
Tabella 16 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 0"	70
Tabella 17 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 0.....	70
Tabella 18 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"	71
Tabella 19 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 1.....	71
Tabella 20 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 2"	72
Tabella 21 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 2.....	73
Tabella 22 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate e stima del danno	77
Tabella 23 - Scenario 1: Estensione delle aree vulnerate e stima del danno totale per i diversi tempi di ritorno.....	78
Tabella 24 - Scenario 2: Estensione delle aree vulnerate e stima del danno totale per i diversi tempi di ritorno.....	79



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

1 Premesse

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

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

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

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

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

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

Ai fini operativi, come sarà meglio precisato nel seguito, si è concordato di realizzare una prima fase di modellazione replicando il funzionamento del modello HER-RAS di simulazione idraulica utilizzato in PSFF e considerando la base dati disponibile in tale studio. In tal modo è possibile verificare la congruità tra i risultati e le mappature date nel PSFF e quelli ottenuti con i modelli utilizzati dal DICAAR nella stessa situazione. In particolare è esaminata in questa fase di verifica l'estensione delle aree di pericolosità idraulica ai diversi tempi di ritorno.

Nelle fasi successive di modellazione idraulica, finalizzata alla pianificazione degli interventi di mitigazione del rischio di alluvione, si utilizzerà comunque di regola HEC-RAS. Ovviamente, in tali fasi successive saranno introdotti nel modello tutti quegli elementi conoscitivi, in particolare il modello digitale del terreno, che consentono una maggiore aderenza e dettaglio nella mappatura delle aree di esondazione e nelle valutazioni tecnico economiche. In specifico, la modellazione idraulica dovrà essere in grado di definire i battenti idrici nelle aree soggette ad alluvione per ottenere un'adeguata valutazione del danno atteso.

Si ricorda che in convenzione è previsto che nei tronchi idrici esaminati saranno individuati e studiati, a livello di fattibilità, gli interventi di sistemazione idraulica che si rendono necessari realizzare ex novo, ovvero gli interventi necessari per adeguare e integrare le opere di difesa esistenti, di modo da riportare nel territorio limitrofo al corso d'acqua le condizioni di pericolosità a livello compatibile con il corretto sviluppo del territorio.

Il presente studio è propedeutico alla realizzazione finale del Piano ed è previsto che gli interventi siano esaminati a livello di progetto di fattibilità delle opere, per ognuno dei tronchi critici analizzati. Dovrà pertanto essere prodotta la descrizione degli interventi di cui si prevede la realizzazione, oneri conseguenti e eventuali soluzioni alternative esaminate considerando differenti Scenari di intervento che siano



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

2 Descrizione sintetica del sistema idrografico: Bacino del Fluminimannu di Pabillonis

Il bacino del Fluminimannu di Pabillonis è situato nella Sardegna centro-occidentale ed appartiene alla Zona Idrografica n°2 del sub-bacino del Tirso. I risultati dello studio condotto nell'ambito della redazione Piano Stralcio delle Fasce Fluviali sono riportati nella relazione monografica e negli allegati denominata "Fluminimannu di Pabillonis" "Sub - bacino n°22".

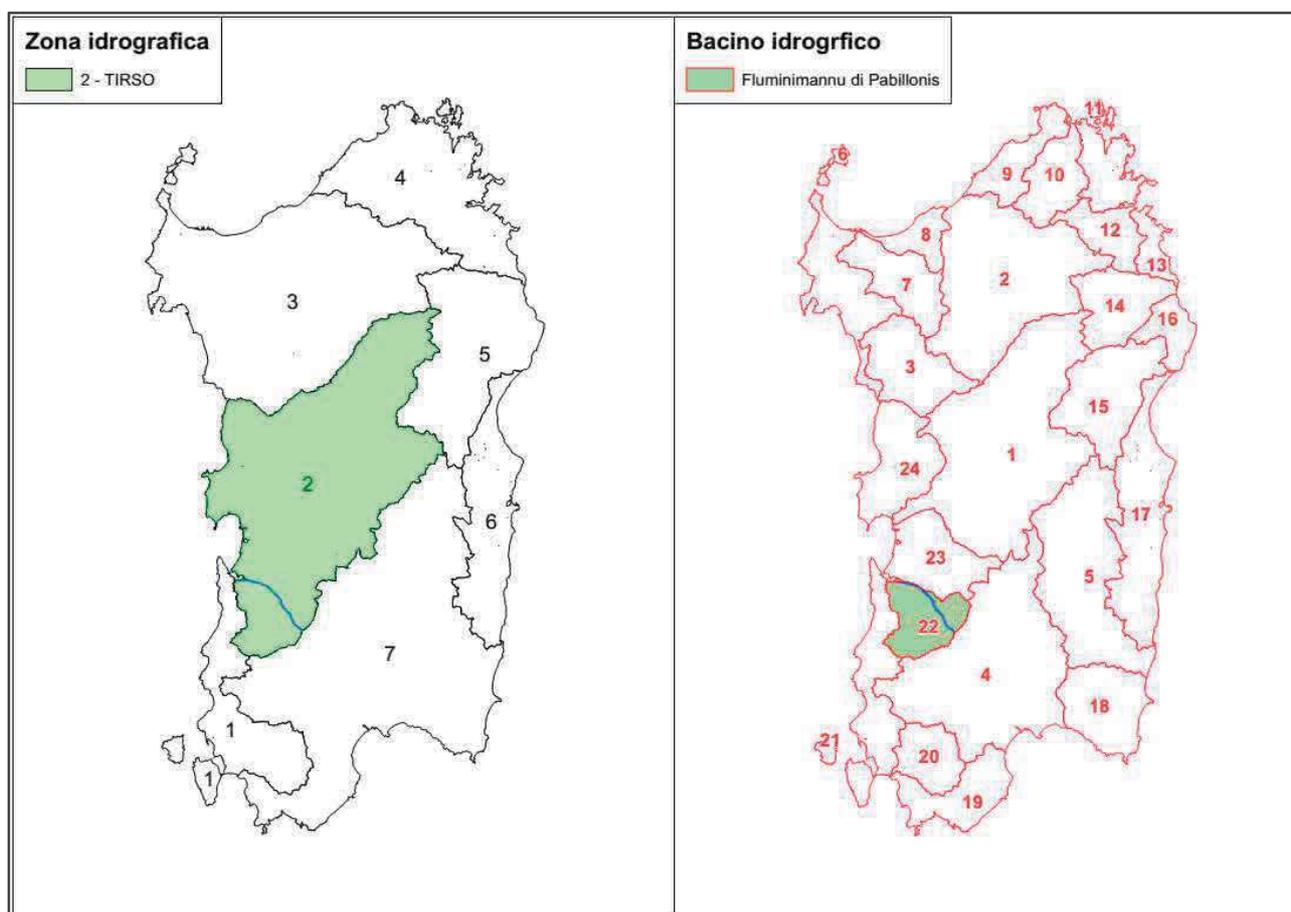


Figura 1 - Inquadramento idrografico del Fluminimannu di Pabillonis

Il tratto d'asta fluviale analizzato nel presente studio si sviluppa a partire dalla confluenza tra il Riu Bruncu Fenugu e il Torrente Seddanus e la foce nello stagno di San Giovanni, per una lunghezza di circa 30 chilometri.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Il bacino drenato, ha forma asimmetrica, sviluppandosi maggiormente nei rami in sinistra idraulica, ha una superficie di circa 433 km². In prossimità della foce vi è la confluenza con il torrente Sitzzerri, che contribuisce con un bacino di circa 140 km².

Gli affluenti principali sono due, entrambi in sinistra idraulica: il Riu Trottu, che ha una lunghezza di circa 10 km e un bacino di 19.5 km², e il Flumini Bellu, lungo circa 27 km, con 138 km² di bacino.

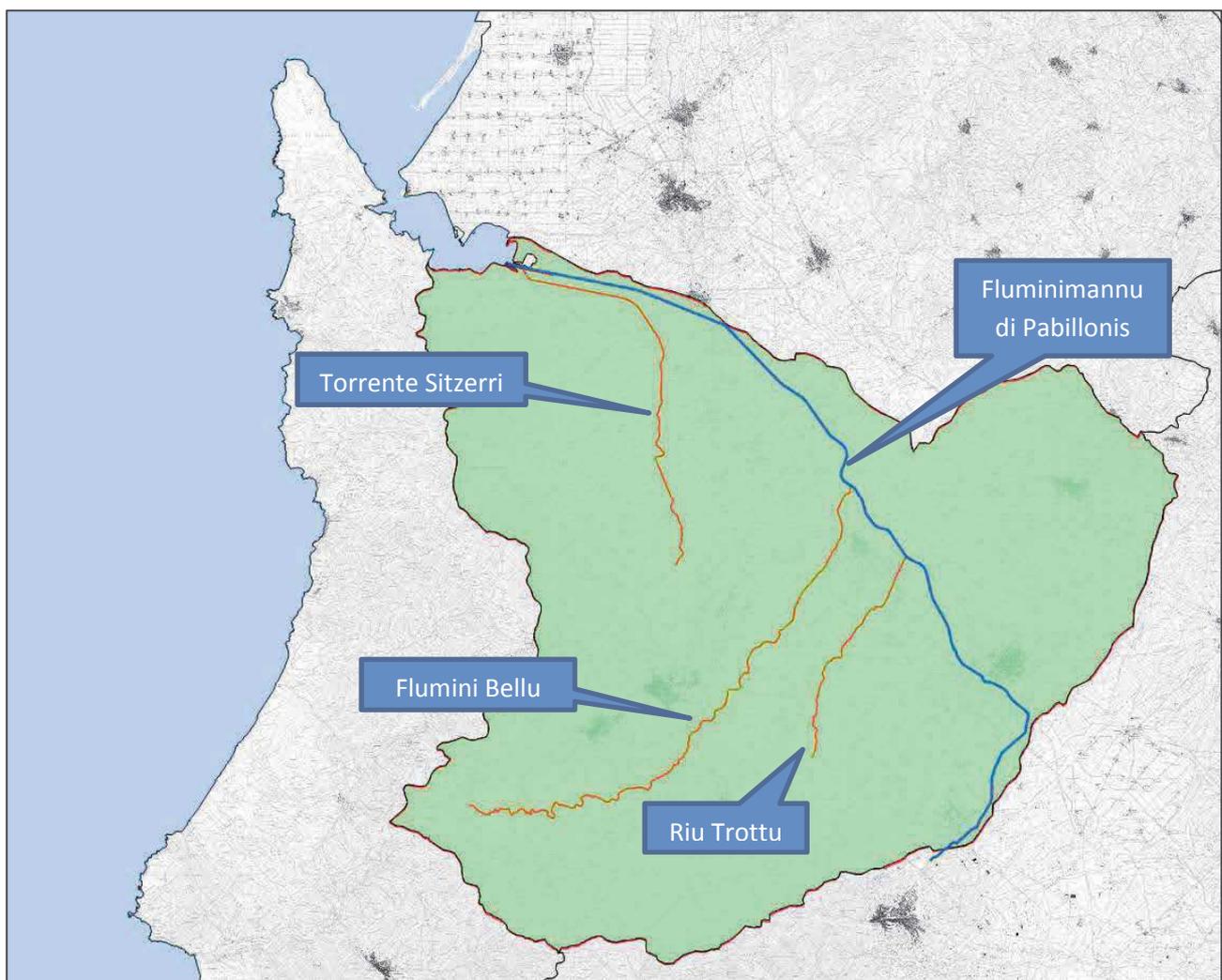


Figura 2 – Il Fluminimannu di Pabillonis e i principali affluenti

Si riportano alcuni stralci con la descrizione fornita nel P.S.F.F.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Il Flumini Mannu di Pabillonis drena il settore occidentale della piana del Campidano, nonché i rilievi collinari a nord e montani a sud che su di esso si affacciano.

Pertanto si tratta essenzialmente di un bacino di pianura in cui il substrato è costituito per lo più da depositi alluvionali recenti o plioleistocenici. Gli affluenti di sinistra sono i principali; hanno andamento SW-NE, con bacini di testata impostati sui rilievi montani che fanno capo al monte Linas, alla p.ta Mairu e alla p.ta s'Accoradroxius. Da destra arrivano esclusivamente alcuni corsi d'acqua secondari che drenano le colline presso Sandara.

L'alveo del Flumini Mannu di Pabillonis è da considerarsi artificiale pressoché su tutto il tratto oggetto di indagine. Gli interventi effettuati a più riprese sono consistiti sia nella risagomatura della sezione di deflusso, quasi ovunque in forma trapezia, sia nella rettificazione del tracciato. Alcuni tratti poi sono stati rivestiti, o dotati di difese spondali o, ancora, stabilizzati con la posa di briglie.

La pendenza dell'asta fluviale varia tra lo 1,5 e l'1,0% nel tratto iniziale a monte, di San Gavino di Monreale; una volta raggiunto l'asse principale di deflusso lungo la piana del Campidano, la pendenza scende attorno allo 0,2%, valore che permane sostanzialmente invariato fino alla foce.

Dall'esame della cartografia storica non si rilevano variazioni significative del tracciato; questo significa che gli interventi di canalizzazione e artificializzazione dell'alveo sono anteriori agli anni '50 del secolo scorso, (periodo a cui si riferisce la cartografia IGM, II levata, che costituisce il principale riferimento per questa analisi) e sono verosimilmente databili al periodo compreso tra le 2 guerre mondiali.

Nel seguito si riporta una sintesi dell'assetto difensivo per i diversi tronchi omogenei:

- **Tratto tra la confluenza del riu Bruncu Fenugo ed il ponte della vecchia S.S. N. 197 (sez. FP 058 – FP 054 del Piano Stralcio Fasce Fluviali):**

In corrispondenza del tratto in oggetto, il Flumini Mannu di Pabillonis è arginato con continuità su entrambe le sponde per uno sviluppo complessivo di circa 2,5 Km: si tratta di arginature in terra di dimensione modesta (di norma presentano un'altezza di 2-3 m e un coronamento largo meno di 3 m e sono dotati di piste di servizio solo a tratti, generalmente non più percorribili).

Lo stato di conservazione delle opere appare buono; tuttavia le caratteristiche dimensionali non sembrano garantire un livello di sicurezza idraulica adeguata, soprattutto tenendo conto della vicinanza dell'abitato di San Gavino Monreale, la cui periferia sud-ovest è a ridosso dell'argine destro in un tratto dove si ha l'interferenza di tre ponti stradali.

Oltre alle opere di contenimento dei livelli di piena non sono presenti altre opere di difesa idraulica, ad eccezione di due immissioni non regolate in calcestruzzo, realizzate immediatamente a valle del ponte della vecchia SS 197, dove terminano gli argini sopra 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

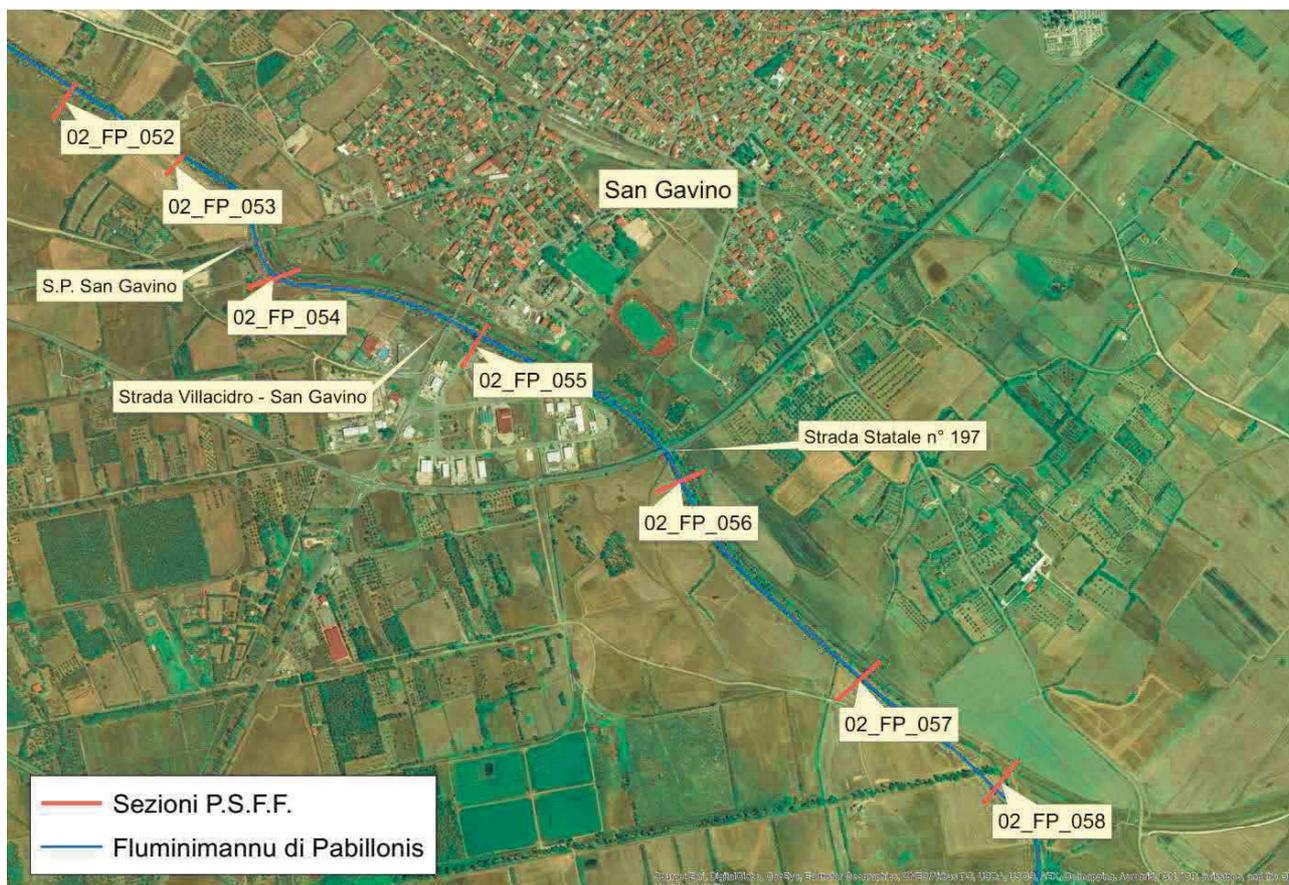


Figura 3 - Tratto tra la confluenza del riu Brunco Fenugo ed il ponte della vecchia S.S. N. 197

- **Tratto tra il ponte della vecchia SS 197 ed il ponte della SS 126 (sez. FP 054 – FP 016 del Piano Stralcio Fasce Fluviali)**

Lungo il tratto in oggetto non vi sono opere di contenimento dei livelli di piena ed opere di canalizzazione rigide; tuttavia il corso d'acqua è stato oggetto di sostanziali interventi di risagomatura della sezione e di rettifica del tracciato.

Allo scopo di stabilizzare l'alveo sia sotto l'aspetto planimetrico che altimetrico, sono state realizzate diverse opere di difesa sponale e briglie tutte, concentrate nel tronco a valle della confluenza del Flumini Bellu.

Per quanto riguarda le briglie, si tratta di 26 manufatti in calcestruzzo con gaveta centrale, dotati di una platea anch'essa in calcestruzzo della lunghezza di circa 5 m. Il salto non è mai superiore al metro e spesso risulta completamente obliterato dai processi di sovralluvionamento. Nessuna di tali opere risulta danneggiata o a rischio di scalzamento; si nota invece la citata tendenza al sovralluvionamento



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

che, nel tempo, potrebbe comportare, in mancanza di manutenzione, il completo interrimento, con sviluppo della vegetazione.

Per stabilizzare le sponde sono state invece diffusamente utilizzate difese di sponda in materassi tipo Reno. Si tratta di opere con sezione tipo sostanzialmente costante, alte circa 4 m, con paramento inclinato e con piede che si estende per circa una decina di metri fino ai bordi dell'alveo di magra. Nel complesso, a parte qualche elemento aperto, non sono stati osservati danni significativi a tali opere, la cui reale estensione è talora mascherata dalla presenza di vegetazione.

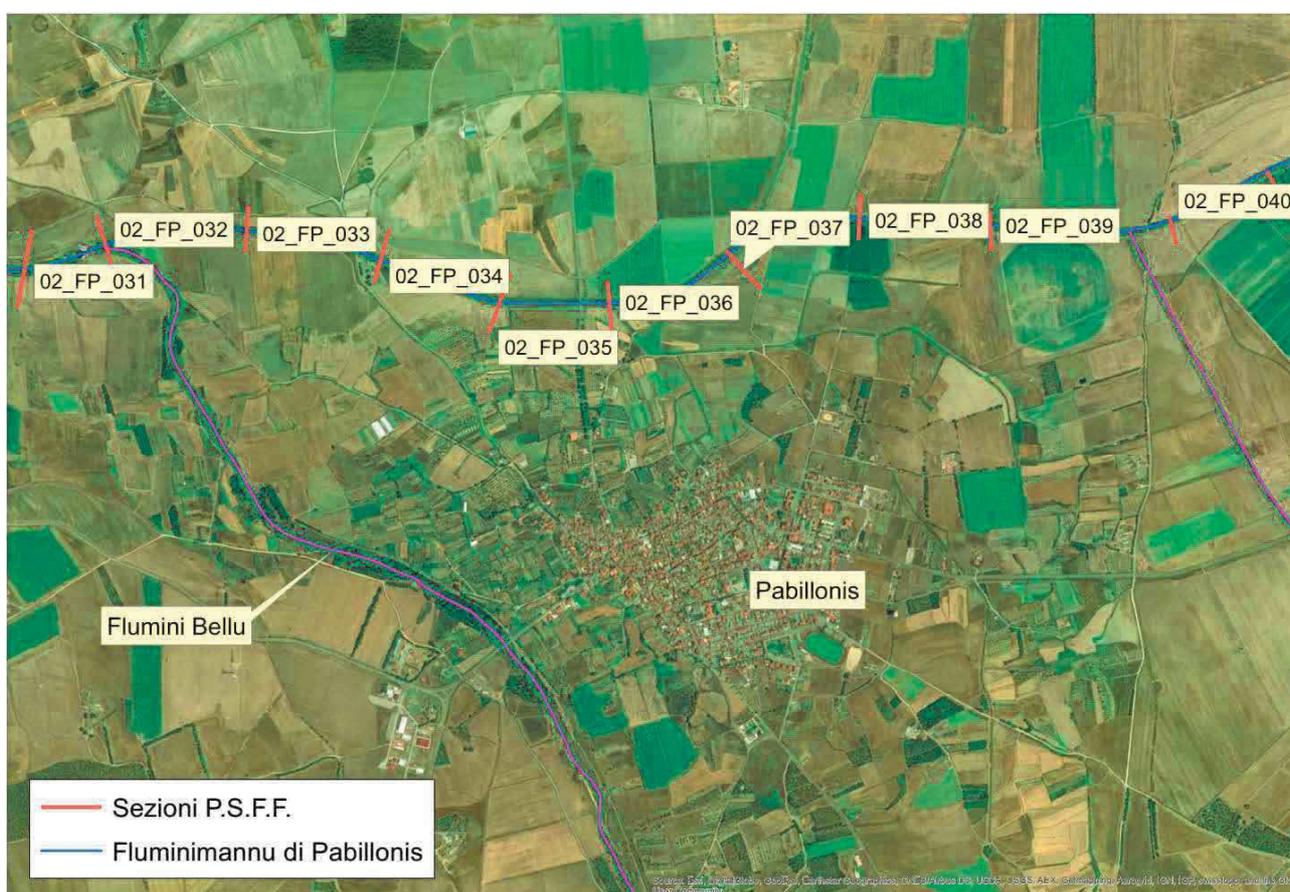


Figura 4 –Fluminimannu presso Pabillonis

- **Tratto tra il ponte della SS 126 e la foce presso lo stagno di San Giovanni (sez. FP 016 – FP 001 del Piano Stralcio Fasce Fluviali)**

Il tratto terminale del Flumini Mannu di Pabillonis torna ad essere arginato con continuità su entrambe le sponde fin quasi alla foce, per una estensione complessiva di circa 7 km. Si tratta di argini



in terra, realizzati a cavallo dell'ultimo conflitto mondiale, che di norma presentano un'altezza di 3-4 m e un coronamento largo 3 m, sul quale in origine erano state realizzate delle piste di servizio, ora spesso non più percorribili.

Nel complesso il sistema arginale appare sostanzialmente integro e privo interruzioni significative, benché vi siano brevi tratti in cui il coronamento risulta moderatamente ribassato per lo più per il passaggio di greggi di pecore.

Sul lato fiume, in genere per brevi tratti, sono state poste delle protezioni in lastre di calcestruzzo. Tali rinforzi sono stati posizionati in modo sistematico in corrispondenza delle rampe di accesso alle aree golenali e ai ponti.

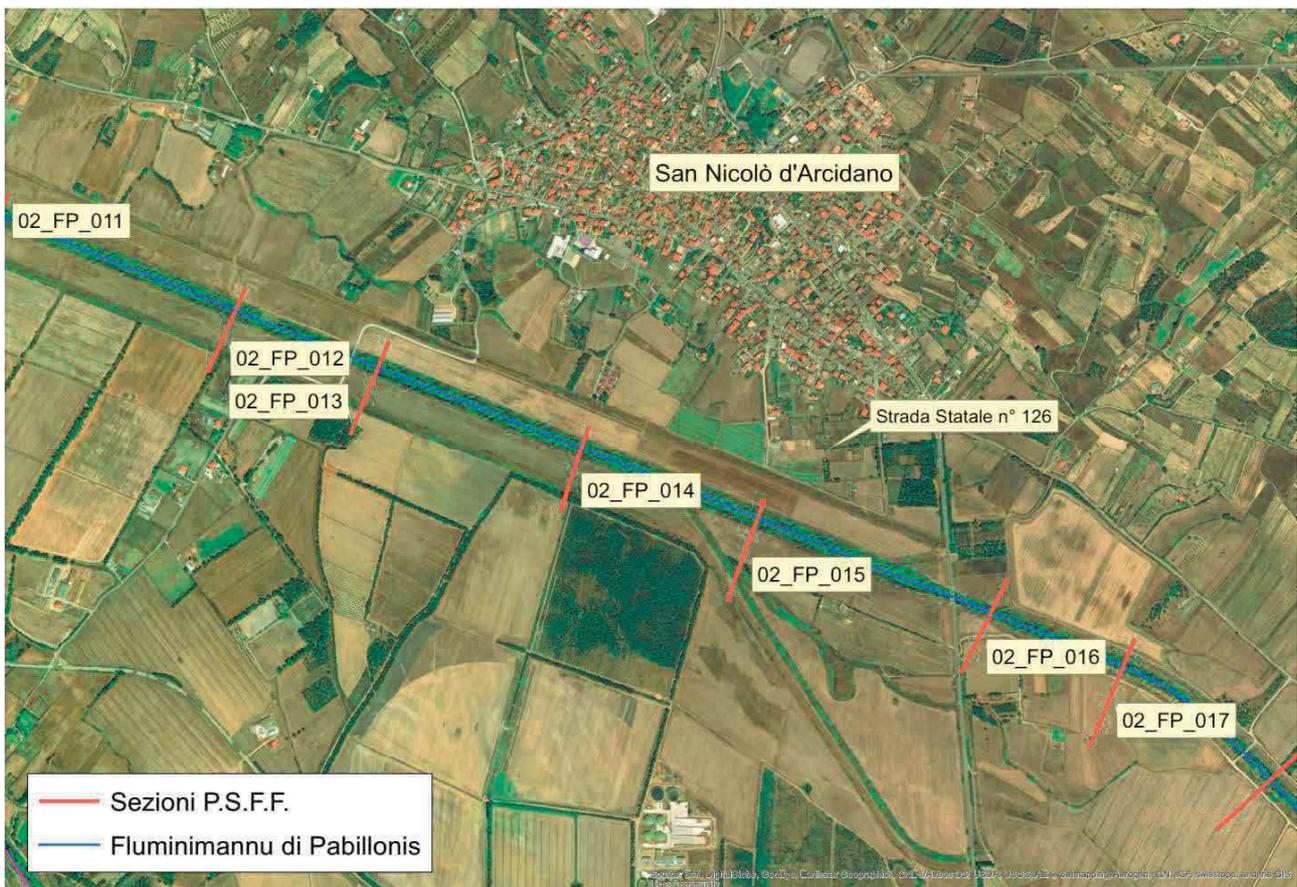


Figura 5 - Fluminimannu presso San Nicolò d'Arcidano



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

Se si esclude il tratto in cui il fiume costeggia il comune di San Gavino, lo sviluppo del Fluminimannu avviene prevalentemente in area extra urbana, ciò nonostante sono presenti numerose attraversamenti di infrastrutture stradali di diversa importanza.

Di seguito vengono elencate quelle studiate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, in grassetto le più importanti:

- **Ponte della strada tangenziale di San Gavino Monreale (Nuova S.S. 197)**
- **Ponte Sud S. Gavino Monreale (SP IPIS)**
- **Ponte Sud-Ovest S. Gavino Monreale (ex S.S. 197)**
- Ponte località Funtana e Canna - S. Gavino Monreale
- Ponte località Perda Mois - S. Gavino Monreale
- **Ponte strada comunale Pabillonis – San Gavino Monreale**
- Ponte strada vicinale Santa Severa
- Ponte strada vicinale di Montangesa
- **Ponte Strada Provinciale di S.Maria**
- Ponte presso il depuratore Pabillonis
- Ponte località Isca
- Ponte località Serra Ponti
- Ponte località Bau su Molenti
- Ponte località Bau sa Perdixedda
- **Ponte S.S. 126 presso San Nicolò d'Arcidano**
- Ponte San Nicolò d'Arcidano Ovest
- Ponte località Bau Angius



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3 Pericolosità idrauliche documentate nel PSFF

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

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

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

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

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

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

Il Fluminimannu di Pabillonis, se si esclude il tratto che costeggia l'abitato di San Gavino, si sviluppa in area extraurbana. Tutto il corso d'acqua risulta regimato, generalmente canalizzato in una sezione trapezia che



per alcuni tratti è rivestita con lastre in calcestruzzo. In prossimità dell'abitato di San Gavino e nel tratto finale, lungo circa 7 km, compreso fra la strada statale 126 e la foce, sono presenti opere di difesa arginale.

Le perimetrazioni della pericolosità idraulica ottenute nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali evidenziano un'insufficienza idraulica delle sezioni lungo tutto il tratto compreso fra la confluenza con il Bruncu Fenugu e il ponte sulla S.S. 125, già per la portata relativa al tempo di ritorno cinquantennale. La configurazione della valle fa sì che le esondazioni relative a tempi di ritorno superiori coincidano con quelle relative alla piena cinquantennale. Se si esclude il tratto compreso fra la S.S. 197 e la S.P. di Santa Maria, le fasce di esondazione interessano aree con uso prettamente agricolo.

Le principali criticità vengono riassunte nel P.S.F.F. come di seguito riportato:

Lungo tutto il tratto, il corso d'acqua denota forti esondazioni già per la piena con tempo di ritorno cinquantennale, con l'eccezione del tronco arginato terminale, dove i livelli risultano contenuti per tutte le portate di piena. Gli allagamenti interessano le zone golenali su entrambe le sponde, con estensione trasversale che in alcuni tratti supera il valore di 1 km e altezze idriche prossime a 2 m.

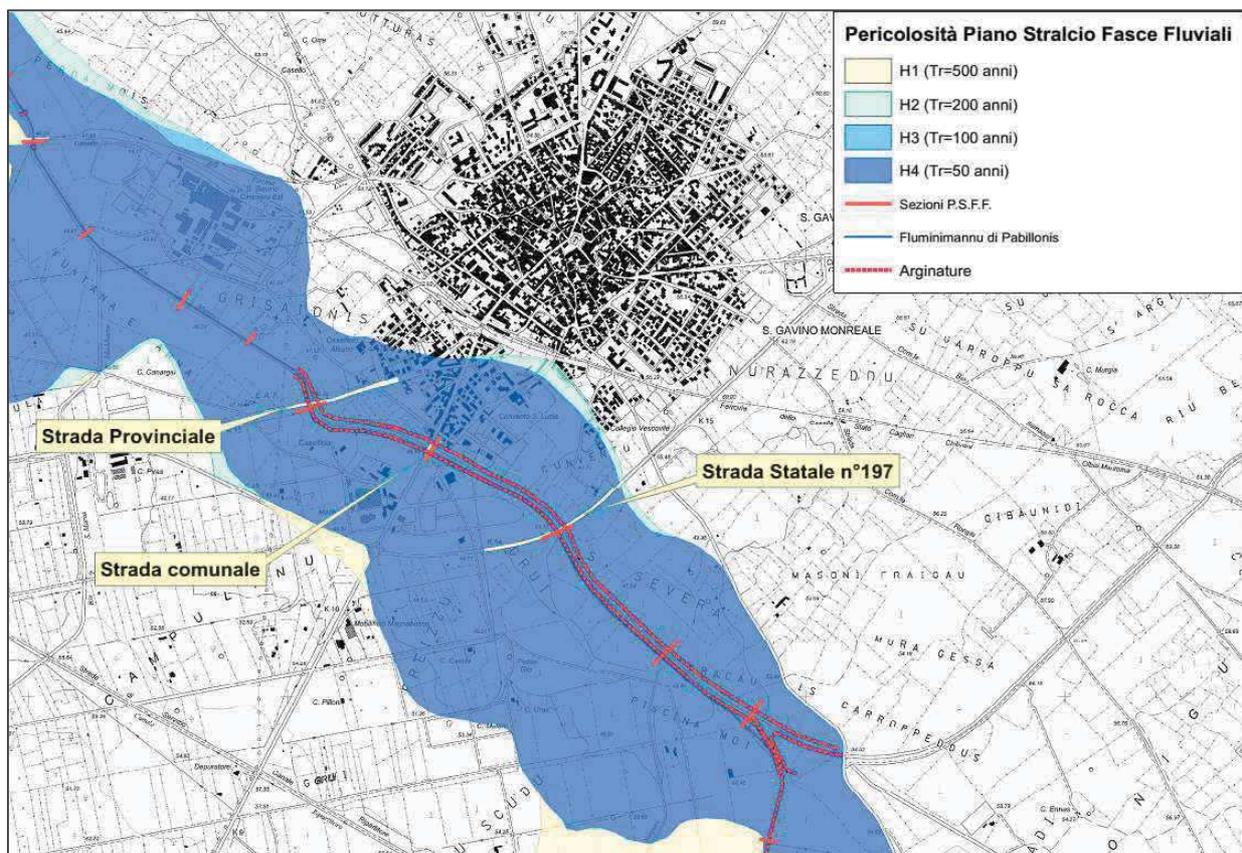


Figura 6 - Pericolosità idraulica nel comune di San Gavino - P.S.F.F.



Le velocità determinano condizioni di corrente lenta per tutto il tronco e sono mediamente comprese tra 1 m/s e 2 m/s, con valori massimi superiori a 6 m/s in presenza di soglie. L'arginatura in prossimità di S. Gavino Monreale (Figura 6) è in grado di contenere la portata con tempo di ritorno di 2 anni, mentre risulta insufficiente per quella di 50 anni; il rigurgito provocato dai ponti è molto rilevante e contribuisce quindi a ridurre la capacità di deflusso del tronco relativo.

Le esondazioni coinvolgono la zona sud-occidentale dell'abitato di S. Gavino Monreale, qualche insediamento periferico di Pabillonis (Figura 7) ed edifici isolati presenti nella piana alluvionale. I ponti presenti nel tratto vallivo risultano idraulicamente inadeguati al passaggio di portate con tempo di ritorno cinquantennale: per portate superiori si riscontra il sormonto delle strutture con elevati effetti di rigurgito o esondazioni con probabili transitori critici per l'attraversamento. Risulta adeguato solamente il ponte della strada comunale Pabillonis-S. Gavino Monreale (sez. 46).

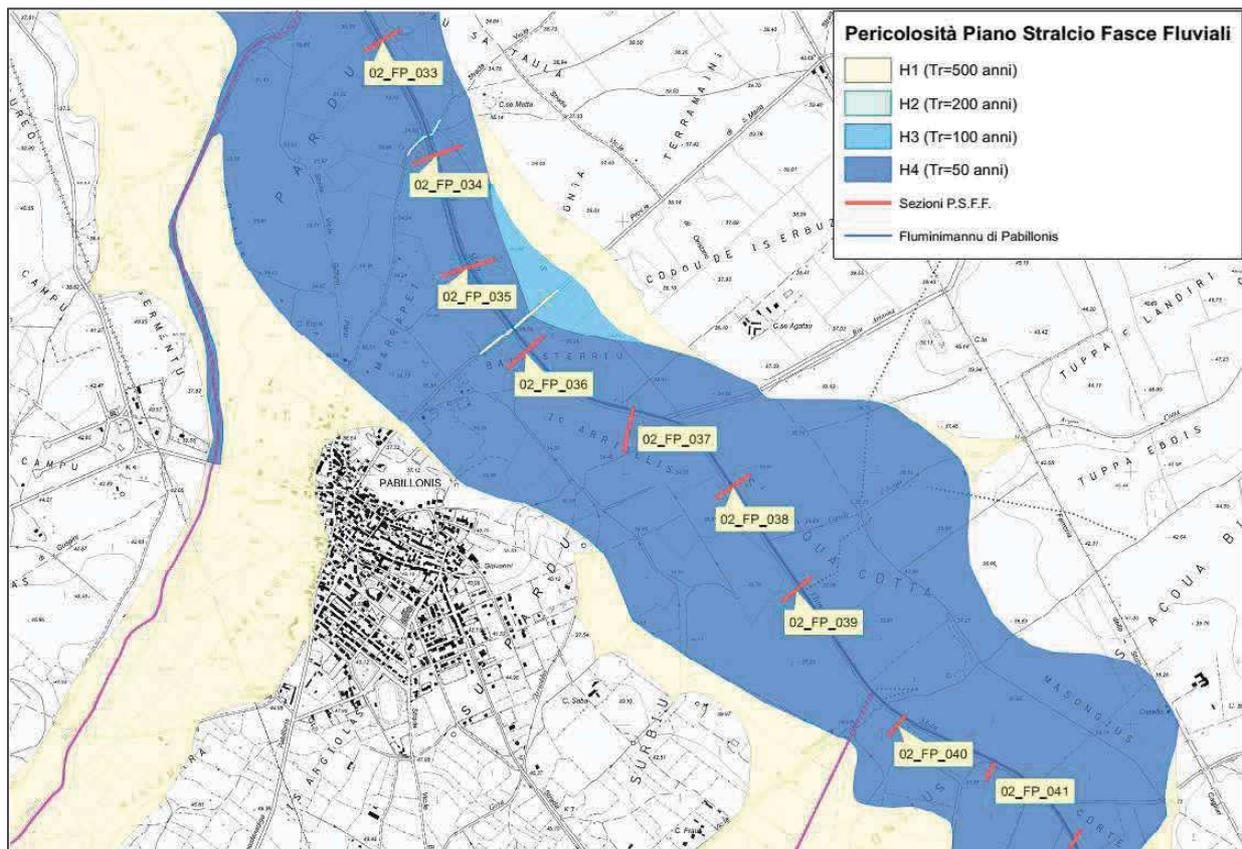


Figura 7 – Pericolosità idraulica comune di Pabillonis – P.S.F.F.



significative a partire dalla località Serra e Fogu, dove avviene il raccordo con la perimetrazione della fascia omologa del riu Sitzzerri in sinistra e del riu Mogoro in destra.

Si passa dai circa 500 m di larghezza in corrispondenza dell'abitato di Pabillonis, ai circa 1900 m a valle della località Bau Arena, agli oltre 2,5 km in corrispondenza dello sbocco nello Stagno di San Giovanni.

Rientrano nella fascia C alcuni settori periferici dell'abitato di San Nicolò d'Arcidano, adiacenti al campo sportivo; per il resto, le aree allagabili comprendono solo territori ad uso agricolo con qualche raro insediamento rurale di dimensioni ridotte.

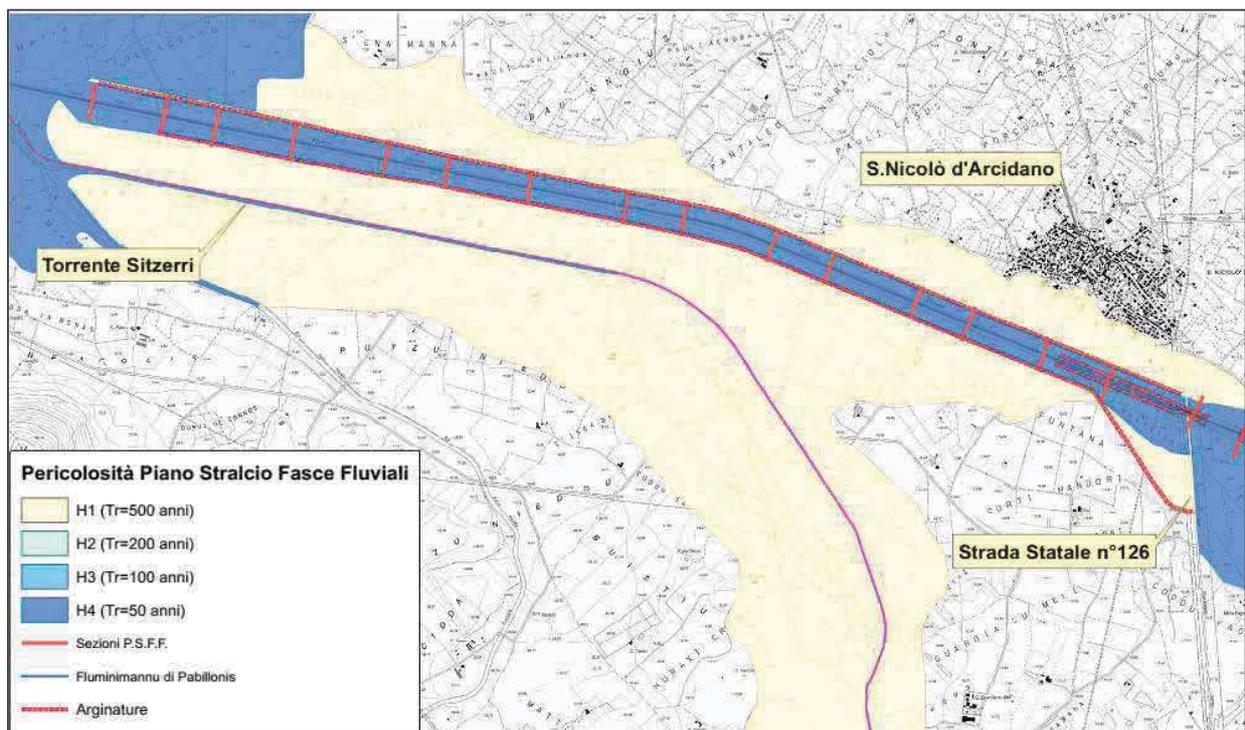


Figura 9 - Pericolosità tratto finale arginato - P.S.F.F.

Gli affluenti secondari risultano mappati con la sola fascia C geomorfologica:

Sul Flumini Bellu le fasce sono state tracciate seguendo nel tratto montano i limiti del fondovalle e in quello di pianura il fondovalle alluvionale compreso tra due superfici terrazzate abbastanza facilmente riconoscibili. All'interno della fascia C, oltre a diverse abitazioni rurali isolate e ad alcuni impianti di lavorazioni inerti, ricadono alcune abitazioni facenti parte del settore occidentale dell'abitato di Pabillonis.

Sul riu Trottu mancano forme geomorfologiche certe a cui riferirsi per il tracciamento della fascia; ci si è pertanto attestati, per lo più, lungo le fasce altimetricamente più elevate su cui corrono gli spartiacque con i



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

bacini limitrofi. Con tali criteri all'interno delle fascia C ricadono esclusivamente alcune cascine o fabbricati rurali isolati.

Il riu Sitzzerri è sostanzialmente un canale di gronda che raccoglie le acque di alcuni affluenti di sinistra del Flumini Mannu di Pabillonis per addurle direttamente nei pressi della foce di quest'ultimo corso d'acqua. Pertanto non vi sono strutture o forme geomorfologiche su cui attestare le fasce, visto che si tratta essenzialmente di un tracciato artificiale. In conseguenza di ciò si è fatto riferimento ai tratti più rilevati della superficie topografica, fermo restando che, in ultima analisi, buona parte della porzione di territorio che ricade tra il torrente Sitzzerri, a valle della gora di Maureddi, e il Flumini Mannu di Pabillonis, a valle della confluenza del Flumini Bellu, potrebbe essere raggiunta dalle acque in caso di riattivazione dell'originale reticolo idrografico. All'interno delle fasce ricadono esclusivamente alcune cascine isolate; anche nel caso dovesse riattivarsi il reticolo idrografico originale non sono a rischio centri o nuclei abitati di qualche rilevanza.

Nella Tabella 1 si riportano le superfici incrementali interessate dalla esondazione a per i diversi tempi di ritorno, come valutate dal P.S.F.F.

Tabella 1 - Sintesi delle superfici incrementali interessate dalle fasce di esondazione – P.S.F.F.

Corso d'acqua	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]
F. di Pabillonis	2809.99	24.06	29.27	1604.00
Flumini Bellu	-	-	-	878.68
Riu Trottu	-	-	-	746.63
Torrente Sitzzerri	-	-	-	1271.89



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

Al fine di determinare la capacità massima di deflusso in prossimità dei ponti e tratti arginati, è stata sviluppata la simulazione idraulica imponendo l'assenza di tracimazione. Nella Tabella 2 sono riportati i risultati delle analisi condotte nel PSFF in condizioni di "argini non tracimabili" in corrispondenza del tratto arginato nei pressi dell'abitato di San Gavino Monreale.

Come si può osservare, tutto il tratto arginato risulta insufficiente a garantire il contenimento del deflusso di piena già a partire dalla portata con tempo di ritorno cinquantennale.

Tabella 2 - Simulazione argini non tracimabili - Tratto arginato presso San Gavino - P.S.F.F.

Descrizione	ID sezione	Quota argine [m.s.l.m.]	P.L. T=2 anni	P.L. T=50 anni	P.L. T=100 anni	P.L. T=200 anni	F T=500 anni	F T=2 anni	F T=50 anni	F T=100 anni	F T=200 anni	F T=500 anni
Argine Sinistro	58	53,27	52,40	54,82	55,16	55,46	55,84	0,87	-1,55	-1,89	-2,19	-2,57
	57	52,78	51,72	54,48	54,80	55,09	55,44	1,06	-1,70	-2,02	-2,31	-2,66
	56.4	52,02	50,87	54,21	54,50	54,76	55,07	1,15	-2,19	-2,48	-2,74	-3,05
	56.2	52,02	50,71	52,99	53,30	53,61	53,99	1,31	-0,97	-1,28	-1,59	-1,97
	55.4	50,68	49,51	52,29	52,59	52,88	53,24	1,17	-1,61	-1,91	-2,20	-2,56
	55.2	50,68	49,43	51,89	52,24	52,58	53,00	1,25	-1,21	-1,56	-1,90	-2,32
	54.4	50,50	48,40	51,07	51,42	51,75	52,15	2,10	-0,57	-0,92	-1,25	-1,65
	54.2	50,50	48,18	49,65	49,87	50,10	50,38	2,32	0,85	0,63	0,40	0,12
Argine destro	58	53,10	52,40	54,82	55,16	55,46	55,84	0,70	-1,72	-2,06	-2,36	-2,74
	57	52,78	51,72	54,48	54,80	55,09	55,44	1,06	-1,70	-2,02	-2,31	-2,66
	56.4	52,05	50,88	54,21	54,50	54,76	55,07	1,18	-2,17	-2,45	-2,71	-3,02
	56.2	52,05	50,71	52,99	53,30	53,61	53,99	1,34	-0,94	-1,25	-1,56	-1,94
	55.4	50,78	49,51	52,29	52,59	52,88	53,24	1,27	-1,51	-1,81	-2,10	-2,46
	55.2	50,78	49,43	51,89	52,24	52,58	53,00	1,35	-1,11	-1,46	-1,80	-2,22
	54.4	50,33	48,40	51,07	51,42	51,75	52,15	1,93	-0,74	-1,09	-1,40	-1,82
	54.2	50,33	48,18	49,65	49,87	50,10	50,38	2,15	0,68	0,46	0,23	-0,05

Nella Tabella 3 sono rappresentati i risultati della simulazione con argini non tracimabili per il tratto arginato a valle del ponte della S.S. 126. In questo caso si può osservare come gli argini siano in grado di contenere le portate di piena relative a tutti i tempi di ritorno. Per Quanto riguarda la fascia C:

Relativamente alla fascia C retrostante le arginature, essa dipende delle possibili esondazioni del Flumini Mannu di Pabillonis in corrispondenza delle sezioni di monte e degli apporti del reticolo secondario, che le conferiscono un andamento abbastanza irregolare, con ampiezze crescenti verso valle, che diventano significative a partire dalla località Serra e Fogu, dove avviene il raccordo con la perimetrazione della fascia omologa del riu Sitzerru in sinistra e del riu Mogoro in 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

Tabella 3 - Simulazione argini non trascinabili - Tratto arginato a valle della S.S. 126 - P.S.F.F.

Descrizione	ID sezione	Quota argine [m.s.l.m.]	P.L. T=2 anni	P.L. T=50 anni	P.L. T=100 anni	P.L. T=200 anni	F T=500 anni	F T=2 anni	F T=50 anni	F T=100 anni	F T=200 anni	F T=500 anni
Argine Sinistro	15	14,29	7,08	10,13	9,37	10,97	11,46	7,21	4,16	4,92	3,32	2,83
	14	12,71	6,66	9,88	10,25	10,59	11,01	6,05	2,83	2,46	2,12	1,70
	13.4	11,40	6,06	9,35	9,68	9,98	10,37	5,34	2,05	1,72	1,42	1,03
	13.2	11,40	6,01	9,06	9,44	9,78	10,21	5,39	2,34	1,96	1,62	1,19
	12	11,75	5,62	8,63	8,99	9,31	9,73	6,13	3,12	2,76	2,44	2,02
	11	11,21	4,56	7,47	7,86	8,21	8,64	6,65	3,74	3,35	3,00	2,57
	10	10,24	3,88	6,91	7,29	7,62	8,05	6,36	3,33	2,95	2,62	2,19
	9	9,50	3,06	6,17	6,53	6,85	7,26	6,44	3,33	2,97	2,65	2,24
	8.4	8,92	2,55	5,78	6,12	6,41	6,81	6,37	3,14	2,80	2,51	2,11
	8.2	8,92	2,51	5,40	5,77	6,12	6,57	6,41	3,52	3,15	2,80	2,35
	7	7,90	2,01	4,25	4,70	5,09	5,58	5,89	3,65	3,20	2,81	2,32
	6	5,84	2,00	4,11	4,51	4,87	5,33	3,84	1,73	1,33	0,97	0,51
	5	6,61	1,91	3,77	4,15	4,50	4,94	4,70	2,84	2,46	2,11	1,67
	4	5,54	1,88	3,36	3,72	4,04	4,45	3,66	2,18	1,82	1,50	1,09
	3	5,04	1,84	2,97	3,28	3,57	3,94	3,20	2,07	1,76	1,47	1,10
2	5,77	1,81	2,29	2,52	2,77	3,10	3,96	3,48	3,25	3,00	2,67	
Argine destro	15	13,89	7,08	10,13	9,37	10,97	11,46	6,81	3,76	4,52	2,92	2,43
	14	12,12	6,66	9,88	10,25	10,59	11,01	5,46	2,24	1,87	1,53	1,11
	13.4	11,74	6,06	9,35	9,68	9,98	10,37	5,68	2,39	2,06	1,76	1,37
	13.2	11,74	6,01	9,06	9,44	9,78	10,21	5,73	2,68	2,30	1,96	1,53
	12	11,16	5,62	8,63	8,99	9,31	9,73	5,54	2,53	2,17	1,85	1,43
	11	10,62	4,56	7,47	7,86	8,21	8,64	6,06	3,15	2,76	2,41	1,98
	10	9,65	3,88	6,91	7,29	7,62	8,05	5,77	2,74	2,36	2,03	1,60
	9	8,91	3,06	6,17	6,53	6,85	7,26	5,85	2,74	2,38	2,06	1,65
	8.4	8,33	2,55	5,78	6,12	6,41	6,81	5,78	2,55	2,21	1,92	1,52
	8.2	8,33	2,51	5,40	5,77	6,12	6,57	5,82	2,93	2,56	2,21	1,76
	7	7,31	2,01	4,25	4,70	5,09	5,58	5,30	3,06	2,61	2,22	1,73
	6	5,25	2,00	4,11	4,51	4,87	5,33	3,25	1,14	0,74	0,38	-0,08
	5	6,02	1,91	3,77	4,15	4,50	4,94	4,11	2,25	1,87	1,52	1,08
	4	4,95	1,88	3,36	3,72	4,04	4,45	3,07	1,59	1,23	0,91	0,50
	3	5,06	1,84	2,97	3,28	3,57	3,94	3,22	2,09	1,78	1,49	1,12
2	5,18	1,81	2,29	2,52	2,77	3,10	3,37	2,89	2,66	2,41	2,08	



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 – Livelli idrici e franchi idraulici in corrispondenza dei ponti sul Fluminimannu di Pabillonis – P.S.F.F.

	ID sezione	Quota intrado sso	Pelo libero [m.s.l.m.]					Franco [m]				
			T=2	T=50	T=100	T=200	T=500	T=2	T=50	T=100	T=200	T=500
Ponte SS 197	56.3	52,33	50,60	54,14	54,41	54,50	54,83	1,73	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte Sud - S.Gavino Monreale	55.3	49,94	48,97	52,09	52,39	52,53	52,90	0,97	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte Sud-Ovest S.Gavino Monreale	54.3	49,55	48,26	51,39	51,70	51,59	52,00	1,29	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte loc. Funtana e Canna	51.3	45,55	45,44	48,19	48,38	48,71	49,15	0,11	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte loc. Perda Mois -	50.3	46,22	45,50	47,97	48,02	48,13	48,26	0,72	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte strada Pabillonis-S.Gavino Monreale	46.3	43,84	41,66	42,47	42,57	42,66	42,78	2,18	1,37	1,27	1,18	1,06
Ponte strada S.Severa	45.3	40,88	40,72	41,68	41,75	41,81	41,88	0,16	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte Strada Montangesa	40.3	37,01	37,17	38,38	38,48	38,77	39,25	-0,16	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte S.P. di S.Maria	36.3	37,82	34,47	37,04	37,44	38,62	39,11	3,35	0,78	0,38	Sor.	Sor.
Ponte depuratore Pabillonis	34.3	33,50	32,76	35,26	35,45	35,64	35,87	0,74	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte de s'Isca	28.3	27,33	23,28	25,80	26,29	26,76	29,08	4,05	1,53	1,04	0,57	Sor.
Serra Ponti	25.3	23,57	20,15	25,00	25,54	25,61	26,33	3,42	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte loc. Bau su Molenti	23.3	21,30	17,47	20,24	20,22	20,61	23,06	3,83	1,06	1,08	0,69	Sor.
Ponte loc. Bau sa Perdixedda	18.3	14,02	10,61	13,50	13,65	13,76	16,17	3,41	0,52	0,37	0,26	Sor.
Ponte S.S.126	16.3	13,42	8,35	13,39	13,65	13,79	13,92	5,07	0,03	-0,23	-0,37	-0,50
Ponte S.Nicolò d'Arcidano Ovest	13.3	7,57	6,06	9,35	9,68	9,98	10,37	1,51	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.
Ponte loc. Bau Angius	8.3	3,90	2,55	5,78	6,12	6,41	6,81	1,35	Sor.	Sor.	Sor.	Sor.



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 Tabella 4 sono riportati i livelli idrici e i franchi idraulici in prossimità degli attraversamenti considerati per le portate al colmo relative ai tempi di ritorno di 2, 50, 100, 200 e 500 anni.

Il ponte sulla strada comunale San Gavino – Pabillonis è l'unico che è in grado di garantire il transito della portata di piena in condizioni di franco adeguato per tutti i tempi di ritorno.

Il ponte sulla S.S. 126, pur non venendo sormontato, non consente un transito con adeguato franco idraulico già per la portata relativa al tempo di ritorno di 50 anni, mentre tutti gli altri ponti, ad eccezione di due ponticelli minori, vengono sormontati.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

4.1 PREMESSA

La necessità di operare una ulteriore modellazione idraulica dello stato attuale del Fluminimannu di Pabillonis si è resa evidente, fin dall'esame del bacino pilota considerato nel P.G.R.A. al fine di conseguire un livello più dettagliato degli scenari di allagamento e la quantificazione dei danni attesi.

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

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

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

La differenza fra il modello del PSFF e il modello del DICAAR, pertanto, è sostanzialmente concentrata nella numerosità e dettaglio delle sezioni trasversali utilizzate: infatti, mentre nel PSFF sono state utilizzate 58 sezioni principali piane e normali all'asse del fiume per la simulazione del tratto studiato, nel presente studio sono state considerate 225 sezioni.

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



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

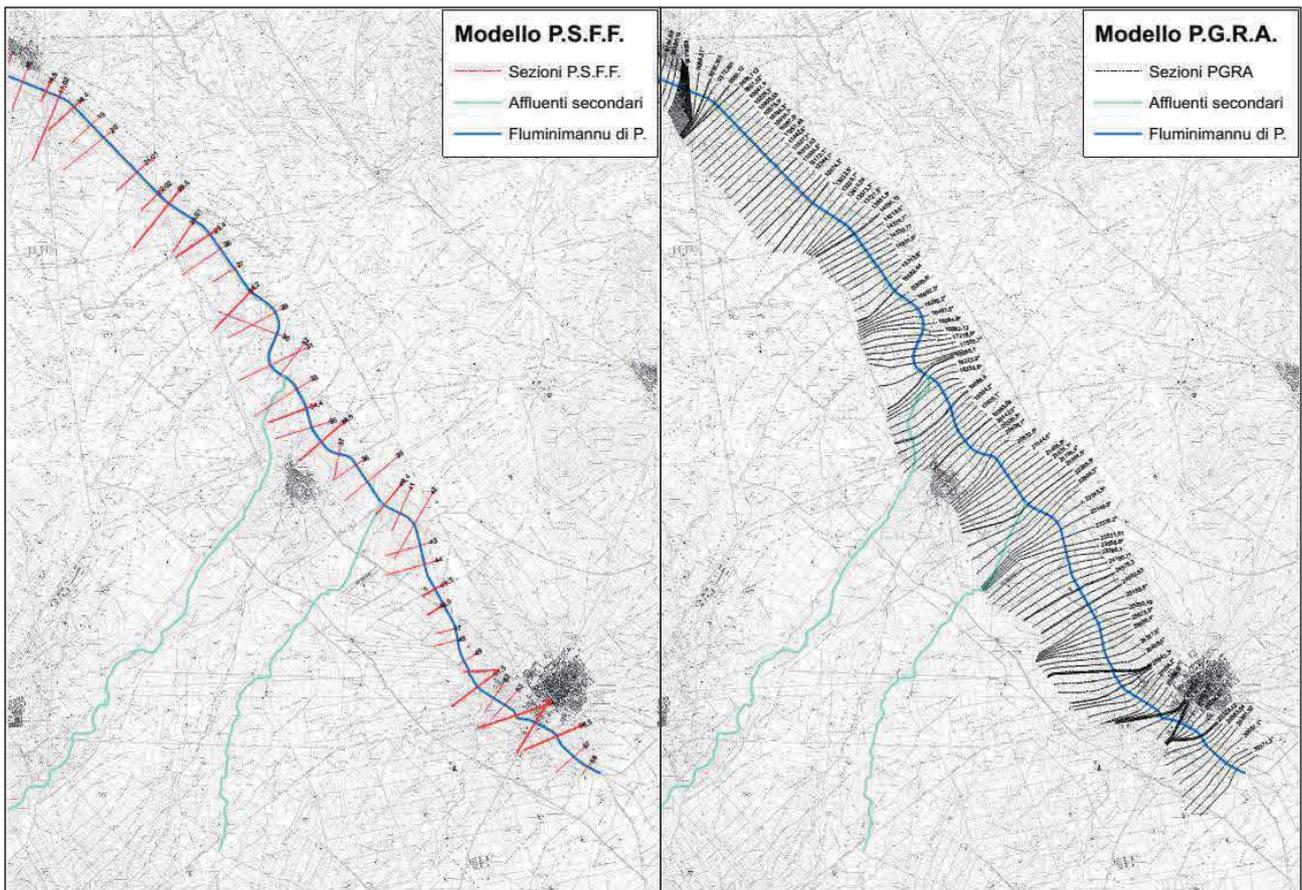


Figura 10 – Confronto fra modello P.S.F.F. e modello P.G.R.A. – Tratto a monte

L'analisi idraulica è stata eseguita per eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni utilizzando gli stessi valori di portata adottati nello del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, riportati nella Tabella 5.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, a monte è stata posta la condizione di moto uniforme, mentre a valle si è adottato un livello di **1.8 m s.l.m.** in analogia con il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

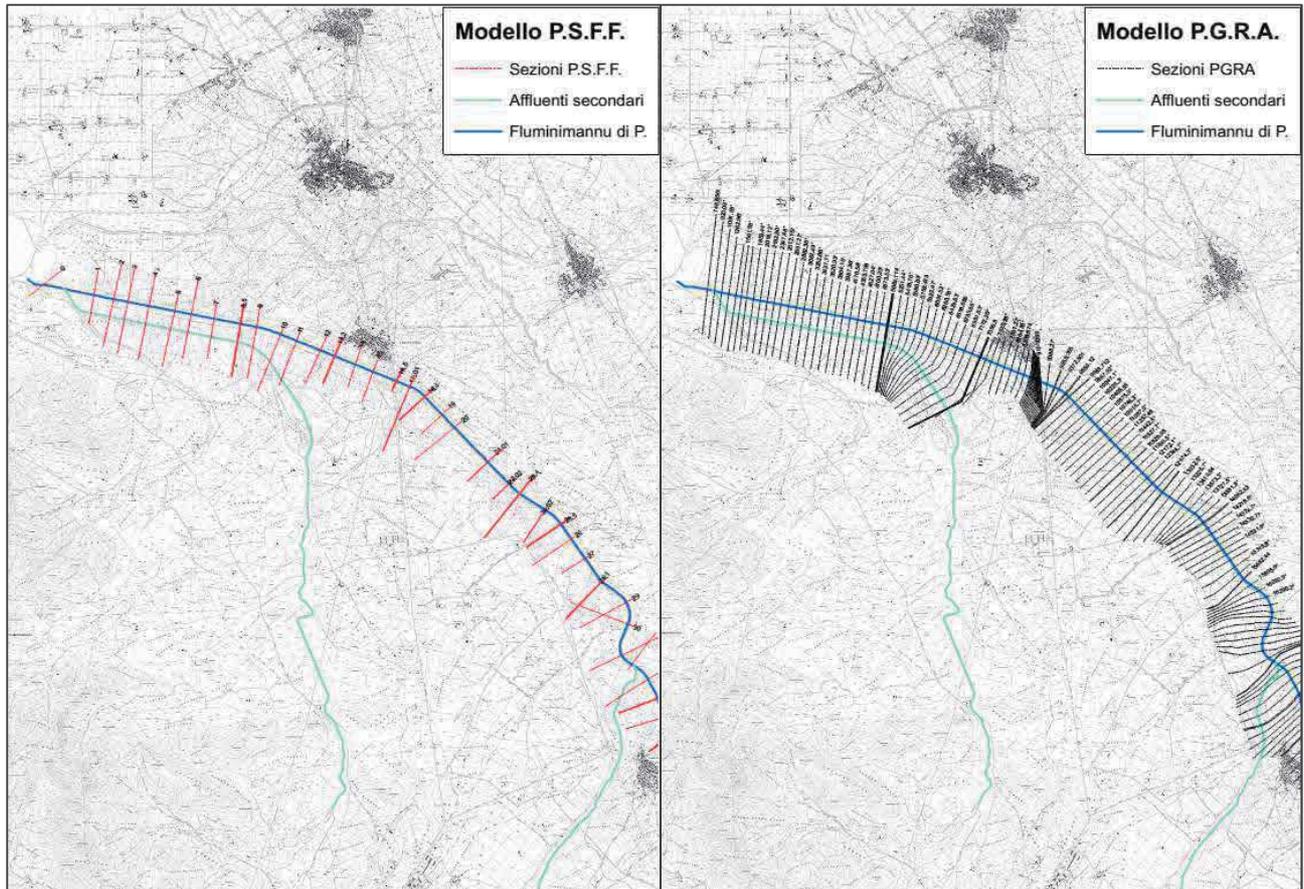


Figura 11 - Confronto fra modello P.S.F.F. e modello P.G.R.A. – Tratto di valle

Tabella 5 – Portate di deflusso di piena per il Fluminimannu di Pabillonis

Sezione	T 50	T100	T200		Sezione	T 50	T100	T200
30509.88	119	141	162		21300.63	390	474	557
29365.74	135	159	183		20676.62	431	523	615
27811.66	177	215	253		19965.04	489	593	697
27109.45	218	265	311		18495.68	750	910	1070
26708.24	231	280	330		18088.1	812	985	1160
26156.74	255	309	363		14530.77	844	1020	1200
23531.61	306	371	436		9688.712	865	1050	1230
22750.17	352	426	501		1688.759	1070	1300	1530



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

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

In una seconda fase si è proceduto alla simulazione ad argini tracimabili a partire dalle sezioni non sufficienti, individuando le aree interessate dall'esondazione.

Nell'analisi dei risultati delle simulazioni, in analogia con il P.S.F.F., sono stati individuati due tratti:

- Un tratto di monte compreso dall'inizio del tratto studiato, in corrispondenza della confluenza del Rio Bruncu Fenugu e il ponte della S.S.126 presso San Nicolò d'Arcidano;
- Un tratto di valle compreso fra il ponte della S.S. 126 e la foce.

In linea generale, esclusa un criticità in corrispondenza del ponte della S.S. 126, le simulazioni hanno confermato le esondazioni individuate in sede PSFF, anche se il maggior dettaglio ha consentito di definire meglio tali aree. Nei paragrafi successivi vengono descritte le principali criticità riscontrate per i tratti studiati e per i diversi tempi di ritorno, mettendo in evidenza anche le principali differenze fra la perimetrazione P.G.R.A. e la perimetrazione P.S.F.F.

4.2.1 Simulazione relativa al tratto di monte

Come già descritto in precedenza, il Fluminimannu di Pabillonis è stato oggetto di importanti interventi di bonifica lungo tutto il tratto studiato.

Il tratto di monte può essere schematizzato in un primo tronco compreso fra il ponte della S.S. 197 e il ponte sulla Strada provinciale di S. Maria, in prossimità dell'abitato di San Gavino, in cui il Fluminimannu risulta arginato su entrambe le sponde.

Un secondo tronco, compreso fra il ponte a valle della strada provinciale e l'abitato di Pabillonis, in cui il Fluminimannu scorre all'interno di una sezione sistemata ma non arginata.

Un terzo tronco che va dalla confluenza con il Flumini Bellu, poco a valle dell'abitato di Pabillonis, e il ponte sulla S.S. 126, in cui il Fluminimannu presenta una sezione composta con savanella e golene, stabilizzata con soglie in calcestruzzo e a tratti rivestita in lastre in calcestruzzo.

Le perimetrazioni delle fasce di pericolosità idraulica, per quanto riguarda tutto il tratto di monte, risultano quasi coincidenti per i diversi tempi di ritorno a causa della conformazione dell'alveo del Fluminimannu che risulta incassato all'interno della valle.

Di seguito si riportano più in dettaglio alcuni commenti sui risultati della simulazione idraulica relativi al tratto di monte per i diversi tempi di ritorno.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tempo di ritorno 50 anni

La simulazione idraulica della portata al colmo con tempo di ritorno cinquantennale, per quanto riguarda il tronco in prossimità di San Gavino, ha messo in evidenza le principali criticità del Fluminimannu di Pabillonis già riscontrate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. Gli argini presenti fra il ponte della S.S. 197 e il ponte della strada provinciale (ex S.S. 197) risultano inadeguati sia in destra che in sinistra idraulica già per la portata di piena cinquantennale. Tale insufficienza idraulica è la causa principale delle esondazioni che interessano una fascia a cavallo del corso d'acqua che si estende da circa 400 metri fino a oltre 900 metri.

I tre ponti che attraversano il corso d'acqua in questo tratto fluviale risultano insufficienti già per la portata cinquantennale, con conseguente rigurgito a monte che incrementa i tiranti idrici nelle aree esondate.

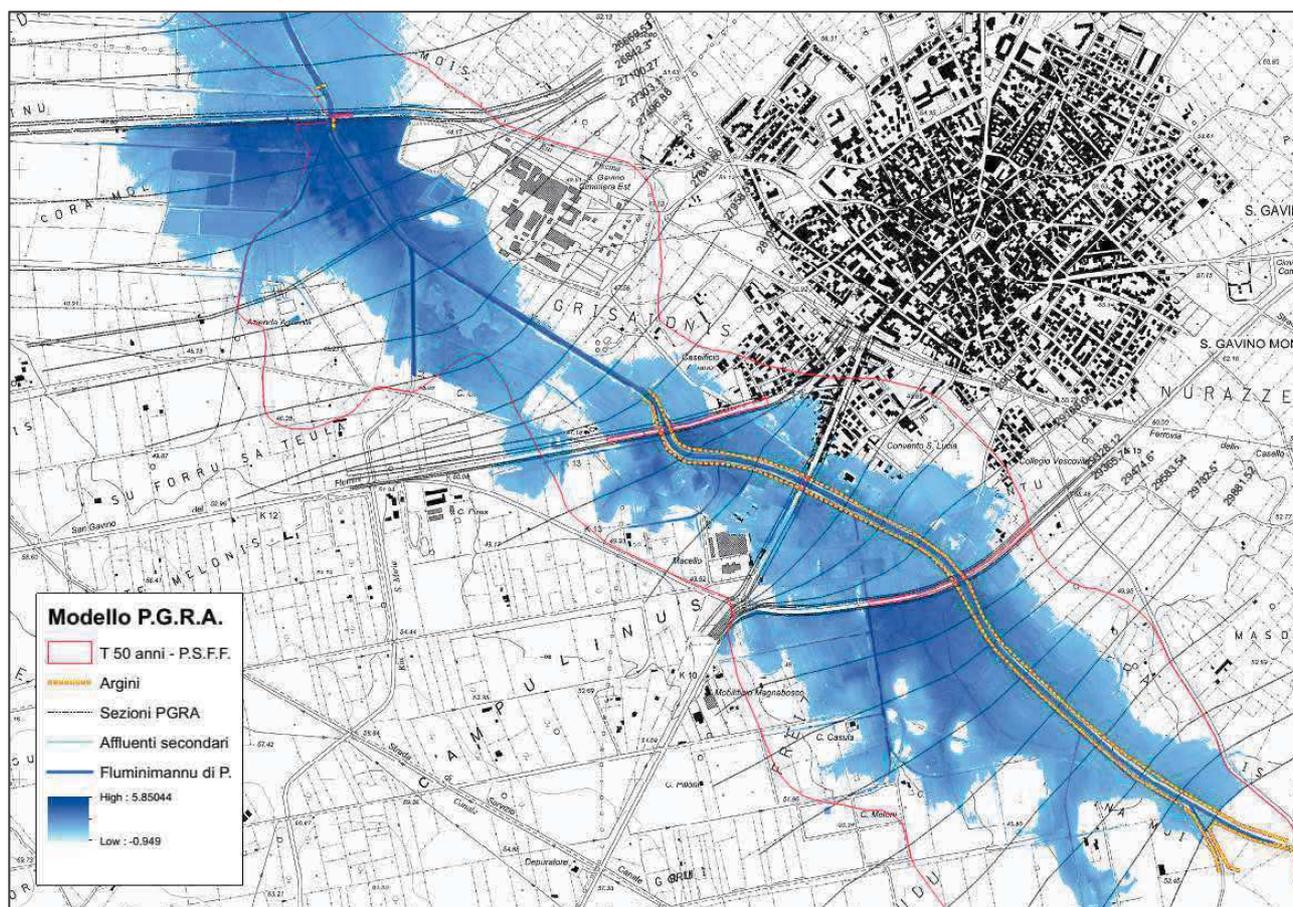


Figura 12 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto presso San Gavino – Tr=50 anni

Come si può osservare in Figura 12 La fascia di esondazione interessa un'area densamente edificata nel comune di San Gavino, sia in destra che in sinistra idraulica. Analizzando le differenze fra la perimetrazione



Nel tratto che si estende dall'abitato di Pabillonis al ponte sulla S.S. 126, rappresentato in Figura 14, la perimetrazione idraulica relativa alla portata cinquantennale presenta un'estensione quasi sempre inferiore a quella del P.S.F.F. Le sezioni idrauliche, prive di qualsiasi arginatura ma sistemate con briglie e soglie, del corso d'acqua risultano sempre insufficienti, con esondazioni che interessano quasi esclusivamente terreni agricoli con la sporadica presenza di qualche edificio. L'elemento più critico, oltre ai diversi ponticelli presenti, è costituito dal depuratore in località "Marrapei", nel comune di Pabillonis.

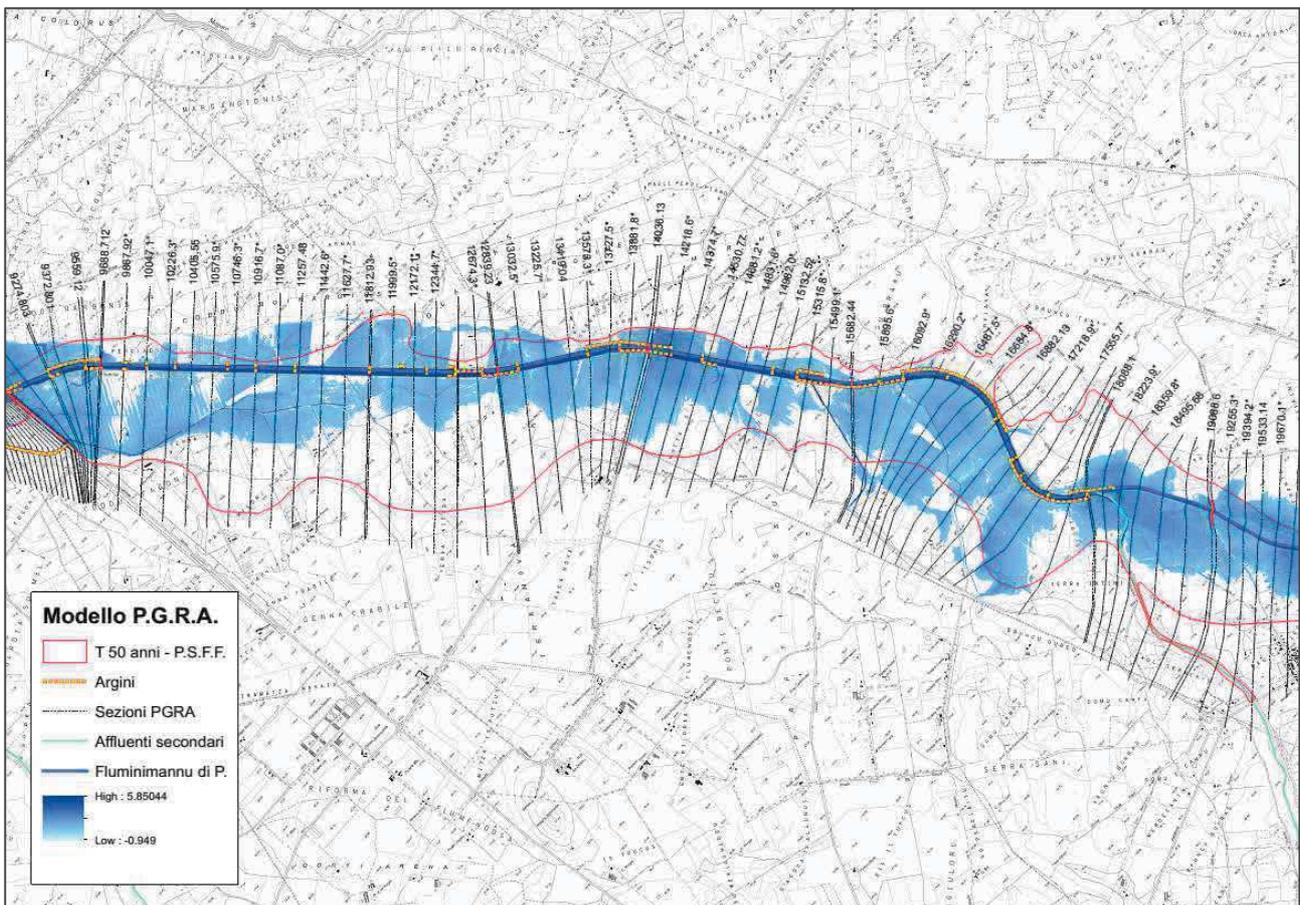


Figura 14 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto compreso fra Pabillonis e San Nicolò d'Arcidano – Tr=50 anni

Tempo di ritorno T=100 anni

La perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica relativa alla simulazione della portata con tempo di ritorno centennale, come già evidenziato, non si discosta di molto da quella relativa alle portate con tempo di ritorno cinquantennale.



Nella Figura 15 viene rappresentata la perimetrazione della pericolosità idraulica nel tratto presso San Gavino, che presenta un'estensione dell'area inondabile poco superiore a quella relativa al tempo di ritorno cinquantennale, ma con tiranti superiori.

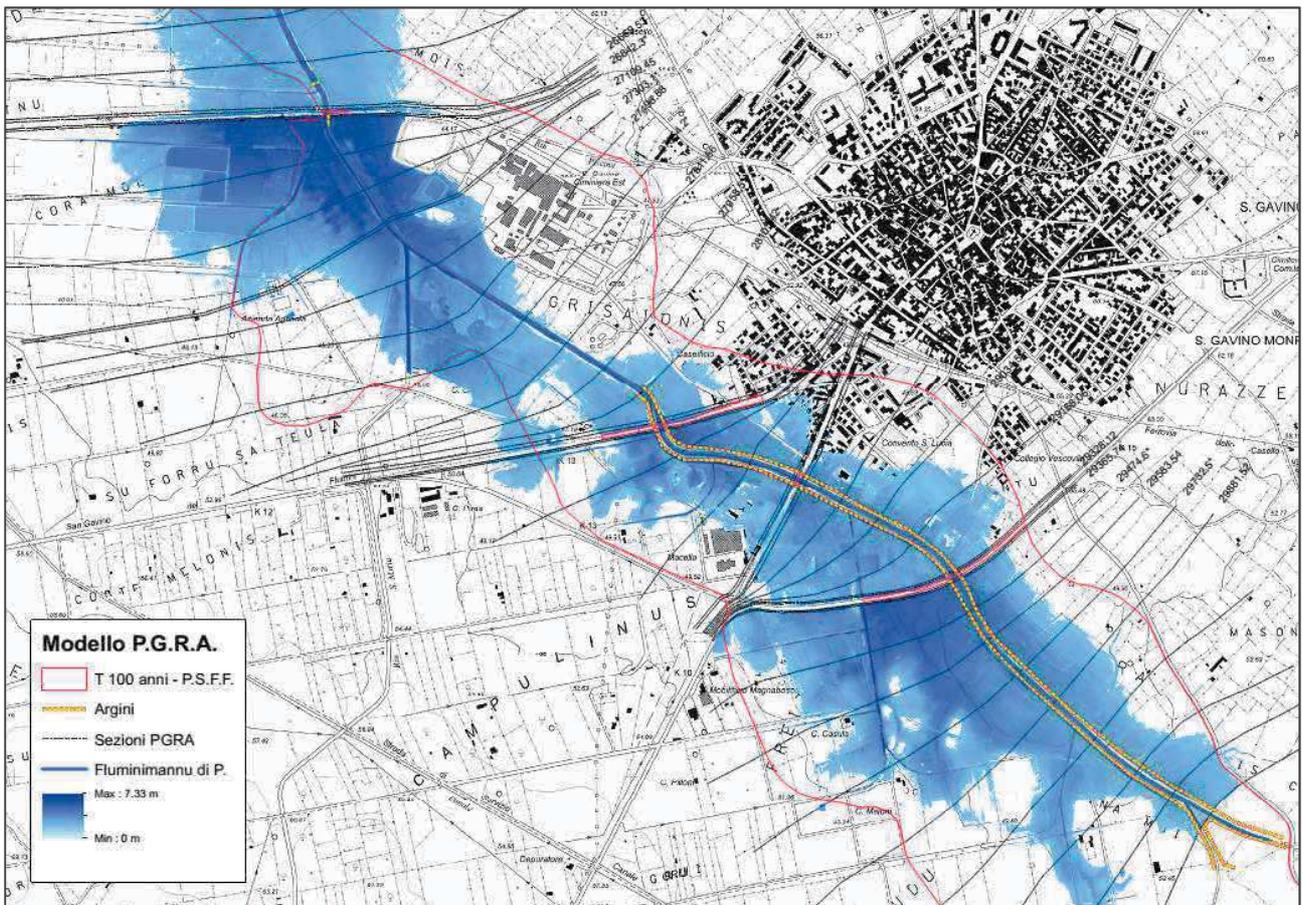


Figura 15 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto presso San Gavino – Tr=100 anni

Nel tratto che va dal ponte della strada provinciale Santa Maria all'abitato di Pabillonis, rappresentato in Figura 16, non sono presenti incrementi sostanziali delle aree pericolose rispetto al tempo di ritorno cinquantennale, salvo che per un'area in prossimità della periferia orientale del comune, cerchiata in rosso in Figura 17. In tale zona si evidenzia la presenza di alcune abitazioni. Infine, in Figura 18, viene rappresentata la pericolosità idraulica relativa all'ultimo tratto di monte, che non presenta rilevanti incrementi di pericolosità rispetto alla simulazione relativa al tempo di ritorno cinquantennale.



Per quanto riguarda il confronto fra perimetrazione P.G.R.A. e perimetrazione P.S.F.F., valgono le stesse considerazioni fatte per il tempo di ritorno di 50 anni, in quanto per tutto il tratto di monte le pericolosità P.S.F.F. relative alle portate con tempo di ritorno 50 anni e 100 anni risultano coincidenti.

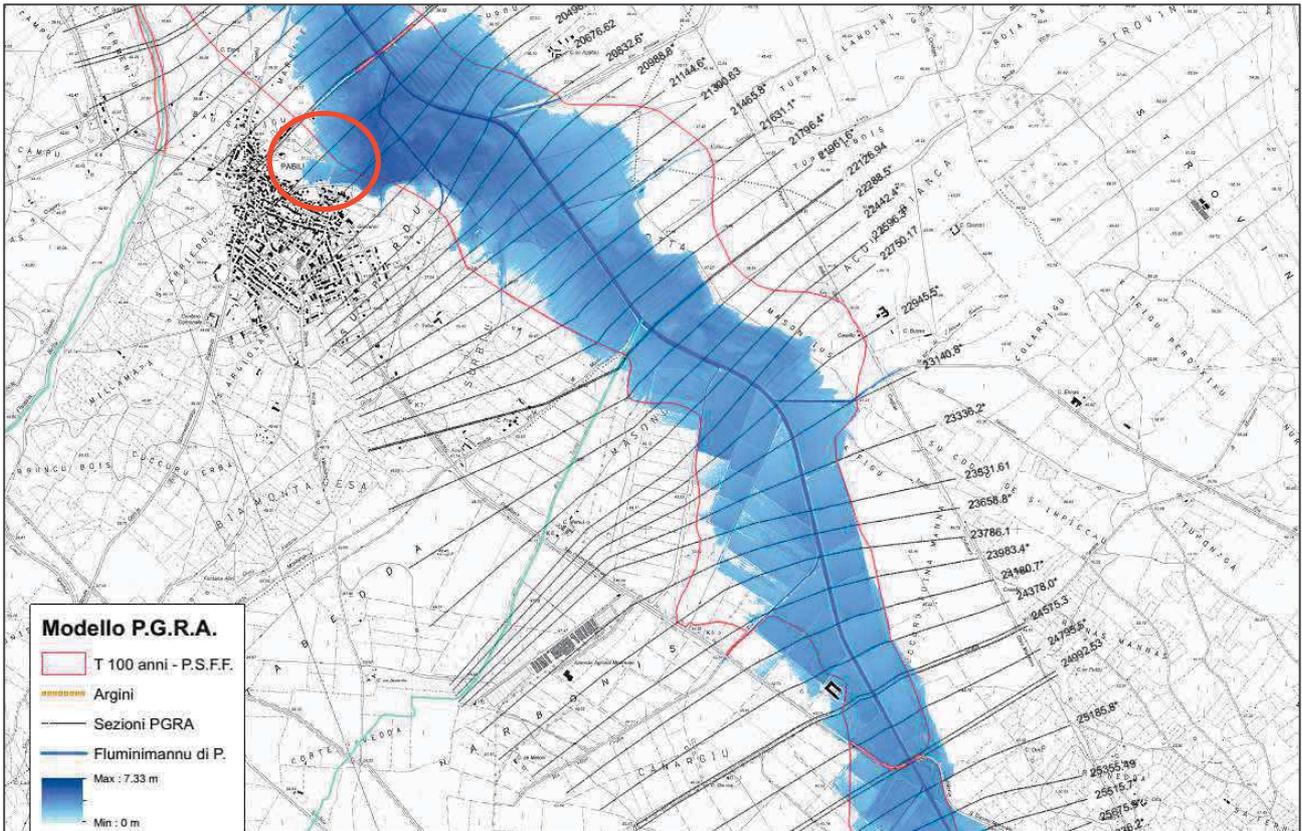


Figura 16 – Perimetrazione pericolosità idraulica - Tratto presso Pabillonis – Tr=100 anni

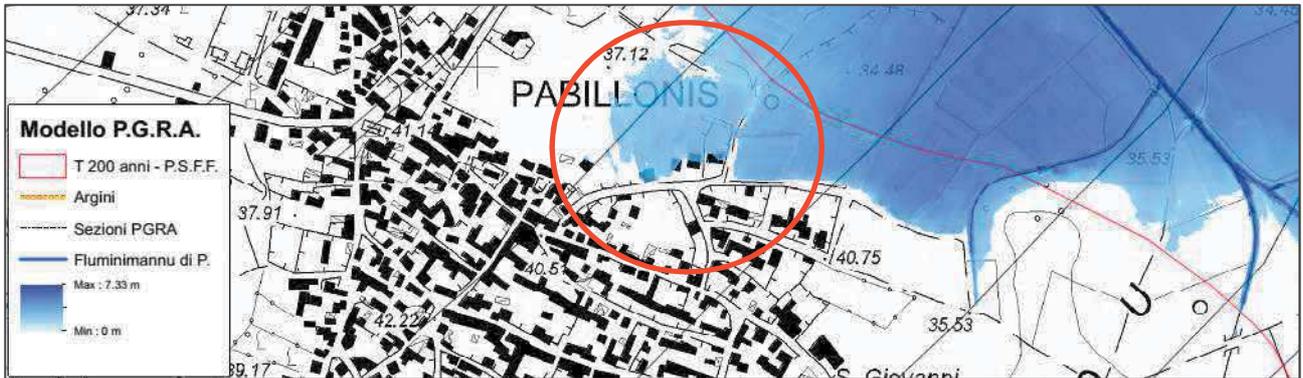
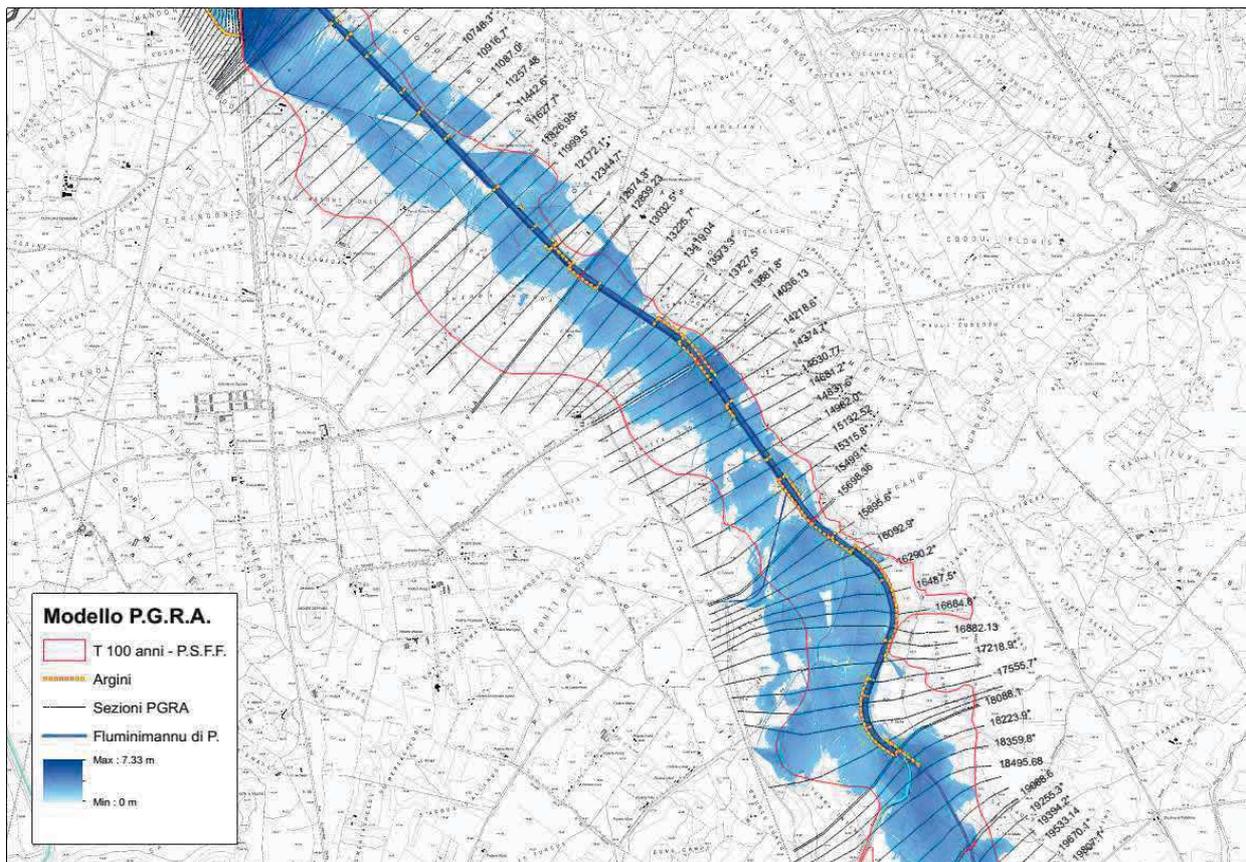


Figura 17 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Dettaglio comune di Pabillonis – Tr=100 anni





REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tempo di ritorno T=200 anni

La simulazione idraulica relativa alla portata duecentennale non ha evidenziato differenze sostanziali rispetto alla simulazione relativa al tempo di ritorno di cento anni.

4.2.2 Simulazione relativa al tratto di valle

Il tratto di valle, compreso fra il ponte della S.S. 126 e la foce, ha una lunghezza di circa 8 km, arginata sia in destra che in sinistra idraulica e avente sezione composta con savanella e golene. Le arginature sono in grado di contenere le portate relative a tutti i tempi di ritorno considerati, anche se permangono delle criticità sia in prossimità del ponte sulla S.S. 126 che nel tratto di foce.

Tempo di ritorno T=50 anni

In generale, la simulazione idraulica della portata al colmo con tempo di ritorno pari a 50 anni, la cui perimetrazione è rappresentata nella Figura 19 e nella Figura 20, non presenta sostanziali differenze con la perimetrazione P.S.F.F. e evidenzia il contenimento della portata all'interno delle arginature.

Le uniche differenze riscontrate riguardano il tratto immediatamente a monte della S.S. 126, che evidenzia una maggiore estensione dell'area allagata in destra idraulica e il tratto finale (Figura 20), che presenta un'area allagata extra arginale in sinistra idraulica, lungo il tratto in cui gli alvei del Fluminimannu e del Torrente Sitzzerri risultano paralleli. L'allagamento di quest'area è dovuta non tanto ad un'insufficienza arginale, quanto ad una propagazione verso monte della condizione di valle imposta, pari a 1.8 m s.l.m..

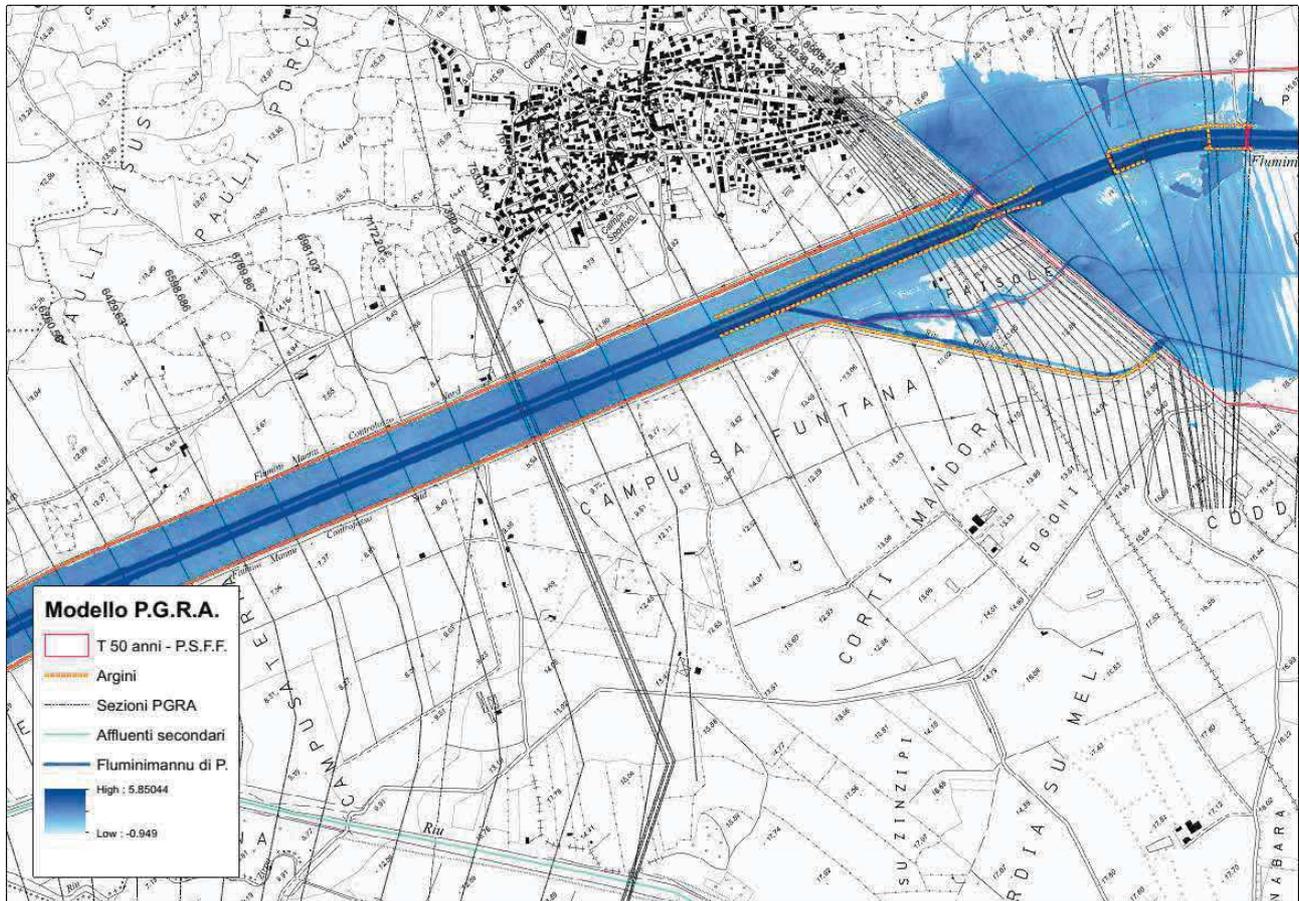


Figura 19 – Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto arginato presso San Nicolò d'Arcidano - Tr=50 anni

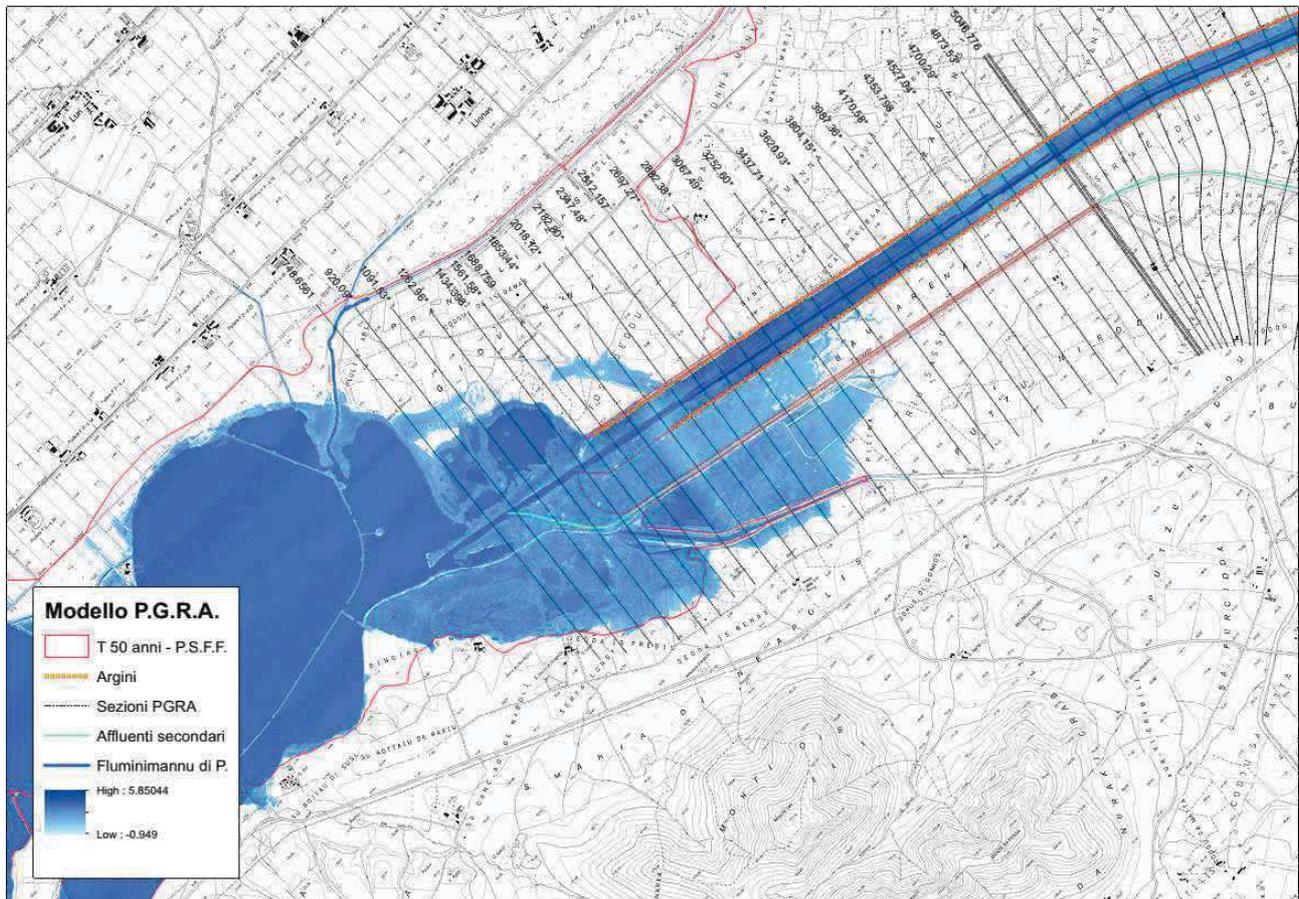


Figura 20 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto focivo - Tr=50 anni

Tempo di ritorno T=100 anni

La simulazione del tratto di valle relativa alla portata di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni mette in evidenza la criticità rappresentata dal ponte della S.S. 126.

Nella Figura 21 vengono rappresentati i risultati della modellazione. Gli aspetti di maggiore criticità riguardano:

- Il ponte, avente luce insufficiente, non consente il deflusso a pelo libero della portata di piena con il conseguente sormonto dell'impalcato e di parte dei rilevati di accesso
- Una parte del deflusso di piena tracima in destra idraulica oltre l'argine destro, interessando la parte più bassa dell'abitato di San Nicolò d'Arcidano con tiranti che possono raggiungere i 90 cm.

La Figura 22 rappresenta un dettaglio dell'area di allagamento nell'abitato di San Nicolò d'Arcidano.

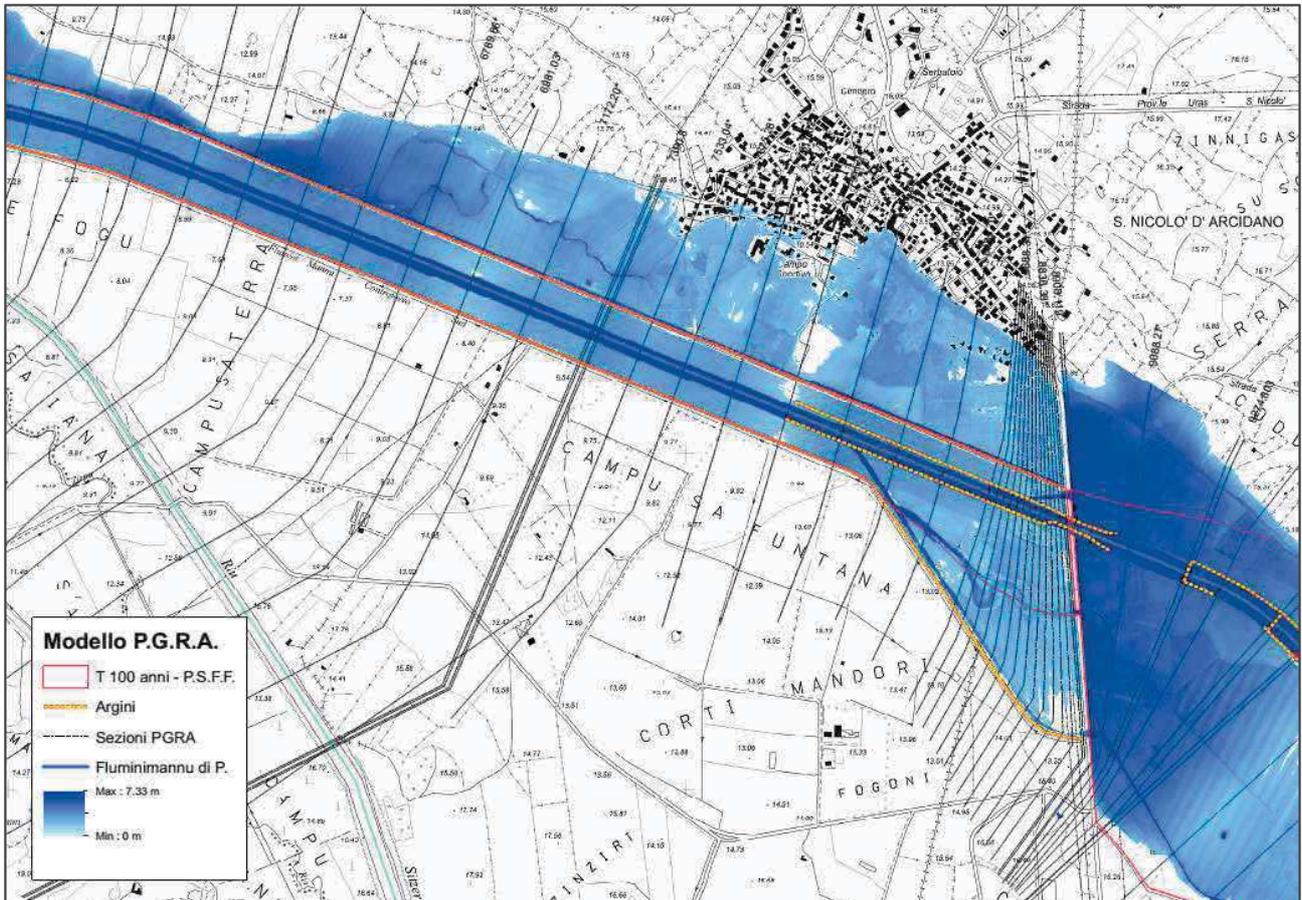


Figura 21 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto arginato presso San Nicolò d'Arcidano - $T_r=100$ anni

Nello studio del P.S.F.F., come si può osservare dal confronto in Figura 21, nonostante sia stata documentata la criticità del ponte sulla S.S. 126 sia nei profili che nelle sezioni idrauliche allegate allo studio (Figura 23), non sono presenti fasce di allagamento al di fuori degli argini a valle del ponte

Nelle sezioni ancora più a valle, rappresentate nella Figura 25, l'area di esondazione in destra idraulica si propaga lungo l'argine destro fino a raggiungere il tratto di foce.

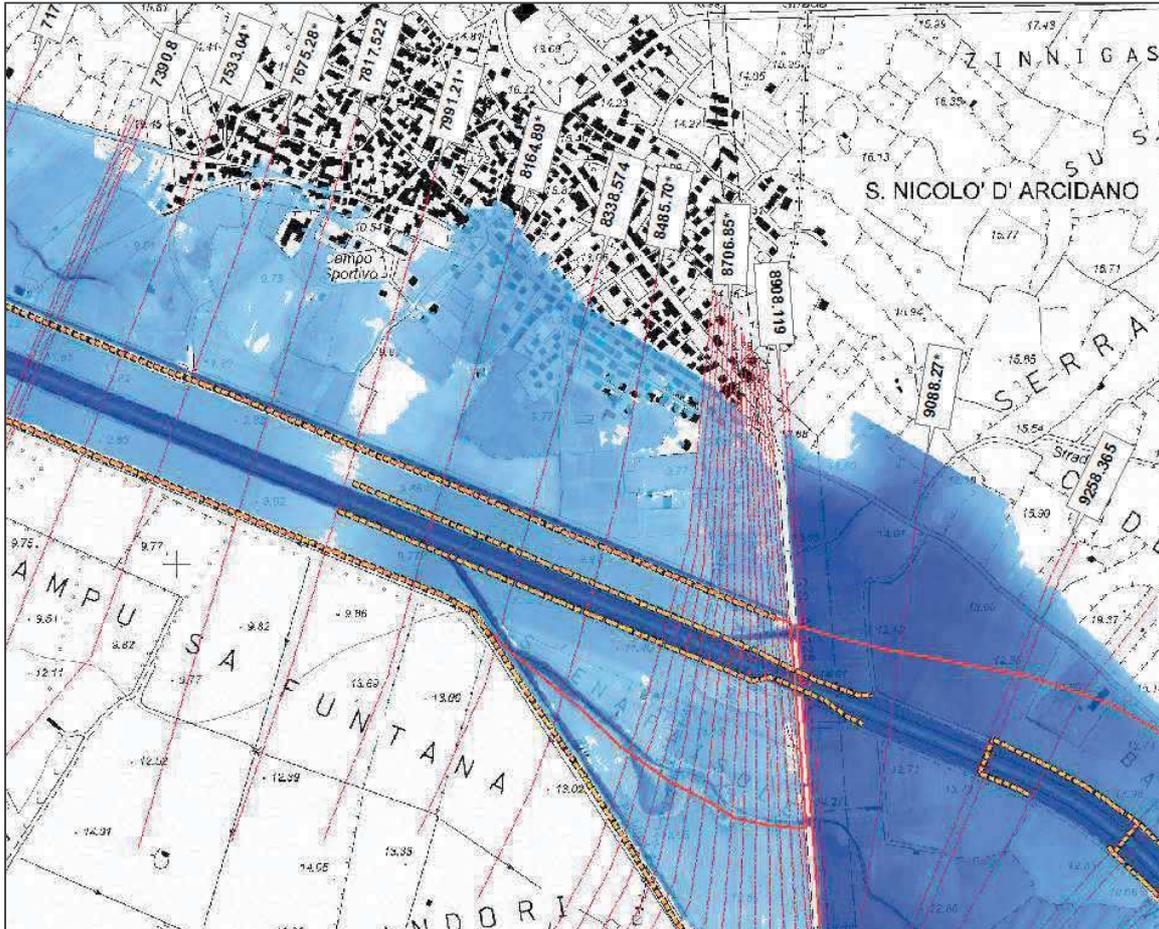


Figura 22 – Perimetrazione idraulica – Dettaglio abitato di San Nicolò d'Arcidano – $T_r=100$ anni

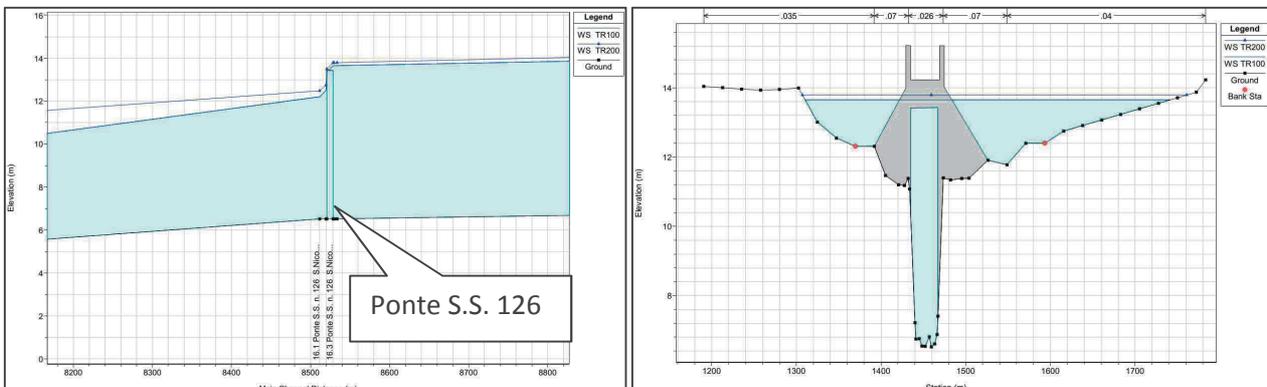


Figura 23 - Profilo longitudinale e sezione idraulica in prossimità del ponte della S.S. 126 – P.S.F.F.



Figura 24 – Ponte sulla S.S. 126

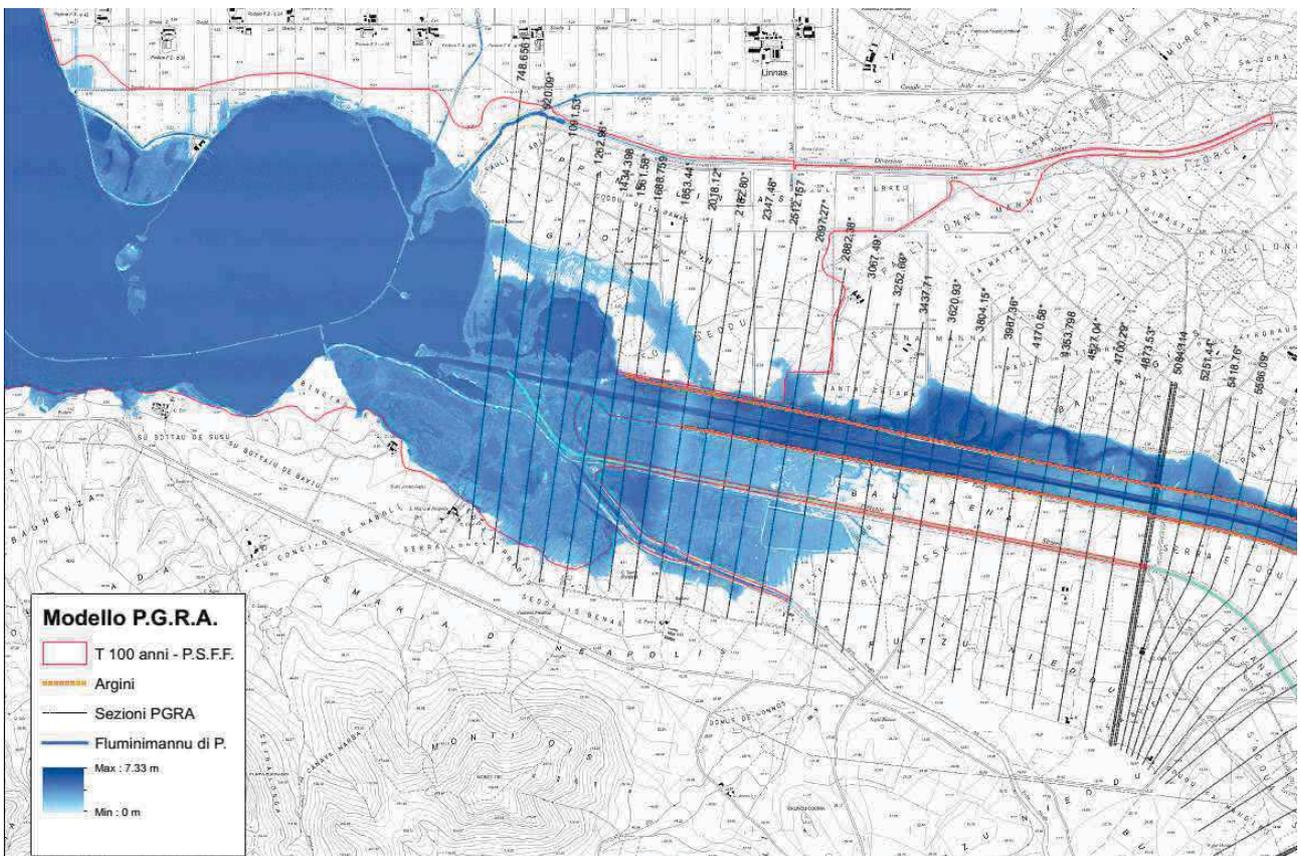


Figura 25 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto focivo - Tr=100 anni



Tempo di ritorno T=200 anni

La simulazione del tratto di valle relativa al tempo di ritorno di 200 anni, rappresentata nella Figura 26 e nella Figura 27, conferma i risultati e le criticità già evidenziati per la portata al colmo contempo di ritorno di 100 anni. La perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica si estende maggiormente nella zona edificata e con tiranti maggiori, con valori che puntualmente possono superare il metro.

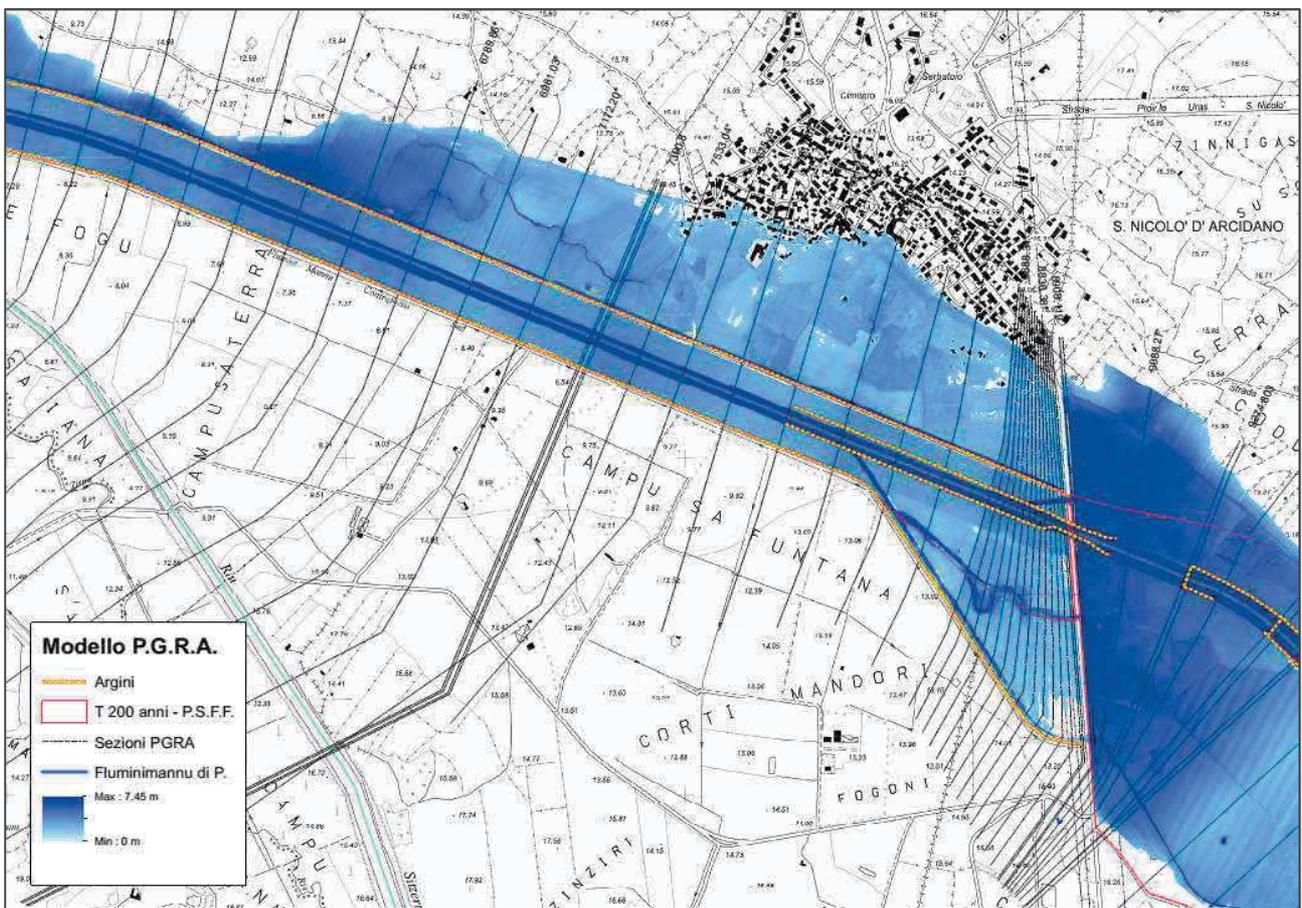


Figura 26 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto arginato presso San Nicolò d'Arcidano - Tr=200 anni

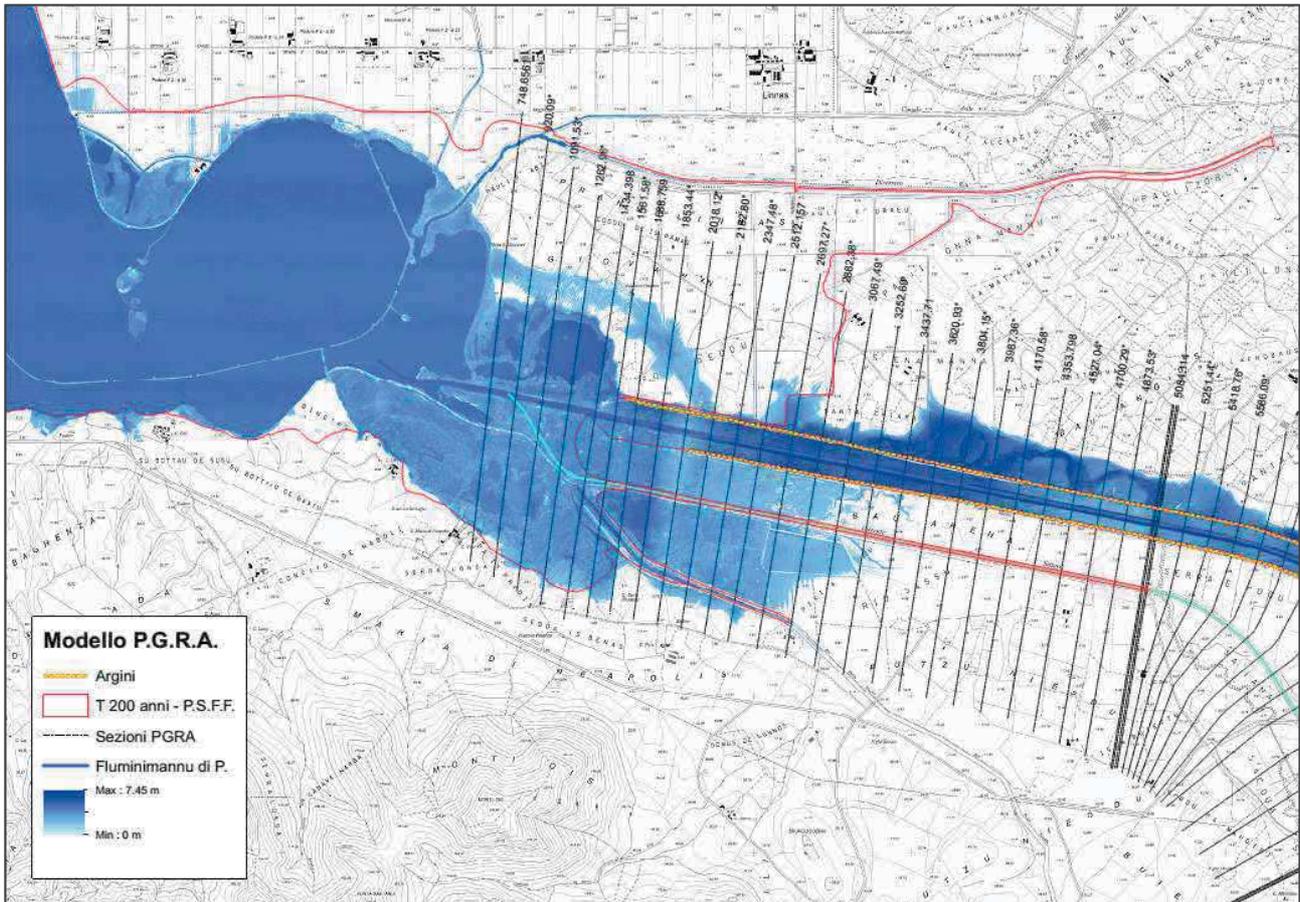


Figura 27 - Perimetrazione pericolosità idraulica – Tratto focivo - Tr=200 anni

4.2.3 Criticità specifiche attuali

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

A tale proposito si precisa che gli argini del Fluminimannu di Pabillonis, tanto nel tratto arginato di San Gavino, quanto in quello nel tratto tra il ponte della S.S. 126 e la foce, sono da considerarsi come non tracimabili in quanto non sono dotati di soglie adeguatamente protette che consentano il sormonto e lo sfioro in sicurezza delle portate di piena in eccesso alla capacità di deflusso nella sezione arginata.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

La geometria del modello idraulico, aggiornato con l'utilizzo dei dati LIDAR, ha permesso di stabilire in maniera sistematica l'andamento altimetrico del suolo e degli argini con una densità di circa 1.5 punti per m² e un'accuratezza altimetrica corrispondente +/- 1 s che corrisponde ad un errore medio +/- 15 cm. Considerando che generalmente le aree sulle sommità arginali sono sgombre da vegetazione massiva o di alto fusto, si può considerare la migliore prestazione del dato rilevabile con l'ausilio del LIDAR. In tal senso, l'incertezza derivante dal dato altimetrico sulla geometria degli argini e quindi sulla stabilità sotto l'azione idraulica deve essere necessariamente rapportato a quella accuratezza: nel seguito pertanto la condizione che induce al sormonto e, conseguentemente, all'apertura di una possibile breccia nel corpo arginale viene fatta corrispondere al superamento della quota idrica corrispondente a un franco minimo di ampiezza minore o uguale a 20 cm.

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

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

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

In particolare sono state individuate le seguenti sezioni:

- A monte è stato analizzato il tratto arginato in prossimità di San Gavino Monreale, nel quale è stata fatta un'analisi di criticità sia su una sezione tipo arginata che sui tre ponti presenti in questo tratto. Come si può osservare dalle figure seguenti, a fronte di una portata avente tempo di ritorno cinquantennale valutata in 135 m³/s, le sezioni dei ponti non consentono di smaltire con franco minimo portate superiori ai 60 m³/s. Anche le sezioni arginate non risultano in grado di contenere portate maggiori di 65 m³/s, anche se il livello corrispondente a tale valore di portata è dovuto dal rigurgito prodotto dai ponti.
- Nel tratto intermedio, non essendo presenti arginature, è stata fatta una valutazione sulla portata transitabile in una sezione tipo, valutata in 120 m³/s nel tratto fino alla confluenza con il Flumini Bellu e 550 m³/s nel tratto fra la stessa confluenza e il ponte sulla S.S. 126 presso San Nicolò d'Arcidano.
- Nel tratto a valle è stato analizzato il tratto arginato a valle del ponte della S.S. 126: gli argini contengono con franco minimo anche la portata duecentennale, mentre il ponte della S.S. 126, come descritto in precedenza, consente il transito della portata cinquantennale attraverso la luce del ponte, pur



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

producendo un innalzamento del livello a monte. Per portate superiori, il rigurgito prodotto dal ponte aumenta e per la portata con tempo di ritorno pari a cento anni inizia il sormonto dell'impalcato del ponte.



Tabella 6 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte San Gavino Monreale (Ponte S.S.197)

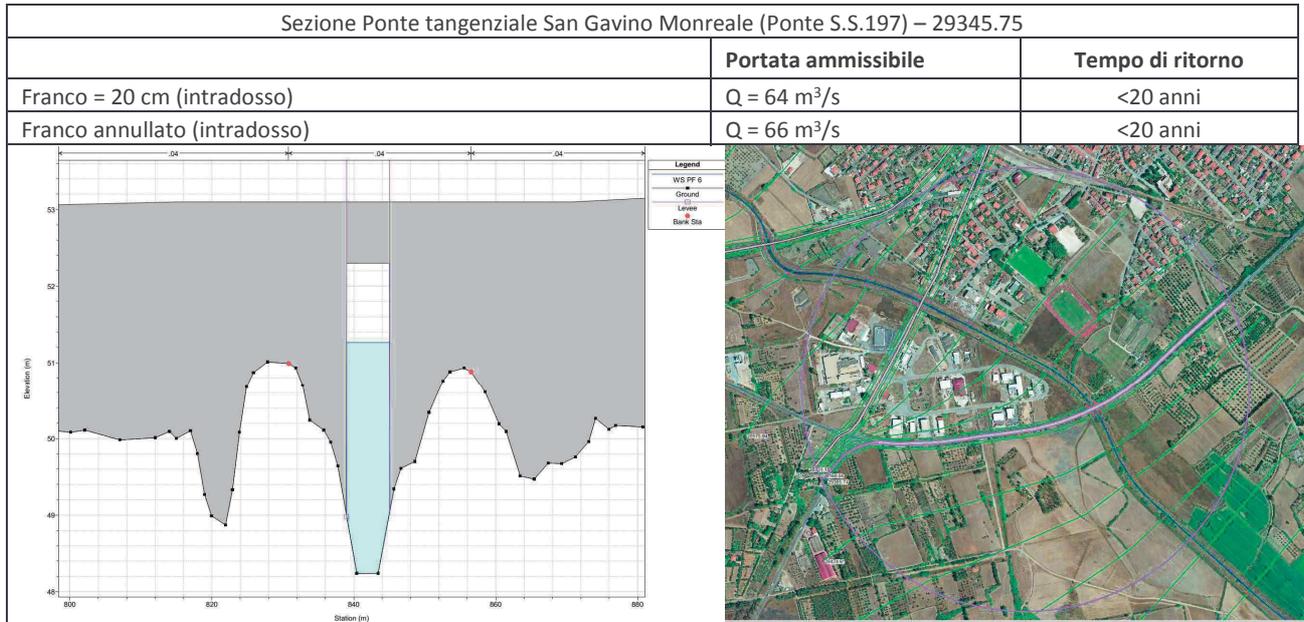


Tabella 7 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del Ponte Sud – S.Gavino Monreale

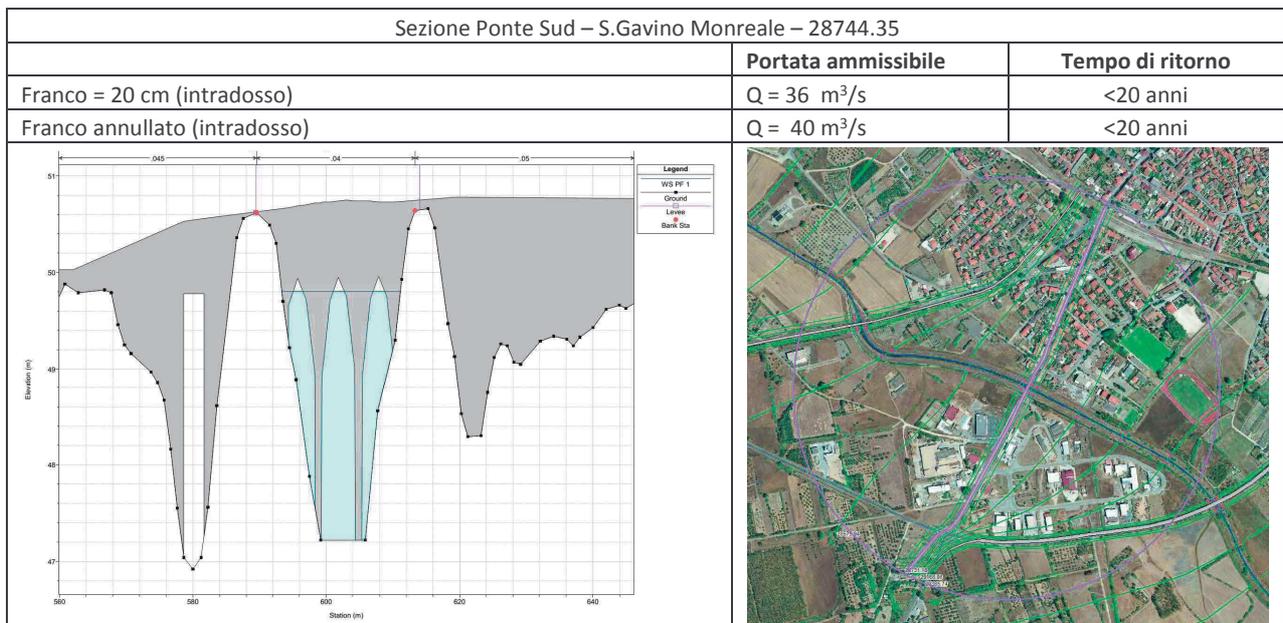




Tabella 8 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la Sezione arginata 28253

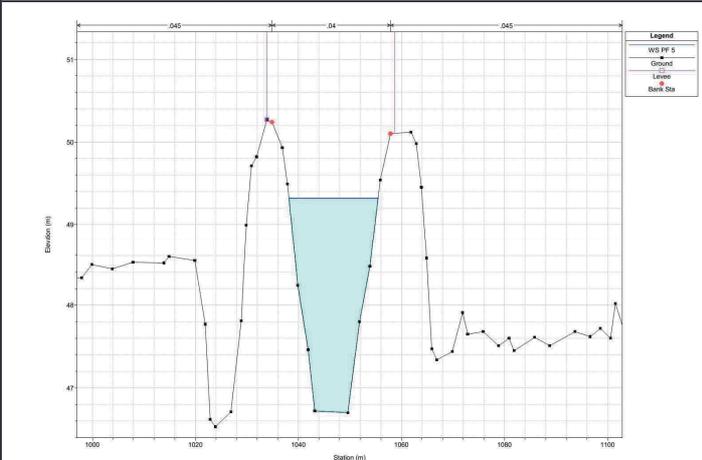
Sezione arginata 28253		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (argine destro)	Q = 60 m ³ /s	<20 anni
Franco annullato (argine destro)	Q = 64 m ³ /s	<20 anni
		

Tabella 9 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per la sezione del ponte sud-ovest San Gavino Monreale (ex S.S. 196)

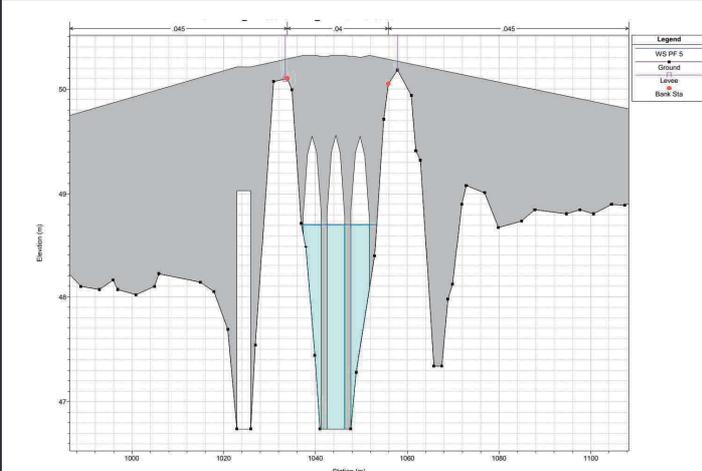
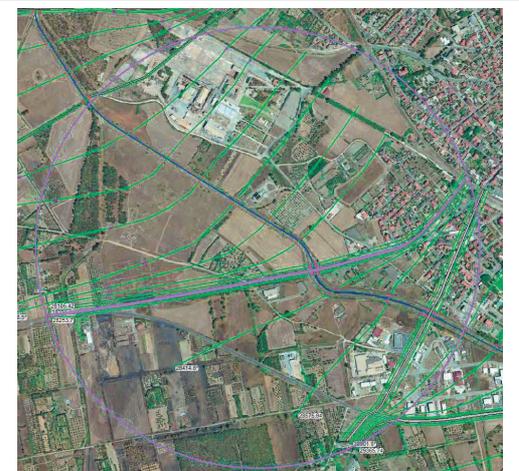
Sezione Ponte sud-ovest San Gavino Monreale (ex S.S. 196) – 28236.63		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (intradosso)	Q = 62 m ³ /s	<20 anni
Franco annullato (intradosso)	Q = 66 m ³ /s	<20 anni
		



Tabella 10 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per una sezione tipo nel secondo tronco del tratto intermedio

Sezione – 16882		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (intradosso)	Q = 550	T < 50 anni
Franco annullato (intradosso)	Q = 580	T < 50 anni

Tabella 11 - Portate ammissibili e tempi di ritorno associati per una sezione tipo nel tratto arginato focivo

Sezione– 28236.63		
	Portata ammissibile	Tempo di ritorno
Franco = 20 cm (intradosso)	Q > 1230 m ³ /s	T > 200 anni
Franco annullato (intradosso)	Q > 1230 m ³ /s	T > 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

4.2.4 Volumi di piena nelle aree esondate

Sulla base delle simulazioni effettuate sono state calcolate le aree ed i volumi di esondazione determinati dalle piene con tempo di ritorno 50, 100 e 200 anni. Le aree di esondazione variano da circa 28.7 km² per la piena con tempo di ritorno di 50 anni a circa 32.7 km² per la piena duecentennale, mentre i volumi variano da 30.7 milioni di metri cubi, relativi ai 50 anni a 37.8 milioni di metri cubi per i 200 anni.

Tabella 12 - Scenario 0 - Aree e volumi esondati

T [anni]	50	100	200
Aree [m ²]	28,734,745	31,819,017	32,686,807
Volumi [m ³]	30,748,904	35,424,620	37,777,908



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5 Procedura operativa per il di calcolo del danno di piena nel Bacino del Fluminimannu di Pabillonis

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

Tabella 13 - Categorie di danno degli elementi presenti nel DBEE e relativo costo

	DESCRIZIONE CATEGORIA ELEMENTO ESPOSTO	LABEL	COSTO [€/m2]
1	Area con edificio residenzaiale	R	618.00
2	Area con edificio commerciale	C	511.00
3	Area con edificio industriale	I	440.00
4	Zona agricola	A	0.63
5	Strade comunali	N	10.00
6	Strade provinciali	P	20.00
7	Strade importanti	S	40.00
8	Area con infrastrutture a rete (idriche, elettriche)	T	40.00
9	Aree occupate da corpi idrici	H	-
10	Aree protette di pregio ambientale	J	-
11	Aree storiche archeologiche	K	-
12	Altre aree con danni non tangibili	X	-

Alle categorie cui corrisponde un costo non facilmente valutabile in termini economici (aree protette di pregio ambientale, aree storiche e archeologiche, aree occupate da corpi idrici, altre aree con danni non tangibili) corrisponde un valore del danno di piena che in questa fase di elaborazione non viene stimato in termini economici.

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



immagini Ikonos 2005-06, immagini Landsat 2003, immagini Aster 200, hanno anche portato la risoluzione spaziale dell'unità cartografica a 0,5 ettari all'interno dell'area urbana e 0,75 ettari nell'area extra urbana.

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

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

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

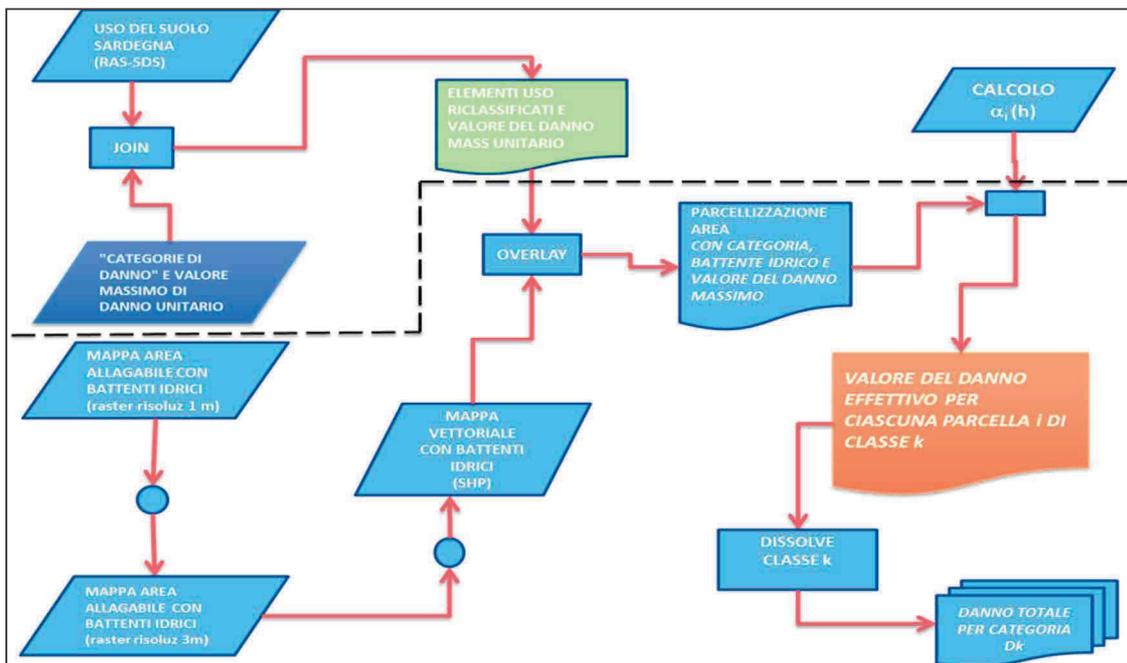


Figura 28 - - Procedura di calcolo ALFA per la determinazione del danno per ciascuna categoria di elemento esposto: diagramma di flusso



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

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

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

La procedura di calcolo ALFA, illustrata nella Figura 28, esegue la stima del valore del coefficiente di parcellizzazione di danno in funzione del battente idrico per ciascun record presente nello strato informativo: il valore del danno effettivo per ciascuna parcella i -esima occupata dall'elemento classificato in k è data dal prodotto dell'area allagata della parcella A_i per il valore del danno massimo unitario D_k moltiplicato ancora il valore del coefficiente di parcellizzazione di danno $\alpha_j(h_i)$ in funzione del battente idrico.

Infine, attraverso una procedura informatica di aggregazione nelle varie classi delle categorie $k= 1, K$ di danno (dissolving) è quindi possibile calcolare il danno totale associato per ciascuna categoria. La procedura di determinazione del danno è rappresentata mediante il diagramma di flusso in Figura 28.

5.1 DANNO DI PIENA RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

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

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Come si può leggere dalla Tabella 14, l'estensione delle aree vulnerate presenta la maggiore variazione fra i 50 anni e i 100 anni, passando da circa 28.7 km² a 31.8 km², mentre sussistono poche differenze fra l'esondazione relativa ai 100 anni e quella relativa ai 200 anni, con un incremento di 0.87 km².

I danni causati dagli eventi di piena stimati per i diversi tempi di ritorno con la procedura sopra descritta variano da circa 32.8 milioni di euro per la portata cinquantennale a 56.36 milioni di euro per quella centennale, fino a 65.24 milioni di euro per quella duecentennale: l'incremento dei danni deriva, oltre che dall'aumento dell'estensione e del livello di esondazione con l'aumento del tempo di ritorno, dal coinvolgimento degli edifici commerciali, residenziali e industriali nei comuni di San Gavino e San Nicolò d'Arcidano.

Nella Figura 29e nella Figura 30 viene riportata, a titolo di esempio, la mappatura delle aree interessate dagli eventi di piena, classificate secondo le diverse categorie degli elementi esposti, nei tratti in prossimità di San Gavino e San Nicolò d'Arcidano in corrispondenza dell'evento di piena duecentennale.

Tabella 14 - Danni e aree interessate dagli eventi di piena per categorie d'uso del suolo

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m ²]	Danni	Aree allagate [m ²]	Danni	Aree allagate [m ²]	Danni
A	15,424,260	3,465,376	18,026,696	4,583,450	18,828,677	5,131,292
C	36,463	1,492,963	39,084	1,933,054	46,733	2,586,708
H	28,463	0	28,457	-	28,463	-
I	197,022	17,007,630	203,851	18,378,274	206,764	20,301,859
J	11,137,442	-	11,395,858	-	11,408,166	-
K	448,335	-	448,220	-	448,246	-
N	2,042	8,675	10,746	23,799	11,976	32,548
P	10,882	31,978	13,027	36,482	14,276	40,115
R	101,122	10,495,828	242,056	30,667,678	275,051	36,322,148
S	4,513	38,500	5,018	54,726	5,116	45,053
T	44,149	338,996	64,743	678,461	67,299	782,901
X	1,300,050	-	1,341,261	-	1,346,039	-
Totale	28,734,745	€ 32,879,946	31,819,017	€ 56,355,923	32,686,807	€ 65,242,624



Figura 29 - Categorie di danno per le aree esondate del Fluminimannu di Pabillonis nel tratto di San Gavino (Tr=200 anni)

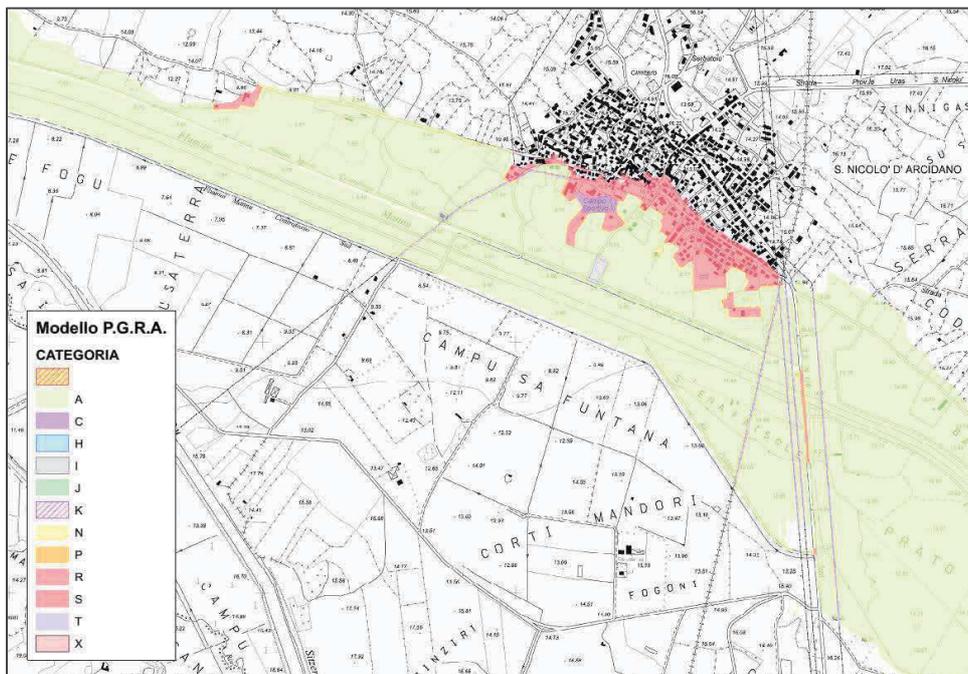


Figura 30 - Categorie di danno per le aree esondate del Fluminimannu di Pabillonis nel tratto di San Nicolò (Tr=200 anni)



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

6 Quadro generale degli interventi di mitigazione del danno

6.1 METODOLOGIA DI INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI

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

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

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

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

- A.** analisi delle pericolosità allo stato attuale, definizione e quantificazione sulla base dei risultati delle simulazioni idrauliche effettuate ai diversi tempi di ritorno, quantificazione del danno medio annuo atteso; in tale fase è inoltre documentata la massima portata che può defluire nell'alveo allo stato attuale senza alcuna esondazione lungo il tronco studiato;
- B.** definizione tipologica degli interventi di salvaguardia e criteri per il dimensionamento delle opere in considerazione dell'impatto prevedibile e delle peculiarità ambientali;



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

- C. individuazione dei singoli interventi mirati alla risoluzione di specifiche criticità e loro caratterizzazione dimensionale ed economica preliminare;
- D. composizione dei singoli interventi in possibili scenari progettuali tra loro alternativi e loro caratterizzazione economica;
- E. analisi di modellazione idraulica della configurazione con scenari progettuali, sia per evento critico preso a riferimento per la definizione dei requisiti dimensionali delle opere che per gli altri tempi di ritorno (tempo di ritorno di 50, 100) e corrispondente definizione delle eventuali aree residue con pericolosità idraulica;
- F. comparazione tecnica economica tra le diverse alternative di intervento mediante l'analisi costi-benefici;
- G. definizione di una ipotesi di phasing nella realizzazione degli interventi e scelta dello scenario di intervento in considerazione delle pericolosità affrontate.

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

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

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

6.2 DEFINIZIONE TIPOLOGICA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

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

- 1. interventi strutturali di costruzione e/o demolizione:
 - a. realizzazione di nuove arginature e adeguamento delle quote di quelle esistenti.
 - b. Interventi sulla viabilità: varianti stradali, demolizione con/senza ricostruzione di ponti e attraversamenti stradali;
- 2. interventi non strutturali (manutenzione ordinaria e/o straordinaria):
 - a. manutenzioni periodiche delle formazioni arginali esistenti;



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

b. manutenzioni periodiche delle nuove arginature.

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

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

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

Accanto alle sopradescritti interventi di manutenzione sulle opere di difesa attiva, sono stati previsti alcuni interventi di demolizione di strutture di attraversamento esistenti che in relazione alla insufficiente luce libera determinano problemi al deflusso di piena, soprattutto in quanto questo è in pratica sempre accompagnato da materiale flottante di varia natura. Nel seguito gli interventi urgenti di demolizione verranno individuati con dettaglio.

6.3 TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI

Dall'analisi idraulica effettuata, si può affermare che, in linea generale, il rio Fluminimannu di Pabillonis presenta un'insufficienza idraulica che si estende su quasi tutto il corso d'acqua e che si manifesta già per le portate di piena con tempo di ritorno inferiore ai cinquant'anni. Tuttavia, l'alveo risulta incassato in quasi tutto il tratto studiato ed eventuali esondazioni dovute ad eventi di piena, tendono a rientrare in alveo.

Il tratto arginato vallivo, che ha inizio in prossimità dell'attraversamento della S.S. 126 e termina in prossimità della foce, è l'unico che risulta in grado di contenere i deflussi relativi a tutte le portate al colmo simulate, ciò nonostante è presente una criticità residua dovuta all'insufficienza del ponte sulla S.S. 126 che può determinare, per portate con tempi di ritorno superiori ai 50 anni, esondazioni nella parte più bassa dell'abitato di San Nicolò d'Arcidano.

Il tratto arginato in prossimità dell'abitato di San Gavino, compreso fra il ponte della S.S. 197 e il ponte della ex S.S. 197, risulta insufficiente al contenimento anche della portata di piena cinquantennale, a causa dell'insufficienza idraulica sia delle sezioni idrauliche che dei ponti presenti in questo tratto che determina delle esondazioni in alcune aree densamente antropizzate, con la presenza sia di edifici residenziali che commerciali e industriali.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Il tratto non arginato, compreso fra il ponte della ex S.S. 197 e il ponte della S.S. 126, non contiene la portata di piena con tempo di ritorno cinquantennale, ma le potenziali esondazioni interessano quasi esclusivamente terreni dedicati a pratiche agricole, salvo la presenza di alcuni edifici in prossimità del comune di Pabillonis.

Oltre alle criticità descritte, legate al potenziale interessamento di aree edificate, il fattore maggiormente critico sul tratto d'asta studiato è rappresentato dall'insufficienza di quasi tutti i ponti presenti sul corso d'acqua che, oltre a determinare in alcuni casi dei rigurgiti che sono essi stessi causa di esondazione a monte, rappresenta un pericolo per l'attraversamento degli stessi in fase di evento di piena.

Per la mitigazione del rischio idraulico si è fatto riferimento diverse tipologie di intervento che hanno l'obiettivo di risolvere le criticità riscontrate nei tratti maggiormente edificati nei comuni di San Gavino e San Nicolò d'Arcidano.

6.3.1 Intervento tipo A – Apertura di una nuova luce nel ponte della S.S. 126

Allo stato attuale il ponte della strada S.S. 126 in località San Nicolò Arcidano è costituito da un impalcato in calcestruzzo con un'unica luce rettangolare larga 33 metri che non è sufficiente a garantire il passaggio con un adeguato franco idraulico delle portate superiori a quella cinquantennale (Figura 31 e Figura 32).

L'intervento proposto prevede l'apertura di una luce supplementare della stessa larghezza di quella già esistente, in sostituzione della luce del canale colatore in destra idraulica (Figura 33).

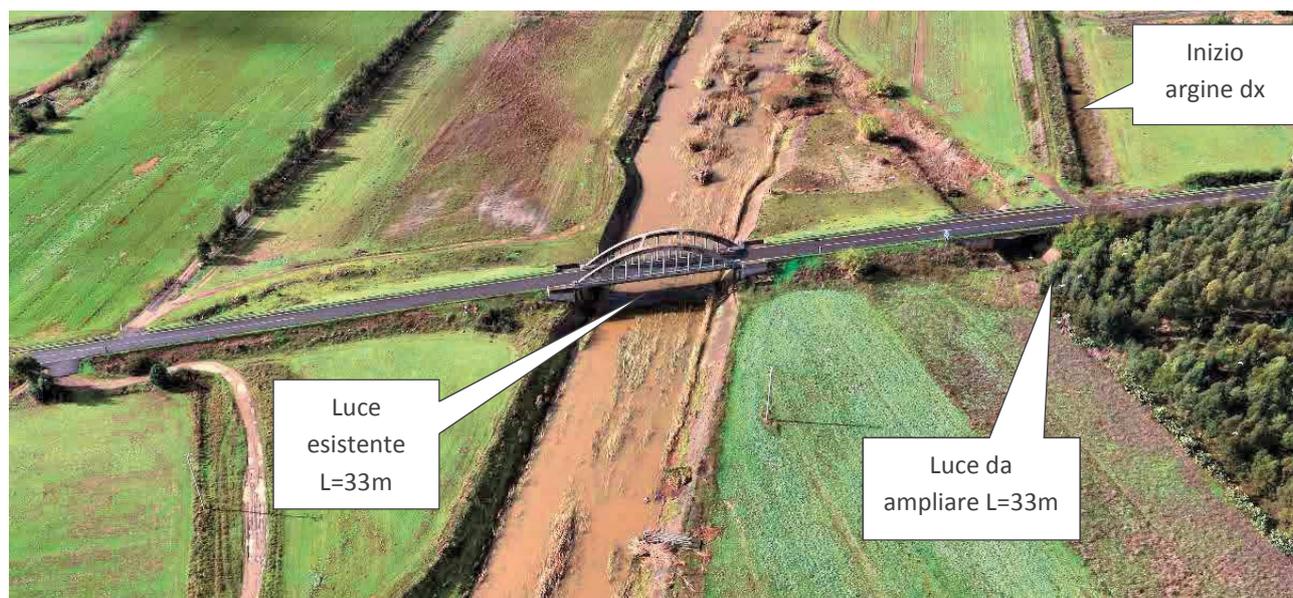


Figura 31 – Ponte della S.S. 126 presso San Nicolò d'Arcidano (CBSM)

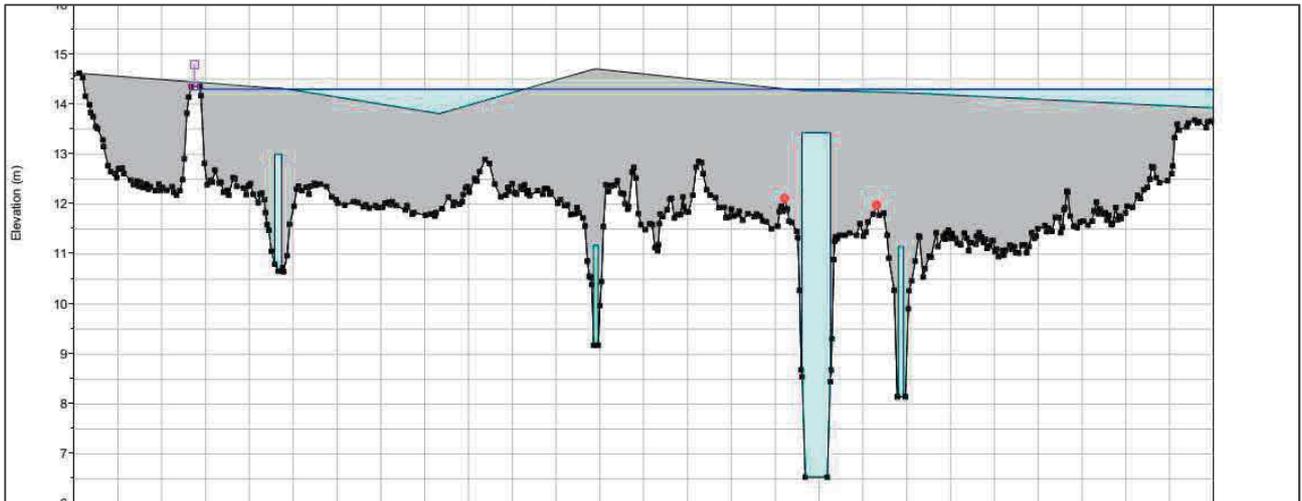


Figura 32 - Ponte sulla strada S.S. 126 - Schematizzazione dello stato attuale

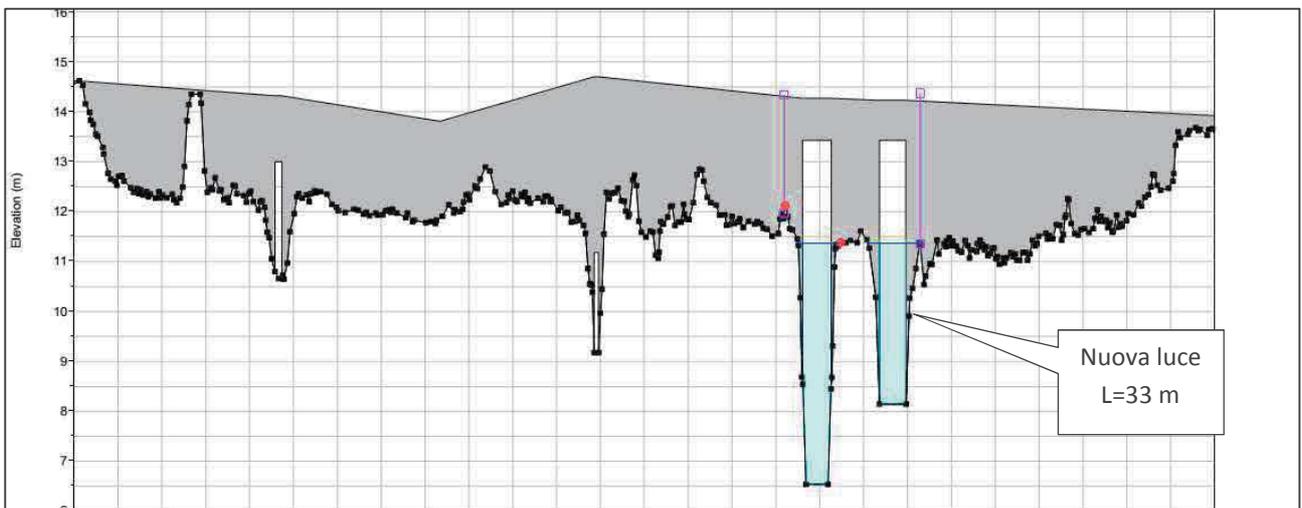


Figura 33 - - Ponte sulla strada S.S. 126 - Schematizzazione dell'intervento A

L'apertura della nuova luce consente il contenimento delle portate relative al tempo di ritorno di 50, 100 e 200 anni all'interno del tratto arginato, eliminando il rischio di tracimazione del ponte e conseguente allagamento della parte bassa dell'abitato di San Nicolò d'Arcidano.



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

6.3.2 Intervento di tipo B – Demolizione del ponte della Ex S.S. 197

L'intervento di demolizione riguarda il ponte della strada provinciale Iglesias – San Gavino, ex S.S. 197, realizzato con impalcato in calcestruzzo poggiante su tre pile con luci di 4 metri. (Figura 34)

L'intervento prevede l'asportazione delle campate mediante demolizione oppure taglio e rimozione mediante attrezzature di sollevamento, la demolizione delle pile in alveo con l'asportazione delle fondazioni o riduzione delle stesse fino al piano di spiccato sia sulle sponde che sul alveo.

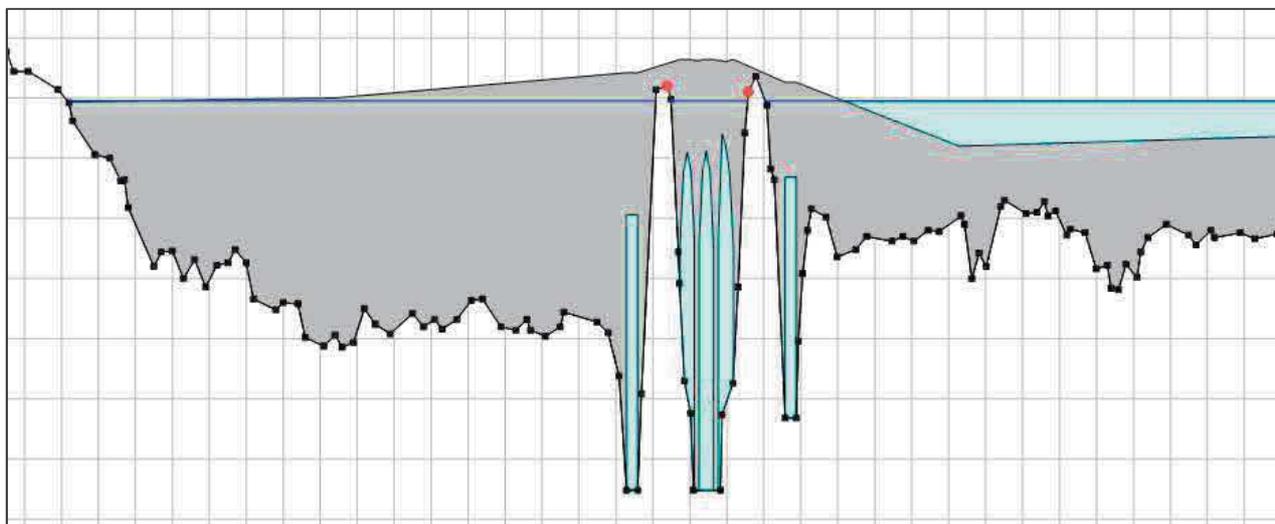


Figura 34 – Ponte della ex S.S. 197 presso San Gavino Monreale – Schematizzazione dello stato attuale

6.3.3 Intervento tipo C – Demolizione del ponte “San Gavino sud”

Analogamente a quanto al caso precedente, la demolizione riguarda il ponte “San Gavino Sud” realizzato con impalcato in calcestruzzo poggiante su tre pile aventi luce di 4 metri (Figura 35)

L'intervento prevede l'asportazione delle campate mediante demolizione oppure taglio e rimozione mediante attrezzature di sollevamento, la demolizione delle pile in alveo con l'asportazione delle fondazioni o riduzione delle stesse fino al piano di spiccato sia sulle sponde che sul alveo.

L'intervento comprende inoltre la pulizia delle sponde, la regolarizzazione delle scarpate in modo da favorire il ritorno alla naturalità delle aree di sedime.



Figura 35 –Ponte “San Gavino Sud” – Vista sul ponte

6.3.4 Intervento tipo D - Demolizione del ponte della S.S. 197

Il ponte della strada S.S. 197 presso San Gavino è costituito da un impalcato in calcestruzzo con un'unica luce rettangolare larga 6 metri che non è sufficiente a garantire il passaggio di portate simulate con un adeguato franco idraulico.

L'intervento in oggetto prevede la demolizione e successiva ricostruzione dell'attuale ponte della S.S. 197 per consentire il deflusso della portata di piena con tempo di ritorno duecentennale. (Figura 36)

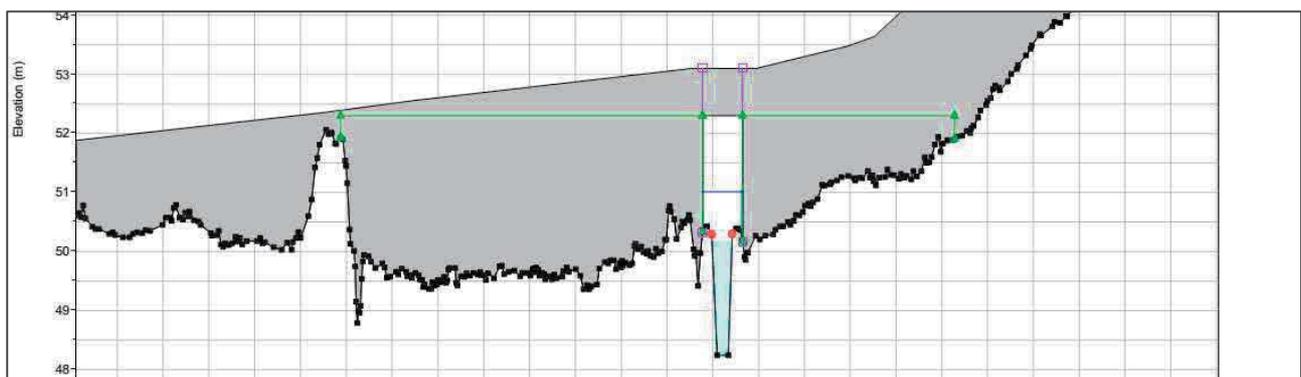


Figura 36 –Ponte della S.S. 197 presso San Gavino Monreale (Ponte tangenziale ovest PSFF)



6.3.5 Intervento tipo E – Demolizione degli argini presso San Gavino Monreale, allargamento della sezione idraulica e realizzazione di nuovi argini.

L'intervento ha l'obiettivo di aumentare il livello di sicurezza nel tratto del Fluminimannu di Pabillonis compreso fra il ponte della S.S. 197 e il ponte della strada provinciale ex S.S. 197. Come già descritto, in questo tratto il fiume risulta arginato, ma la sezione risulta critica anche per portate aventi tempo di ritorno inferiore ai cinquanta anni.

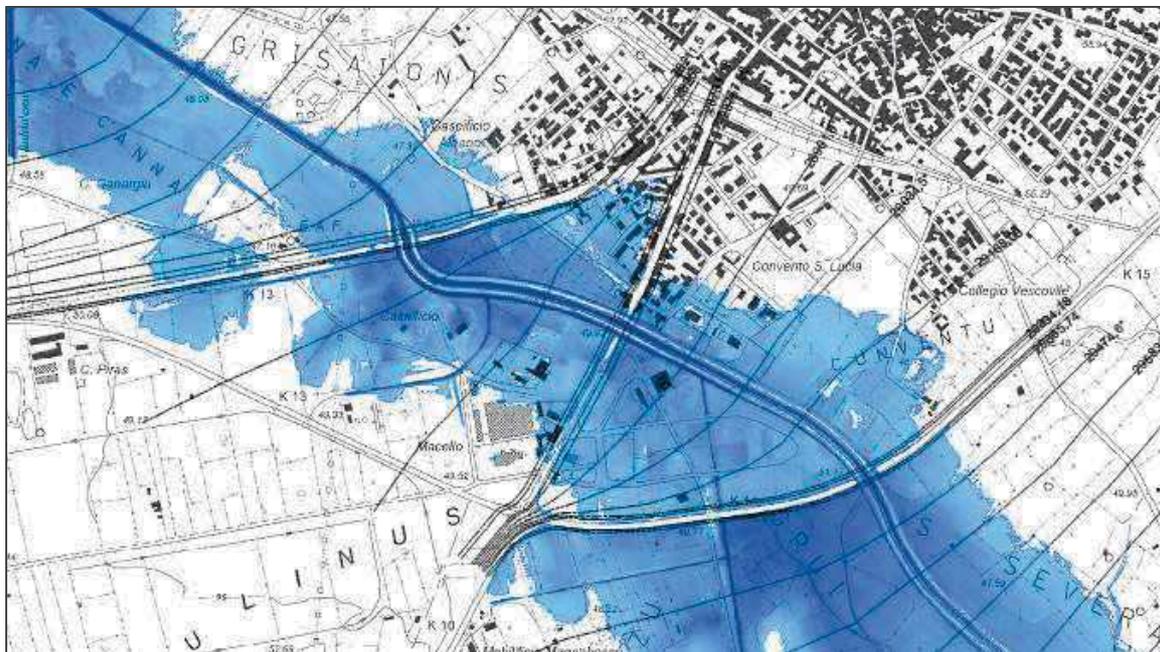


Figura 37 – Fluminimannu presso San Gavino – Stato attuale – Tr=50 anni

Per migliorare la capacità di deflusso è stata prevista la demolizione degli attuali argini, lo scavo con conseguente abbassamento del piano golenale alla quota della savanella e l'allargamento della sezione e la realizzazione di nuove arginature, per una lunghezza di circa 1250 metri, aventi quota compatibile con il piano viabile della S.S. 197 e della Strada Provinciale ex S.S. 197.

I nuovi argini si intestano a partire dai rilevati di accesso alla S.S. 197 e terminano appoggiandosi sui rilevati della S.P. ex S.S. 197. Nella Figura 38 viene rappresentata un planimetria dell'intervento proposto, mentre nella Figura 39 e nella Figura 40 viene riportata una sezione tipo dell'intervento, che prevede sostanzialmente un raddoppio della sezione idraulica.

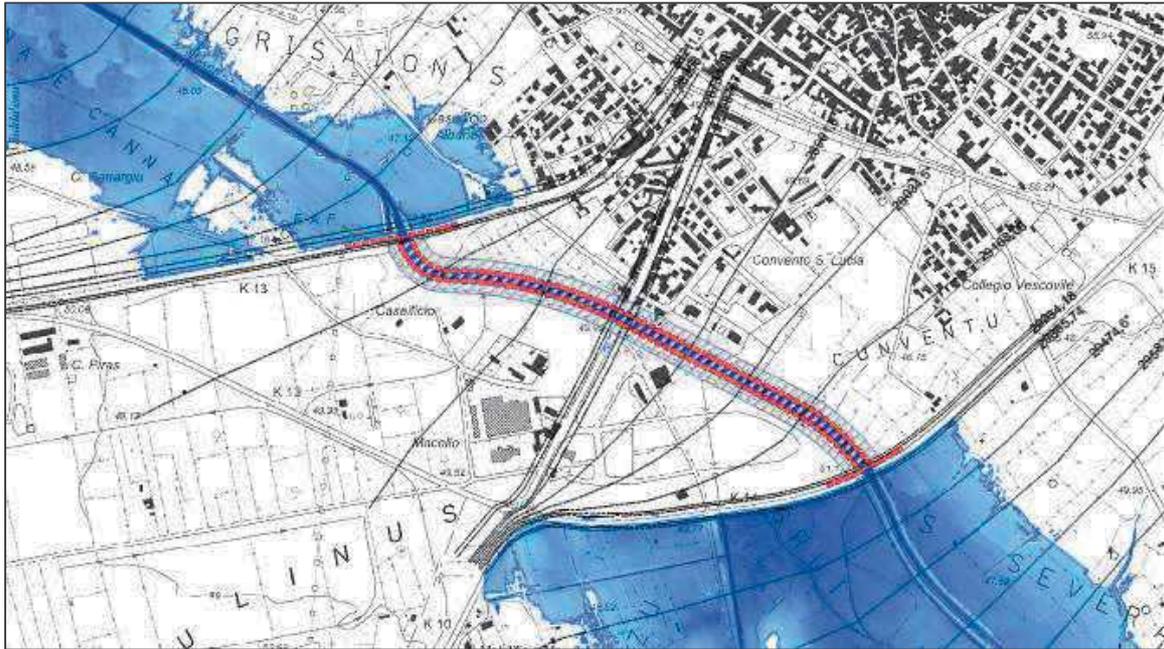


Figura 38 – Realizzazione di una nuova sezione idraulica arginata presso San Gavino Monreale

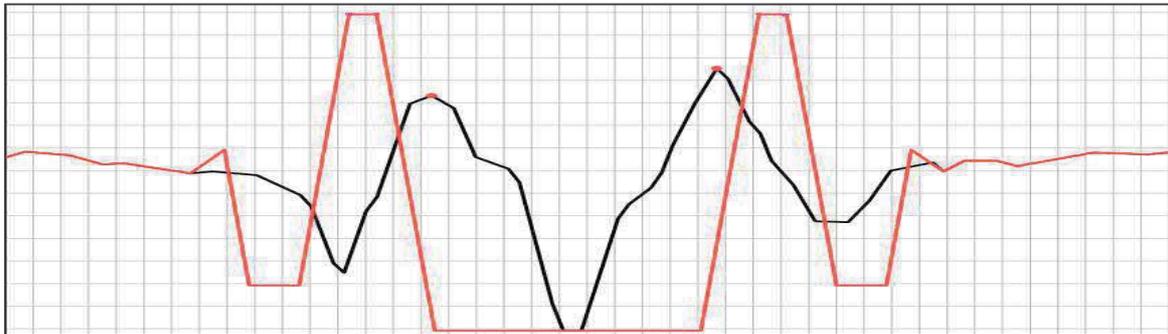


Figura 39 - Schematizzazione della nuova sezione idraulica – In nero lo stato attuale e in rosso la nuova sezione



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

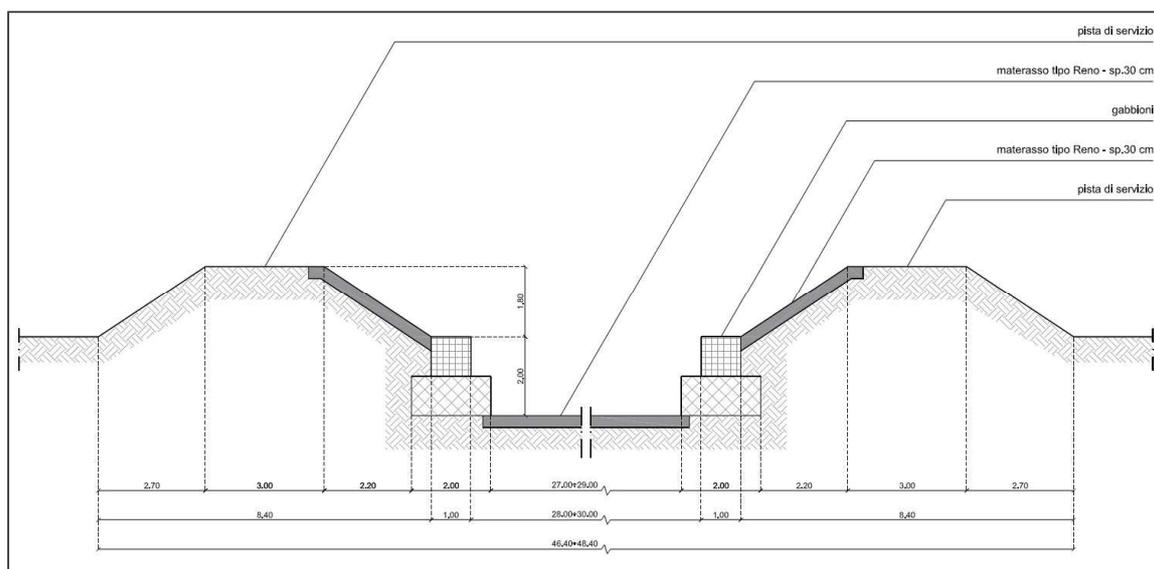


Figura 40 – Sistemazione della nuova sezione idraulica

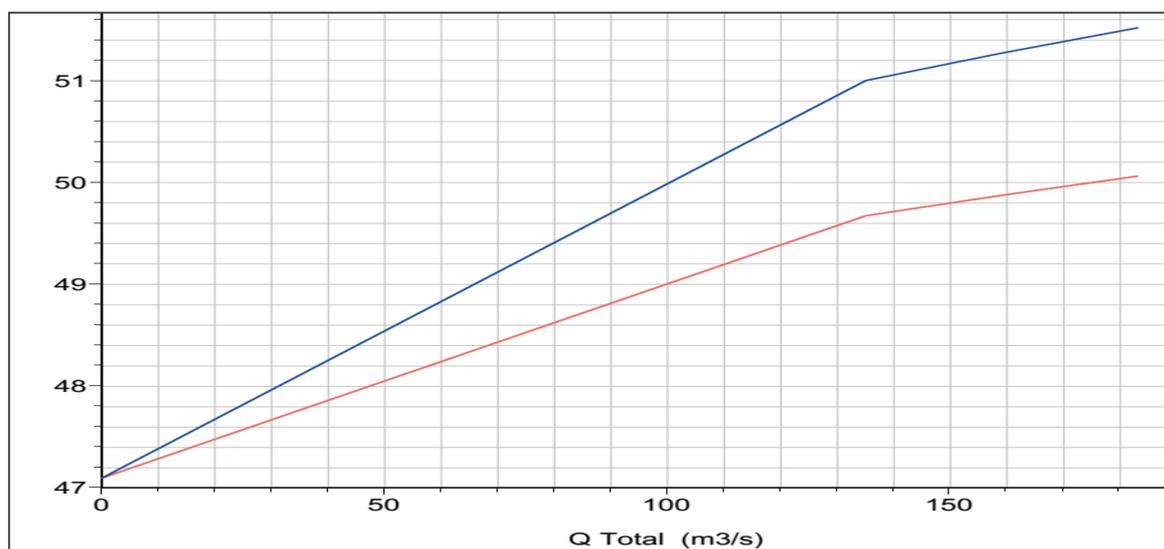


Figura 41 – Scala delle portate – In blu la situazione attuale e in rosso la situazione ex post

6.3.6 Intervento tipo F – Realizzazione dei nuovi canali colatori e delle opere di drenaggio del reticolo minore

L'intervento proposto è complementare all'intervento E. Allo stato attuale il tronco del Fluminimannu compreso fra il ponte della S.S. 197 e il ponte della ex S.S. 197 presenta oltre alle arginature, due canali



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

colatori in destra e sinistra (Figura 42) che raccolgono i deflussi provenienti dai versanti. La realizzazione dell'intervento E che prevede l'allargamento e la nuova arginatura del corso d'acqua necessita quindi di un intervento sulla rete di dreno, regolarizzando le immissioni e realizzando i nuovi canali colatori (Figura 43).

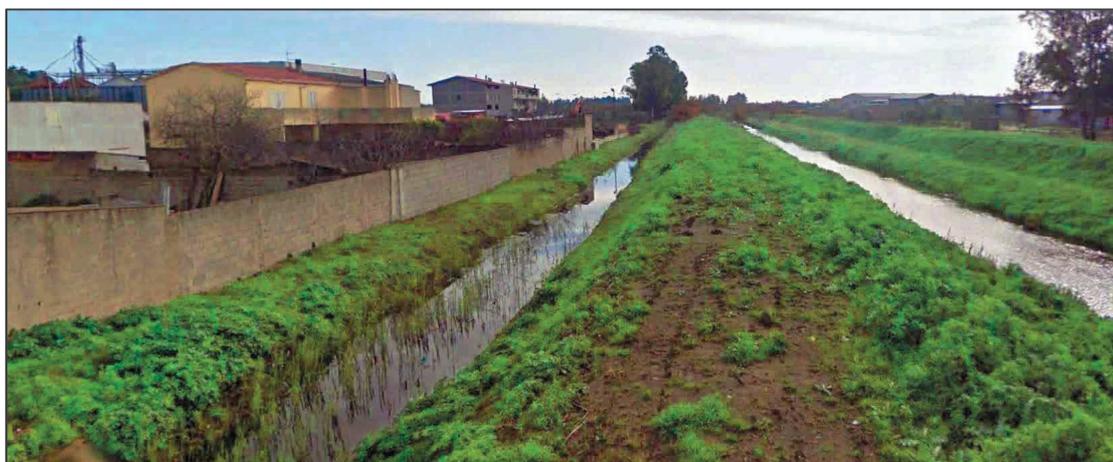


Figura 42 – Stato attuale del controfosso destro del Fluminimannu di Pabillonis presso San Gavino

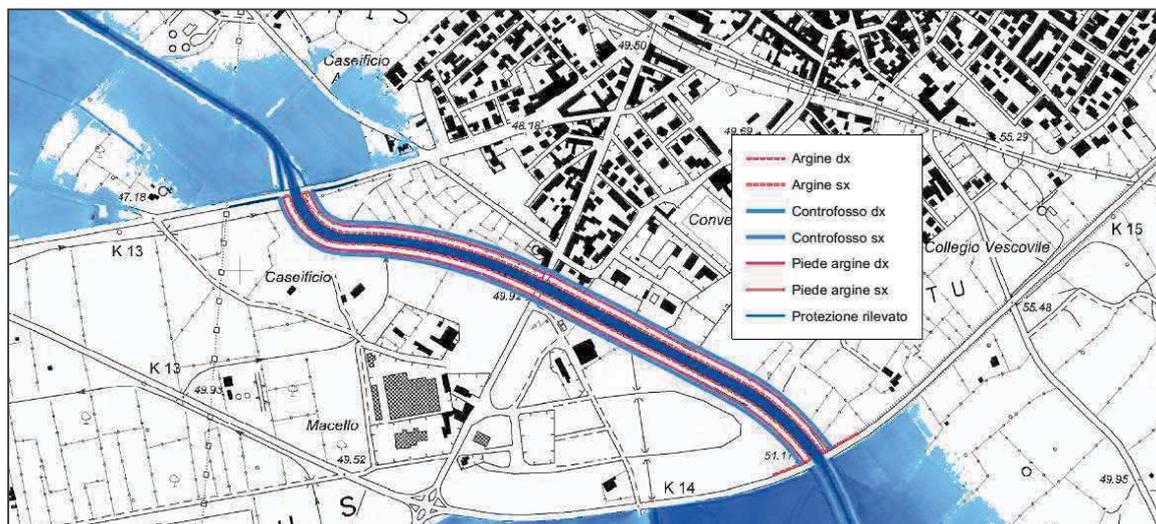


Figura 43 – Sistemazione della rete di drenaggio secondaria



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

6.3.7 Intervento tipo G - Realizzazione del nuovo ponte sulla S.S. 197

L'intervento prevede la realizzazione di un nuovo ponte che consenta il transito della portata con tempo di ritorno duecentennale in condizioni di sicurezza. Il ponte presenta una campata centrale di luce pari a 35 metri e due campate laterali per l'attraversamento dei controfossi con luci pari a 15 metri.

6.3.8 Intervento tipo H- Realizzazione del nuovo ponte sulla Strada provinciale ex S.S. 197

L'intervento prevede la realizzazione di un nuovo ponte che consenta il transito della portata con tempo di ritorno duecentennale in condizioni di sicurezza. Il ponte presenta una campata centrale di luce pari a 35 metri e due campate laterali per l'attraversamento dei controfossi con luci pari a 15 metri.

6.3.9 Intervento tipo M1 di manutenzione del tratto arginato compreso fra il ponte della S.S. 197 e la strada provinciale ex S.S. 197

L'intervento di tipo M riguarda la manutenzione di tutto il tratto arginato di monte (a partire dal ponte della S.S. 197 e fino al ponte della ex S.S.197) mediante il taglio della vegetazione e la pulizia e la eventuale ricarica dei rilevati arginali.

6.3.10 Intervento tipo M2 di manutenzione del tratto arginato a valle del ponte della S.S. 126

L'intervento di tipo M riguarda la manutenzione di tutto il tratto arginato di valle (a partire dal ponte della S.S. 126 e fino alla zona fociva) mediante il taglio della vegetazione e la pulizia e la eventuale ricarica dei rilevati arginali.

6.4 STIMA DEL COSTO DI REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

In questo Studio, la necessità di ottenere una valutazione del costo degli interventi coerente con il livello di dettaglio consentito dalla fase preliminare di progettazione ha indotto a considerare le necessarie generalizzazioni nella previsione delle esecuzioni e nella stima del costo delle opere da realizzare. A tale scopo è stata adottata una procedura di determinazione per via geometrica delle quantità delle lavorazioni e utilizza, per quanto possibile, il modello digitale di terreno LIDAR ad alta risoluzione per la predisposizione di elaborati. La realizzazione di profili di terreno (profili longitudinali, sezioni trasversali etc) necessari a definire con la migliore approssimazione disponibile la geometria dell'opera in progetto è pertanto ottenuta sulla base della geometria data dal modello digitale. La stima dei costi degli interventi sulle arginature è stata effettuata considerando la geometria dell'opera in progetto sulla base delle tipologie predefinite e indicate nell'allegato R6, ove il prezzo di analisi è valutato riportandolo all'unità di misura dimensionalmente tipica



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

per l'opera in progetto (unità di lunghezza per le opere lineari, unità di superficie per gli interventi areali). Per la stima economica si è fatto riferimento:

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

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

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

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

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 15 - Valutazione economica degli interventi

Descrizione	um	q.tà	p.el.	Importo
A - Apertura di una luce supplementare nel ponte della S.S. 126	m	35	€ 20,710	€ 724,845
B – Demolizione del ponte della ex S.S. 197	m	62	€ 1,633	€ 101,257
C – Demolizione “Ponte sud” San Gavino	m	55	€ 1,464	€ 80,517
D – Demolizione ponte della S.S. 197	m	48	€ 3,562	€ 170,975
E – Realizzazione di una nuova sezione arginata	m	1250	€ 1,850	€ 2,312,644
F – Sistemazione rete idrografica secondaria e canali colatori	m ²	99652	€ 2	€ 171,921
G – Nuovo ponte sulla S.S. 197	m	70	€ 20,183	€ 1,412,775
H – Nuovo ponte sulla strada provinciale ex S.S. 197	m	70	€ 20,183	€ 1,412,775
M1 - Manutenzione tratto arginato di San Gavino	m	1250	€ 27	€ 34,000
M2 - Manutenzione tratto arginato di valle	m	7470	€ 39	€ 289,537



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7 Scenari di intervento

7.1 CRITERI DI INDIVIDUAZIONE

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

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

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

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

I rimanenti scenari presentano quindi sia interventi strutturali che gli interventi non strutturali di cui sopra secondo una articolazione di seguito descritta.

7.2 SCENARIO 0

Nello **scenario zero**, che considera la situazione attuale, sono stati inseriti solo gli oneri annui di manutenzione per le opere esistenti, consistenti nella pulizia dell'alveo dei due tratti arginati e del tratto non arginato (interventi tipo M1, M2). L'intervento manutentivo prevede un onere annuale di 226.000 euro.



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 16 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 0"

INTERVENTI	IMPORTO
TOTALE LAVORI	-
SPESE GENERALI (15%)	-
TOTALE LAVORI E SPESE	-
in cifra tonda	-
TOTALE oneri manutenzione (per anno)	€ 226'000

Tabella 17 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 0

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m ²]	Danni	Aree allagate [m ²]	Danni	Aree allagate [m ²]	Danni
A	15,424,260	3,465,376	18,026,696	4,583,450	18,828,677	5,131,292
C	36,463	1,492,963	39,084	1,933,054	46,733	2,586,708
H	28,463	0	28,457	-	28,463	-
I	197,022	17,007,630	203,851	18,378,274	206,764	20,301,859
J	11,137,442	-	11,395,858	-	11,408,166	-
K	448,335	-	448,220	-	448,246	-
N	2,042	8,675	10,746	23,799	11,976	32,548
P	10,882	31,978	13,027	36,482	14,276	40,115
R	101,122	10,495,828	242,056	30,667,678	275,051	36,322,148
S	4,513	38,500	5,018	54,726	5,116	45,053
T	44,149	338,996	64,743	678,461	67,299	782,901
X	1,300,050	-	1,341,261	-	1,346,039	-
Totale	28,734,745	€ 32,879,946	31,819,017	€ 56,355,923	32,686,807	€ 65,242,624

7.3 SCENARIO 1

Lo **scenario 1** comprende l'intervento di tipo A, ossia l'apertura di una nuova luce sul ponte della S.S. 126 per mettere in sicurezza l'abitato di San Nicolò d'Arcidano anche per le portate aventi tempo di ritorno superiore ai 50 anni. L'intervento prevede un costo totale per l'intervento di 841'000 euro. Gli oneri di manutenzione annua restano gli stessi dello Scenario 0.



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 18 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 1"

Interventi	Importo
OPERA TIPO A - Apertura di una nuova luce sul ponte della S.S. 126	
Totale Lavori	€ 724,845
Spese generali (16%)	€ 115'975
Totale lavori e spese	€ 840'820.30
In cifra tonda	€ 841'000
Totale oneri per la manutenzione	€ 226'000

Tabella 19 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 1

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni
A	15,395,854	3,460,067	16,555,973	4,057,342	17,248,649	4,543,308
C	36,416	1,493,596	36,702	1,820,779	37,020	2,234,037
H	28,463	0	28,461	0	28,478	0
I	197,035	17,027,855	196,562	18,068,496	199,890	19,567,040
J	11,135,457	0	11,147,799	0	11,197,725	0
K	448,246	0	448,492	0	448,508	0
N	2,062	8,706	2,163	10,392	2,256	11,862
P	11,755	34,352	12,896	35,909	13,839	38,269
R	101,181	10,502,331	102,389	12,247,864	110,279	14,184,880
S	4,534	39,175	4,522	43,167	4,531	44,363
T	43,950	338,182	49,839	459,059	53,192	512,204
X	1,300,705	0	1,299,619	0	1,302,402	0
Totale	28,705,657	€ 32,904,263	29,885,417	€ 36,743,008	30,646,768	€ 41,135,963



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 2

Lo **scenario 2** comprende, oltre all'apertura di una nuova luce sulla S.S. 126 già prevista nello scenario 1, la demolizione dei tre ponti presenti nel tratto arginato di San Gavino, la ricostruzione dei ponti della S.S. 197 e della ex S.S. 197, la realizzazione di una nuova sezione arginata e la sistemazione della rete di drenaggio secondaria. Il costo stimato per la realizzazione degli interventi previsti è pari a circa 7'100'000 euro. Gli oneri di manutenzione annua sono aggiornati sulla base della nuova configurazione.

Tabella 20 - Valutazione dei costi relativi allo "Scenario 2"

Interventi	Importo
OPERA TIPO A - Apertura di una nuova luce sul ponte della S.S. 126	
OPERA TIPO B - Demolizione del ponte della Strada Provinciale ex S.S. 197 (Ponte Sud-Ovest San Gavino Monreale)	
OPERA TIPO C - Demolizione ponte della strada "San Gavino Sud"	
OPERA TIPO D - Demolizione del ponte S.S. 197 (Tangenziale-Ovest San Gavino Monreale)	
OPERA TIPO E - Demolizione degli argini presso San Gavino Monreale, allargamento della sezione idraulica e realizzazione di nuovi argini	
OPERA TIPO F - Realizzazione dei nuovi canali colatori e delle opere di drenaggio del reticolo minore	
OPERA TIPO G - Realizzazione nuovo ponte sulla S.S. 197	
OPERA TIPO H - Realizzazione nuovo ponte sulla Strada Provinciale ex. S.S. 197	
Totale Lavori	€ 6'116'536
Spese generali (16%)	€ 978'646
Totale lavori e spese	€ 7'095'181
In cifra tonda	€ 7'100'000
Totale oneri per la manutenzione	€ 235'000



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

Tabella 21 - Danni e aree interessate per categorie - Scenario 2

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni
A	15,122,564	3,398,485	16,288,813	3,999,400	16,969,021	4,479,521
C	0	0	0	0	0	0
H	28,463	0	28,461	0	28,478	0
I	29,007	2,606,440	29,490	2,867,547	30,131	3,138,108
J	11,135,448	0	11,147,799	0	11,197,725	0
K	448,202	0	448,449	0	448,464	0
N	1,940	8,439	2,041	10,162	2,135	11,600
P	11,114	33,269	12,262	35,002	13,212	37,288
R	72,475	8,270,423	75,464	10,115,445	79,583	11,505,772
S	4,288	35,522	4,289	39,819	4,302	41,094
T	39,217	307,152	45,181	432,313	48,442	481,582
X	1,300,705	0	1,299,619	0	1,302,402	0
Totale	28,193,422	€ 14,659,730	29,381,867	€ 17,499,687	30,123,895	€ 19,694,965



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

8 Analisi Costi Benefici degli scenari di intervento

8.1 PREMESSE

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

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

8.2 INTERAZIONI TRA PGRA E PIANI DI EMERGENZA

Le procedure di gestione del rischio di alluvione dovrebbero integrare tra loro diverse tipologie di azioni svolte dagli Enti preposti, ma anche dalle comunità e da singoli individui per ridurre a un livello accettabile i danni conseguenti agli eventi di piena. Le azioni non strutturali consistono in misure di emergenza da attuare prima degli eventi, a seguito degli allertamenti, misure da attuare durante le fasi di emergenza per l’evento di piena e misure di post-evento. Con opportune modalità, prima delle piene le popolazioni dovranno essere allertate, potranno essere evacuate e si potranno adottare quelle azioni che limitano i danni dell’esondazione sulle infrastrutture e sui beni più sensibili. Prima e durante l’evento si dovranno adottare misure di intervento e sorveglianza sul territorio: esempi tipici possono essere rappresentati da interdizione all’uso d’infrastrutture di trasporto, realizzazione di lavori temporanei di innalzamento di strutture di protezione, apertura di varchi per agevolare il deflusso, ecc. Dopo la piena dovranno essere adottate le misure che agevolano un rapido recupero nella possibilità di svolgere le regolari attività produttive, e la riutilizzazione delle infrastrutture temporaneamente interdette.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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

L'analisi economica di efficienza, nella stima della riduzione dei danni, di queste misure di emergenza non è agevole: essa è complicata dal fatto che sono difficilmente prevedibili le tendenze individuali ad agire. Spesso questo avviene in maniera non uniforme e talvolta non facilmente prevedibile, specie se il territorio non ha subito vulnerazioni da piena in tempi recenti che consentano, anche sulla base del senso comune, ai singoli di attivarsi con le modalità corrette per affrontare e il superamento della situazione di pericolosità. Sicuramente l'efficienza delle azioni di emergenza s'incrementa come i residenti diventano meglio informati sulle procedure da adottare. La variabilità nella efficienza delle azioni adottate in una fase di emergenza per piena dipende inoltre dalla dimensione e dal livello delle infrastrutture disponibili del territorio interessato e dalla loro stessa vulnerabilità agli eventi. La stessa configurazione del territorio e la tipologia degli edifici può modificare la possibilità di adottare in modo agevole anche procedure ovvie per la salvaguardia della popolazione. Pertanto, il piano di emergenza di ogni singolo sub-bacino dovrà necessariamente essere specificatamente riferito al territorio a rischio e richiede sia possibilmente ivi validato con operazioni di simulazione delle situazioni di pericolo.

Non si ritiene, tuttavia, di dover entrare in questa fase di formulazione del PGRA in una analisi specifica per la definizione dei piani di emergenza. Un'interazione importate sarà comunque considerata: riguarda la definizione del livello di pericolosità da associare a specifiche infrastrutture e, conseguentemente, al territorio sotteso.

In specifico per il Fluminimannu di Pabillonis, si ricorda che nelle in analisi di dettaglio sviluppate nel Capitolo 3 si sono date le informazioni sulle aree attualmente a pericolosità di alluvione, mentre nel Capitolo 4 sono riportati i risultati ottenuti con la modellazione idraulica aggiornata e nel Capitolo 5 il calcolo del danno di piena atteso.

Nello stato attuale, si ricorda che l'analisi sviluppata ha evidenziato come, le portate massime ammissibili allo stato attuale delle opere di difesa e delle strutture sono in diverse sezioni significativamente inferiori rispetto ai valori dei Tr considerati nel PSFF.

Pertanto, nello stato attuale, a questi tempi di ritorno degli eventi di portata si dovrebbe fare riferimento nel predisporre sistemi di allerta, sostanzialmente basati sull'osservazione delle grandezze idrologiche e idrauliche attese negli specifici eventi di piena.

In prospettiva, gli scenari di intervento esaminato hanno suggerito le ipotesi di azioni per realizzare le opere secondo gli scenari descritti nel capitolo precedente. Queste, in linea generale, comprendono opere di adeguamento delle protezioni attualmente presenti rispetto ai necessari requisiti di sicurezza idraulica delineati nei criteri di dimensionamento.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

In considerazione della situazione specifica del territorio e della criticità dello stato di fatto, sono necessarie soluzioni di breve termine che richiedono la sorveglianza e l'allertamento di un ambito territoriale che con maggiore frequenza potrebbe essere interessato da esondazioni controllate, in modo da proteggere i territori più vallivi. Ovviamente queste soluzioni richiedono particolari attenzioni nelle procedure di allertamento che dovranno essere considerate nei Piani di emergenza e di Protezione civile.

In conclusione, si ritiene che nella stesura attuale dello Studio, che sostanzialmente considera le criticità attuali e gli scenari di intervento ipotizzabili, si deve evidenziare la presenza di elementi critici per il deflusso delle acque in termini di funzionalità di infrastrutture esistenti e la necessità di definire azioni di allertamento della popolazione nel territorio vulnerabile.

8.3 ANALISI ECONOMICA DEGLI SCENARI D'INTERVENTO IPOTIZZATI

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

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

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

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

r = tasso di interesse utilizzato.

La scelta del valore del tasso r è fondamentale, poiché influenza i valori cumulati di costo e beneficio del progetto, ma non è però univoca. Alcune ipotesi, tra le più comuni sono: 1) adottare i tassi di interesse applicati dalle banche e dalle aziende di commerciali ai prestiti a lungo termine; 2) decidere i tassi di sconto sulla base di scelte realizzate a livello politico che considerano anche aspetti di equità e solidarietà sociale; 3)



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

adottare il tasso di rendimento dell'investimento della risorsa finanziaria, anche con riferimento a aspetti produttivi alternativi.

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

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

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

8.3.1 Scenario 0 – Situazione attuale

Nello **Scenario zero** non sono inserite nuove opere infrastrutturali. Lo scenario considera pertanto la situazione attuale senza interventi aggiuntivi se non quelli di ordinaria manutenzione come previsti nell'apposita voce che prevede apposite lavorazioni di conservazione degli argini esistenti allo stato attuale.

Gli oneri di manutenzione computati nello scenario attuale sono valutati in € 226.000 all'anno.

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

In definitiva, i benefici medi annui conseguenti dalla realizzazione degli scenari saranno valutati come differenza tra i danni medi annui attesi nello Scenario 0 e i danni medi annui attesi a seguito della realizzazione degli interventi, considerati negli Scenari successivi.

Tabella 22 - Stato Attuale: estensione delle aree vulnerate e stima del danno

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m ²]	Danni	Aree allagate [m ²]	Danni	Aree allagate [m ²]	Danni
Totale	28,734,745	€ 32,879,946	31,819,017	€ 56,355,923	32,686,807	€ 65,242,624



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

8.3.2 Scenario 1 – Interventi di urgenti di adeguamento del ponte S.S. 126

Come già detto, nello **Scenario 1** si prevedono interventi per l'apertura di una nuova luce sul ponte della S.S. 126 per mettere in sicurezza l'abitato di San Nicolò d'Arcidano anche per le portate aventi tempo di ritorno superiore ai 50 anni. L'intervento prevede un costo totale di circa 841'000 euro.

Gli oneri di manutenzione annui restano quelli considerate in scenario 0 relative agli argini esistenti, per un totale di circa € 226.000 per anno.

Tabella 23 - Scenario 1: Estensione delle aree vulnerate e stima del danno totale per i diversi tempi di ritorno

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni
Totale	28,705,657	€ 32,904,263	29,885,417	€ 36,743,008	30,646,768	€ 41,135,963

Rispetto alla situazione attuale, dalla tabella che riporta i danni di piena nello Scenario 1 si riscontra la significativa riduzione dell'estensione delle aree allagate e dei danni per i tempi di ritorno superiori ai 50 anni.

Sulla base delle valutazioni delle criticità attuali date in Capitolo 4, il tempo di ritorno al quale possono essere associati, complessivamente, danni nulli è stato posto uguale a $T_r=20$ anni.

Il valore del beneficio medio annuo atteso in questo scenario è pari a circa 0.328 Meuro/anno. L'andamento della curva di riduzione del danno in funzione della probabilità dell'evento atteso è dato in Figura 44, dove sono visualizzati anche i flussi attualizzati di costi e benefici. Dalla figura si riscontra che il raggiungimento della rientro economico dell'intervento avviene in tempi estremamente brevi, evidenziando quindi la sua efficienza anche in termini economici.



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

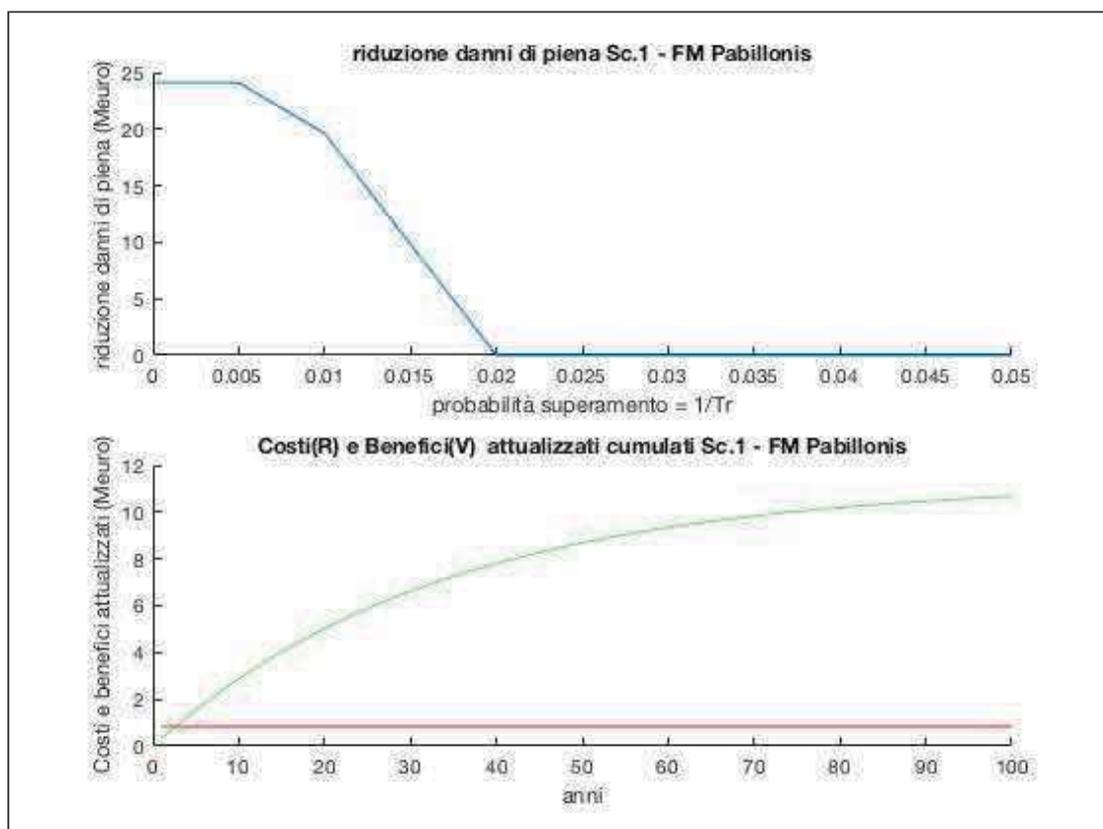


Figura 44 - Scenario 1: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici

8.3.3 Scenario 2

Come già detto, lo **Scenario 2** comprende, oltre all'apertura della nuova luce sulla S.S. 126, già prevista nello scenario 1, la demolizione dei tre ponti presenti nel tratto arginato di San Gavino, la ricostruzione dei ponti della S.S. 197 e della ex S.S. 197, la realizzazione di una nuova sezione arginata e la sistemazione della rete di drenaggio secondaria.

Il costo stimato per la realizzazione degli interventi previsti è pari a 7'100'000 euro.

Gli oneri di manutenzione annui sono stimati pari ad un totale di circa € 235.000 per anno.

Tabella 24 - Scenario 2: Estensione delle aree vulnerate e stima del danno totale per i diversi tempi di ritorno

Categoria	T=50		T=100		T=200	
	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni	Aree allagate [m2]	Danni
Totale	28,193,422	€ 14,659,730	29,381,867	€ 17,499,687	30,123,895	€ 19,694,965



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

Rispetto alla situazione attuale, dalla tabella che riporta i danni di piena dello Scenario 2 si riscontra la significativa riduzione dell'entità dei danni attesi per tutti i tempi di ritorno.

Sulla base delle valutazioni delle criticità attuali date in Capitolo 4, il tempo di ritorno al quale possono essere associati danni nulli è stato posto uguale a $T_r=20$ anni.

Il valore del beneficio medio annuo atteso in questo scenario è pari a circa 0.997 Meuro/anno. L'andamento della curva di riduzione del danno in funzione della probabilità dell'evento atteso è dato in Figura 45, dove sono visualizzati anche i flussi attualizzati di costi e benefici. Dalla figura si riscontra che il raggiungimento della rientro economico dell'intervento avviene in un arco temporale inferiore ai 10 anni, evidenziando quindi la sua efficienza anche in termini economici.

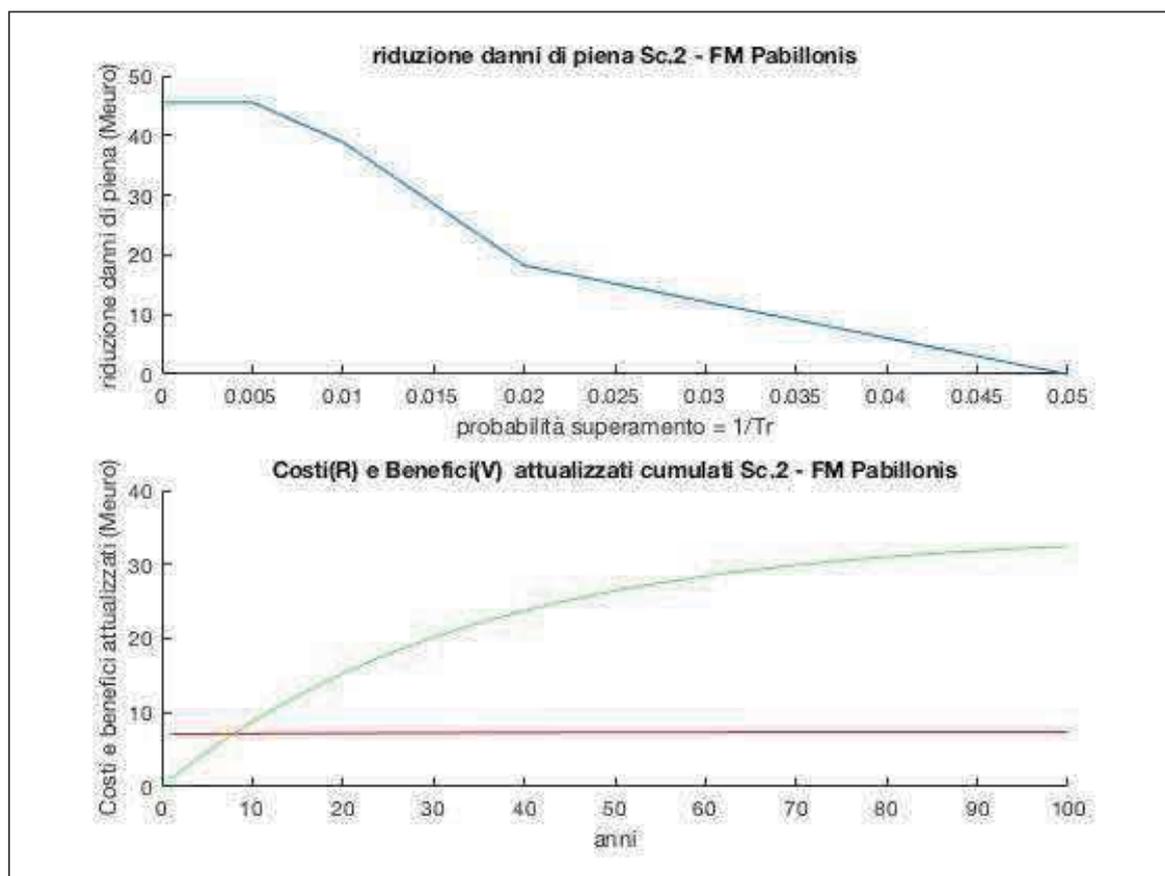


Figura 45 - Scenario 2: Riduzione del danno di piena e curve cumulate dei valori attualizzati di costi e benefici