

ACCORDO DI COLLABORAZIONE

tra

Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna

e

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

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

PGRA2 – REVISIONE PGRA

Modellazione 2D degli ambiti fluviali vallivi

Fiume Temo

Cagliari, ottobre 2021

Elaborazioni

Ing. Mauro Piras

Responsabile scientifico

Prof. Giovanni Maria Sechi



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	Premessa	4
2	Descrizione sintetica del sistema idrografico del bacino del Fiume Temo	6
2.1	Inquadramento idrografico	6
2.2	La diga di laminazione di Monte Crispu	7
2.3	Il bacino del Fiume Temo	9
3	Studi pregressi, vincolistica vigente e pericolosità idrauliche documentate	12
3.1	Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)	12
3.2	Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	13
3.3	Aggiornamento della modellazione del DICAAR per il fiume Temo.....	14
3.4	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).....	16
4	Aggiornamento della modellazione idraulica mediante modellazione bidimensionale.....	18
4.1	Il codice di calcolo Hecras 2D	18
4.1.1	Equazioni utilizzate.....	19
4.1.2	Determinazione dell'intervallo computazionale.....	20
4.2	Costruzione dei modelli idraulici	20
4.2.1	Dati utilizzati.....	20
4.2.2	Definizione dei domini di calcolo e discretizzazione spaziale	20
4.2.3	Definizione della scabrezza	25
4.3	Input idrologici	27
5	Risultati delle simulazioni idrauliche.....	34
5.1	Premessa	34
5.2	Battenti idrici e velocità di corrente.....	34
5.3	Indice di vulnerabilità.....	40



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



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

Indice delle Figure

Figura 1 – Bacino del Fiume Temo: inquadramento idrografico	6
Figura 2 -Diga di laminazione sul Fiume Temo a Monte Crispu.....	7
Figura 3 – Diga di Monte Crispu – Scarico di fondo – Pianta e sezione	8
Figura 4 – Diga di Monte Crispu – Scarico di alleggerimento e calice – Pianta e sezione.....	9
Figura 5 - Pericolosità idraulica individuata nel Piano di assetto idrogeologico.....	12
Figura 6 – Pericolosità idraulica individuata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.....	14
Figura 7 - Pericolosità idraulica individuata dal DICAAR nell’ambito dell’aggiornamento del PSFF	15
Figura 8 - Pericolosità idraulica individuata nel PGRA	16
Figura 9 – DEM 2008 - 2013.....	21
Figura 10 – DEM 2020	21
Figura 11 – Modello idraulico del tratto medio del Fiume Temo	22
Figura 12 – Modello idraulico del fiume Temo – Esempio di differente risoluzione della mesh di calcolo	23
Figura 13 - – Modello idraulico del fiume Temo – Integrazione della dtm RAS con il rilievo batimetrico – Esempio 1	23
Figura 14 - Integrazione della dtm RAS con il rilievo batimetrico – Esempio 2.....	24
Figura 15 – Modello idraulico del fiume Temo – Inserimento dell’infrastruttura del ponte romano	24
Figura 16 – Mappatura dei coefficienti di scabrezza nell’alveo vallivo del fiume Temo	25
Figura 17 – Bacino del Fiume Temo – Ubicazione della diga di Monte Crispu	28
Figura 18 – Temo a Monte Crispu – idrogrammi in ingresso e uscita per $Tr=50$ anni (sx) e $Tr=100$ anni (dx) ...	28
Figura 19 - Temo a Monte Crispu – idrogrammi in ingresso e uscita per $Tr=200$ anni	29
Figura 20 - Bacino del Fiume Temo – Sezione del Temo a San Martino nel tratto vallivo del Fiume Temo	30
Figura 21 – Idrogramma di piena alla sezione di San Martino - $Tr=50$ anni (sx) e $Tr=100$ anni (dx)	30
Figura 22 - Idrogramma di piena alla sezione di San Martino - $Tr=200$ anni	31
Figura 23 – Sottobacini principali in area urbana	31
Figura 24 – Idrogrammi di piena utilizzati per la modellazione idraulica	33
Figura 25 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA – $Tr=50$ anni	35
Figura 26 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA – $Tr=100$ anni	36
Figura 27 - Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA – $Tr=200$ anni.....	36
Figura 28 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA-DICAAR – $Tr=50$ anni..	37
Figura 29 - Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA-DICAAR – $Tr=100$ anni.	37
Figura 30 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA-DICAAR – $Tr=200$ anni	38
Figura 31 – Mappa della velocità di corrente – $Tr=50$ anni.....	39
Figura 32 – Mappa della velocità di corrente – $Tr=100$ anni	39
Figura 33 - Mappa della velocità di corrente – $Tr=200$ anni.....	40
Figura 34 – Indice di vulnerabilità – $Tr=50$ anni	43
Figura 35 – Indice di vulnerabilità – $Tr=100$ anni	43
Figura 36 - Indice di vulnerabilità – $Tr=200$ anni.....	44



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



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

Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Valori di Manning associati all'uso del suolo UDS	25
Tabella 2 - Caratteristiche degli idrogrammi di piena alla sezione di Monte Crispu – Idrologia Accordo Quadro	29
Tabella 3 – Portata al colmo degli idrogrammi di piena alla sezione di San Martino – Idrologia Accordo Quadro	30
Tabella 4 - Caratteristiche degli idrogrammi di piena dei sottobacini urbani – Idrologia Accordo Quadro	32
Tabella 5 – Portate al colmo degli idrogrammi di piena qui utilizzati per la modellazione idraulica (idrologia AQ)	33
Tabella 6 – Portate al colmo degli idrogrammi di piena utilizzati nel PSFF e PGRA	33
Tabella 7 - Classificazione dell'indice di vulnerabilità	41



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 Premessa

La presente relazione si inserisce nell'ambito del Progetto di cui alla Convenzione in data 20 aprile 2020: "Accordo di collaborazione tra Agenzia Regionale di Distretto Idrografico della Sardegna e il DICAAR finalizzato a collaborazione tecnico-scientifica nell'ambito della Seconda Fase di Pianificazione del PGRA, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49", integrato con Atto Aggiuntivo in data 30 settembre 2021

In particolare, nella Convenzione al punto 1) dell'Art. 1, è previsto che il DICAAR fornisca supporto scientifico e tecnico per attività di ricerca finalizzate alla predisposizione della metodologia di modellazione 2D degli ambiti fluviali vallivi. Nel successivo punto 2) dello stesso articolo è precisato che la modellazione 2D riguarderà anche l'ambito vallivo del fiume Temo. Tali modellazioni sono finalizzate, a determinare gli indici di vulnerabilità da esondazione nel territorio mediante simulazione 2D che consente di valutare con adeguato dettaglio battenti idrici e velocità negli ambiti di esondazione. La successiva analisi dei risultati del modello 2D consente di integrare quanto già valutato dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per la definizione delle aree a rischio

La modellazione 2D deve essere sviluppata per i tempi di ritorno di 50, 100, e 200 anni facendo particolare attenzione ai criteri di valutazione dell'indice di vulnerabilità. L'esigenza di implementare un modello bidimensionale deriva dalla necessità di conoscere su una griglia sufficientemente fitta il valore dei principali parametri idraulici, in particolare della velocità e del tirante del flusso idrico, per poter calcolare l'indice di vulnerabilità che sintetizza la pericolosità della corrente e modula pertanto tale valore di vulnerabilità all'interno delle aree di esondazione.

In particolare, nella metodologia che si è utilizzata si farà riferimento a quanto contenuto nella Delibera n.1 del Comitato Istituzionale del 16.06.2020 ove stato introdotto il comma 5 septies dell'articolo 8 delle Norme di Attuazione del PAI che cita *"anche per i bacini che riguardano ambiti urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale individuato dal Comitato istituzionale con deliberazione n. 3 del 30.07.2015, i Comuni possono redigere appositi studi finalizzati alla valutazione del tirante idrico (h) e della velocità della corrente (v), determinati mediante adeguata analisi modellistica. Tali studi sono proposti e redatti dai Comuni in coerenza con specifiche linee guida approvate dal Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino, in applicazione dei commi 5 ter, quater e quinquies"*.

Nella presente Relazione sono illustrati i risultati dell'attività di studio con modellazione idraulica bidimensionale effettuata sul bacino vallivo del Fiume Temo, interessato nel suo tratto vallivo da ampie aree di esondazione già individuate nell'ambito del PSFF e della prima fase di pianificazione PGRA.

Mediante l'applicazione dell'approccio descritto nella Relazione Metodologica, predisposta per il bacino pilota del Fluminimannu di Cagliari lo studio ha permesso di definire gli indici di vulnerabilità sul territorio qui esaminato attraverso la predisposizione di modelli bidimensionali che consentono di valutare le caratteristiche del deflusso (particolarmente battenti idrici e velocità) anche in condizioni di esondazione del corso d'acqua dal suo abito di deflusso ordinario, con interessamento di zone



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

antropizzate. L'articolazione della presente relazione, che illustra la metodologia adottata ed i risultati ottenuti, è sintetizzata di seguito:

- Nel Capitolo n.2 viene riportata una descrizione sintetica del bacino vallivo del Fiume Temo, con la definizione delle caratteristiche più rilevanti della diga di laminazione a Monte Crispu
- Nel Capitolo n.3 viene fatta una sintesi degli studi pregressi esistenti sul bacino vallivo del Fiume Temo riportando la vincolistica vigente.
- Il Capitolo n.4 contiene la descrizione dei modelli idraulici realizzati, con riferimento alle principali caratteristiche quali dominio di calcolo, condizioni al contorno e input idrologici.
- Il Capitolo n.5 riporta i risultati delle simulazioni idrauliche effettuate in termini di battenti idrici, velocità di corrente ed, infine, la valutazione e mappatura dell'indice di vulnerabilità.



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 del bacino del Fiume Temo

2.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del Fiume Temo, nell'inquadramento di riferimento regionale, appartiene alla *Zona idrografica n.3* (Temo) e, in base alla classificazione fornita dal Piano Stralcio Fasce Fluviali, risulta compreso all'interno del *Sub bacino n°22 "Fiume Temo"*.

Sul Temo sono presenti due opere di sbarramento: quella più a monte, che sottende un bacino idrografico di circa 145 km², è costituita dalla diga di regolazione dell'Alto Temo, che forma l'omonimo lago compreso nei comuni di Monte Leone Rocca Doria, Romana e Villanova Monte Leon.

Il secondo sbarramento è ubicato più a valle, a circa 11 km dalla foce, è costituito dalla della diga di Monte Crispu che svolge solo la funzione di laminazione delle piene e sottende un bacino che, complessivamente, è pari a 523 km².

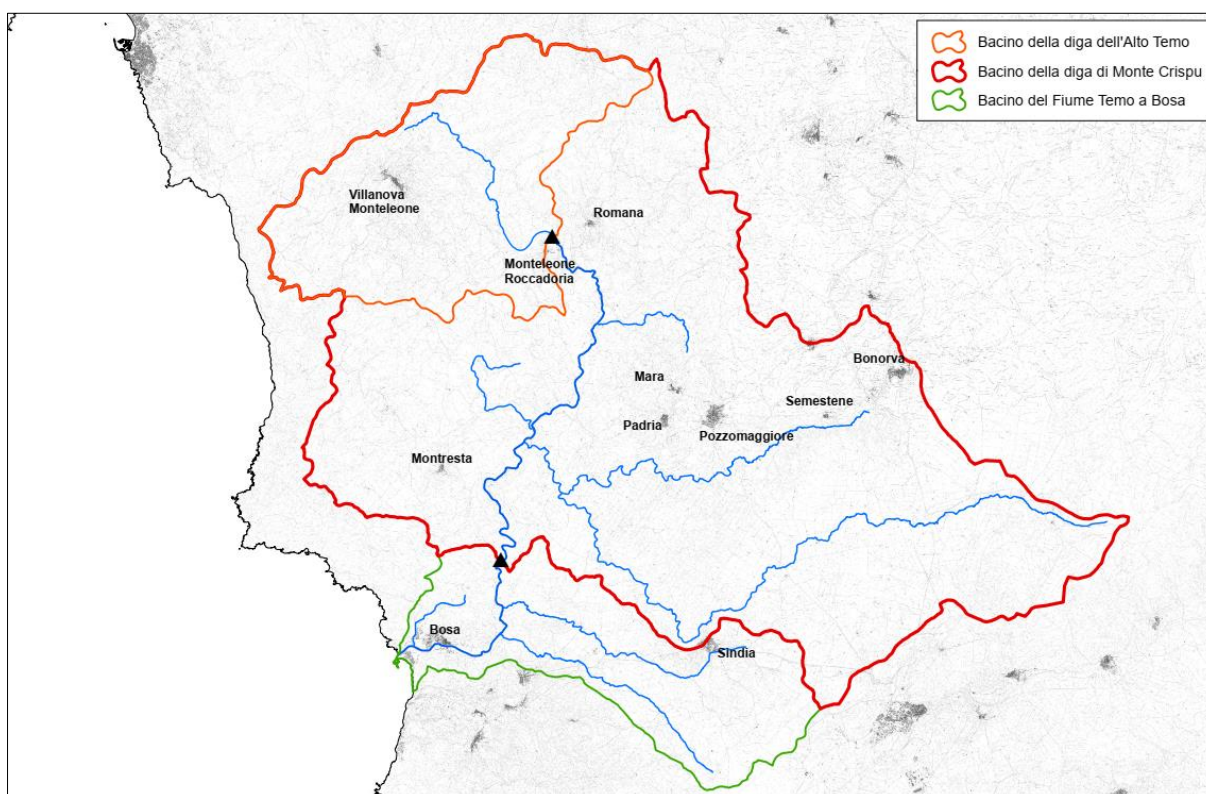


Figura 1 – Bacino del Fiume Temo: inquadramento idrografico



2.2 LA DIGA DI LAMINAZIONE DI MONTE CRISPU

La diga di Monte Crispu sbarrava il fiume Temo a circa 11 km dalla foce, nel territorio comunale di Bosa. L'opera è destinata esclusivamente alla laminazione delle onde di piena, a protezione dell'abitato della città di Bosa. Attualmente l'opera è gestita dall' Ente Acque della Sardegna (Enas).

La diga è stata realizzata negli anni 1956-1979 ed è del tipo ad arco-gravità in calcestruzzo con doppia curvatura. È alta 62 metri ed ha uno sviluppo del coronamento di 325 m.

Lo sbarramento determina un invaso con capacità di accumulo pari a 30.72 milioni di metri cubi, destinati integralmente alla laminazione.

Attualmente il collaudo statico della diga non risulta realizzato così come gli invasi sperimentali.



Figura 2 -Diga di laminazione sul Fiume Temo a Monte Crispu

La diga possiede uno scarico di fondo, uno scarico di alleggerimento, uno scarico di fondo in corpo diga, uno scarico di esaurimento, uno scarico di superficie e uno sfioratore a calice.

- Lo scarico di fondo (Figura 3) è costituito da una galleria di 6 metri di diametro con soglia a quota 24.70 m s.l.m., sviluppo 18 m e profilo di tipo Oegee. La galleria è regolata da quattro paratoie metalliche piane delle dimensioni di 2.80 x 5.00 m disposte in serie, a coppie. Inizialmente lo scarico possedeva la soglia a quota 15.8 m s.l.m. e la galleria era priva di organi di intercettazione.
- Lo scarico di alleggerimento (Figura 4) è costituito da una galleria di 5 metri di diametro con soglia a quota 24.80 m s.l.m., sviluppo 15 m e profilo di tipo Oegee. La galleria è regolata da due paratoie metalliche piane delle dimensioni di 2.80 x 5.00 m disposte in serie.



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 calice (Figura 4), avente diametro pari a 68.15 m slm e quota di imbocco pari a 68.15 m slm, si innesta nella stessa galleria dello scarico di alleggerimento, poco più a valle degli organi di intercettazione dello scarico.
- Lo scarico di superficie, costituito da uno sfioratore con soglia libera di m 40 e quota soglia pari a 68.80.00 m slm, consente di esitare una portata massima di $51.5 \text{ m}^3/\text{s}$ alla quota di massimo invaso.
- Gli scarichi di fondo e di esaurimento in corpo diga sono costituiti da due condotte circolari di diametro 400 mm intercettate da due saracinesche a corpo piatto localizzate all'interno del cunicolo trasversale dello sbarramento. Le sezioni di imbocco, presidiate da griglie metalliche, sono poste a quota 19.8 m slm (scarico di fondo) e 15.4 m slm (scarico di esaurimento).

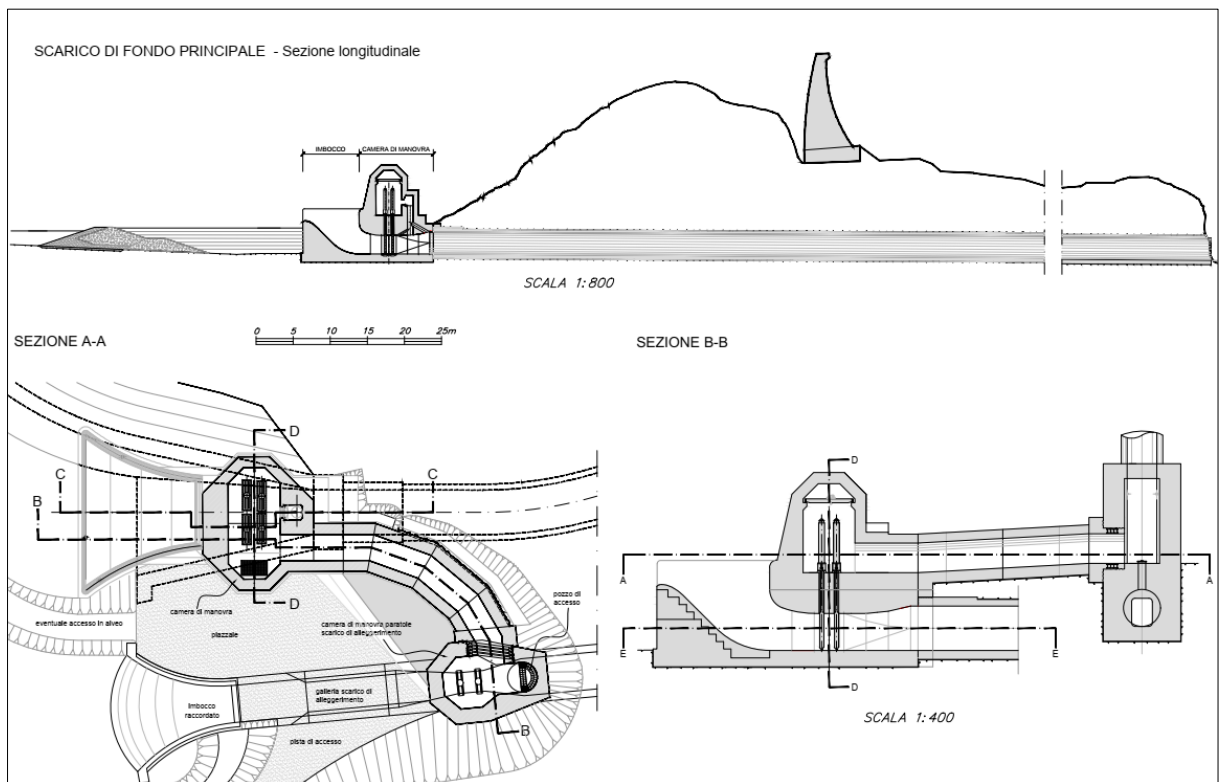


Figura 3 – Diga di Monte Crispu – Scarico di fondo – Pianta e sezione



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

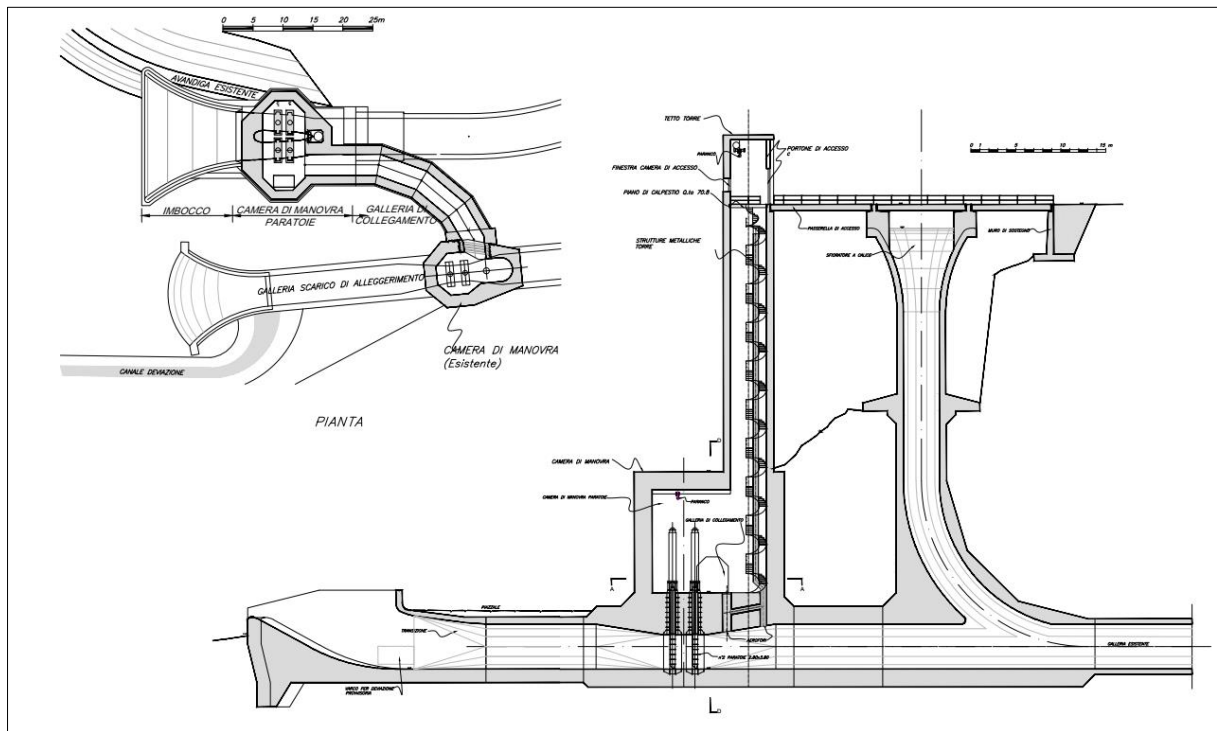


Figura 4 – Diga di Monte Crispu – Scarico di alleggerimento e calice – Pianta e sezione

2.3 IL BACINO DEL FIUME TEMO

Di seguito si riporta la descrizione del bacino del Fiume Temo riportata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali:

Il bacino del Temo è interamente impostato su un tavolato di origine vulcanica che si affaccia con ripida scarpata, da un'altezza di circa 500-600 m, sul settore di costa occidentale della Sardegna compreso tra Alghero e Capo Mannu. Si tratta una zona da pianeggiante a collinare e ne fa parte, tra l'altro, l'altopiano di Campeda.

In tale contesto il reticolo idrografico secondario attraversa il tavolato vulcanico inizialmente in quota, per poi progressivamente approfondirsi formando sorte di canyon, nettamente ribassati rispetto al piano originale e delimitati da ripidi versanti rocciosi. Il Temo, costituendo l'asse di drenaggio principale, corre all'interno di una valle con tali caratteristiche per buona parte del suo sviluppo, per poi raggiungere la costa presso Bosa. Gli affluenti secondari, che transitano sulla superficie del tavolato, tendono ad approfondirsi solo in prossimità della scarpata che delimita la valle del Temo, per cui presentano un profilo di fondo che differisce sensibilmente da quello ideale, in cui ad un tratto intermedio a modesta pendenza ne segue un altro, terminale, decisamente più inclinato

Il fiume Temo, prima dello sbocco nella piana costiera in corrispondenza della confluenza del riu Crabalza, presenta le caratteristiche di un torrente montano, con alveo ciottoloso invaso da massi,



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

valle stretta ed incisa con piede dei versanti corrispondenti ai bordi dell'alveo attivo. Quest'ultimo è di tipo monocursale sinuoso e, per lo più, è costretto a seguire strettamente l'incisione del fondovalle.

Nella piana costiera, che colma il vecchio fondovalle scavato durante l'ultima glaciazione e poi sommerso, la sezione si allarga notevolmente ed assume la conformazione di un largo e profondo canale navigabile. Si tratta evidentemente di una conformazione non naturale, ma frutto di una serie di interventi successivi che si ripetono da secoli per mantenere navigabile l'accesso a Bosa dal mare via fiume. L'attuale foce e la limitrofa linea di spiaggia sono sostanzialmente stabili dalla fine del 1600, ma solo verso la fine '800, con il collegamento dell'isola Rossa alla costa con la diga foranea, l'area ha assunto la configurazione attuale.

Il tratto più vallivo, oggetto del presente studio, a differenza dei tratti a monte, è molto più artificiale, con opere di difesa longitudinali su entrambe le sponde ed un argine situato a difesa dell'abitato di Bosa Marina.

In particolare, sono state individuate numerose difese di sponda longitudinali nel tratto terminale del Temo, costituite per lo più da muri spondali che, oltre a stabilizzare le rive, svolgono la funzione di moli per l'attracco di piccole e medie imbarcazioni (anzi, in taluni casi, questa è senz'altro la finalità prevalente). Inoltre, una scogliera in massi protegge, lato fiume, l'istmo artificiale che collega alla costa l'ex Isola Rossa; un muro di sostegno della SS129bis, per un breve tratto corre sulla verticale della riva del Temo addossata ad un versante roccioso; un muro in calcestruzzo, in parte sovralluvionato da sedimenti, protegge e sostiene un cospicuo tratto del lungofiume di Bosa; un vecchio muro in pietrame a secco con problemi di scalzamento è posto sulla riva sinistra subito a monte del ponte vecchio di Bosa; infine, presso Bosa Marina, ciò che resta di una vecchia difesa in pietrame e gabbioni, in fase di sostituzione con un nuovo muro spondale, facente anch'esso funzione di molo di attracco.

L'unico argine presente sul Temo è ubicato sulla sponda sinistra in corrispondenza della piana costiera. Si tratta di un breve rilevato in terra, di 3 m di altezza per 3 di larghezza al coronamento, probabilmente realizzato a inizio '900, che si immorsa, da un lato sul versante montuoso in corrispondenza della carreggiata della SS 129 bis, dall'altro sulla spalla sinistra del ponte stradale di Bosa Marina. L'opera è a protezione di una breve area di bonifica posta tra Bosa Marina e i retrostanti rilievi, nonché di un ristretto tratto della SS 129bis e di una vecchia fornace in disuso, ora sede di un circolo di canottaggio. Stranamente l'opera si interrompe a monte dell'abitato di Bosa Marina che quindi apparentemente è privo di difesa; va considerato tuttavia che tale abitato è impostato su una fascia sabbiosa leggermente più elevata della retrostante zona di bonifica, ma comunque più bassa del coronamento dell'argine.

Il rilevato arginale, sul quale corre per un certo tratto un raccordo ferroviario in disuso a servizio della vecchia fornace, versa in cattivo stato di manutenzione, è invaso da vegetazione anche arborea e, soprattutto, presenta numerosi tratti con il coronamento parzialmente eroso; inoltre esiste il rischio concreto di uno scalzamento al piede.



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

Una chiavica regola il deflusso dello scarico di una parte della rete di raccolta delle acque bianche dell'abitato di Bosa. Si tratta di un'opera di recente realizzazione, inserita in sponda destra sul lungo fiume del settore nuovo dell'abitato di Bosa, in corrispondenza della nuova passerella pedonale.



3 Studi pregressi, vincolistica vigente e pericolosità idrauliche documentate

3.1 IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna (PAI), è redatto ai sensi della legge n. 183 del 18.5.1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

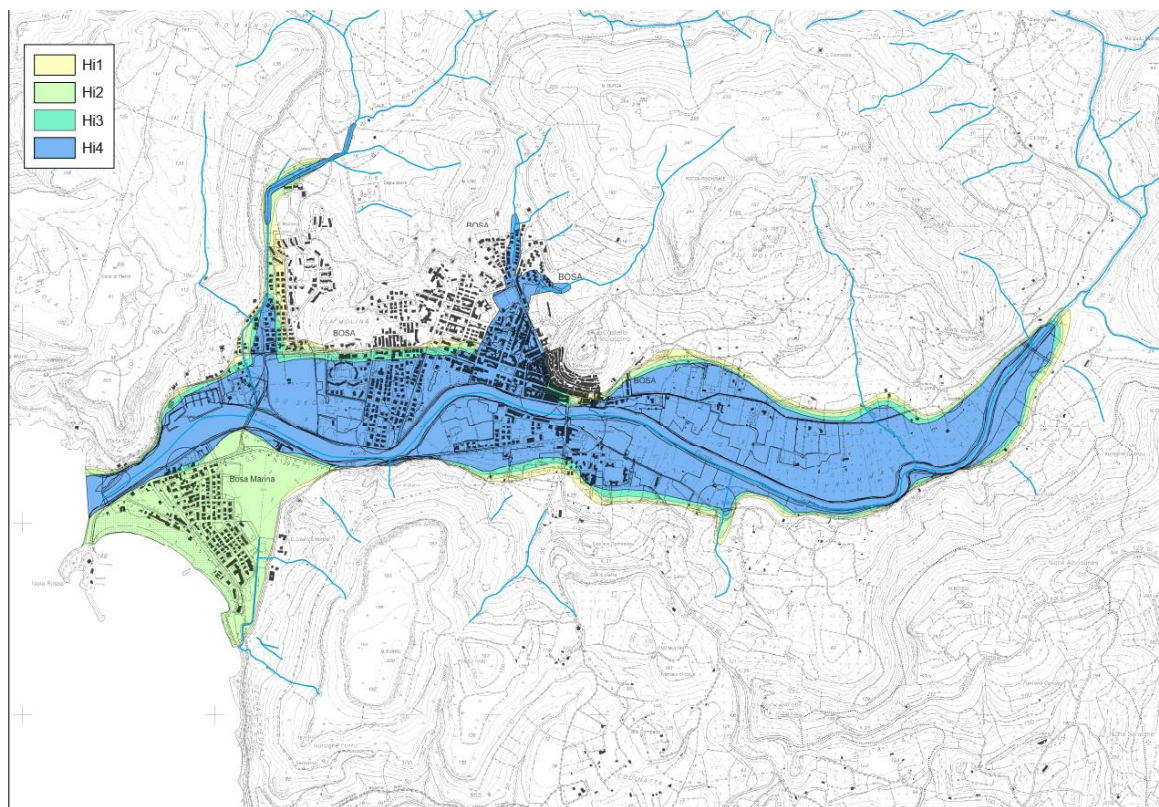


Figura 5 - Pericolosità idraulica individuata nel Piano di assetto idrogeologico

La Figura 5 rappresenta la perimetrazione delle aree PAI nell'ambito vallivo che interessano sia il Fiume Temo che alcuni compluvi secondari localizzati in destra idraulica. Come si può osservare, è presente una diffusa criticità idraulica su tutta l'asta valliva già a partire dal tempo di ritorno cinquantennale, mentre l'area relativa a Bosa marina risulta interessata da una fascia di pericolosità avente tempo di ritorno duecentennale.



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

3.2 IL PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge n. 183 del 19 maggio 1989. Il PSFF ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Esso costituisce un approfondimento e un'integrazione al Piano di Assetto Idrogeologico poiché è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali che permette, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il raggiungimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali. Il Piano nella sua versione finale è stato adottato con Delibera n.1 del 20.06.2013. L'approccio metodologico impiegato per la delimitazione delle Fasce Fluviali segue le Linee Guida per la Redazione del PSFF e individua cinque fasce:

- Fascia A_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene del corpo idrico, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- Fascia A_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- Fascia B_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- Fascia B_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata.
- Fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica (inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena). Per i tratti arginati, i limiti delle fasce fluviali per gli eventi che comportano la tracimazione sono stati tracciati con riferimento ai livelli idrici derivanti dallo schema di calcolo idraulico che considera l'assenza della funzione di ritenuta dell'argine e la sezione di deflusso estesa all'intera area inondabile. Sui corsi d'acqua secondari è stata definita la fascia C o area d'inondazione per piena catastrofica che, tracciata con criteri geomorfologici, rappresenta la regione fluviale potenzialmente oggetto d'inondazione nel corso delle piene caratterizzate da un elevato tempo di ritorno (500 anni) e comunque di eccezionale gravità.



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

Lo studio del PSFF ha modellato il deflusso del Fiume Temo nel tratto compreso fra la diga di Monte Leone Rocca Doria e la foce.

Nella Figura 6 si può osservare come nell'ambito del PSFF le perimetrazioni della pericolosità, relative esclusivamente al solo fiume Temo, presentano un maggior dettaglio dovuto principalmente alla base cartografica utilizzata per la costruzione dei modelli idraulici.

Inoltre, l'area di Bosa marina, a differenza di quanto visto nel PAI, risulta perimetrata con tempo di ritorno cinquecentennale.

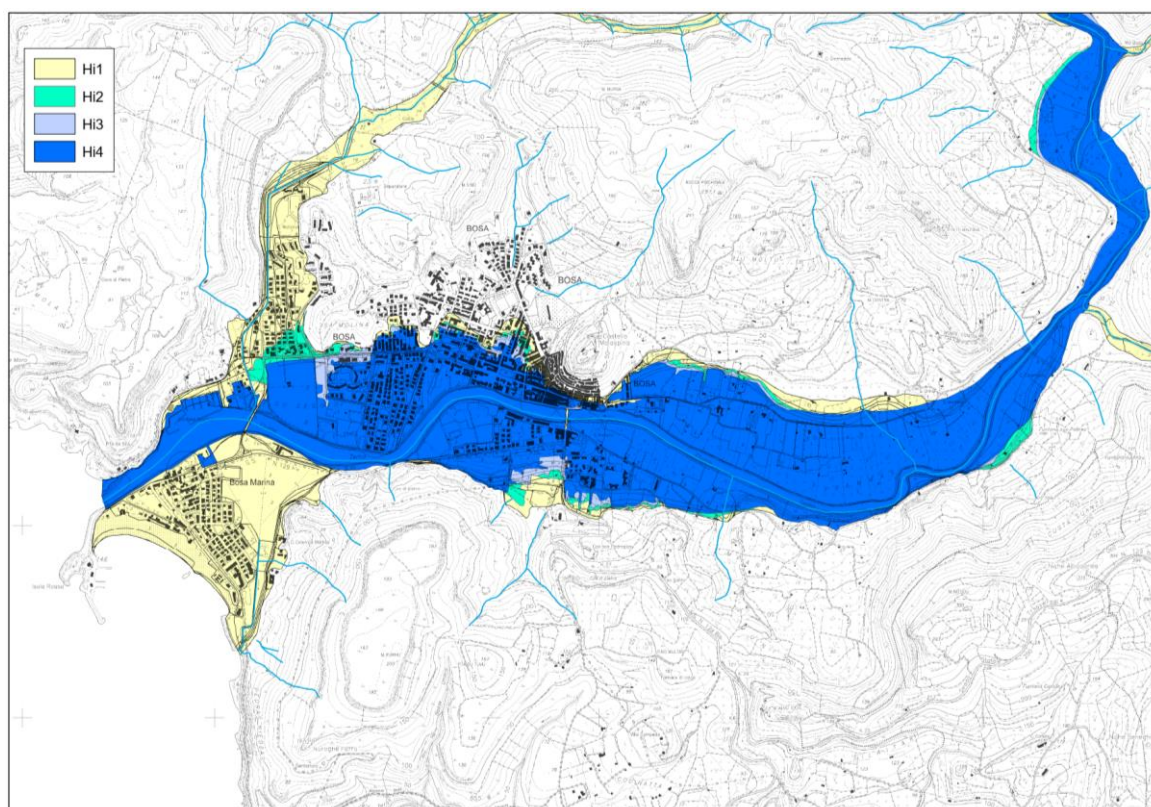


Figura 6 – Pericolosità idraulica individuata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

3.3 AGGIORNAMENTO DELLA MODELLAZIONE DEL DICAAR PER IL FIUME TEMO

L'Accordo di collaborazione scientifica tra l'Agenzia Regionale di Distretto Idrografico (ADIS) 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".



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

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.

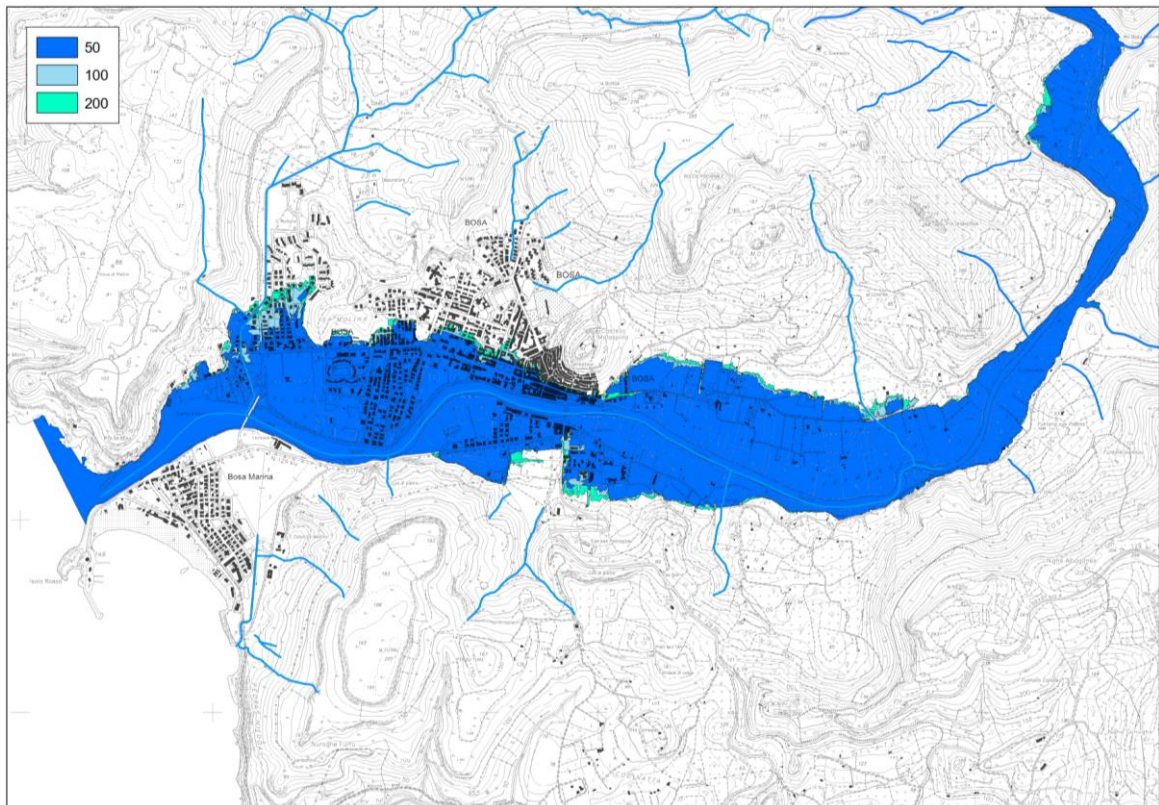


Figura 7 - Pericolosità idraulica individuata dal DICAAR nell'ambito dell'aggiornamento del PSFF

La mappatura ottenuta a seguito degli studi idraulici del DICAAR risulta sostanzialmente concorde con quella del Piano Stralcio per le Fasce Fluviali: anche in questo caso l'area relativa a Bosa Marina non risulta interessata dalle esondazioni del Fiume Temo almeno fino al tempo di ritorno duecentennale.



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

3.4 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni è redatto in recepimento della direttiva 2007/60/CE e del relativo decreto di recepimento nazionale, D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 “Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”.

Il Piano coinvolge tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni con riferimento alle alla realizzazione di opere infrastrutturali di mitigazione del rischio, ma anche con riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure sono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del sottobacino di riferimento. Il PGRA individua, quindi, strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali.

Ai sensi dell’art. 6 del D.lgs. 49/2010, le mappe di pericolosità e rischio di alluvioni contengono la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo diversi tempi di ritorno.

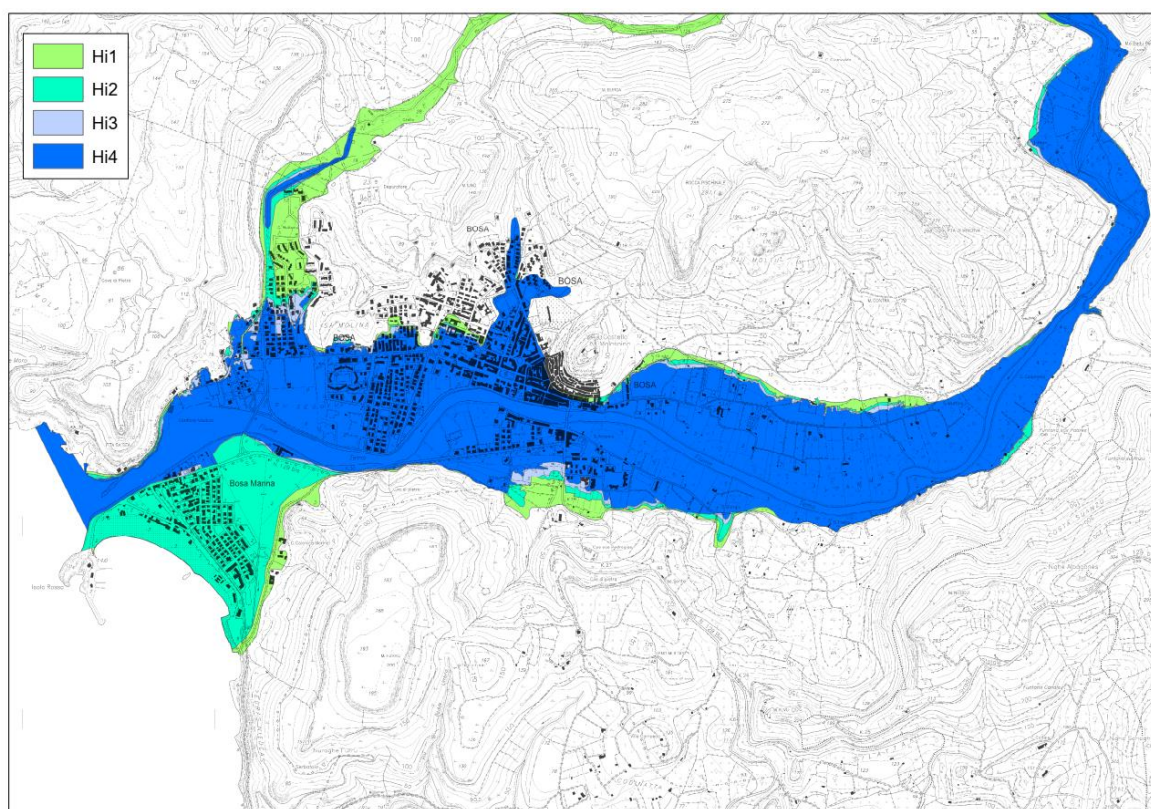


Figura 8 - Pericolosità idraulica individuata nel PGRA

Nella Figura 8 sono riportate le aree a pericolosità idraulica individuate nel P.G.R.A., **risultato dell’involuppo delle perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica mappate nell’ambito della predisposizione del PAI e sue varianti, di studi derivanti dall’applicazione dell’Art.**



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 comma 2 delle Norme di Attuazione del PAI, delle elaborazioni realizzate nel PSFF, nonché della mappatura delle aree alluvionate nell'evento del 18/11/2013 denominato "Cleopatra", aggiornate alla data del 31.12.2016.

Come si può osservare, per quanto riguarda il tratto vallivo del Fiume Temo, l'inviluppo delle criticità riportato nel PGRA è il risultato dell'inviluppo delle perimetrazioni del PAI e del PSFF precedentemente illustrate.



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 mediante modellazione bidimensionale

Sulla base degli accordi intercorsi tra il DICAAR e ADIS, tutte le analisi idrauliche sono state effettuate utilizzando il software RAS (River Analysis System) sviluppato da HEC. A livello metodologico le simulazioni idrauliche si articolano in due fasi distinte:

- **Una prima fase, detta ad argini rigidi e trascinabili, corrispondente ad una simulazione preliminare finalizzata all'individuazione delle criticità arginali presenti lungo i corsi d'acqua simulati.**
- **Una seconda fase in cui le simulazioni idrauliche vengono effettuate a seguito dell'inserimento di una o più breccie arginali nei punti critici individuati nella prima fase di simulazione. Nel caso in cui siano presenti più breccie sullo stesso tratto simulato, è stata considerata un'unica breccia per ciascuna simulazione effettuata, al fine di massimizzarne gli effetti ed operare in termini cautelativi. I risultati rappresentati nelle mappe allegate sono relativi all'involuppo complessivo delle criticità risultanti in ciascuna simulazione idraulica effettuata.**

Si vuole ulteriormente evidenziare che le criticità arginali sono state valutate esclusivamente in termini geometrici, ossia sulla base del confronto fra livello idrico raggiunto dal deflusso e la quota della sommità arginale. Non sono, pertanto, inserite valutazioni di tipo geotecnico sulla stabilità dell'argine o eventuali criticità che possano derivare da infiltrazioni nel corpo arginale.

Sono attualmente in corso di sperimentazione sul bacino pilota del fiume Fluminimannu indagini per l'individuazione di una metodologia che permetta la caratterizzazione delle criticità arginali, non solo in termini geometrici, come sopra accennato. Sulla base di future analisi e caratterizzazioni sperimentali di tipo geotecnico sarà, eventualmente, possibile l'inserimento di ulteriori vincoli nella simulazione idraulica.

Si puntualizza che nell'ambito della simulazione idraulica del tratto vallivo del Temo non è stato necessario ricorrere all'inserimento di breccie arginali.

4.1 IL CODICE DI CALCOLO HECRAS 2D

Il codice di calcolo Hecras può determinare automaticamente condizioni energetiche variabili lungo il canale che determinano il passaggio di regime da corrente lenta a veloce e viceversa in relazione agli effetti locali dovuti alla presenza di opere d'arte che ne modificano la geometria. Dal punto di vista computazionale, per le situazioni più semplici e lineari il modello si basa sulla risoluzione dell'equazione dell'energia con una dimensione mentre utilizza l'equazione dei momenti in situazioni laddove si abbiano rapidi cambiamenti di quota del profilo liquido.

Le perdite di carico sono calcolate mediante l'equazione di Manning, il cui parametro può essere specificato per zone diverse della sezione trasversale. Inoltre, il modello può individuare situazioni di non linearità, come nel caso dei risalti idraulici, ed andamenti del profilo determinato dalla presenza



di ponti, ostruzioni, soglie, situazioni di imbocco e sbocco da manufatti, e altre situazioni che frequentemente si presentano nei corsi d'acqua.

Le simulazioni su dominio bidimensionale sono state fatte con l'ausilio del modulo bidimensionale, di HecRas, implementato a partire dalla versione 5.0. In particolare, per le simulazioni effettuate nel presente studio è stata utilizzata la versione 5.0.6.

4.1.1 Equazioni utilizzate

Il moto bidimensionale è descritto dalle equazioni di De Saint Venant, derivate a partire dalla formulazione completa di Navier Stokes. Queste equazioni si ottengono imponendo la conservazione della massa (equazione di continuità) e della quantità di moto nelle due direzioni principali x e y all'interno di un generico volume di controllo. Si ottiene quindi il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{aligned} & \bullet \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{x} + \frac{\partial(hv)}{y} + q = 0 \\ & \bullet \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}\right) = +g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) - c_f u + f v \\ & \bullet \quad \frac{\partial v}{\partial t} + \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y}\right) = +g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) - c_f v + f u \end{aligned}$$

dove:

- t è il tempo
- u e v sono le componenti del vettore velocità lungo le direzioni x e y rispettivamente
- H indica il livello idrico fissata una quota z di riferimento
- h è il livello idrico riferito al fondo
- q è un termine che rappresenta i flussi in ingresso e/o uscita
- g è l'accelerazione gravitazionale
- ν_t rappresenta il coefficiente di viscosità cinematica
- c_f è il coefficiente di resistenza al fondo
- f rappresenta il parametro di Coriolis.

La complessità della trattazione può portare all'introduzione di alcune semplificazioni alle equazioni De Saint Venant, che riconducono all'analisi del modello diffusivo, tralasciando i termini inerziali relativi alle accelerazioni locali e convettive. In molti casi, infatti, i modelli a complessità ridotta conducono a risultati del tutto confrontabili con quelli più complessi, con il vantaggio di un minore onere computazionale e una maggiore stabilità della soluzione. I termini dell'equazione De Saint Venant vengono semplificati nel modo seguente:

$$\begin{aligned} & \bullet \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{x} + \frac{\partial(hv)}{y} + q = 0 \\ & \bullet \quad c_f u = g \frac{\partial H}{\partial x} \\ & \bullet \quad c_f v = g \frac{\partial H}{\partial y} \end{aligned}$$



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

I due metodi di calcolo vengono indicati rispettivamente come *Diffusion Wave* (DW) e *Full Momentum* (FM). In generale, le equazioni DW consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità.

Le equazioni FM sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda. **Si precisa che nell'ambito del presente studio è stata utilizzata l'impostazione di risoluzione Full Momentum.**

4.1.2 Determinazione dell'intervallo computazionale

In una simulazione di moto vario, il parametro più significativo da considerare è l'intervallo computazionale ΔT , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi.

Generalmente questo valore viene valutato basandosi sul criterio di Courant, esprimibile nella maniera seguente per le equazioni FM:

- $C = \frac{V\Delta t}{\Delta x} \leq 1$

dove V e ΔX sono rispettivamente la velocità massima dell'acqua e la dimensione media delle celle.

A partire dalla release 5.06 del software è possibile assegnare un range di valori all'interno dei quali consentire al software di variare autonomamente il time step di simulazione.

4.2 COSTRUZIONE DEI MODELLI IDRAULICI

4.2.1 Dati utilizzati

Le informazioni geometriche relative alle quote del terreno sono tratte, dove disponibili, da:

- DTM e DSM con maglia 1 metro della Regione Sardegna;
- DTM con maglia 1 metro del comune di Bosa;
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10'000 della Regione Sardegna.

Le caratteristiche dimensionali principali delle opere stradali (sezioni trasversali e profili longitudinali, ingombro dei ponti o degli scatolari presenti) e degli interventi progettuali sono state desunte dagli elaborati progettuali e dagli studi disponibili. In particolare, si è fatto ampio riferimento ai rilievi topografici dei manufatti esistenti effettuati nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

4.2.2 Definizione dei domini di calcolo e discretizzazione spaziale

La modellazione bidimensionale necessita di una base dati costituita da un modello digitale del terreno, la cui risoluzione può influenzare in maniera determinante il risultato finale della



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

simulazione, in particolar modo nel caso in cui la morfologia delle aree interessate dal deflusso sia pressoché pianeggiante.

Il Modello Digitale del Terreno utilizzato per la costruzione del modello idraulico è stato ottenuto a partire da due modelli digitali del terreno distinti:

- Il DEM, rappresentato in Figura 9, ottenuto con maglia di lato di 1 metro derivante da voli LIDAR dell'anno 2008 e da voli del MATTM, non integrato con un rilievo della batimetria, relativo al tratto compreso fra la diga dell'Alto Temo e la foce, utilizzato anche nelle modellazioni del DICAAR descritte nel capitolo 3.3;
- Il DEM con maglia di 1 metro, Figura 10, realizzato per il solo tratto urbano del fiume Temo nel 2020, integrato con un rilievo batimetrico.

L'elaborazione dei due modelli con sovrapposizione dei layer e con inserimento dei volumi relativi all'edificato urbano ed extraurbano, ha consentito di realizzare il modello digitale del terreno rappresentato in Figura 11, utilizzato per la realizzazione del modello idraulico.

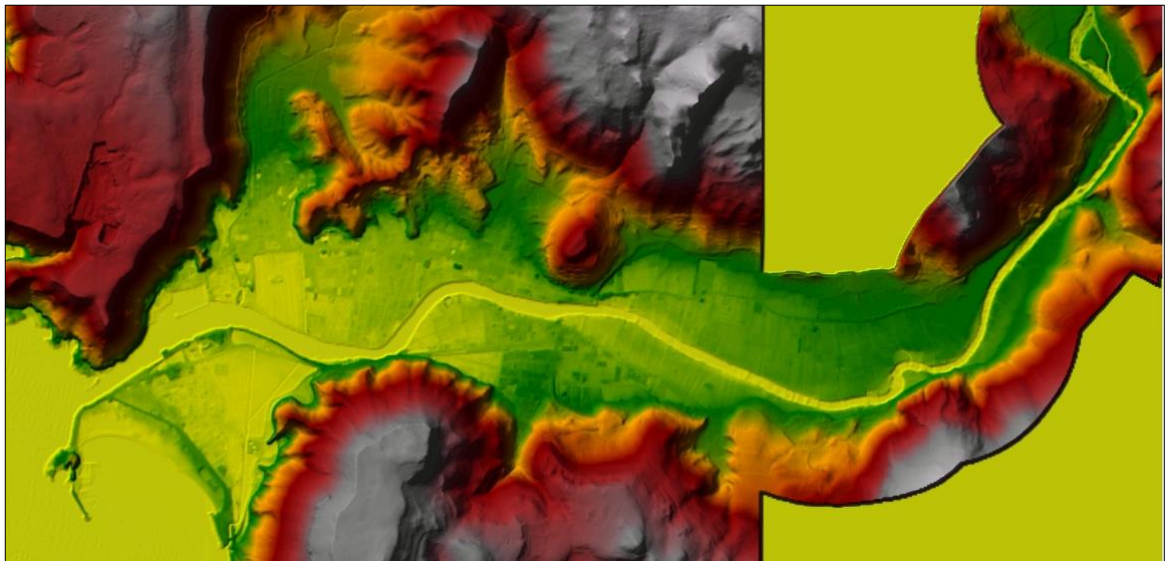


Figura 9 – DEM 2008 - 2013



Figura 10 – DEM 2020



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



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

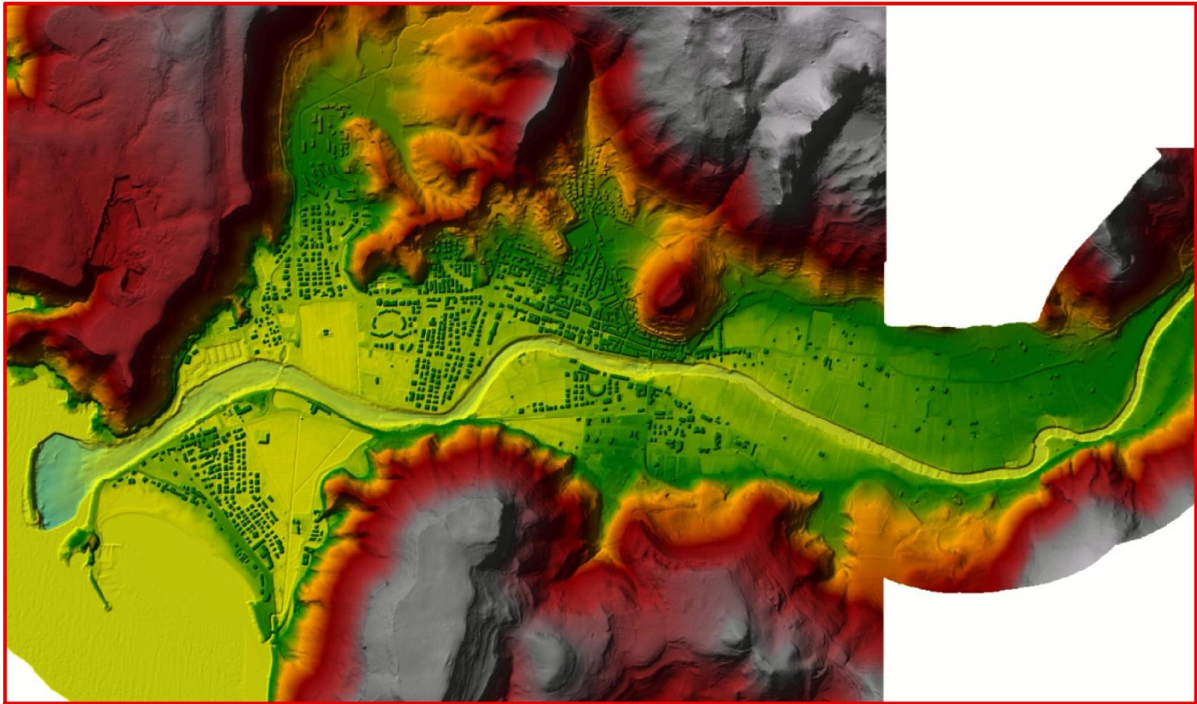


Figura 11 – Modello idraulico del tratto medio del Fiume Temo

A partire dal DEM, per ciascun modello idraulico è stato quindi creato un dominio di calcolo costituito da un reticolo formato da maglie di forma regolare e irregolare.

La scelta della dimensione minima delle maglie nasce dal giusto compromesso fra velocità computazionale e accuratezza nella definizione della geometria di calcolo, al fine di assicurare entrambe. In seguito alla realizzazione di alcune simulazioni preliminari, per ciascun modello idraulico è stato realizzato un dominio di calcolo con regioni aventi maglie con differente risoluzione spaziale a seconda degli elementi presenti nel territorio.

In particolare, nelle aree di esondazione prive di elementi topografici, naturali o artificiali, che possono influenzare in maniera determinante la propagazione del deflusso, è stata utilizzata una dimensione della maglia mediamente pari a 10 metri, mentre nelle aree in cui è stato necessario avere una maggiore accuratezza spaziale la dimensione della maglia è stata ridotta anche sino a 3 metri: a titolo esemplificativo si può osservare la differente discretizzazione della mesh rappresentata in Figura 12.

Nella Figura 13 e nella Figura 14 viene rappresentato il raffronto fra il DEM utilizzato nell'ambito delle simulazioni del DICAAR per il PGRA, realizzato con i voli aerei 2008-2013, e il DEM qui ottenuto mediante integrazione della batimetria.

Al fine di tener conto dell'influenza dovuta alla presenza del Ponte Romano nelle simulazioni idrauliche, è stata inserita la struttura di attraversamento definita sulla base della geometria rilevata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (Figura 15).



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 12 – Modello idraulico del fiume Temo – Esempio di differente risoluzione della mesh di calcolo

Lungo i confini dei modelli idraulici realizzati è stata inserita una condizione al contorno che consente la propagazione del deflusso.

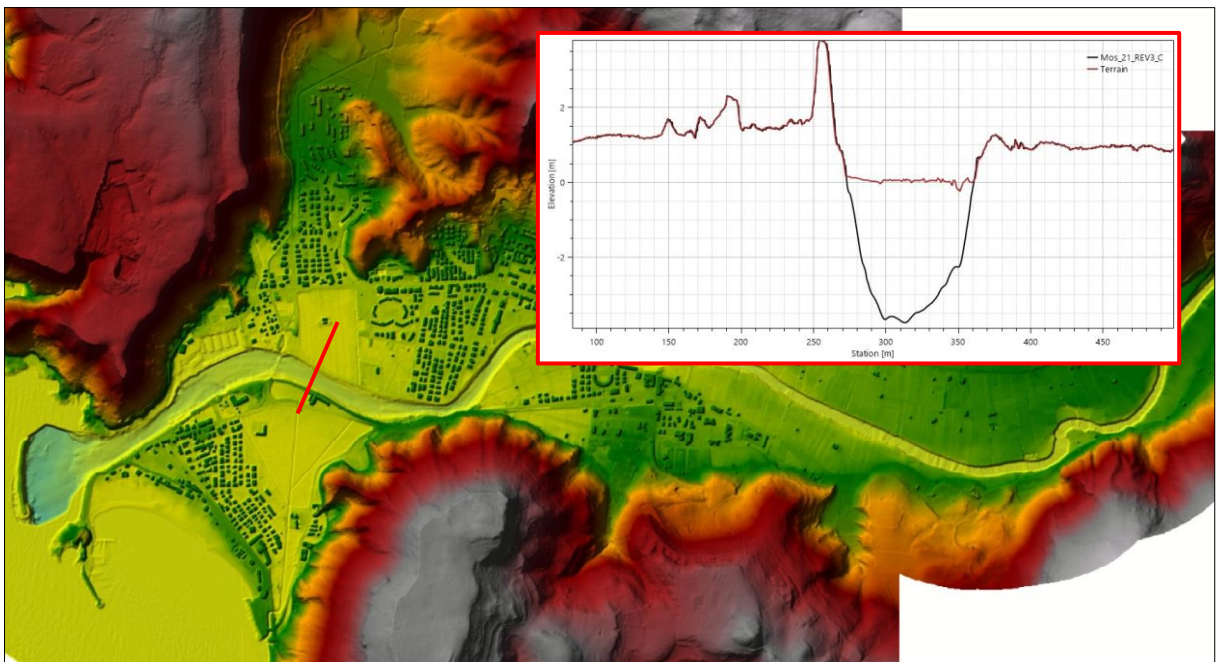


Figura 13 - - Modello idraulico del fiume Temo – Integrazione della dtm RAS con il rilievo batimetrico – Esempio 1



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

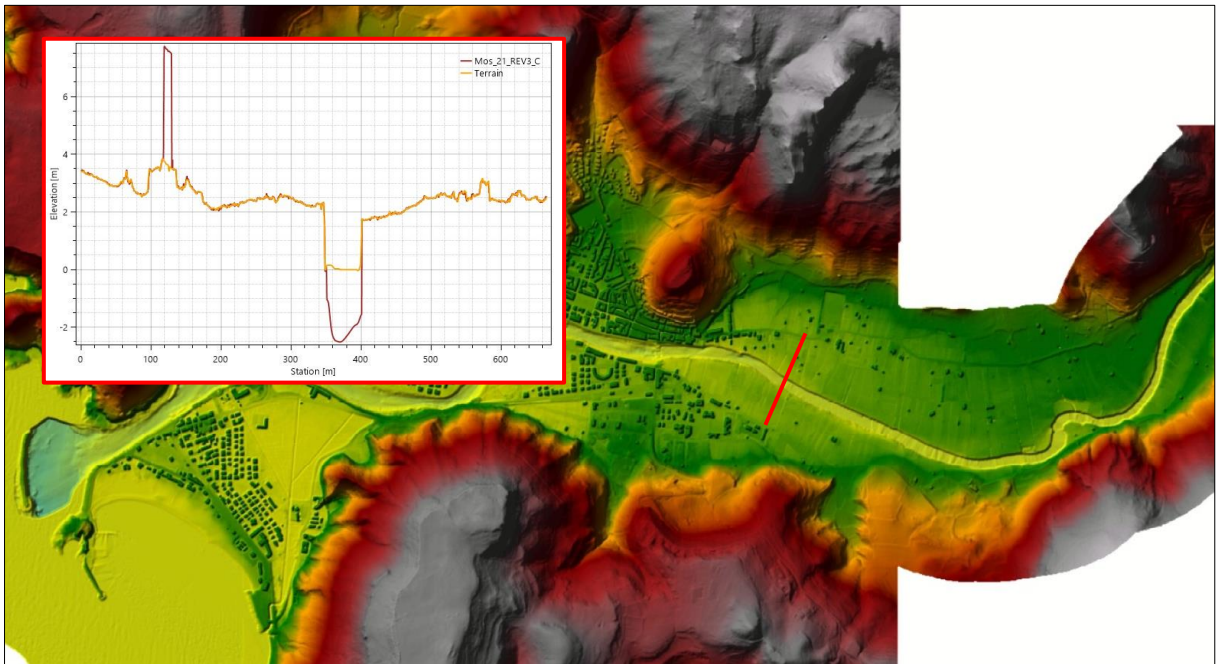


Figura 14 - Integrazione della dtm RAS con il rilievo batimetrico – Esempio 2

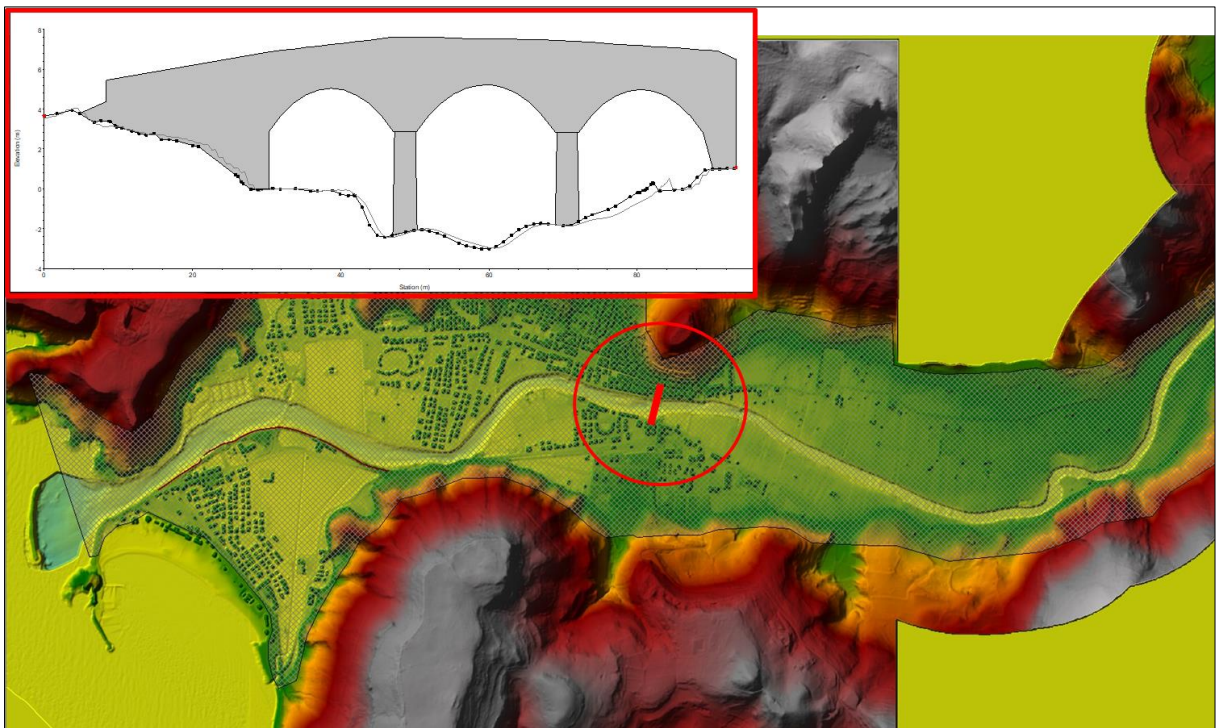


Figura 15 – Modello idraulico del fiume Temo – Inserimento dell'infrastruttura del ponte romano



4.2.3 Definizione della scabrezza

La scabrezza delle aree di esondazione può risultare particolarmente influente sulla modellazione idraulica che determina le aree di allagamento. Per la definizione di quest'ultima, il valore del coefficiente di scabrezza n deve essere assegnato a ciascuna cella in conformità con la classificazione della copertura ed uso del suolo mediante l'analisi di orto-foto e sviluppando l'elaborazione dei dati territoriali.

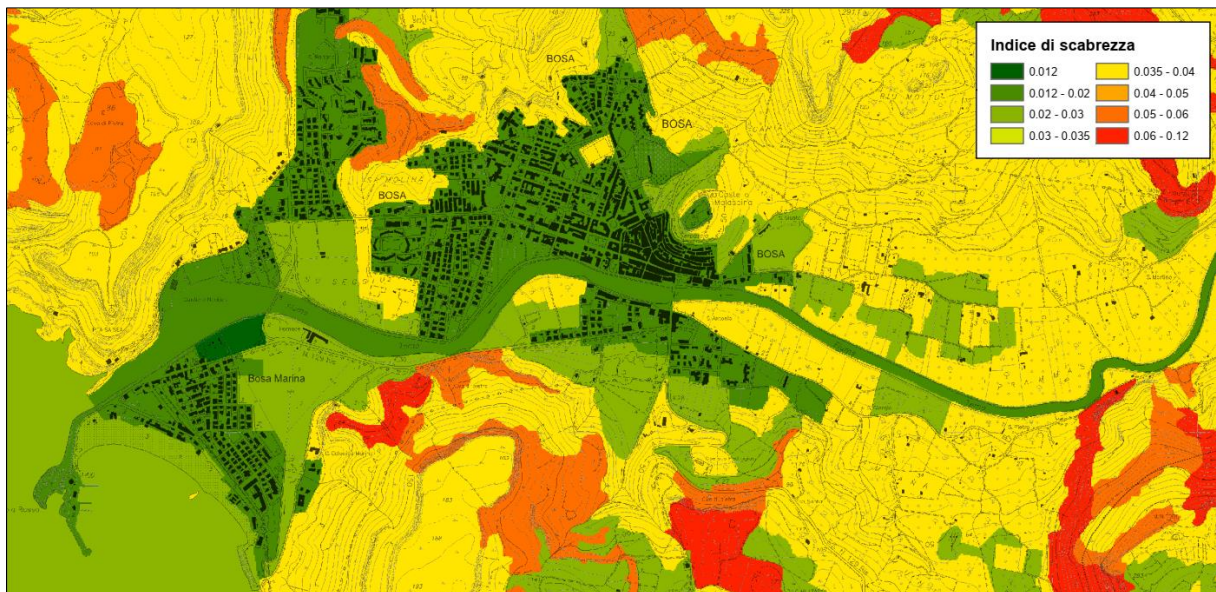


Figura 16 – Mappatura dei coefficienti di scabrezza nell'alveo vallivo del fiume Temo

A partire dallo Shape file della carta dell'uso del suolo, scaricabile dal sito della Regione Sardegna, e grazie alla tabella dei valori del parametro di scabrezza che l'User Manual del software HEC-RAS v.5.0.7 propone, è stata implementata la tabella data di seguito che è stata utilizzata nella simulazione idraulica bidimensionale per l'attribuzione della scabrezza alle diverse tipologie d'uso del suolo.

Tabella 1 - Valori di Manning associati all'uso del suolo UDS

UDS	Descrizione	Default Manning HecRas
-	No data	0
5212	acquaculture in lagune, laghi e stagni costieri	0.1
3122	arboricoltura con essenze forestali di conifere	0.12
321	aree a pascolo naturale	0.035
3242	aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione: ricoloniz. artificiale	0.035
124	aree aereoportuali ed eliporti	0.013
244	aree agroforestali	0.05
1422	aree archeologiche	0.013



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

UDS	Descrizione	Default Manning HecRas
3313	aree dunali coperte da vegetazione di ampiezza superiore a 25 m	0.1
131	aree estrattive	0.05
5231	aree marine a produzione ittica naturale	0.1
123	aree portuali	0.013
243	aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.05
1421	aree ricreative e sportive	0.035
141	aree verdi urbane	0.03
5122	bacini artificiali	0.1
3111	boschi di latifoglie	0.12
5112	canali e idrovie	0.1
133	cantieri	0.03
3221	cespuglieti e arbusteti	0.04
143	cimiteri	0.013
2124	colture in serra	0.15
2413	colture temporanee associate ad altre colture permanenti	0.03
2412	colture temporanee associate al vigneto	0.03
2411	colture temporanee associate all'olivo	0.03
1322	depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	0.035
1321	discariche	0.035
1122	fabbricati rurali	0.02
3222	formazioni di ripa non arboree	0.1
222	frutteti e frutti minori	0.035
3232	gariga	0.035
1223	grandi impianti di concentrazione e smistamento merci	0.03
1224	impianti a servizio delle reti di distribuzione	0.03
1212	insediamenti di grandi impianti di servizi	0.035
1211	insediamenti industriali-artigianali e commerciali e spazi annessi	0.012
5211	lagune, laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale	0.1
3231	macchia mediterranea	0.05
223	oliveti	0.04
411	paludi interne	0.1
421	paludi salmastre	0.1
2112	prati artificiali	0.03
1222	reti ferroviarie e spazi annessi	0.03
1221	reti stradali e spazi accessori	0.03
422	saline	0.1



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

UDS	Descrizione	Default Manning HecRas
2111	seminativi in aree non irrigue	0.03
2121	seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	0.035
242	sistemi colturali e particellari complessi	0.035
3311	spiagge di ampiezza superiore a 25 m	0.03
1111	tessuto residenziale compatto e denso	0.013
1112	tessuto residenziale rado	0.013
1121	tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.013
221	vigneti	0.035
2123	vivai	0.15
423	zone intertidali (zona del litorale che dipende dalle maree)	0.1

4.3 INPUT IDROLOGICI

La simulazione idraulica necessita della definizione dell'immissione degli input idrologici da fornire come condizione al contorno del modello numerico.

Nell'ambito dell'Accordo Quadro (AQ) per la messa in sicurezza dell'ambito vallivo del fiume Temo, predisposto dal Servizio Opere Idrauliche della Direzione Generale dell'Assessorato ai Lavori Pubblici della RAS, di seguito denominato "Accordo Quadro", è stato recentemente definito uno nuovo studio idrologico per la stima degli idrogrammi di piena da utilizzare per l'individuazione delle criticità vallive e il dimensionamento degli interventi atti al superamento delle stesse.

Lo studio idrologico redatto nell'ambito dell'Accordo Quadro, al quale si rimanda per maggiori dettagli, è stato condotto attraverso la metodologia indiretta di trasformazione afflussi – deflussi basata sulla stima della precipitazione attesa ai diversi tempi di ritorno con l'utilizzazione delle curve di possibilità pluviometrica ottenute dalla applicazione della distribuzione probabilistica TCEV.

Mediante l'utilizzo di un pluviogramma di tipo Chicago sono stati ottenuti gli ietogrammi di progetto per i diversi tempi di ritorno considerati.

Per la determinazione delle perdite e la stima dello ietogramma di pioggia netta ci si è basati sulla metodologia del Curve Number proposta dal Soil Conservation Service.

L'effetto di laminazione prodotto dai due sbarramenti esistenti sull'asta del fiume Temo è stato valutato sulla base delle seguenti ipotesi gestionali:

- Diga dell'Alto Temo: invaso con livello iniziale pari 222.50 m slm, pari alla quota attualmente autorizzata;
- Diga di Monte Crispu: invaso vuoto a inizio evento e scarichi sempre aperti.

Nelle figure successive si riportano i principali risultati nello studio idrologico dell'AQ.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



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

In particolare, nella Figura 17, nella Figura 18 e nella Figura 19 sono rappresentati, rispettivamente, il bacino sotteso alla sezione della diga di Monte Crispu e gli idrogrammi in ingresso e in uscita dallo sbarramento per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni, mentre nella Tabella 2 sono riportati i valori delle portate al colmo.

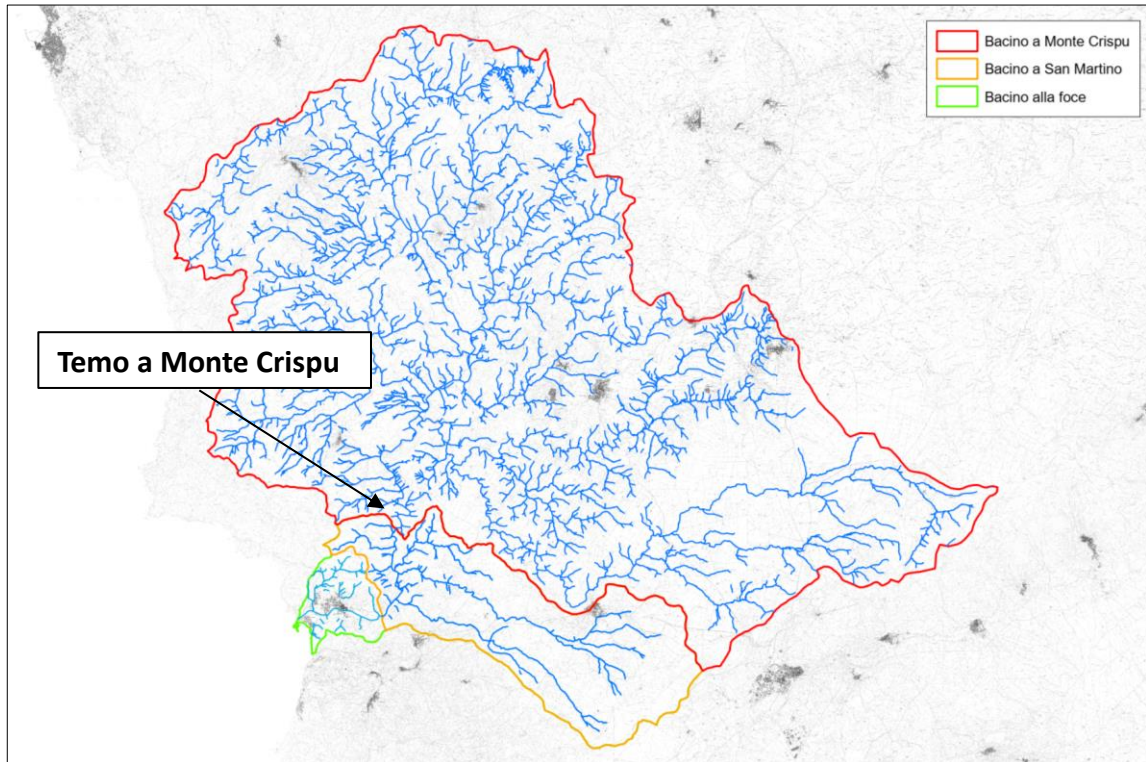


Figura 17 – Bacino del Fiume Temo – Ubicazione della diga di Monte Crispu

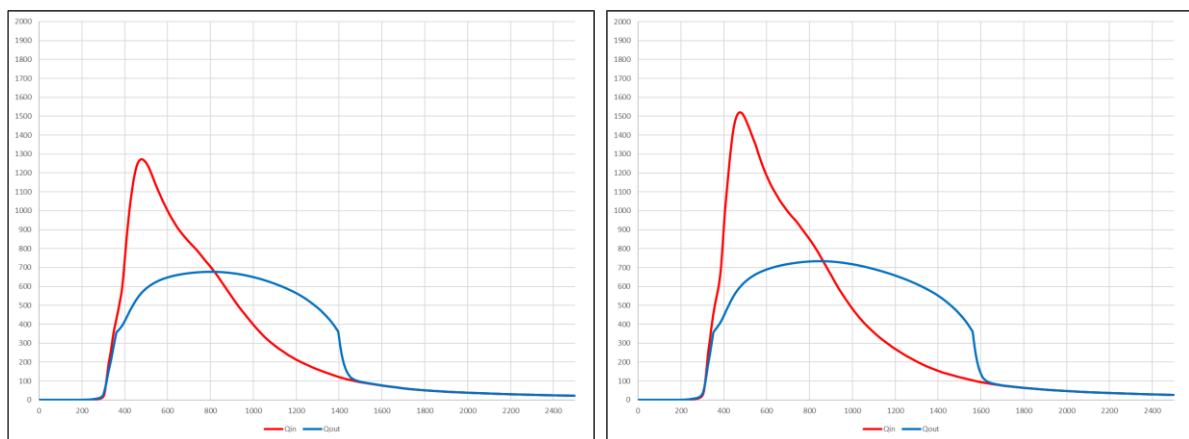


Figura 18 – Temo a Monte Crispu – idrogrammi in ingresso e uscita per $Tr=50$ anni (sx) e $Tr=100$ anni (dx)



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

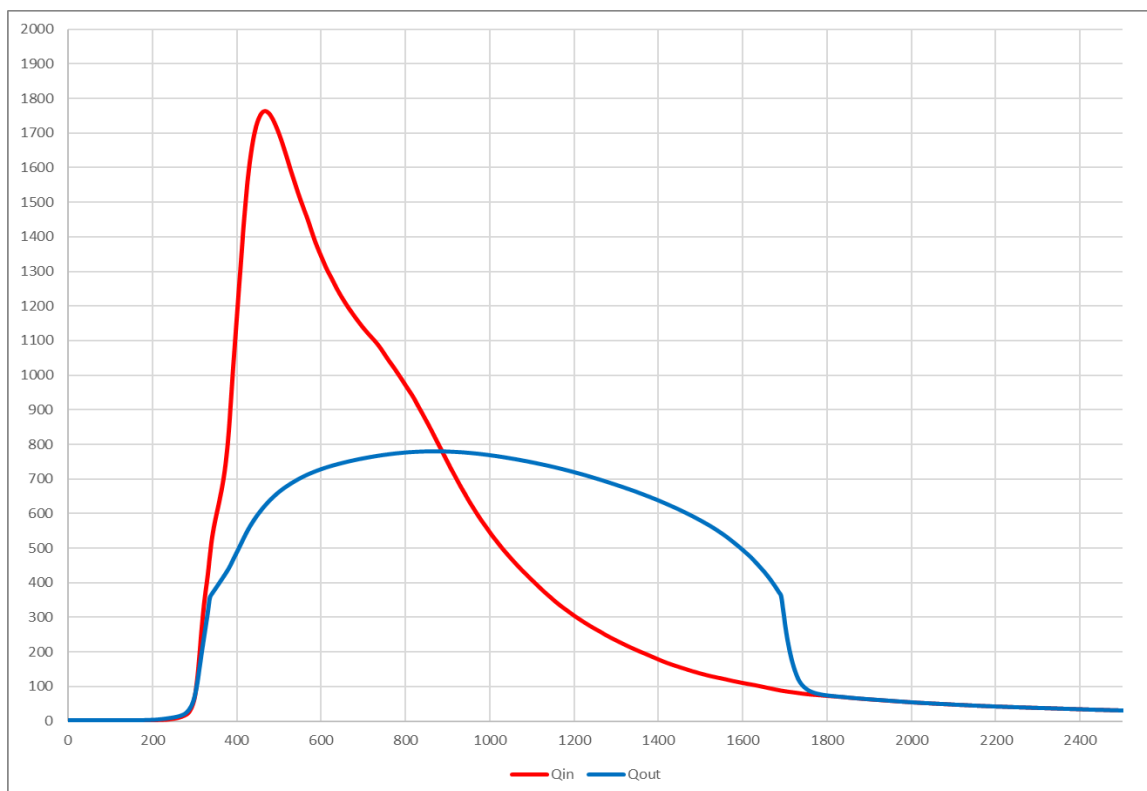


Figura 19 - Temo a Monte Crispu – idrogrammi in ingresso e uscita per Tr=200 anni

Tabella 2 - Caratteristiche degli idrogrammi di piena alla sezione di Monte Crispu – Idrologia Accordo Quadro

Tempo di ritorno [-]	Portata al colmo in ingresso [m ³ /s]	Portata al colmo in uscita [m ³ /s]
Tr= 50 anni	1272	678
Tr= 100 anni	1522	734
Tr= 200 anni	1763	781

Nella tre figure successive sono riportati i risultati principali relativi al bacino sotteso alla sezione valliva alla diga, in località “San Martino”, caratterizzato dalla immissione nell’asta del bacino intermedio del Riu Laccheddu e del Riu Crabalza, importanti affluenti del Temo.

In particolare, in Figura 20, nella Figura 21 e nella Figura 22 sono rappresentati rispettivamente il bacino sotteso alla sezione indicata e gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni, mentre nella Tabella 3 vengono riportati i valori delle portate al colmo.



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

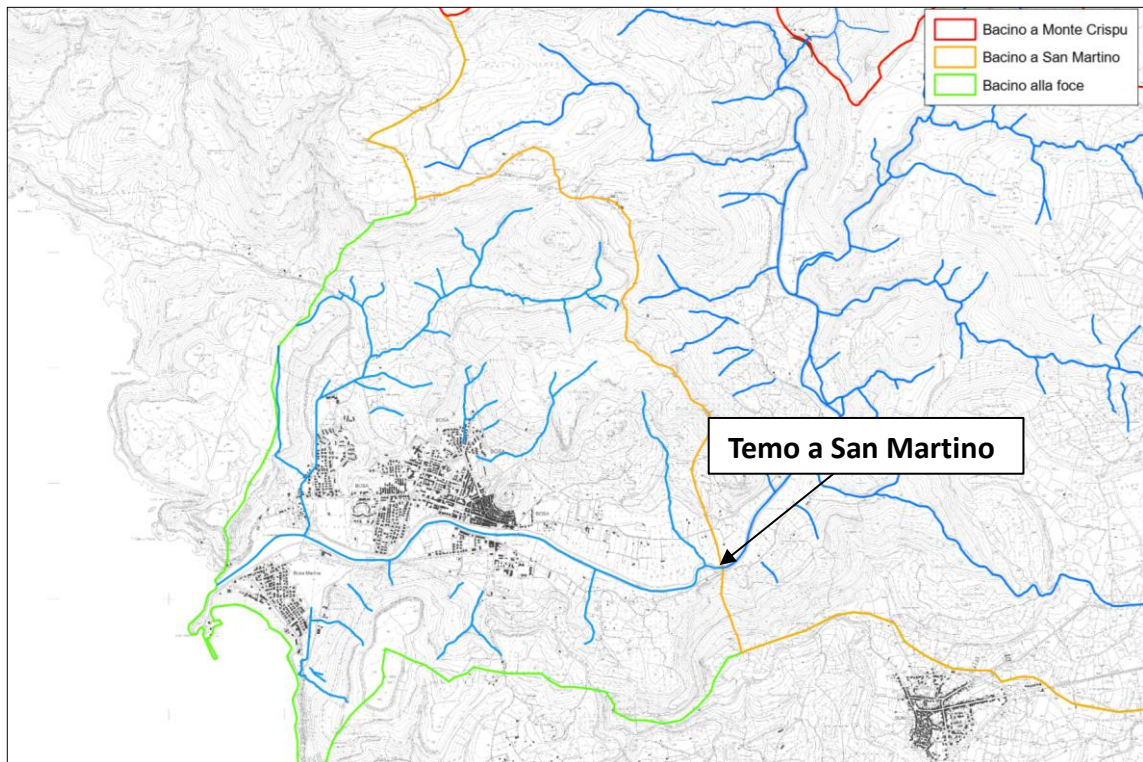


Figura 20 - Bacino del Fiume Temo – Sezione del Temo a San Martino nel tratto vallivo del Fiume Temo

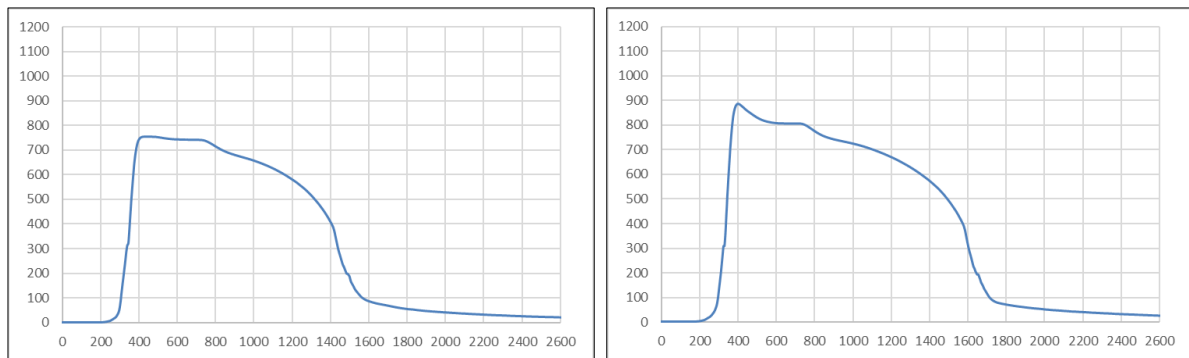


Figura 21 – Idrogramma di piena alla sezione di San Martino - Tr=50 anni (sx) e Tr=100 anni (dx)

Tabella 3 – Portata al colmo degli idrogrammi di piena alla sezione di San Martino – Idrologia Accordo Quadro

Tempo di ritorno	Portata al colmo
[-]	[m ³ /s]
Tr= 50 anni	756
Tr= 100 anni	885
Tr= 200 anni	1027



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

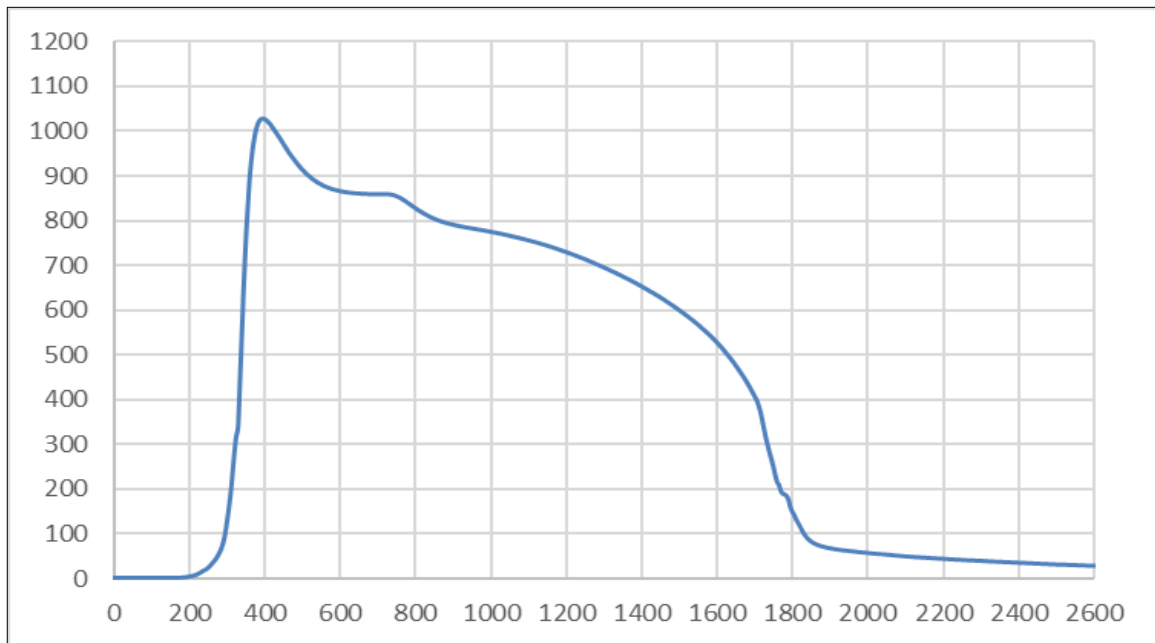


Figura 22 - Idrogramma di piena alla sezione di San Martino - Tr=200 anni

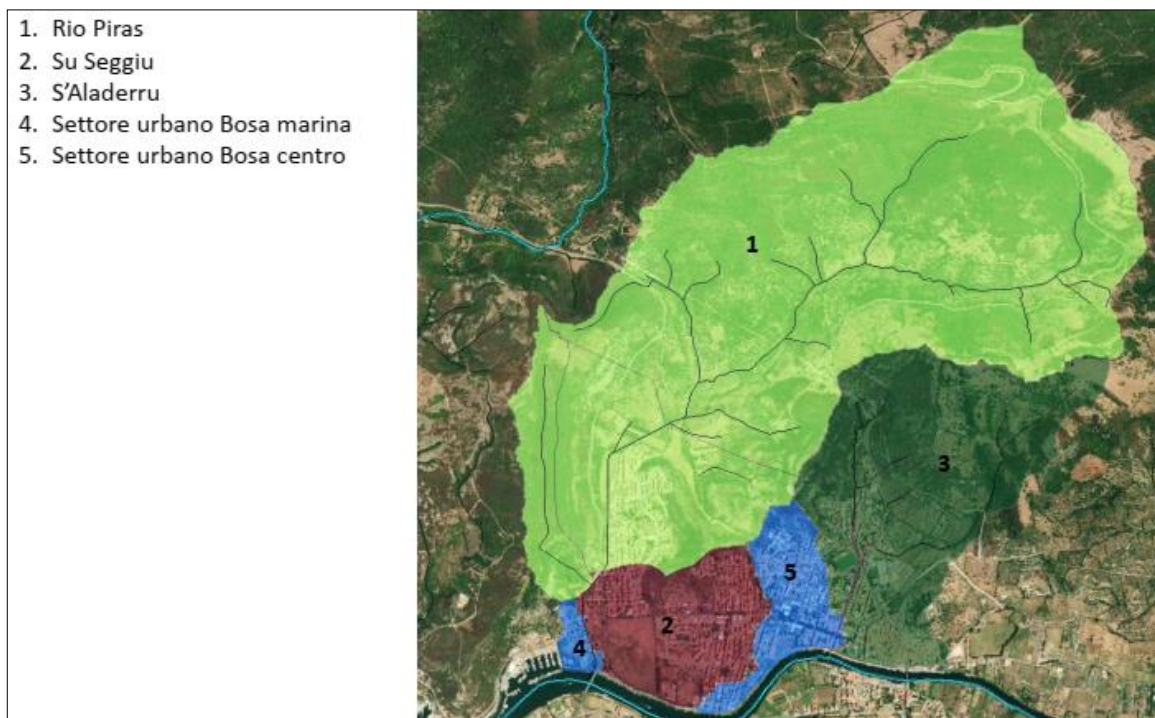


Figura 23 – Sottobacini principali in area urbana

Al fine di tenere conto anche del contributo fornito dal bacino residuo più vallivo, compreso fra la sezione in località “San Martino” e la foce, è stato effettuato uno studio idrologico di dettaglio che ha



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



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

stimato le portate al colmo per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni dei principali corsi d'acqua presenti in area urbana, i cui sottobacini sono rappresentati in Figura 23.

Tabella 4 - Caratteristiche degli idrogrammi di piena dei sottobacini urbani – Idrologia Accordo Quadro

Sottobacini del bacino residuo	Portata al colmo		
	Tr= 50 anni	Tr= 100 anni	Tr= 200 anni
1 - Riu Piras	42,33	50,60	58,95
2 - Su Seggiu	11,44	12,98	11,44
3 - S'Aladerru	21,56	25,44	29,33
4 - Settore urbano Bosa Marina	1,46	1,63	1,46
5 - Settore urbano Bosa centro	6,36	7,18	6,36

Sulla base degli accordi intercorsi con ADIS, la modellazione qui sviluppata è stata eseguita assumendo le stime idrologiche sopra documentate, come risultano dallo studio idrologico recentemente redatto nell'ambito dell'Accordo Quadro. Si precisa che tali valori non si discostano in modo significativo da quelli adottati nel PSFF, essendo le differenze sui valori al colmo limitate a pochi punti percentuali.

Si è quindi proceduto all'individuazione degli idrogrammi di deflusso, assunti come input nelle sezioni di interesse per ciascuno dei modelli idraulici realizzati nel presente studio. In termini cautelativi, gli idrogrammi sono ottenuti mediante convoluzione degli idrogrammi di piena sottesi alla sezione di San Martino con gli idrogrammi relativi al bacino residuo, ipotizzando cautelativamente la concomitanza dei colmi di piena.

Nelle Tabella 5 e nella Figura 24 sono riportati i valori delle portate al colmo e gli idrogrammi di piena calcolati per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni utilizzati come input per la modellazione idraulica bidimensionale.



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

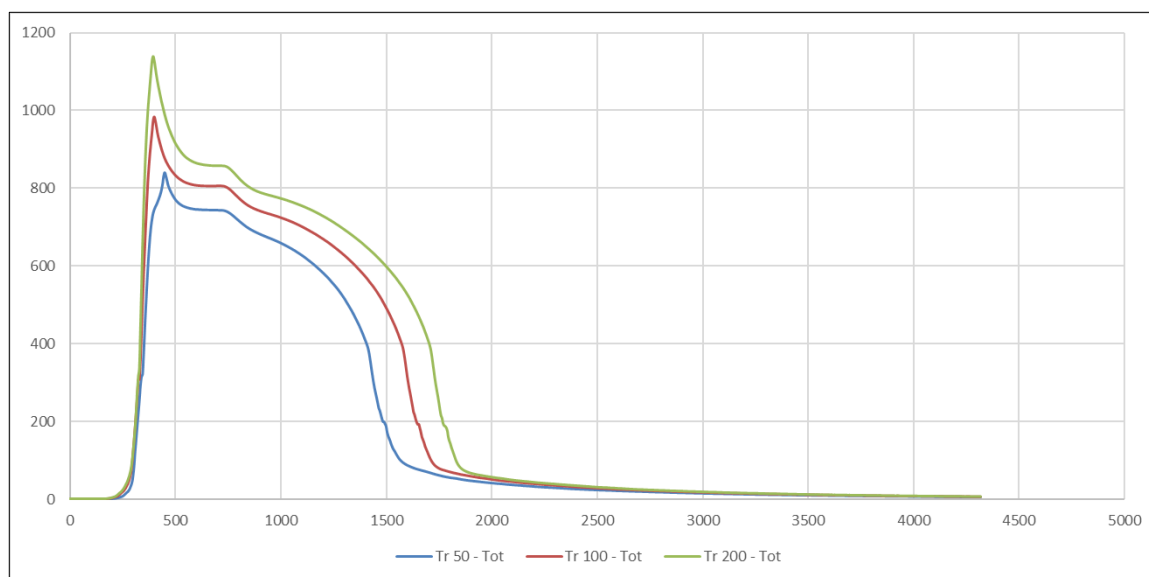


Figura 24 – Idrogrammi di piena utilizzati per la modellazione idraulica

Nella Tabella 6 sono riportati, a titolo comparativo, i valori delle portate al colmo stimate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali e nel PGRA ed utilizzate nella modellazione idraulica monodimensionale che ha definito la vincolistica attualmente vigente.

Come si può osservare, le differenze fra i valori di portata stimati nei due studi variano fra il 10% e il 13%: tale differenza, in considerazione delle incertezze che regolano i processi idrologici può considerarsi accettabile.

Tabella 5 – Portate al colmo degli idrogrammi di piena qui utilizzati per la modellazione idraulica (idrologia AQ)

Tempo di ritorno	Portata al colmo
[-]	[m ³ /s]
Tr= 50 anni	839
Tr= 100 anni	983
Tr= 200 anni	1140

Tabella 6 – Portate al colmo degli idrogrammi di piena utilizzati nel PSFF e PGRA

Tempo di ritorno	Portata al colmo
[-]	[m ³ /s]
Tr= 50 anni	971
Tr= 100 anni	1123
Tr= 200 anni	1270



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 Risultati delle simulazioni idrauliche

5.1 PREMESSA

Come più ampiamente descritto nella relazione metodologica predisposta per il bacino pilota del Fluminimannu, le simulazioni idrauliche 2D permettono di definire con maggiore accuratezza le criticità idrauliche che hanno portato, negli studi precedenti, alla individuazione delle aree di esondazione. La simulazione bidimensionale consente, infatti, di evidenziare le vie principali di esondazione del corso d'acqua, valutandone in dettaglio livelli idrici e valori di velocità e stimare conseguentemente l'indice di vulnerabilità V_p . Ulteriormente, i risultati ottenuti consentono di comparare le criticità evidenziate dalla modellazione con le criticità storicamente documentate negli accadimenti di eventi idrologici critici.

5.2 BATTENTI IDRICI E VELOCITÀ DI CORRENTE

Come già detto, la modellazione bidimensionale permette di stimare i valori delle principali grandezze idrauliche per ciascuna cella del dominio di calcolo. Di seguito in termini sintetici e più estesamente negli Allegati è rappresentato l'involuppo delle pericolosità idrauliche ottenute nelle simulazioni effettuate mediante la mappatura dei battenti idrici, valutate per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

In linea generale, si può osservare che, con riferimento a quanto ottenuto con le simulazioni basate su modellazione monodimensionale che hanno portato alla definizione della vincolistica vigente, non ci sia una variazione sostanziale dell'estensione dell'allagamento per i tre tempi di ritorno considerati.

Le differenze di estensione nelle aree di esondazione sono più accuratamente apprezzabili con l'analisi delle mappature di dettaglio che sono fornite come Allegati alla Relazione.

Le differenze tra i risultati ottenuti per i tre tempi di ritorno con le modellazioni 1D e 2D sono invece più evidenti in termini di battenti idrici e di velocità della corrente, che rappresentano le grandezze che definiscono l'indice di vulnerabilità V_p .

Nelle figure seguenti si riportano alcune immagini che consentono la valutazione, all'interno delle aree soggette alla vincolistica vigente, le principali caratteristiche idrauliche, ottenute mediante l'analisi bidimensionale.

In particolare, nella Figura 25, Figura 26 e Figura 27 i tiranti idrici ottenuti a seguito delle simulazioni idrauliche per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni sono raffrontati con la vincolistica attualmente vigente nel P.G.R.A.: tali immagini mostrano una sostanziale corrispondenza per tutti i tempi di ritorno considerati.



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 maggiori differenze sono relative a due aree perimetrare dal PGRA in destra idraulica, probabilmente dovute agli effetti del reticolo idrografico secondario, non analizzato nel presente studio, e all'area di Bosa Marina che risulta perimetrata per il tempo di ritorno duecentennale.

Ulteriori differenze risultano di entità più limitata ed imputabili, presumibilmente, alla diversa base topografica utilizzate per la simulazione idraulica. Sebbene le portate di piena che danno origine alle aree vincolate nel PGRA risultino superiori a quelle qui utilizzate per le simulazioni bidimensionali, la morfologia dell'alveo e delle aree di espansione è tale che tali differenze si riflettano più sull'altezza dei tiranti idrici che sull'estensione delle aree esondabili.

Nella Figura 28, Figura 29 e Figura 30 è fatto un raffronto fra i battenti idrici relativi alle simulazioni bidimensionali e il perimetro della aree di esondazione determinate dalle simulazioni idrauliche effettuate dal DICAAR con modello 1D nell'ambito del P.G.R.A.¹.

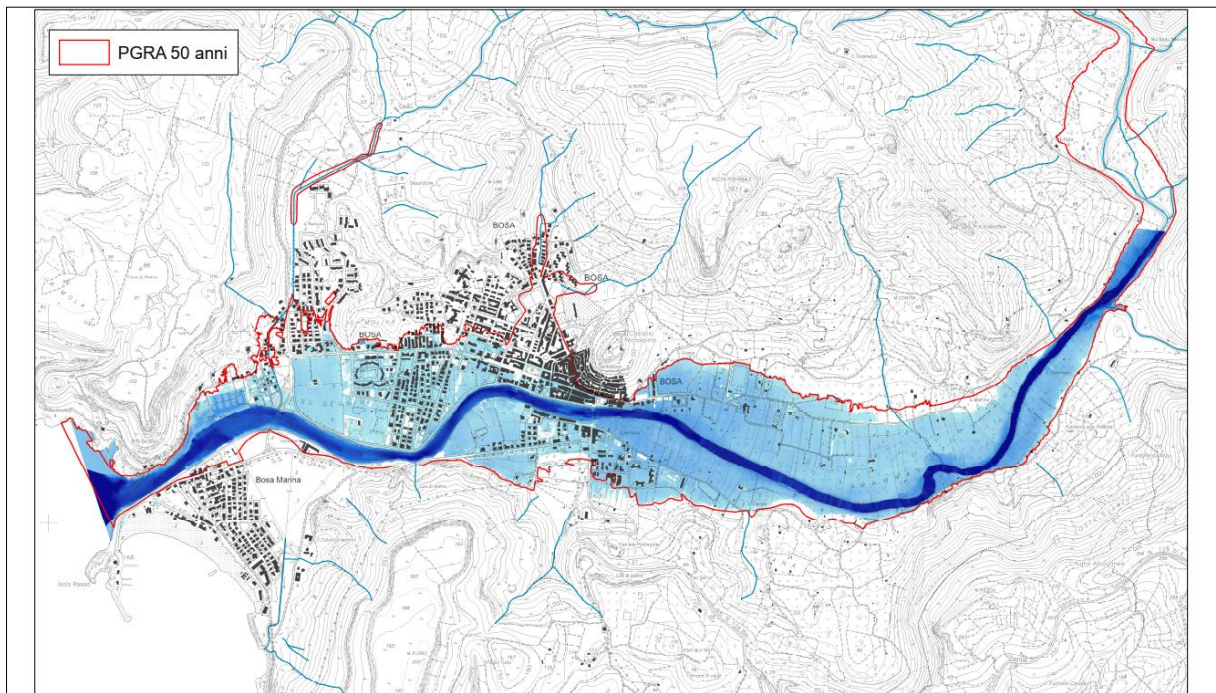


Figura 25 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA – Tr=50 anni

¹ 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



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

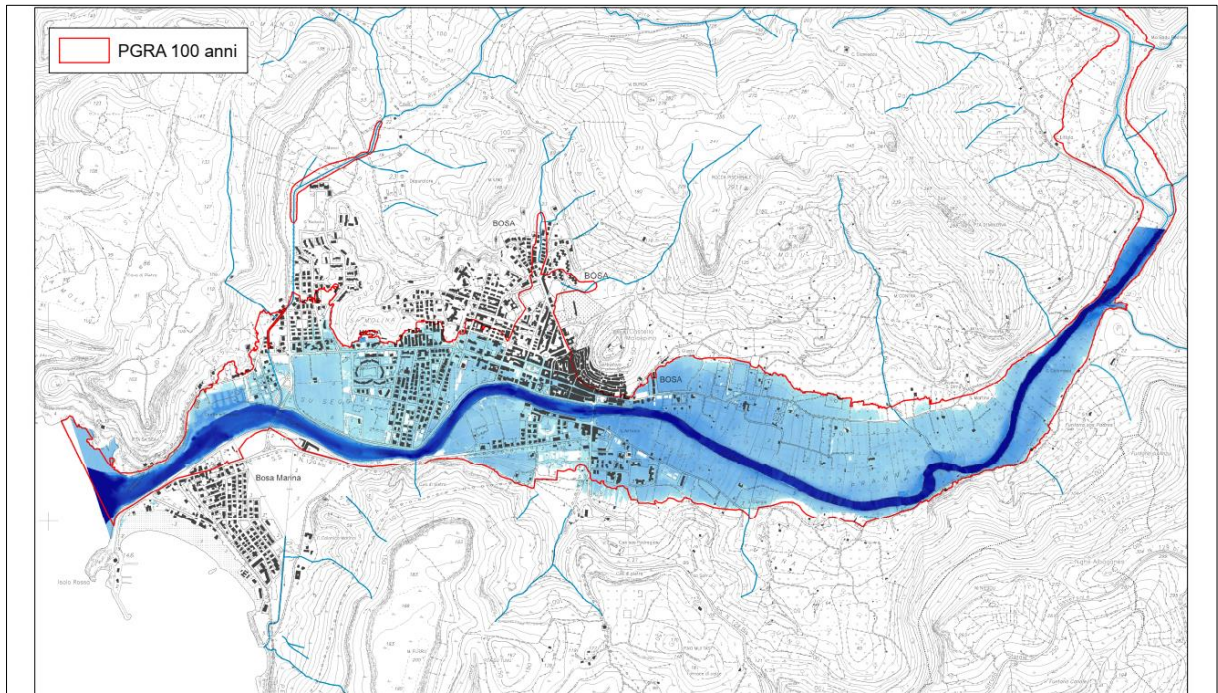


Figura 26 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA – $T_r=100$ anni

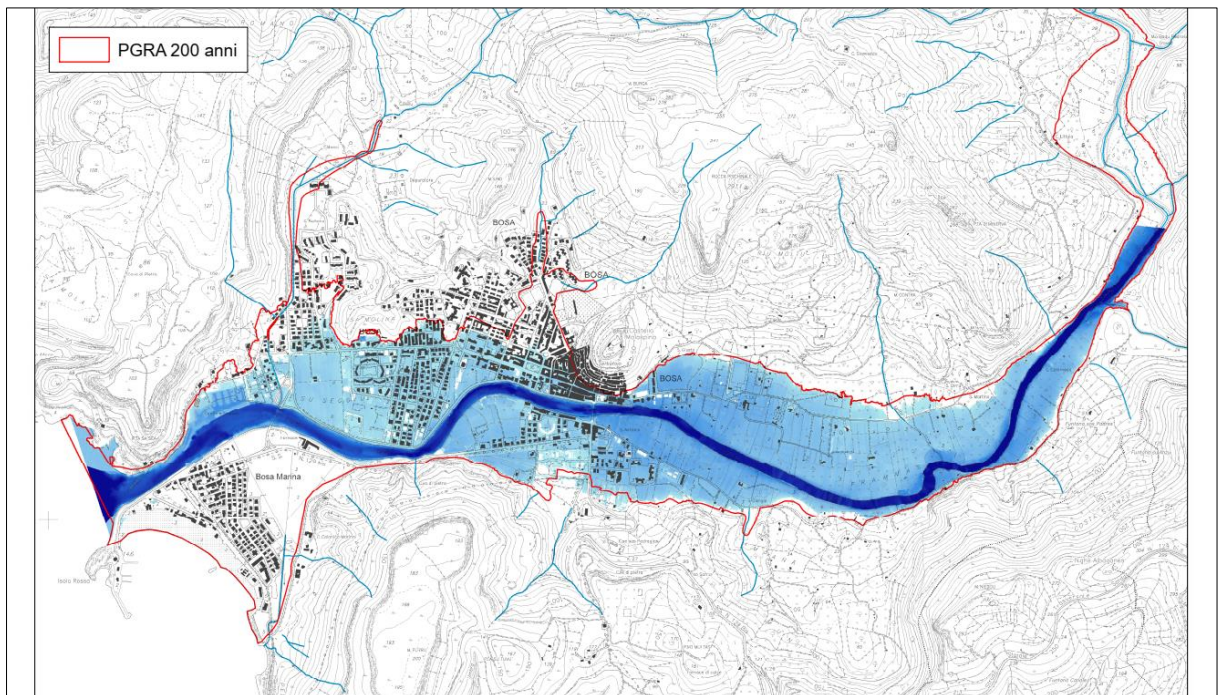


Figura 27 - Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA – $T_r=200$ anni



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

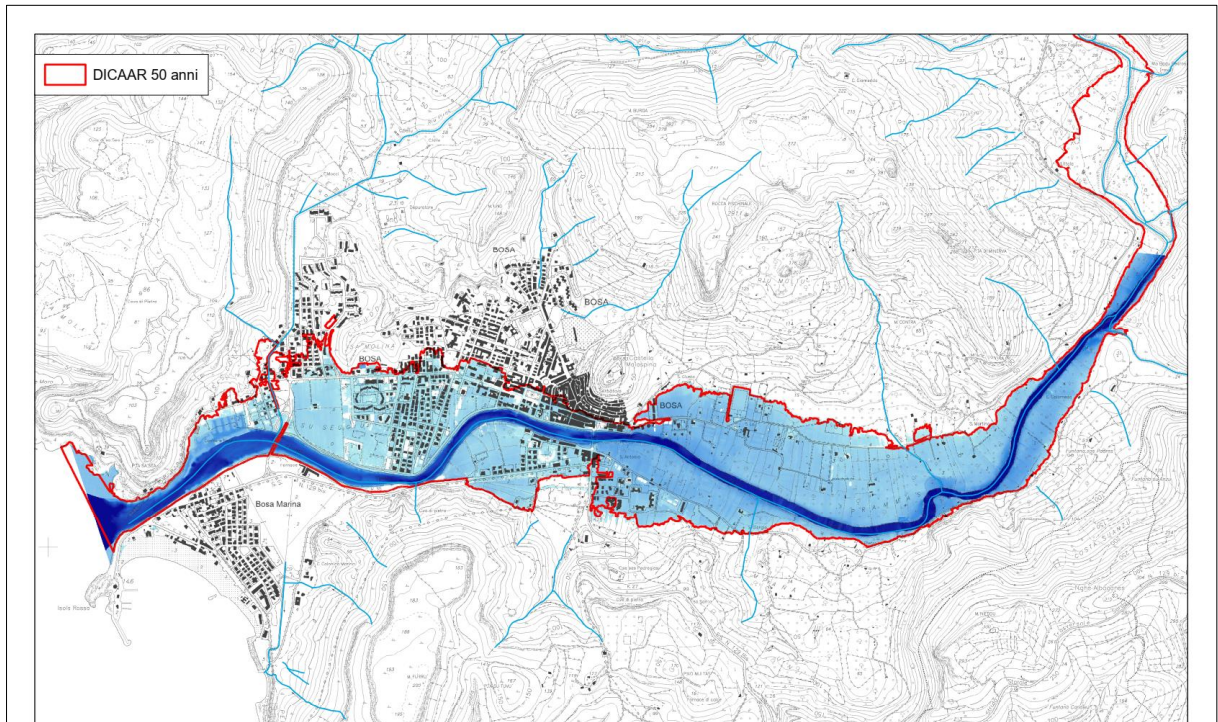


Figura 28 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA-DICAAR – $Tr=50$ anni

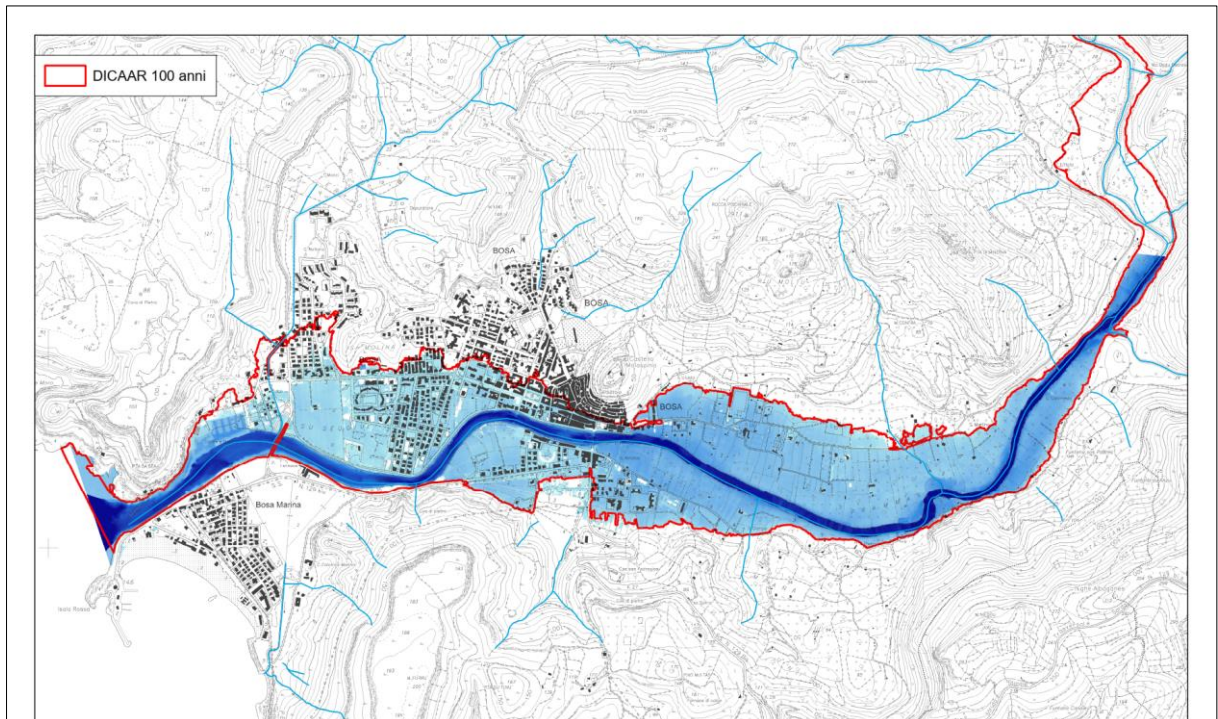


Figura 29 - Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA-DICAAR – $Tr=100$ anni



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

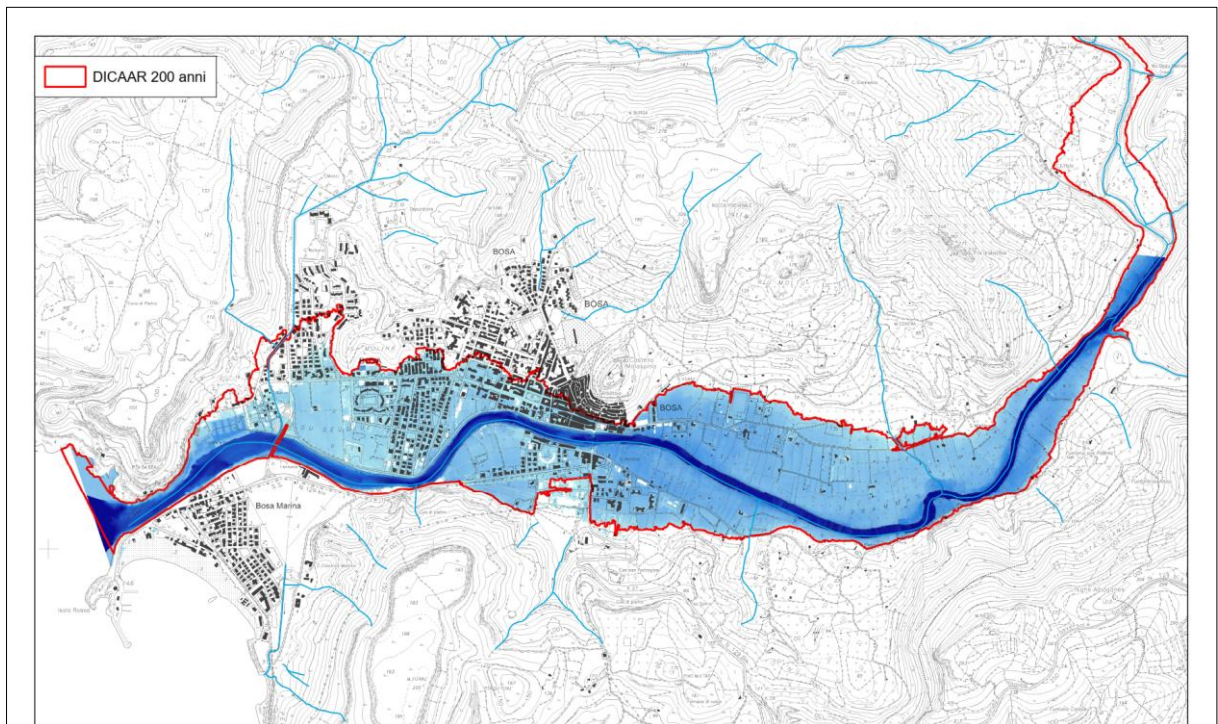


Figura 30 – Comparazione dei risultati del modello 2D vs limiti perimetrazione PGRA-DICAAR – Tr=200 anni

La simulazione bidimensionale ha permesso di individuare i campi di velocità su tutto il dominio spaziale interessato dal deflusso di piena, analogamente a quanto descritto ed illustrato per i battenti idrici.

Nella Figura 31, Figura 32 e Figura 33 si riportano i risultati relativi alla mappatura della velocità di corrente per i tre tempi di ritorno considerati sul tratto del Fiume Temo, rappresentati come inviluppo dei massimi relativi a ciascuna simulazione effettuata.

Come si può notare, i valori più alti della velocità di deflusso sono relativi all'alveo del Temo, mentre i territori interessati dall'esondazione del corso d'acqua sono caratterizzati da velocità basse o moderate, normalmente inferiori al valore di 1.5 m/s.



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

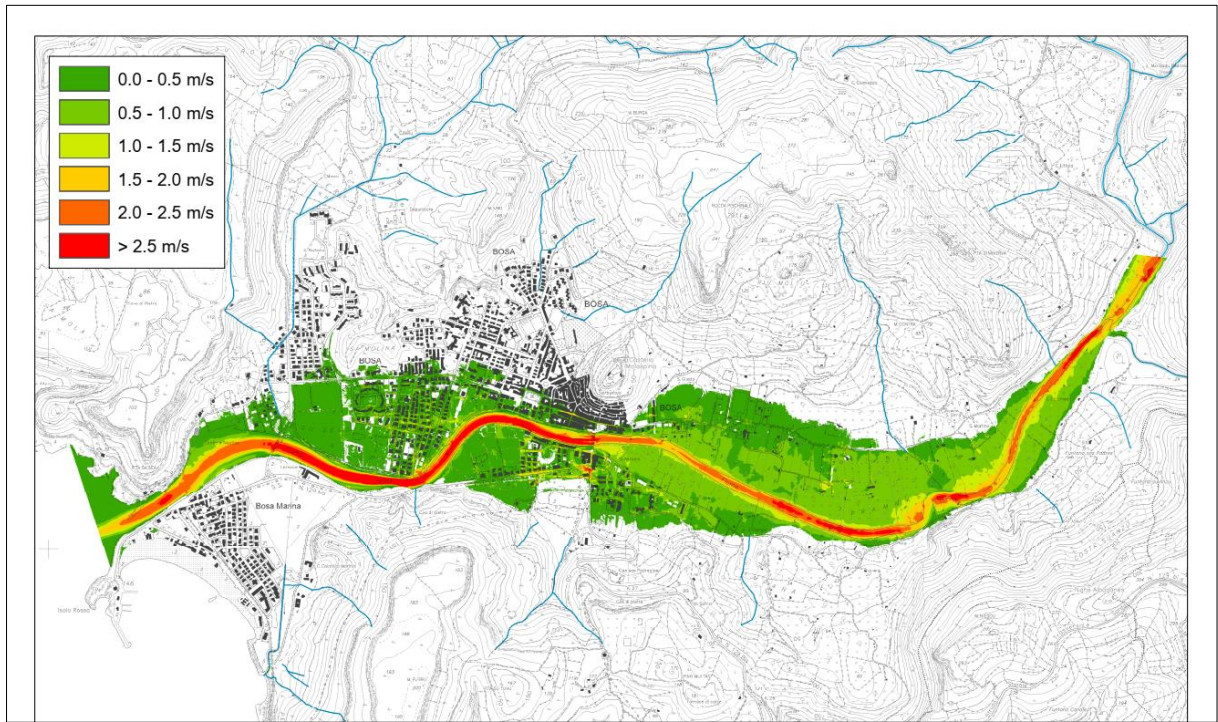


Figura 31 – Mappa della velocità di corrente –Tr=50 anni

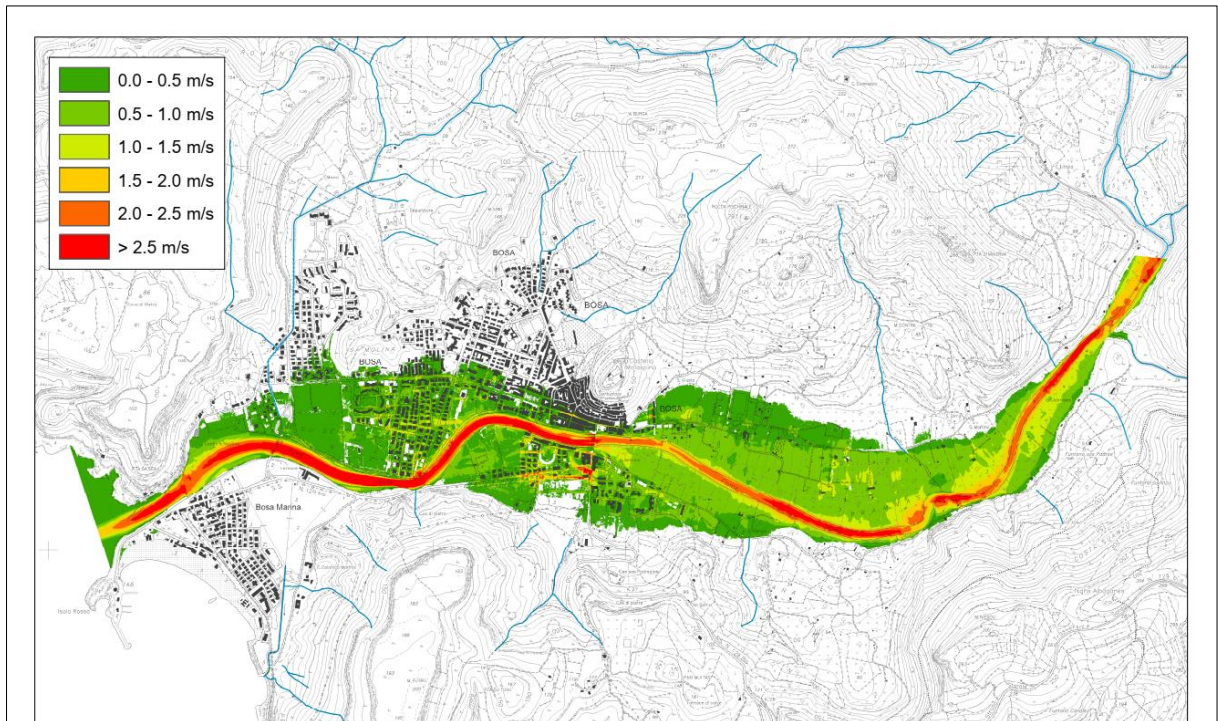


Figura 32 – Mappa della velocità di corrente –Tr=100 anni



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

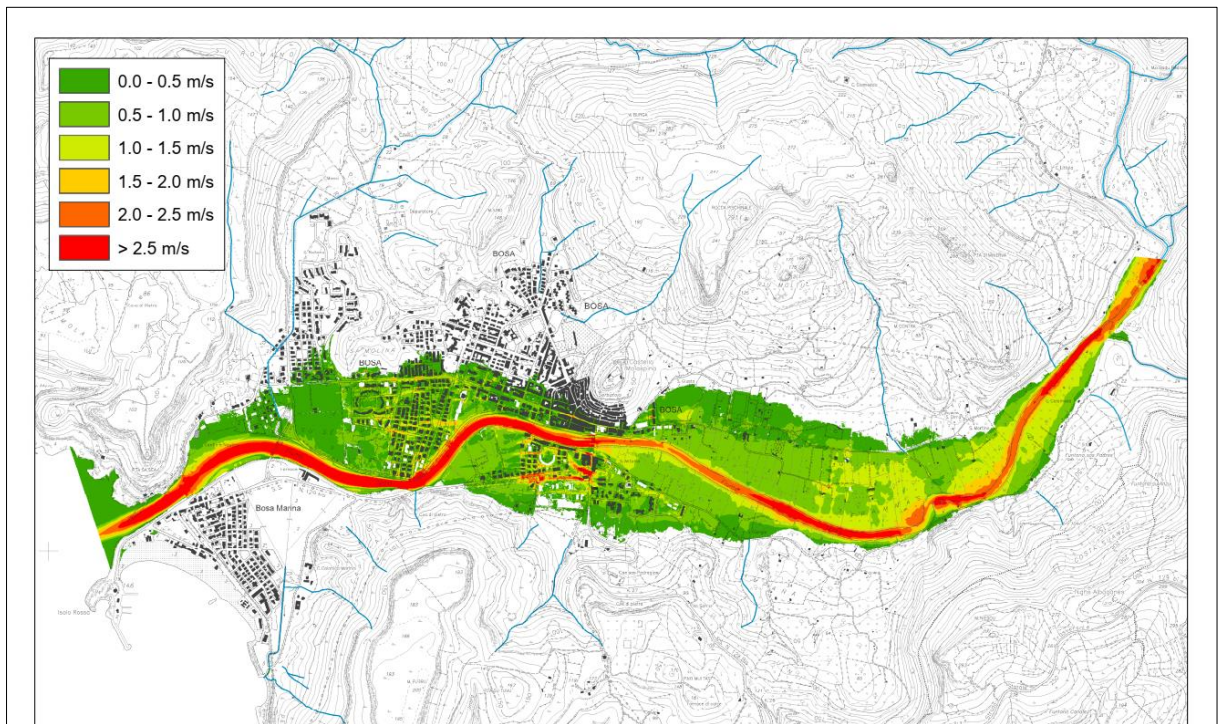


Figura 33 - Mappa della velocità di corrente – Tr=200 anni

5.3 INDICE DI VULNERABILITÀ

Una volta determinate le mappe relative ai battenti idrici massimi e alla velocità massima della corrente è stato possibile definire la mappa relativa all'indice di vulnerabilità V_p , anche indicato con il simbolo FHR (Flood Hazard Rating). La rappresentazione della pericolosità idraulica per la popolazione, intesa come elemento esposto al danno di piena, fa in genere riferimento a valori di velocità e profondità dell'acqua, elementi che determinano "instabilità" rispetto alla posizione di equilibrio delle persone.

Come riportato nelle Linee Guida ISPRA n. 82/2012, molti degli Autori che si sono occupati della instabilità delle persone in acqua fluente propongono di far riferimento a valori critici del prodotto ($h \cdot v$) tra altezza (h) d'acqua e velocità (v) del flusso.

La necessità di valutare con adeguato livello di dettaglio ed accuratezza di stima di tali grandezze evidenzia ulteriormente la imprescindibile necessità, per queste stime, di ricorrere a modelli bidimensionali per la interpretazione e simulazione del fenomeno alluvionale nel territorio sul quale si voglia attribuire la valutazione dell'indice di vulnerabilità.

Una stima mediante un indicatore che sintetizza l'intensità della pericolosità in relazione al tirante idrico e alla velocità locali della corrente è stata proposta da Ramsbottom et al. (2004) e ripresa in Penning-Rowse et al. (2005).



Tale indice di valutazione della pericolosità "Flood Hazard Rating" (FHR) o "Indice di vulnerabilità" V_p lega l'altezza h , la velocità v dell'acqua e la quantità di sedimento trasportato (DF) al «grado di pericolo» per le persone.

Indicando con:

- h i valori del tirante idrico massimo
- v le velocità della corrente idrica nella condizione di massimo
- DF un parametro che tiene conto del trasposto solido, assunto pari a 0.25

Si definiscono i range di pericolosità dati nella tabella seguente.

Tabella 7 - Classificazione dell'indice di vulnerabilità

$h \times (v + 0.5) + DF$	Grado di pericolo da inondazione	Descrizione
< 0.5	Molto basso	
0.5 ÷ 0.75	Basso	Cautela "Zone inondate da acque fluenti con basso tirante o acque ferme ma profonde"
0.75 ÷ 1.25	Moderato	Pericolo per qualcuno (bambini) "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"
1.25 ÷ 2.5	Significativo	Pericolo per la maggior parte delle persone "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"
> 2.5	Estremo	Pericolo per chiunque "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"

Per la stima dell'indice di vulnerabilità V_p è stato considerato, per ciascun elemento del reticolo, l'involuppo dei valori massimi dei battenti idrici h e delle velocità v derivanti dalla analisi dei risultati ottenuti in ciascun elemento del reticolo nelle tre simulazioni per i diversi tempi di ritorno.

Il software HecRas fornisce i risultati in formato raster con risoluzione di 1 metro. Utilizzando un programma GIS è stato, pertanto, calcolato il valore dell'Indice di Vulnerabilità $V_p = h(v+0,5) + 0,25$ nel dominio considerato ed all'interno delle aree già soggette a vincolo secondo il PSFF e il PGRA.

Nella rappresentazione cartografica, consegnata negli Allegati, l'intero ambito territoriale del tratto vallivo del Fiume Temo è stato suddiviso in 3 quadranti, per ciascuno dei quali sono state predisposte le Tavole in scala 1:5'000 presenti in allegato.



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 Tavole riportano i risultati ottenuti per le grandezze idrauliche stimate e per l'indice di vulnerabilità V_p .

In definitiva, per ciascun tempo di ritorno T_r degli eventi di piena considerati, sono stati riportati negli allegati cartografici le seguenti grandezze:

- Le perimetrazioni vigenti per le aree a pericolosità.
- I battenti idrici massimi;
- Le velocità massime;
- L'indice di vulnerabilità suddiviso in cinque distinte classi all'interno delle diverse perimetrazioni vigenti.
- La rappresentazione sintetica all'interno delle aree vincolate delle zone nelle quali risulta V_p maggiore o minore del valore critico 0.75.

La mappatura dell'indice V_p all'interno delle aree vincolate in ambito urbano e peri-urbano è elemento conoscitivo essenziale per la predisposizione dei Piani Urbanistici Comunali. Si ricorda, infatti, che la finalità delle valutazioni dell'indice V_p sono state chiarite con la Delibera n.1 del Comitato Istituzionale del 16.06.2020 con la quale è stato introdotto il *comma 5 septies dell'articolo 8* delle Norme di Attuazione del PAI che cita:

“Anche per i bacini che riguardano ambiti urbani e peri-urbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale individuato dal Comitato istituzionale con deliberazione n. 3 del 30.07.2015, i Comuni possono redigere appositi studi finalizzati alla valutazione del tirante idrico (h) e della velocità della corrente (v), determinati mediante adeguata analisi modellistica. Tali studi sono proposti e redatti dai Comuni in coerenza con specifiche linee guida approvate dal Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino, in applicazione dei commi 5 ter, quater e quinquies.”

Pertanto, le mappe dell'indice di vulnerabilità V_p fornite in allegato potranno consentire ai Comuni interessati di inserire le prescrizioni all'interno dei loro strumenti generali e attuativi e che riguarderanno in particolare i seguenti aspetti:

- evitare la creazione di nuove situazioni di criticità,
- ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti,
- limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità dei sistemi di drenaggio urbano
- divieto di realizzazione di nuovi volumi interrati e seminterrati;
- realizzazione di interventi di adeguamento e di misure di protezione locale ed individuale
- dismissione obbligatoria e irreversibile dei locali interrati 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

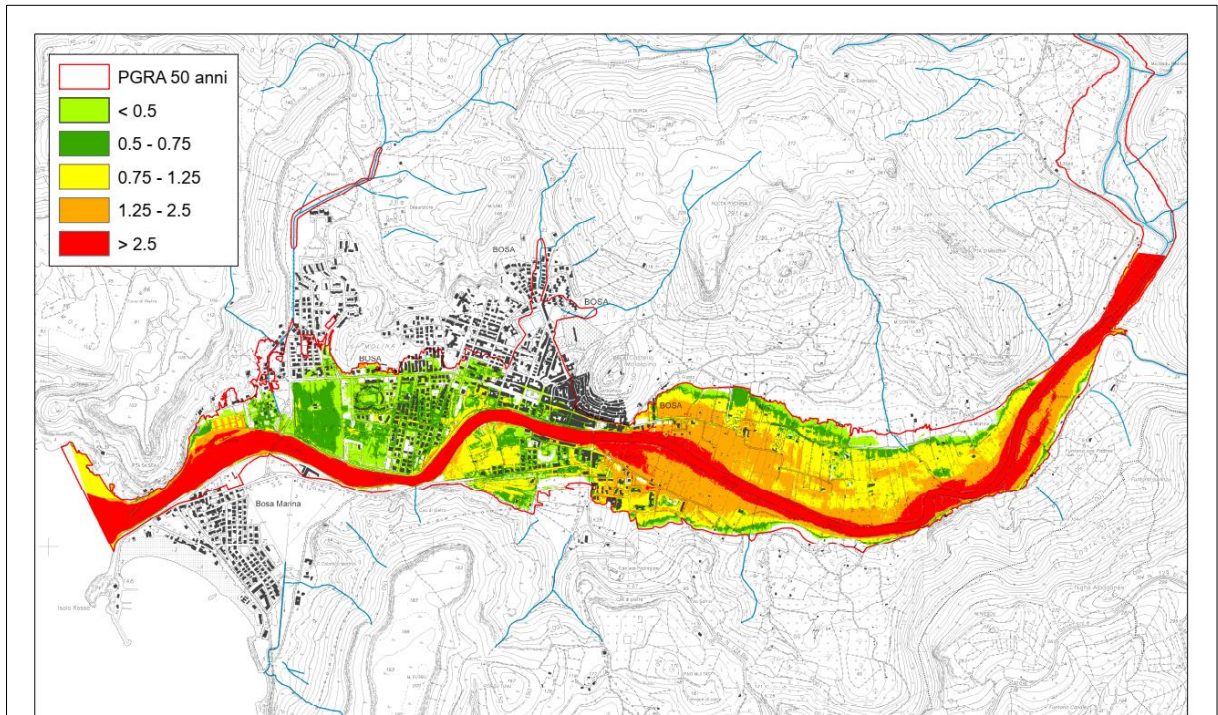


Figura 34 – Indice di vulnerabilità – Tr=50 anni

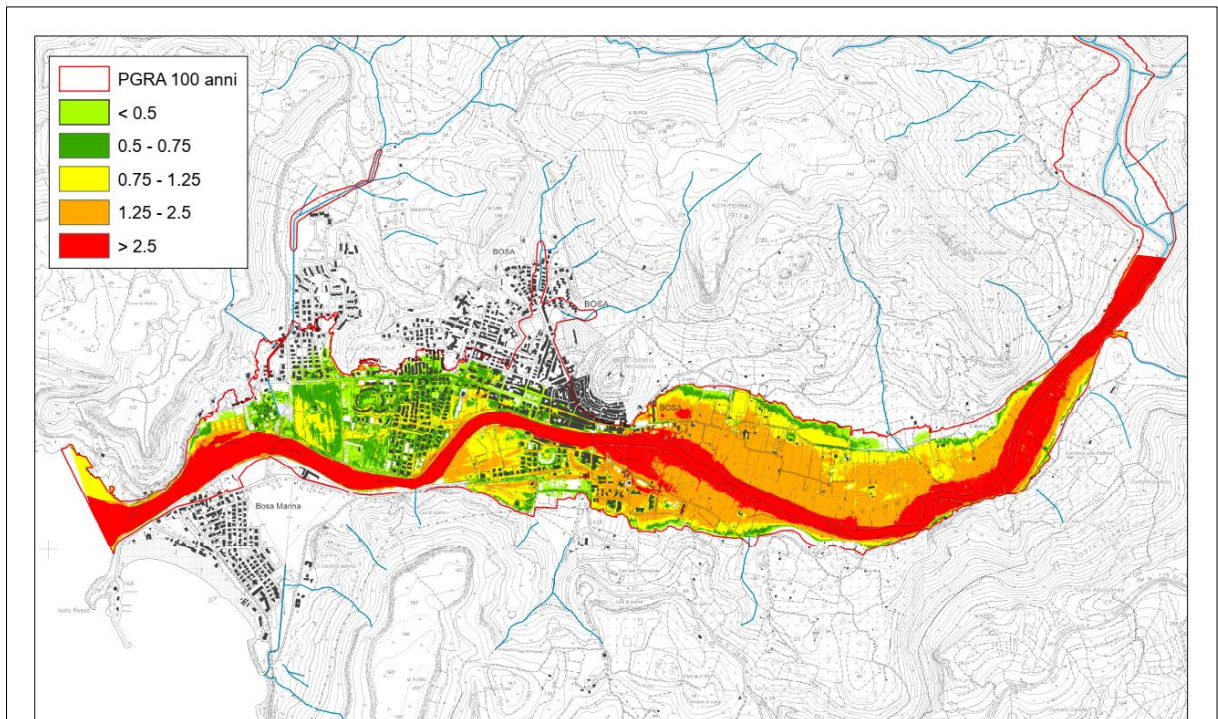


Figura 35 – Indice di vulnerabilità – Tr=100 anni



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

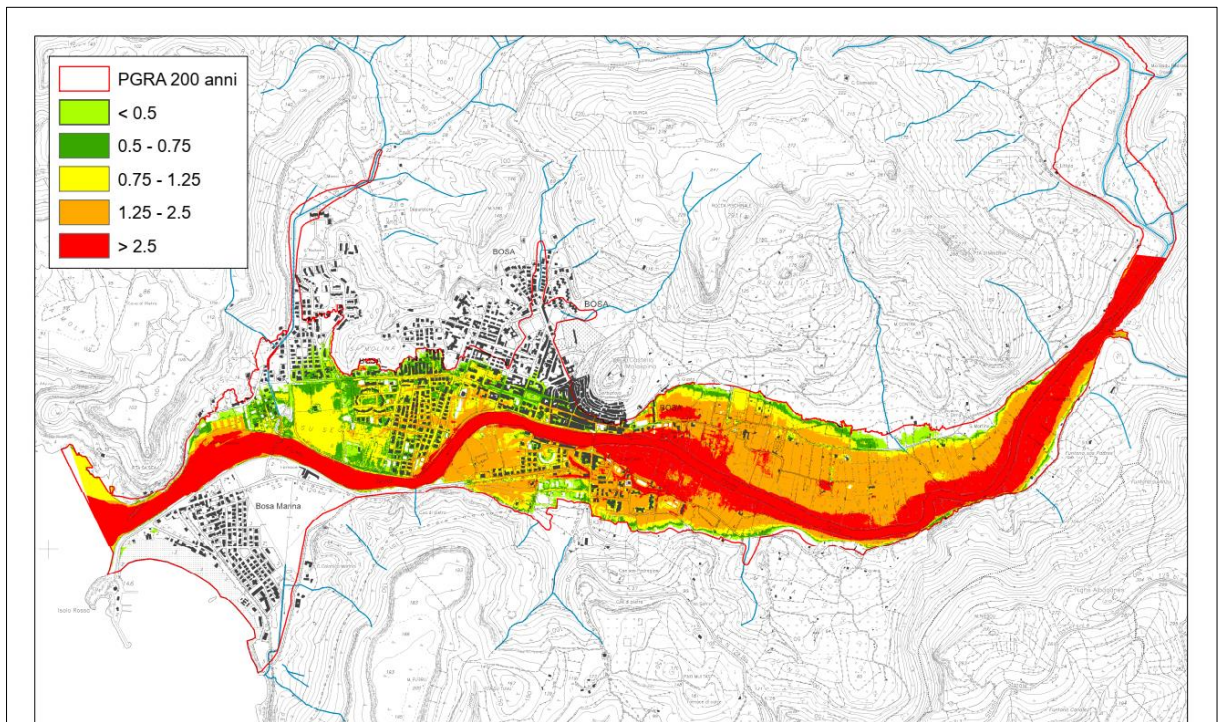


Figura 36 - Indice di vulnerabilità – $Tr=200$ anni