



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE
Via Cagliari n. 170 – Oristano

**OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO.
INTERVENTI DI RIMOZIONE DELLE INTERFERENZE DEL RIO
NURA CRABA NEI TERRITORI DI SOLARUSSA, SIAMAGGIORE
E ORISTANO- II stralcio funzionale**

C.A.T. P0323

C.U.P.: G93C23000680002

C.I.G.:

PROGETTO ESECUTIVO

Progettista
Ing. Giovanni Manca

Responsabile del Procedimento
Ing. Giorgio Bravin

Committente
Consorzio di Bonifica dell'Oristanese
Il Presidente
Dott. Carlo Corrias

Titolo

Allegato

RELAZIONE IDRAULICA

B

Rev.	Data	Nome file	Redattore	Verificatore
00	13.11.2023	1503P0323reidraulicaGM	Ing. Giovanni Manca	Ing. Giorgio Bravin
01	23.01.2024	1503P0323reidraulicaRev1GM	Ing. Giovanni Manca	Ing. Giorgio Bravin

INDICE

1. PREMESSA	3
2. STUDIO DEL CONTESTO	5
2.1 <i>Inserimento territoriale</i>	5
2.2 <i>Geologia, pedologia, zonizzazione sismica</i>	6
2.3 <i>Vincoli idrogeologici</i>	8
2.3.1 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)	9
2.3.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	10
2.3.3 Ciclone Cleopatra	12
2.3.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	13
2.3.5 Sintesi dei vincoli	14
2.4 <i>Inquadramento bio-naturalistico</i>	15
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI.....	17
4. ANALISI IDRAULICA	18
4.1 <i>Studio idrologico</i>	18
5. INTERVENTI IN PROGETTO	21
5.1 <i>Descrizione degli interventi</i>	21
6. EFFETTI DEGLI INTERVENTI	24
6.1.1 <i>Analisi aspetti idraulici sulle sezioni di intervento</i>	24
6.1.2 <i>Analisi aspetti qualitativi sulle sezioni di intervento</i>	33
7. AZIONI DI TRASCINAMENTO SUI RIVESTIMENTI	34
7.1 <i>Verifica di stabilità all'erosione</i>	34
7.2 <i>Metodologia di ripristino spondale</i>	38
8. CONCLUSIONI	40

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo *“Opere di Mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Interventi di rimozione delle interferenze del rio Nura Craba nei territori di Solarussa, Siamaggiore e Oristano – Il stralcio funzionale”*.

Con Deliberazione n.31/3 del 17 /06/2015 la Giunta regionale ha approvato in via definitiva il “piano regionale delle infrastrutture”. Nel suddetto programma risulta compreso l'intervento denominato “Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso – importo € 800.000” da realizzarsi in regime di convenzione tra l'Amministrazione regionale, in qualità di Ente finanziatore e il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese in qualità di soggetto attuatore.

In data 22.10.2015 è stata stipulata la convenzione tra Assessorato dei Lavori Pubblici e questo Consorzio.

All'interno di tale convenzione è previsto che il CBO debba procedere alla stesura del Piano generale con il quale identificare tutti gli interventi necessari per la risoluzione delle problematiche individuate dagli atti pianificatori di bacino ovvero delle opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso.

In una seconda fase, il CBO dovrà realizzare un primo lotto funzionale, da individuare sulla base del piano generale suddetto per il quale si provvederà a redigere un progetto esecutivo delle opere e dirigere i lavori.

La prima fase (Piano di Mitigazione) risulta conclusa, sebbene ancora subordinata all'approvazione da parte dell'agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Regione Sardegna, per cui il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese ha proceduto alla seconda fase.

In riferimento a tale piano è stato avviato e concluso l'intervento *“Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Interventi per la messa in sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa – 1° stralcio funzionale – CUP:G16J15001280002 CIG:894667883D”* che ha portato all'avanzo di economie tali da poter coprire l'intervento che si promuove con questo secondo stralcio.

Lo studio progettuale ha portato a evidenza la presenza sul Rio Nura Craba di numerosi manufatti realizzati sia per lo sviluppo di pratiche agricole che per garantire servizi all'espansione del centro abitato limitrofo. Questi elementi sono stati realizzati senza considerare le interferenze che vanno a causare sul naturale e regolare scorrimento verso valle del citato corso d'acqua, queste si

sommano a ulteriori problematiche presenti sul reticolo idrografico che vanno a determinare il conseguente rischio idraulico cui è assoggettata la zona.

Al fine di riavvicinare i corsi d'acqua alla naturalità del loro tracciato, di modo da ridurre il danno conseguente a eventi alluvionali che diventano sempre più frequenti nei tempi odierni, le pubbliche amministrazioni si impegnano alla rimozione delle interferenze e sostituzione di queste con soluzioni che non vadano a influire negativamente sul deflusso delle acque.

L'intervento è finalizzato a migliorare la funzionalità idraulica del corso d'acqua attraverso la rimozione selettiva di ponti canale di pertinenza del Consorzio di Bonifica ormai dismessi, le cui opere contigue sono già state rimosse in tempi antecedenti e di cui oramai costituiscono l'unico residuo delle opere di trasporto idrico a pelo libero un tempo utilizzate e ora dismesse. A seguito della rimozione è previsto il ripristino delle sponde del rio, raccordando altimetricamente e planimetricamente le sezioni rispettivamente a monte a valle delle sezioni di intervento.

Gli interventi di manutenzione, in tal caso inteso come rimozione delle strutture, verrà eseguito in accordo con quanto disposto nell'articolo 17 del PAI aggiornato con deliberazione n.15 del 22 novembre 2022 e come prescritto nella Deliberazione n. 39/13 del 05.08.2015 della Regione Sardegna.

La presente relazione ha lo scopo di evidenziare come l'intervento migliori la condizione di funzionamento idraulico sul rio di pertinenza e con quale entità avviene tale cambiamento, facendo fondamento sugli studi di dettaglio svolti nella zona dal Consorzio di Bonifica dell'Oristanese. Si esaminano inoltre le condizioni stabilità dei sedimenti a seguito di un'analisi del fenomeno di trasporto solido e la soluzione da adottare per il ripristino della sponda.

2. STUDIO DEL CONTESTO

2.1 Inserimento territoriale

Il progetto prevede la demolizione e messa in sicurezza di alcune delle interferenze che si inseriscono nei territori comunali di Solarussa, Siamaggiore e Oristano, ricadenti all'interno del comprensorio di bonifica "Nord".

All'interno del reticolo secondario del bacino idrografico del fiume Tirso in riva destra si sviluppano due corsi d'acqua denominati "Rio Nura Craba" e "Rio Saoru" i quali proseguono in direzione Est-Ovest correndo parallelamente all'argine in destra idraulica del fiume Tirso, per poi confluire nel Rio Tanui immediatamente a valle della frazione Donigala Fenughedu. Questi corsi d'acqua si mantengono paralleli e distanziati da più o meno un chilometro, rappresentando i principali responsabili delle condizioni di rischio idraulico nella zona oggetto di intervento.

Precisamente il Rio Nura Craba nasce appena a monte dell'abitato di Solarussa, attraversa il paese all'interno di un canale precedentemente tombato che è stato oggetto dell'intervento *"Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Interventi per la messa in sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa – I° stralcio funzionale"* di cui i lavori si sono svolti nel 2022, prosegue verso Est-Ovest attraversando il territorio di Siamaggiore e scorrendo a sinistra dell'omonimo centro abitato, inserendosi nel territorio di Oristano sulla sinistra dell'abitato di Nuraxinieddu e proseguendo fino alla confluenza col Rio Saoru a sud ovest. Il rio Tanui originatosi prosegue verso est-ovest per poi sfociare nello stagno di Cabras mediante il Canale a marea Bennaxi.

Cartograficamente l'area del rio Nura Craba interessata dall'intervento ricade nel foglio 528 sezione I "Oristano Nord" della cartografia IGM 1:25'000 e nei fogli 528080 "Oristano" e 528040 "Zeddiani" della Cartografia Tecnica Regionale 1:10'000.



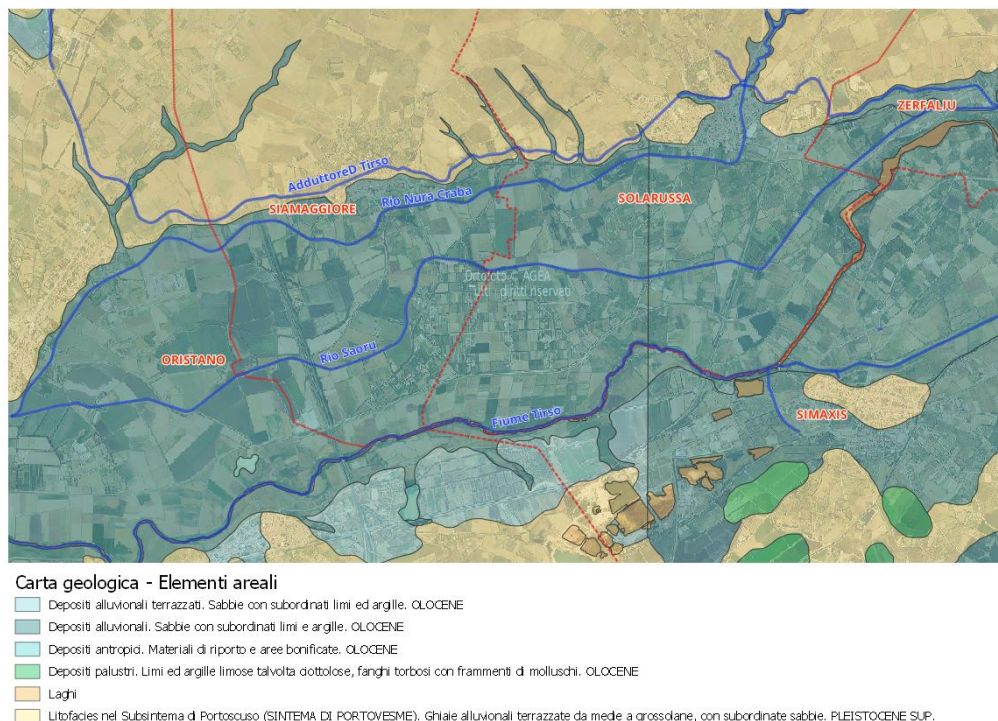
2.1_Inquadramento del rio Nura Craba e del rio Saoru

2.2 Geologia, pedologia, zonizzazione sismica

Essendo l'area ricadente nella porzione più valliva del bacino del Tirso, risulta caratterizzata dalla prevalente presenza di depositi alluvionali che possono suddividersi in due tipologie: Depositi Pleistocenici denominati “Alluvioni Antiche” e Depositi alluvionali Olocenici noti come “Alluvioni Recenti”.

Per quanto attiene alle “Alluvioni Antiche”, recentemente rinominate “Litofacies del Subsistema di Portoscuso (Sistema di Portovesme)”, sono costituite da ghiaie alluvionali terrazzate da medie e grossolane, prevalentemente silicio – clastiche, con subordinate sabbie, del Pleistocene Suo. Le alluvioni antiche si trovano diffusamente nel territorio comunale di Solarussa e specificatamente sono sistemate in corrispondenza della conoide alluvionale del Tirso e dei suoi affluenti. In merito all'aspetto stratigrafico giacciono sulle vulcaniti plio-quaternarie, l'ossatura del substrato alluvionale è di natura silicio- clastica con una tessitura costituita da ciottoli, ghiaie e sabbie di matrice argillosa con intercalati livelli francamente sabbiosi e sabbio-argillosi. Sono presenti elementi litici di composizione quarzosa e anche derivati dalle vulcaniti terziarie. Il deposito alluvionale antico si presenta molto ben addensato, localmente debolmente cementato.

I depositi olocenici dell'area continentale sono formati quasi totalmente da alluvioni recenti del Fiume Tirso, caratterizzano tutto il settore a Sud dell'abitato di Solarussa fino al limite amministrativo definito dallo stesso Fiume Tirso, sono prevalentemente costituiti da sabbie e limi argillosi, con locali intercalazioni ghiaiose di colore bruno, sciolti o debolmente addensati. Questi depositi si rinvencono all'interno delle incisioni fluvio-torrentizie sugli orli di terrazzi antichi, dove si osserva l'aumento della frazione sabbiosa e ghiaiosa dovuto agli apporti locali. Nel complesso, si possono avere depositi alluvionali terrazzati, depositi alluvionali dei corsi d'acqua attuali e depositi alluvionali costituiti da limi ed argille, ubicati in corrispondenza delle aree depresse, relative alle zone stagnali/paludose.



2.2_Inquadramento geologico sul rio Nura Craba

Per quanto concerne gli aspetti geomorfologici ci si trova localizzati sopra il Graben del Campidano su cui si sono susseguiti episodi di vulcanismo effusivo tipici della tettonica distensiva del Pliocene, in corrispondenza dell'area d'intervento non si rilevano evidenze di strutture tettoniche degne di nota. I lineamenti morfologici del territorio sono determinati sia dalla natura dei linotipi affioranti che da composizione e tessitura, i processi geomorfologici hanno risentito però anche dei fattori esogeni dovuti a processi gravitazionali, fluvio-torrentizi, climatici, strutturali e antropici. Per cui la

zona di tipo complanare e talora leggermente depresso, risulta composta prevalentemente da sedimenti terrigeni di facies alluvionale abbinati ad un sistema morfo dinamico di tipo fluviale.

Risultano alcune eccezioni nella parte settentrionale del comune di Solarussa e Zerfaliu, dove il vulcanismo Plio-Quaternario ha obliterato le successioni Mioceniche trasformandole in zone in quota rispetto al territorio circostante. In questi settori si sviluppano gli spartiacque del reticolo secondario rappresentato essenzialmente dal Rio Nura Craba, il quale sviluppa processi naturali fluviale che hanno determinato la comparsa di orli di terrazzo alluvionale talvolta cancellati a seguito delle attività antropiche succedutesi negli anni.

2.3 Vincoli idrogeologici

Il rio Nura Craba è un corso d'acqua secondario affluente del fiume Tirso, a carattere torrentizio, che nel corso degli anni è stato interessato da interventi antropici tra i quali il confinamento dell'alveo all'interno di un canale a sezione rettangolare di 3m di larghezza e 2.5m di altezza per tutto il tratto che attraversa il centro urbano di Solarussa e fino alla periferia del centro abitato (circa 1.2 km) prosegue poi all'interno di un alveo di sezione trapezia con savanella centrale rivestita in cls. Il rio tende a restringere la sezione man mano che prosegue verso valle, diventando un tronco ben inciso nella geologia della zona, il suo tracciato ha subito variazioni a seguito della attività antropiche svolte nei territori su cui esso scorre.

Il vincolo idrogeologico è istituito e normato con il Regio Decreto n.3627 del 30.12.1923 e il successivo regolamento di attuazione R.D. 1126/1926. Esso rivolge particolare attenzione alla protezione dal dissesto idrogeologico ed istituisce tale vincolo come strumento di prevenzione e difesa del suolo, limitando il territorio ad un uso conservativo.

Nel caso di specie, non sono presenti nell'area di interesse vincoli di natura idrogeologica ai sensi del R.D.L. 3267/1923.

Negli ultimi decenni sono nati nuovi strumenti di pianificazione di natura idrogeologica riconducibili fondamentalmente ai seguenti piani:

- Piano di Assetto Idrogeologico, PAI;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, PSFF;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, PGRA;
- Ex art.8 delle Norme di Attuazione del PAI;

- Altri (Ciclone Cleopatra, Scenari di intervento, etc).

Si esegue di seguito una disamina dei suddetti Piani.

2.3.1 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Ai fini della difesa, della salvaguardia e del corretto sfruttamento del territorio, il PAI costituisce il documento di sintesi delle azioni promulgate dalla Pubblica Amministrazione (ai diversi livelli) e dagli Enti competenti nell'ambito della prevenzione del rischio idrogeologico.

Nelle aree di pericolosità idraulica e di pericolosità da frana il PAI ha le finalità di garantire adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici e tutelare quindi le attività umane, i beni economici ed il patrimonio ambientale e culturale esposti a potenziali danni.

Inoltre, il PAI è lo strumento attraverso il quale si deve:

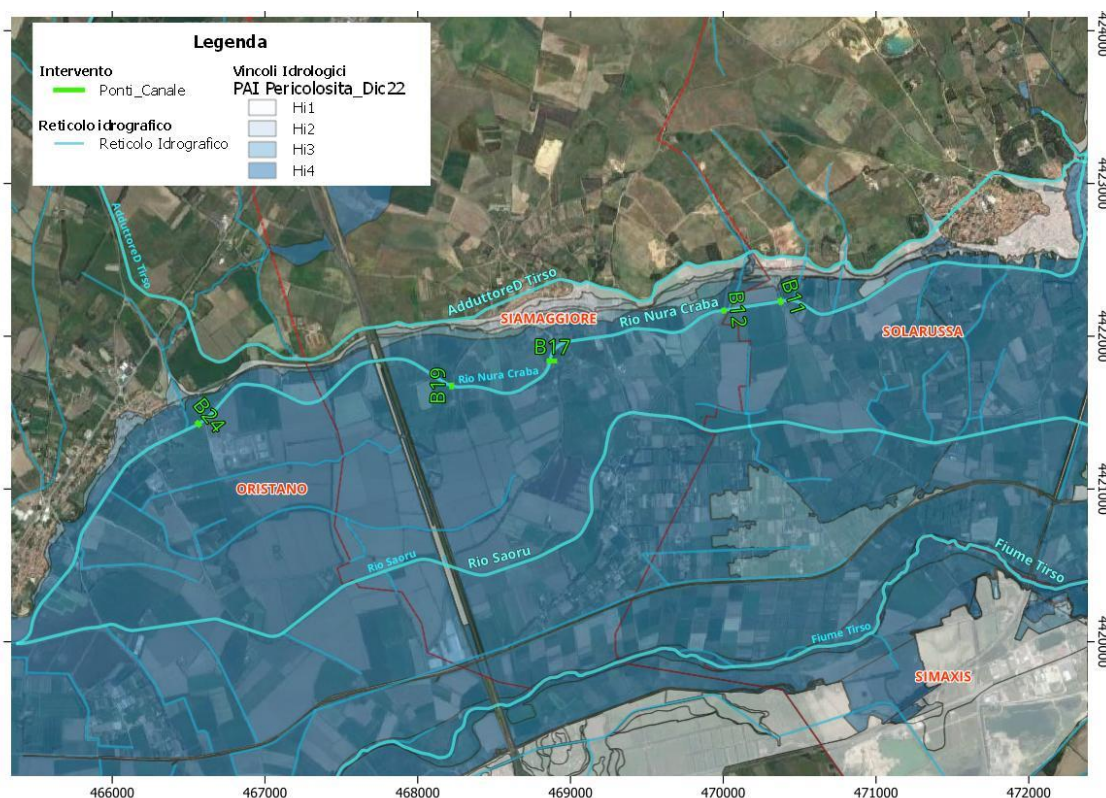
- inibire le attività ed interventi capaci di ostacolare il processo verso un adeguato assetto idrogeologico, contrastare l'aumento delle situazioni di pericolo e delle condizioni di rischio idrogeologico esistenti;
- costituire le condizioni di base per avviare azioni di riqualificazione degli ambienti fluviali e di riqualificazione naturalistica o strutturale dei versanti in dissesto;
- evitare la creazione di nuove situazioni di rischio, rendendo compatibili gli usi attuali o programmati del territorio e delle risorse con le situazioni di pericolosità idraulica e da frana individuate.

Sulla scorta di quanto sopra, nel PAI sono riportati gli elementi per l'individuazione e la delimitazione delle aree con pericolosità idraulica e con pericolosità da frana ai diversi livelli, gli elementi per la rilevazione degli insediamenti, dei beni, degli interessi e delle attività vulnerabili nelle aree pericolose, e gli elementi per l'individuazione e la delimitazione delle aree a rischio idraulico e a rischio da frana ai diversi livelli.

Le Norme di Attuazione del PAI sono orientate sia verso la disciplina di politiche di prevenzione nelle aree di pericolosità idrogeologica allo scopo di bloccare la nascita di nuove situazioni di rischio, sia verso la disciplina del controllo delle situazioni di rischio esistenti nelle stesse aree pericolose allo scopo di non consentire l'incremento del rischio specifico, fino all'eliminazione o alla riduzione delle condizioni di rischio attuali.

In figura 2.3 è riportata la perimetrazione delle aree di pericolosità del fiume Tirso considerato l'aggiornamento delle norme di attuazione PAI del Dicembre 2022. Da questa si evince come le

opere oggetto di intervento sono propriamente presenti all'interno del reticolo idrografico secondario e quindi soggette al massimo livello di pericolosità Hi4 ai sensi del PAI.



2.3 _ Sovrapposizione delle aree di pericolosità PAI con evidenza del rio Nura Craba

2.3.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) è stato redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale. Il PSFF trova specificazione nella direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni e nel Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 che recepisce tale direttiva.

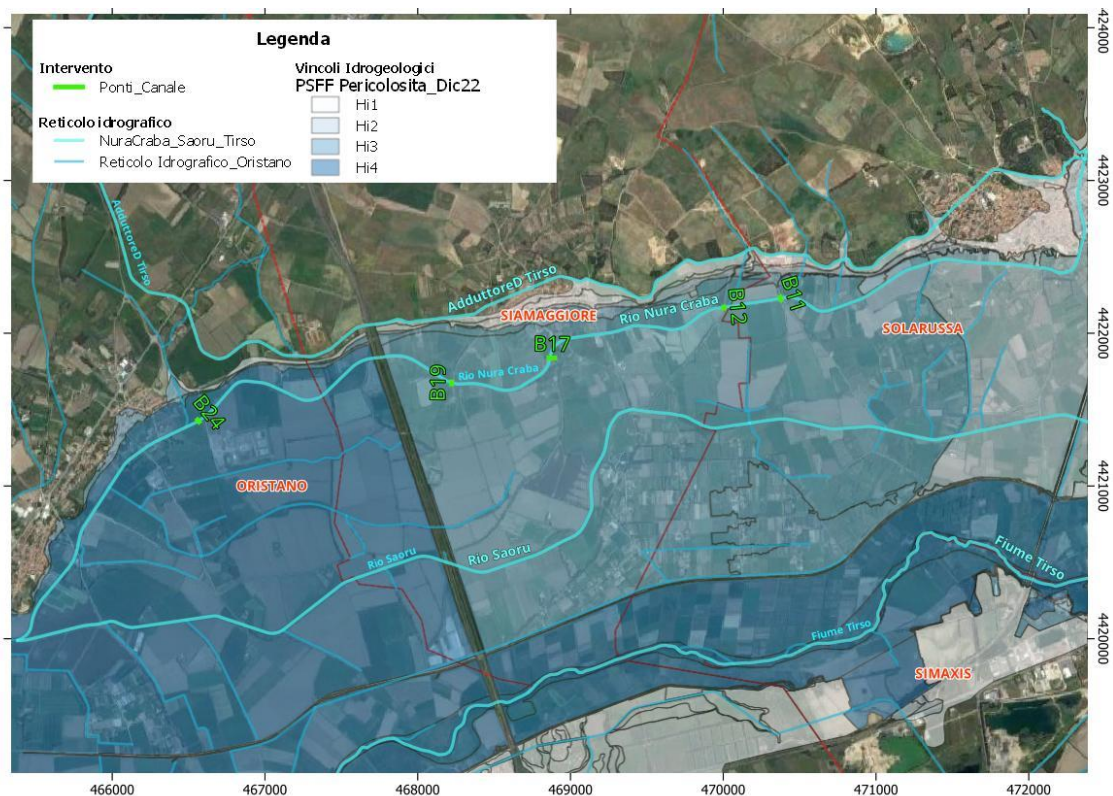
Il P.S.F.F. ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Inoltre, costituisce un approfondimento ed un'integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento 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.

Per quanto concerne gli elementi areali il Piano individua le cosiddette fasce fluviali, dette anche aree di pertinenza fluviale, che identificano quelle aree limitrofe all'alveo inciso occupate nel tempo dalla naturale espansione delle piene, dallo sviluppo morfologico del corso d'acqua, dalla presenza di ecosistemi caratteristici degli ambienti fluviali.

Il corso d'acqua oggetto di intervento ricade all'interno del sub-bacino 02 Tirso. Più precisamente, come si evince dall'elaborato 2_1_3_3-CartaFasce, il rio Nura Craba si trova nel sottobacino 01 – Tirso. Di seguito si riporta la perimetrazione definita in ambito PSFF aggiornata al 2020 la quale risulta essere meno gravosa rispetto a quanto previsto dal PAI. In figura 2.4 sono riportate le aree di pericolosità idraulica della zona di interesse da cui si evince che il tratto su cui ricadono le opere oggetto di intervento rientra interamente nella zona di pericolosità Hi3, che risulta una volta uniformate le classi del PSFF (B100 e B200) con quelle PAI.



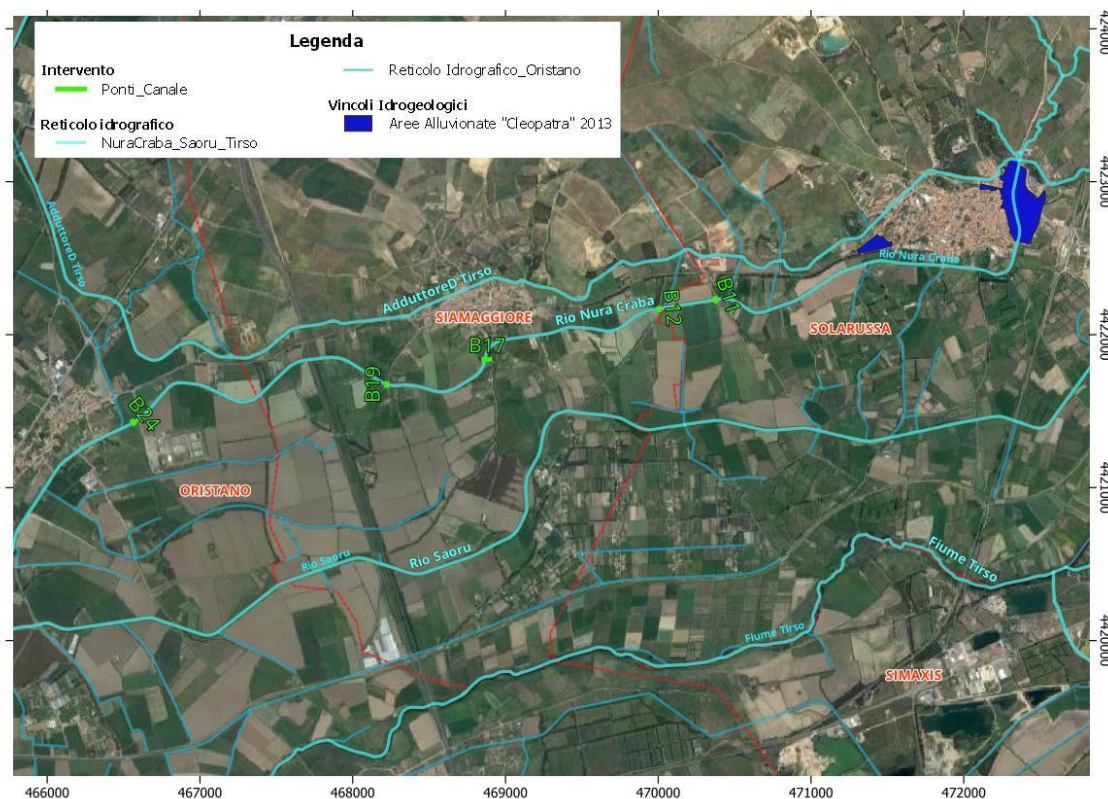
2.4 _ Sovrapposizione delle aree di pericolosità PSFF con evidenza del rio Nura Craba

2.3.3 Ciclone Cleopatra

Nel novembre del 2013 un ciclone extratropicale ha colpito il bacino occidentale del Mediterraneo, abbattendosi pesantemente sul territorio della Regione Sardegna. Questo è stato denominato Ciclone Cleopatra, caratterizzato da un sistema di bassa pressione che ha sviluppato un complesso di temporali dovuto all'insediarsi di correnti fredde giunte da Nord all'interno mediterraneo al momento interessato da una corrente calda proveniente da est.

Il ciclone ha generato abbondanti precipitazioni sulla Sardegna, scaricando 440mm d'acqua in quella mattina del 18 novembre 2013, questo ha portato allo straripamento dei fiumi e canali nonché provocato: la morte di 19 persone, la distruzione di campi e la dispersione di una persona. Le aree più colpite sono state la Gallura, il Nuorese, l'Oristanese e il Medio Campidano.

In seguito a ciò è stata realizzata una mappatura delle aree esondate durante l'evento, imponendo in quelle fasce un vincolo idraulico Hi4. Solarussa è stato uno dei paesi colpiti dall'alluvione, per cui come evidenziato in figura 2.5 è stata individuata una zona ad alta pericolosità che è nota alla popolazione come "Sa Pau". Tale zona è situata a monte delle aree di intervento e non vi ricade alcuna zona dell'intervento.



2.5 _ Aree allagate a seguito del Ciclone Cleopatra nei territori di Solarussa nel 2013

2.3.4 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”.

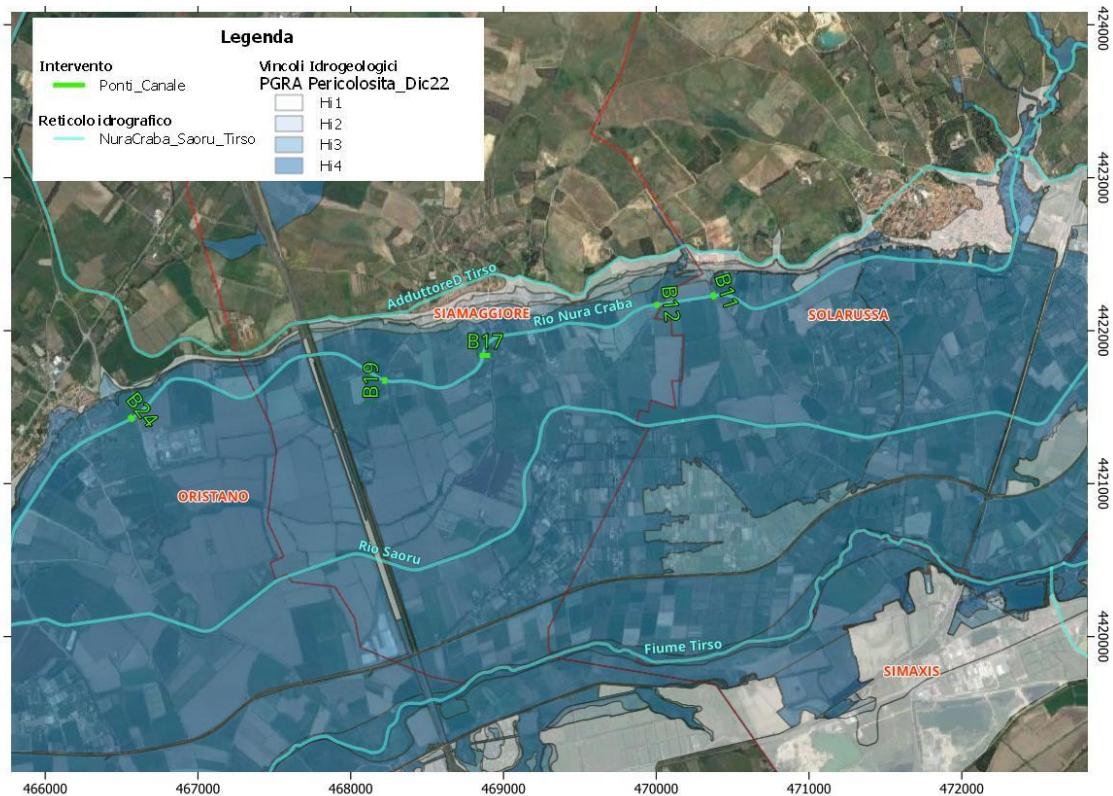
Il Piano coinvolge tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni con riferimento alla realizzazione di opere infrastrutturali di mitigazione del rischio, ma anche con riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli 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.

Nella figura 6 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. 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.

La perimetrazione delle aree di pericolosità viene ottenuta dall'involuppo delle aree perimetrate dai diversi strumenti di piano: PAI e PSFF, nonché dalle varianti PAI che sono state approvate per i territori di riferimento. Dalla mappatura PGRA si evince anche in questo frangente che le sezioni su cui si prevede l'intervento ricadono in area Hi4 trovandosi esse internamente all'alveo in condizione dovuta in quanto lo scopo dell'intervento è proprio la rimozione di interferenze sul reticolo.

Di seguito si riporta in figura 2.6 lo stralcio della mappatura PGRA che da evidenza di quanto detto in merito alla pericolosità.



2.6 _ Perimetrazione PGRA a seguito dell'involuppo delle mappature più recenti

2.3.5 Sintesi dei vincoli

Nei paragrafi precedenti si sono analizzati i vari studi condotti ai fini della pianificazione nei confronti della pericolosità idraulica.

Appare evidente che gli interventi previsti in progetto ricadono totalmente all'interno delle fasce di pericolosità Hi4, ovvero con tempo di ritorno di 50 anni. Quanto sopra è reso ulteriormente evidente dal fatto che trattasi di lavori da eseguirsi nelle sponde dell'alveo di magra, per cui frequentemente interessato dalle piene anche ordinarie.

Un altro aspetto che si vuole mettere in evidenza è l'estensione delle aree di pericolosità idraulica. Il rio Nura Craba ha subito diverse alterazioni a seguito di interventi di regimazione, questo tende a scorrere parallelamente al Tirso e la sua sezione trasversale funziona come colatore per gli eventi ordinari del fiume, ma va in crisi in occasione di eventi estremi. Nelle situazioni critiche la portata contenuta all'interno della sezione idraulica del Nura Craba tende a defluire verso il Tirso,

assumendo un funzionamento di sezione a mezza costa e addossandosi in prima battuta al rio Saoru e all'aumento della portata arriva fino al lato esterno dell'argine in destra Tirso.

2.4 Inquadramento bio-naturalistico

Il rio Nura Craba si presenta con un andamento meandriforme, talora alternato a tratti a debole curvatura o sub-rettilinei. L'alveo di piena è limitato da una riva di erosione che in certi punti super 1.50 m localmente interrotta da superfici a debole acclività che si raccordano all'alveo di magra. La dinamica fluviale del corso d'acqua è segnata dal fatto che il rio ha subito nel corso del tempo profonde modifiche del proprio tracciato. Le modifiche, per lo più di carattere urbanistico, non hanno mai considerato l'influenza che il corso d'acqua riveste sul deflusso al verificarsi degli eventi di piena e ciò ha portato a un continuo accrescimento dell'insufficienza del canale durante tali eventi. Topograficamente l'area ricade nella categoria T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione $<15^\circ$ ". Il sottosuolo invece risulta caratterizzato da rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche. Sull'alveo si insedia una vegetazione composta prevalentemente da specie erbacee alternate, cui si alterna la frequente presenza di canneti e vari arbusti, la cui crescita è favorita da una bassa pendenza del bacino e conseguente bassa velocità della corrente.



2.7 _ Composizione tipica delle sezioni d'alveo sul rio Nura Craba

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

Nella parte settentrionale del territorio comunale di Solarussa, si rileva la presenza di due corsi d'acqua naturali secondari, Riu Uras e Riu sa Cresia, che si originano dai versanti Nord-ovest e che confluiscono nel Tirso, a monte della traversa di S. Vittoria in agro di Zerfaliu. Nel settore centrale invece si individuano i bacini idrografici del Rio Bia Traversa e del Rio Roia Pauris che corrono da Nord verso Sud, convergendo nella periferia Nord del perimetro urbano, all'altezza dell'attraversamento col Canale Adduttore Destra Tirso, nel canale artificiale denominato Canale Solarussa. Il Canale poi, correndo verso valle assume la denominazione di Rio Nura e Craba.

Il rio citato scorre parallelamente all'argine destro del fiume Tirso e al rio Saoru distanziato di circa un chilometro da esso. Questi due rii fungono da rottura dei deflussi naturali che altrimenti andrebbero a immettersi nel Tirso in destra idraulica.

Il rio Nura Craba scorre in direzione ovest all'interno di un territorio prevalentemente utilizzato ai fini agricoli, costeggia l'abitato di Siamaggiore scorrendo parallelamente alla Strada Provinciale SP9 che attraversa il centro abitato. Proseguendo a Sud le due aste, rio Nura Craba e Saoru, si incontrano a sud di Nuraxinieddu, mentre poco a monte il rio de Mesu intercetta le acque zenitali dei comparti compresi tra i due immettendoli sul Nura Craba stesso.

L'area solcata dai canali è estremamente pianeggiante, i deflussi avvengono sempre con velocità basse e l'immissione e la ramificazione del reticolo idrografico è sempre affidata a canali di bonifica agraria. I rii scorrono uniti in direzione est-ovest, dopo dieci chilometri si immettono nello stagno di Cabras a sud dell'omonimo centro.

L'alveo risulta ben inciso su un territorio di per sé pianeggiante, l'alveo di magra è composto da elementi in cemento le cui sponde proseguono in terra con una pendenza attorno al 30%. Lungo il tracciato sono presenti numerosi attraversamenti stradali che consentono il collegamento della SP9 con le viabilità comunale, da queste si ha poi accesso alle strade sterrate che consentono l'accesso ai numerosi terreni agricoli siti nella zona. In corrispondenza dei ponti di attraversamento della viabilità sono spesso presenti dei ponti pedonali anticamente utilizzati per il pascolo, degli attraversamenti sopra alveo di canali di bonifica e ponti tubo per collegamento a servizi idrici. Il tutto è inserito in un contesto ricco di vegetazione arborea che ricopre entrambe le sponde del corso d'acqua.

Il presentarsi di manufatti sul tracciato costituisce un'interferenza significativa per il deflusso delle portate di piena per le quali il rio risulta già di per sé insufficiente al deflusso in sicurezza. Tali elementi possono essere classificati con un certo livello di importanza, dalla quale deriva anche la complessità dell'intervento necessario alla risoluzione delle problematiche generate dalla loro presenza.

I luoghi in cui sono posizionati i ponti canali oggetto di demolizioni sono in prossimità di attraversamenti stradali operati mediante scatolari e ponti modesta entità che forniscono il collegamento delle strade comunali e consortile alla strada SP9. La zona di intervento ricade in zona agricola con spazi sufficienti alle lavorazioni ed è priva di qualsivoglia interferenza. La vegetazione è per lo più composta da specie erbacee e canneti che proliferano nella zona.

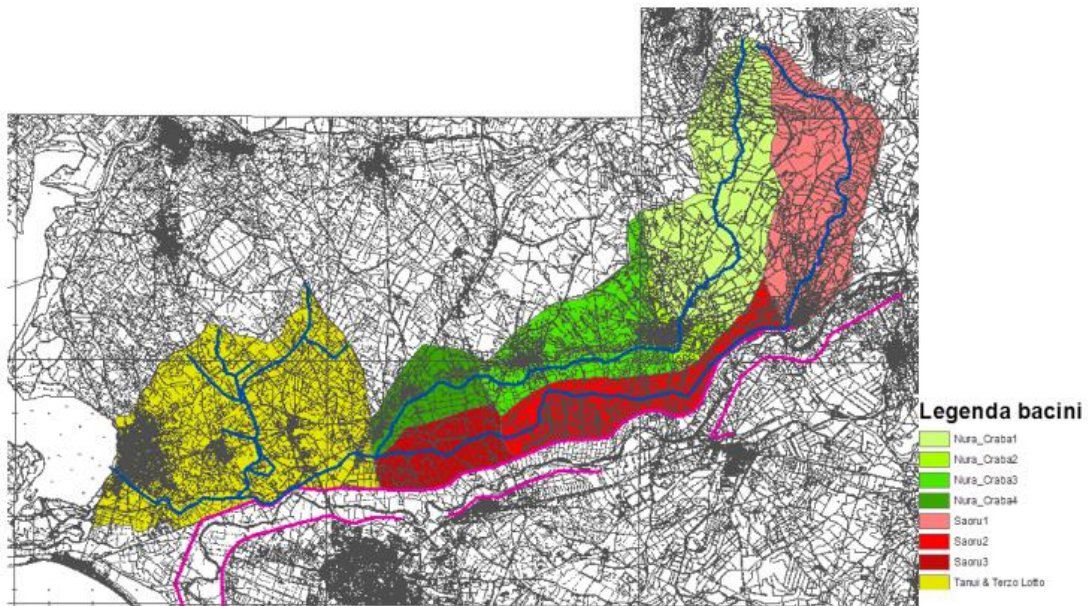
4. ANALISI IDRAULICA

L'analisi approfondita degli aspetti idrologici e idraulici della zona di intervento sono affrontati più specificatamente nella relazione idraulica e compatibilità idraulica (1002P0616relcompidrRev1GZ) costitutiva del Piano Generale "Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso" (CUP G16J15001280002, CAT P0616) che riporta lo studio idraulico eseguito sulla base dei criteri proposti dal Piano di Assetto Idrogeologica (PAI) redatto dalla Regione Sardegna e delle metodologie del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF).

4.1 Studio idrologico

Sono state riconosciute le aste principale dei corsi d'acqua, tra le quali l'asta principale del rio Nura Craba, che è stata suddivisa in tronchi mediante le sezioni di chiusura costitutive dei sottobacini che si susseguono partendo da monte e scendendo verso valle.

Il rio Nura Craba è stato suddiviso in 4 sottobacini le cui sezioni di chiusura sono poste in corrispondenza di punti caratteristici quali fine dei centri abitati, intersezione con canale adduttore e altro.



Carta dei bacini estratta da Piano Generale di Mitigazione

Per ogni sottobacino sono state determinate le proprietà geometriche e morfologiche, si sono determinati i parametri caratteristici dei bacini mediante le relazioni:

$$i_b = \frac{Dz \cdot L}{A_b} \quad \text{pendenza media del bacino}$$

$$z = \frac{1}{A_b} \cdot \sum_j z m_j \cdot dA \quad \text{altezza media}$$

$$\sqrt{i_m} = \frac{L_a}{\sum_k \frac{L_k}{\sqrt{i_k}}} \quad \text{pendenza media dell'asta fluviale}$$

I cui valori sono riportati in tabella come segue:

	A_b [Km ²]	L_a [km]	i_m [%]	i_b [%]	z_m [m]	z_0 [m]
NC1	12.69	7.87	1.48	3.92	57.9	9.2
NC2	14.07	8.73	0.99	3.84	53.6	8.0
NC3	22.17	13.67	0.22	3.53	41.9	6.0
NC4	25.84	17.08	0.12	3.35	37.5	4.0

A valle dello studio sui tempi di corrivazione dei diversi bacini e della precipitazione attesa si arriva a definire le altezze di precipitazione per i diversi tempi di ritorno come riportate di seguito.

Altezze di precipitazione [mm]				
T_R	50	100	200	500
NC1	66.43	75.52	84.56	96.42
NC2	71.48	81.22	90.88	103.56
NC3	84.55	95.94	107.21	121.94
NC4	87.51	99.27	110.90	126.09

Tali altezze sono state depurate mediante il metodo SCS per andare a determinare le portate al colmo associate ai singoli tempi di ritorno come riportato, tali grandezze sono state adottate nelle sezioni di chiusura per condurre la modellazione idraulica inerente al piano generale di mitigazione per la zona in esame.

	50	100	200	500
NC1	27,87	35,36	43,04	53,35
NC2	36,91	45,11	53,54	64,89
NC3	43,84	52,36	60,87	74,17
NC4	47,16	56,25	65,37	77,34

4.1 – Portate al colmo di piena dei sottobacini in funzione del tempo di ritorno (Piano generale di mitigazione)

5. INTERVENTI IN PROGETTO

5.1 Descrizione degli interventi

Gli elementi frutto dell'antropizzazione che col passare del tempo si sono realizzati sul rio Nura Craba vanno a costituire una delle problematiche principali che determina, in condizioni di piena, l'esondazione con conseguente allagamento dei territori limitrofi, fino ad interessare i centri abitati a monte essendo l'alveo caratterizzato da bassa pendenza. La loro presenza per tanto influenza significativamente il rischio idraulico che caratterizza la zona, questa seppur non possa essere risolta completamente attraverso la loro rimozione va comunque a trovarne beneficio e rappresenta un ulteriore passo verso la messa in sicurezza della zona nonché il ripristino della naturalità del rio. Al fine di migliorare le condizioni di sicurezza dal punto di vista idrogeologico ma anche migliorare l'aspetto paesaggistico, con tale progetto si vuole avviare un intervento finalizzato alla rimozione delle interferenze presenti sul corso d'acqua citato a iniziare dalle opere che risultano con totale sicurezza prive di utilità. In qualità di consorzio e in riferimento alle analisi poste in essere già da tempo si intende avviare la demolizione dei ponti canale ormai dismessi dall'utilizzo irriguo e qualsiasi altro uso.

Precisamente l'intervento si propone di portare a compimento la demolizione, rimozione e smaltimento di:

- Ponte canale individuato alla sezione B11 in territorio di Solarussa;
- Ponte canale individuato alla sezione B12 in territorio di Siamaggiore;
- Ponte canale individuato alla sezione B17 in territorio di Siamaggiore;
- Ponte canale individuato alla sezione B19 in territorio di Siamaggiore;
- Ponte canale individuato alla sezione B24 in territorio di Oristano;

Al termine delle lavorazioni di demolizione è prevista, per tutte le sezioni di intervento, la lavorazione di ripristino che comprende:

- Riporto e costipamento di materiale sciolto composto da terreno vegetale, argillo-limoso proveniente da cava o da riutilizzo a colmare gli avvallamenti generatisi dalle operazioni di demolizione;
- raccordo della superficie d'alveo tra la quota esistente a valle e a monte dell'area di intervento, garantendo continuità altimetrica alla sponda.

Tali opere si possono individuare con medesima nomenclatura sul piano generale “Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso” nell’allegato EG.3.1- Carta delle interferenze sul rio Nura Craba. La figura 4.1 è esplicativa della localizzazione delle opere su cui si intende intervenire. La figura 4.2 riporta lo stato attuale delle opere su cui si intende agire.



5.1 _ Ubicazione delle sezioni su cui si localizzano i ponti canale oggetto dell'intervento

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO.
INTERVENTI DI RIMOZIONE DELLE INTERFERENZE DEL RIO NURA CRABA NEI TERRITORI DI SOLARUSSA,
SIAMAGGIORE E ORISTANO – Il stralcio funzionale



5.2 _ Ponti canale oggetto della demolizione: a) sezione B11; b) sezione B12; c) sezione B17; d) sezione B19; e) sezione B24.

6. EFFETTI DEGLI INTERVENTI

La rimozione delle opere su tale contesto va valutata non solo in riferimento ad aspetti quantitativi, valutabili in termini di miglioramento delle condizioni idrauliche, ma anche a riguardo di aspetti qualitativi rappresentati da quali possibili rischi vengono eliminati in seguito alla rimozione delle opere.

6.1.1 Analisi aspetti idraulici sulle sezioni di intervento

Il moto permanente o stazionario nei corsi d'acqua è definito quando in ogni punto della massa fluida in movimento le grandezze idrauliche non variano nel tempo.

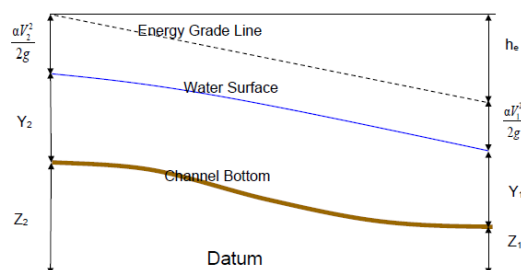
Il profilo idraulico viene determinato tra una sezione e la successiva applicando l'equazione dell'energia tra le due sezioni.

$$H_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} = H_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} + h_e$$

H	tirante idrico nella sezione;
V	velocità media nella sezione;
g	accelerazione gravitazionale;
α_1	coefficiente di ponderazione delle velocità
h_e	perdita di energia tra le due sezioni esprimibile come

$$h_e = L \times J + C \times \left| \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} - \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} \right|$$

in cui L è la distanza tra le sezioni, J è la cadente idraulica ricavabile dalla formula di Chezy, C è il coefficiente di perdita per espansione o contrazione di sezione.



6.1 - Schematizzazione grafica della variazione dell'energia di una corrente idraulica

L'equazione dell'energia sopra descritta è applicabile solo per condizioni di moto gradualmente vario e non quando avvenga il passaggio da corrente lenta a veloce o viceversa allorché per esempio si abbia una significativa variazione di pendenza del fondo alveo oppure un cambio di sezione dovuto alla presenza di ponti o manufatti, salti di fondo, confluenze. Senza entrare nel dettaglio teorico ci si limita a dire che in tali situazioni occorre applicare l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Il parametro J è definito come cadente idraulica e rappresenta la perdita di carico per unità di lunghezza dovuta fondamentalmente all'attrito tra il fluido in movimento e la parete dell'elemento su cui esso scorre. Per la sua definizione esistono diverse formule, tra le quali la più conosciuta è la legge di Chezy secondo cui, in un moto uniforme:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot j}$$

dove R è il raggio idraulico e χ è il coefficiente di Chezy funzione della scabrezza delle pareti.

La relazione precedente può quindi essere riscritta come:

$$j = \frac{V^2}{\chi^2 \cdot R}$$

Il coefficiente di Chezy può essere determinato grazie ad alcune formule empiriche, quali la formula di Manning o quella di Gauckler-Strickler secondo cui rispettivamente:

$$\chi = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

Le due equazioni sono identiche nella forma e differiscono unicamente nella definizione del rispettivo parametro n (coefficiente di Manning) o k_s (coefficiente di Strickler), per le quali gli stessi autori e poi altri studiosi hanno fornito valori tabellati in funzione delle caratteristiche dell'alveo.

Sulla base di queste equazioni è stata condotta una analisi degli effetti che la rimozione dei ponti canale può avere sui profili idrici della corrente in diverse condizioni di portata.

La prima fase prevede la generazione di un modello georeferenziato della rete idrica da studiare. Questo è possibile mediante l'utilizzo di supporti quali le Carte Tecniche Regionali (CTR) con scala 1:10.000 e, soprattutto, il modello del suolo generato in precedenza e descritto al punto 4.

Quest'ultimo svolge un ruolo fondamentale nella modellazione perché permette uno studio tridimensionale del modello, attribuendo una quota agli elementi costituenti. A seguito della trattazione del DTM 1m mediante software GIS, si è costruito un modello digitale che avviene mediante il tracciamento delle "Bank Lines", linee che separano alveo dal resto della sezione, e dei "Flow Paths" che individuano il percorso del flusso. L'ultimo passo fondamentale è la definizione delle sezioni trasversali al corso d'acqua che permettono di definire la geometria dell'alveo e della zona limitrofa. Queste vengono editate dall'utente e, attraverso il software, vengono collegate al DTM di modo che a ogni punto della sezione sia associata la rispettiva quota. Il modello generato in ambiente GIS è quindi esportabile su Hec-Ras nel quale si possono inserire eventuali opere di attraversamento presenti nell'alveo. La scabrezza è considerata mediante il coefficiente di Manning (n), assegnato a ciascuna sezione a seguito di valutazione tra valori di letteratura e il metodo del U.S. Soil Conservation Service. Si è giunti a un'assegnazione di $n=0.025$ all'interno del canale in cls, $n=0.03$ nei tratti naturali e $n=0.035$ all'esterno dell'alveo.

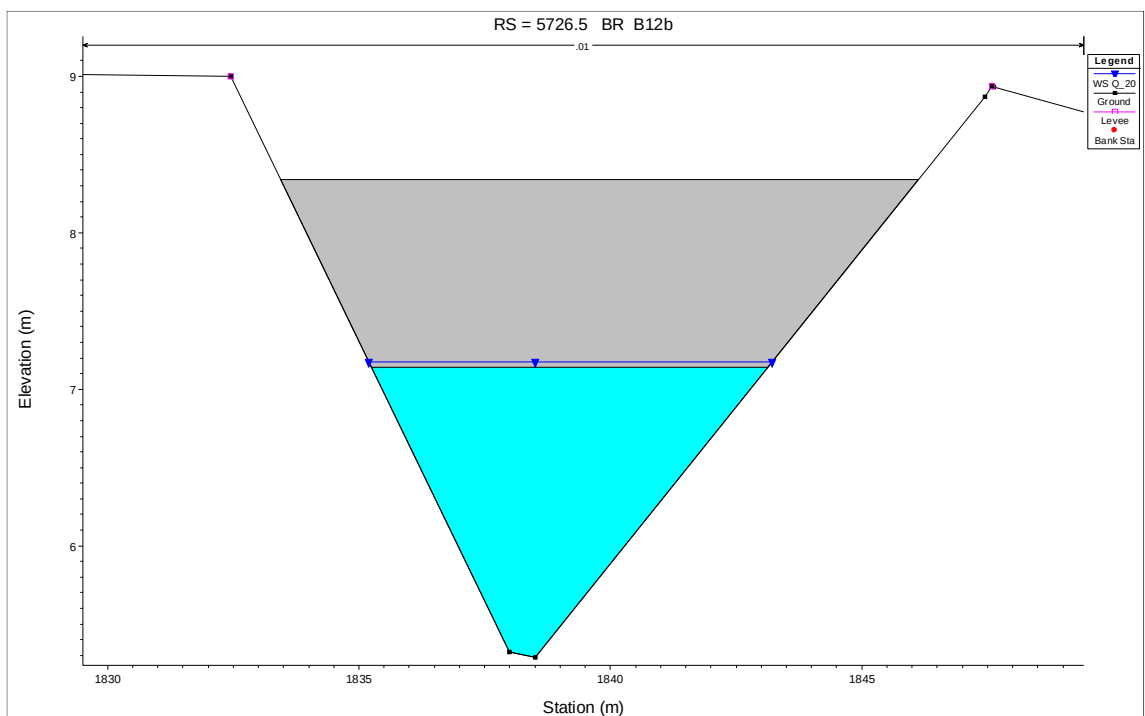
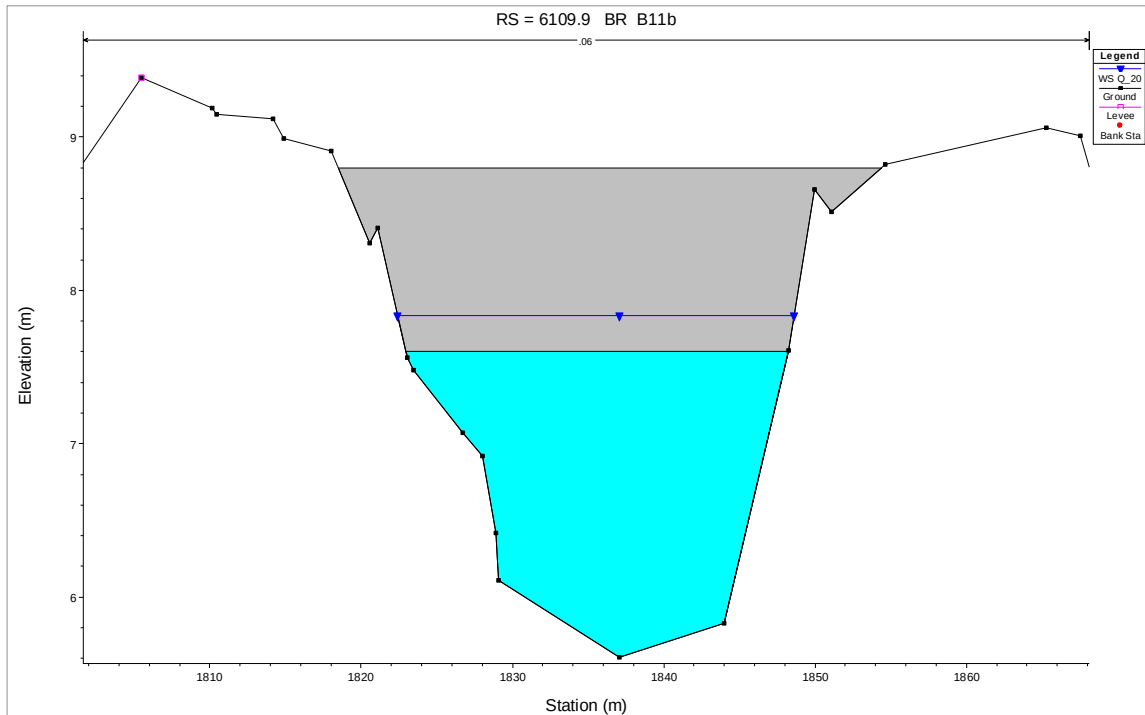
Si sono costruiti 4 profili di corrente riferiti alle portate di 5,10,15 e 20 mc/s, cui si sono associate le condizioni al contorno:

- Condizioni di monte: altezza critica, ovvero il tirante per cui si manifesta il passaggio da corrente veloce a lenta e viceversa;
- Condizioni di valle: livello idrico atteso desunto dal Piano di Mitigazione nella sezione 7359.66).

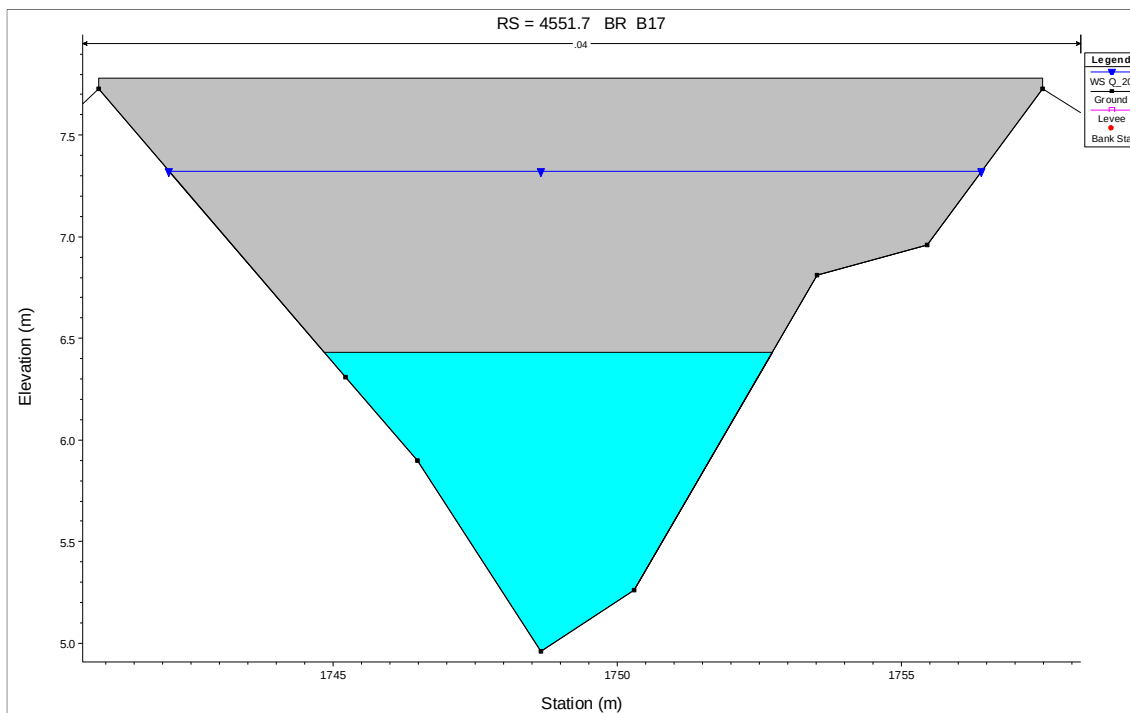
In considerazione del fatto che le opere sono inserite in un alveo soggetto a un rischio idraulico importante, da cui scaturisce la perimetrazione delle zone soggette ad esondazione del PAI che interessa gran parte del territorio circostante, risulta evidente che l'effetto di tale intervento produce variazioni marginali a riguardo della mappatura PAI ma comunque positive dal punto di vista idraulico nei regimi ordinari. Sulla base di tale considerazione si è svolta una modellazione Hec Ras facendo riferimento a portate costanti su tutto l'alveo in virtù della sola valutazione del comportamento sul tracciato, si è fatto riferimento a portate ordinarie che vanno dai 5mc/s ai 20mc/s, in quanto tali da determinare l'esistenza di un'influenza delle opere in esame sulla corrente.

Dall'analisi si evince come la situazione post operam denoti un abbassamento, seppur piccolo, del profilo idrico. Questo risulta più significativo nelle sezioni che si trovano più a monte rispetto a

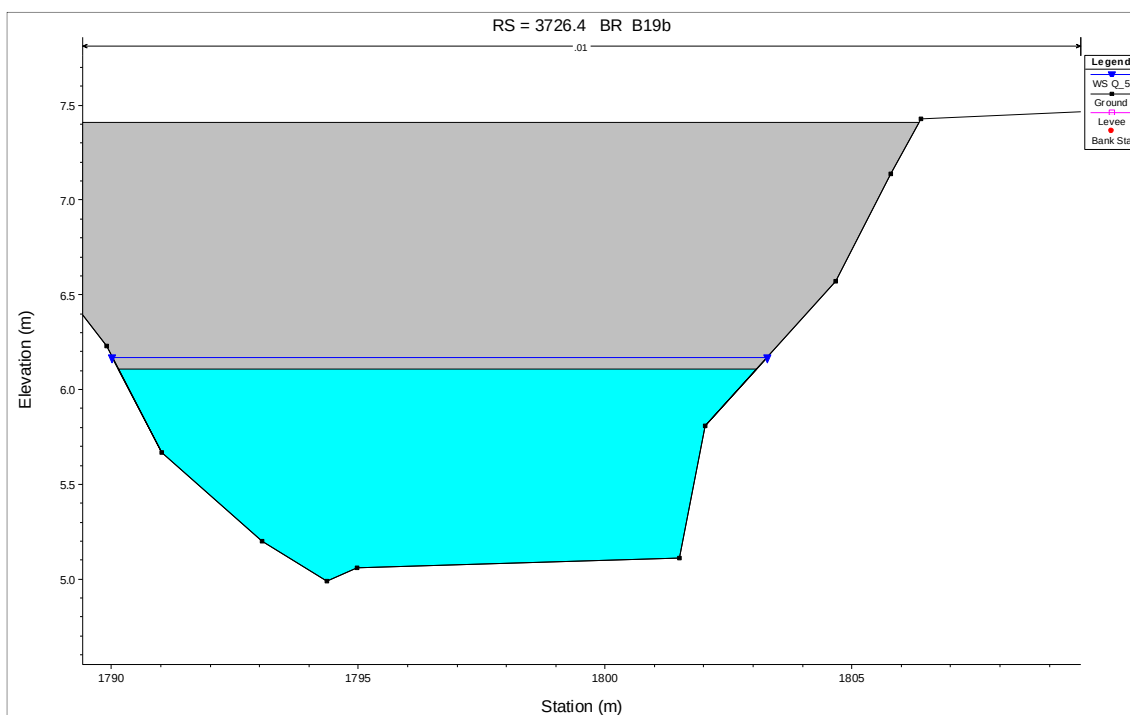
quelle vallive, in quanto maggiormente incise nel territorio mentre le vallive risultano caratterizzate da superficie più pianeggianti nelle quali la corrente può facilmente aggirare l'ostacolo influenzando la sezione a valle dell'opera. Di seguito le sezioni che evidenziano l'insufficienza della sezione idraulica sulla sezione impegnata dai ponti canale.

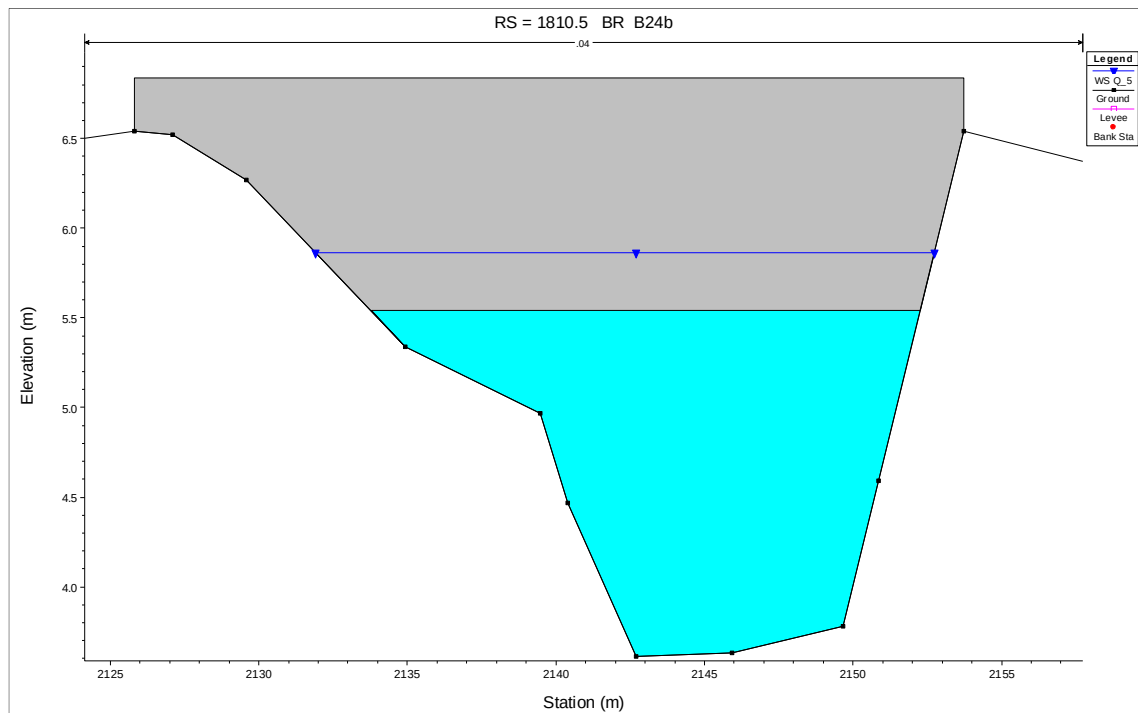


OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO.
INTERVENTI DI RIMOZIONE DELLE INTERFERENZE DEL RIO NURA CRABA NEI TERRITORI DI SOLARUSSA,
SIAMAGGIORE E ORISTANO – Il stralcio funzionale



6.2 _ Sezione bagnata con portata costante di 20 mc/s sulle sezioni B11, B12 e B17





6.3 _ Sezione bagnata con portata costante $Q=5 \text{ mc/s}$ nelle sezioni B19 e B24.

Le sezioni evidenziano come per esigue portate il franco idraulico diventi inesistente, già a 5 mc/s nelle sezioni più a valle, e per 20 mc/s nelle sezioni più montane.

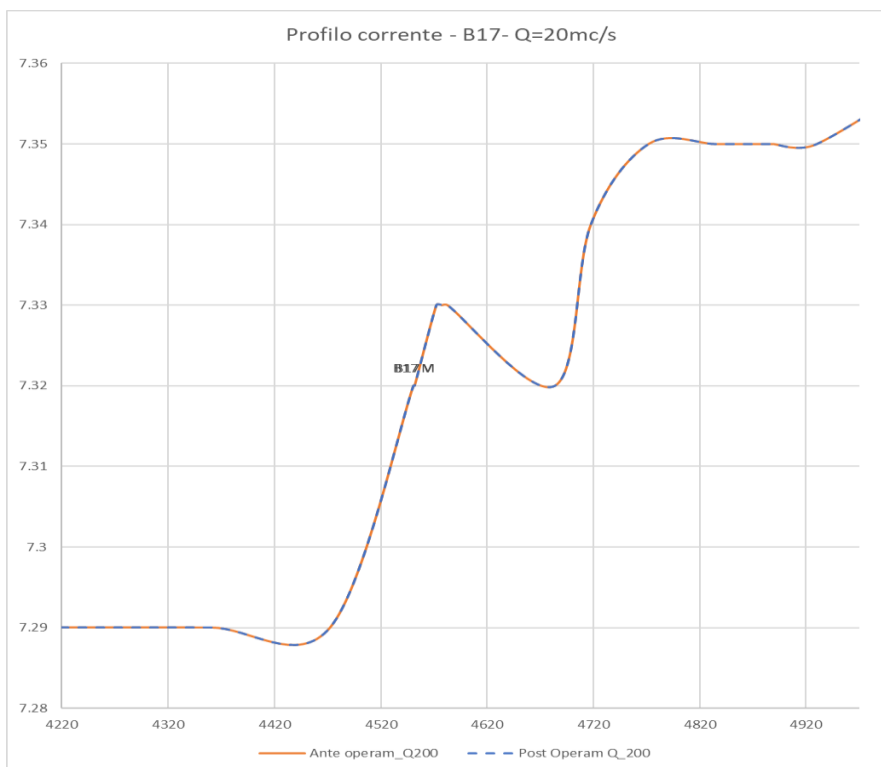
Di seguito sono riportati i profili ottenuti con la modellazione monodimensionale svolta sul Rio Nura Craba, focalizzata su tronchi di un 1 km contenenti le sezioni di intervento, si riporta per le sezioni montane il riferimento alle portate di 20 mc/s e per quelle vallive i risultati riferiti a portate più basse (10 mc/s in B19 e 5 mc/s in B24).

Le variazioni del profilo idrico sono dell'ordine del centimetro con una variazione apprezzabile attorno ai $2\text{-}3 \text{ cm}$ nelle sezioni B11 e B12 per portata transitante di 20 mc/s .

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO.
INTERVENTI DI RIMOZIONE DELLE INTERFERENZE DEL RIO NURA CRABA NEI TERRITORI DI SOLARUSSA,
SIAMAGGIORE E ORISTANO – Il stralcio funzionale

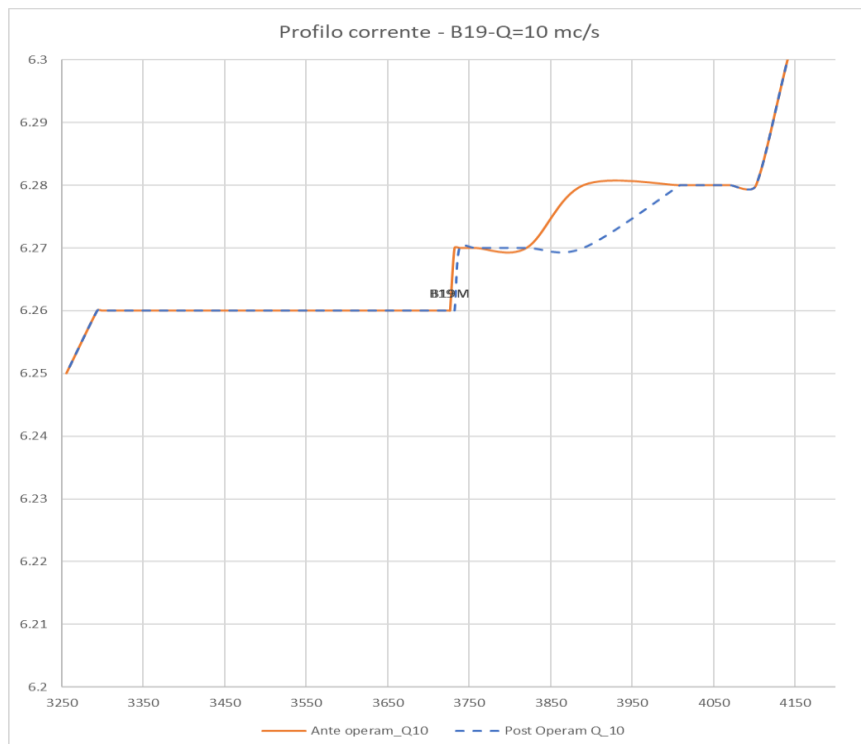


6.4 _ Profilo idraulico sulle sezioni B11 e B12 all'interno dell'alveo del Nura Craba con Portata si 20 mc/s

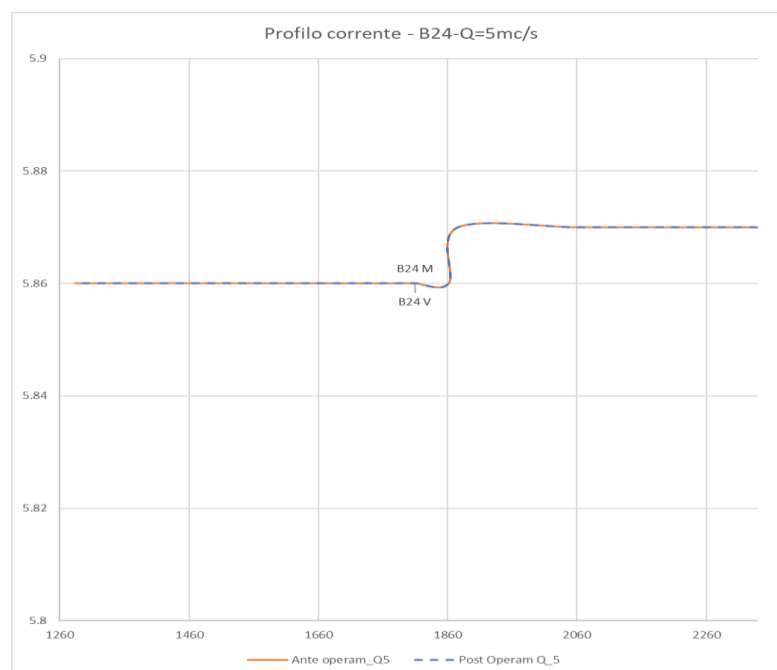


6.5 _ Profilo idraulico sulle sezioni B17 all'interno dell'alveo del Nura Craba con Portata si 20 mc/s

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TIRSO.
INTERVENTI DI RIMOZIONE DELLE INTERFERENZE DEL RIO NURA CRABA NEI TERRITORI DI SOLARUSSA,
SIAMAGGIORE E ORISTANO – Il stralcio funzionale



6.6 _ Profilo idraulico sulle sezioni B19 all'interno dell'alveo del Nura Craba con Portata si 10 mc/s

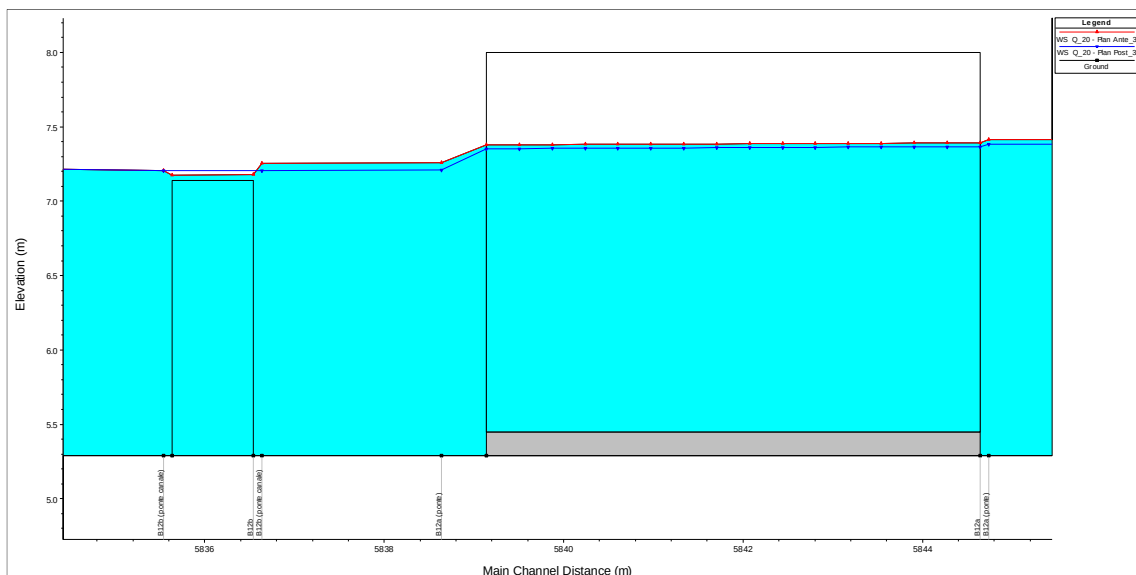


6.7 _ Profilo idraulico sulle sezioni B24 all'interno dell'alveo del Nura Craba con Portata si 5 mc/s

Risulta evidente come il profilo idrico tenda a d assumere un andamento più regolare in condizioni di regime ordinario con un abbassamento più evidente nelle sezioni più a monte. La variazione del profilo nella sezione immediatamente a monte del ponte canale risulta quindi stimata come in tabella:

Sez	Q [mc/s]	ΔY [m]
B11	20	0.02
B12	20	0.05
B17	20	0
B19	20	0
B24	20	0

6.8 _ Variazione del pelo libero a seguito della rimozione delle opere



6.9 _ Stralcio profilo longitudinale della corrente in prossimità del ponte canale in sez. B11 con Q=20 mc/s

Dal profilo sopra riportato si può notare come la rimozione del ponte canale abbia eliminato il verificarsi del risalto idraulico che si genera a monte della struttura e si ripercuote verso monte, l'assenza dell'opera consente alla corrente di scorrere più regolarmente e determinare un abbassamento della profilo a monte.

6.1.2 *Analisi aspetti qualitativi sulle sezioni di intervento*

Le opere oggetto della presente relazione sono caratterizzate da un'altezza esigua che denota l'evidente mancanza del franco idraulico richiesto secondo l'art.21 del PAI Sardegna. Di fatti l'intradosso dei ponti canali risulta sommerso già per portate di 15 mc/s che risulta notevolmente inferiore a una portata di piena cinquantennale che sul rio Nura Craba si attesta a 48.95 mc/s.

L'assenza di franco idraulico denota la presenza di due rischi fondamentali:

- Occlusione della sezione idraulica cui si individuano i ponti canale;
- Aggiramento e sormonto dell'opera, con possibile erosione delle sponde.

Il primo rischio si può generare in condizioni di piena a seguito dell'erosione e lo sradicamento di arbusti, piante o trascinamento di sedimenti e pietrame in prossimità dell'alveo. Questi elementi trascinati verso valle dalla corrente possono andare a incastrarsi a monte o al di sotto della struttura, riducendo la sezione idraulica e favorendo l'accumulo di ulteriori detriti che possono occludere l'intera sezione determinando l'esondazione localizzata dall'alveo.

Il secondo rischio si verifica qual ora la portata in transito sull'alveo sia superiore alla portata transitabile al di sotto della struttura. Una volta diventata insufficiente la sezione idraulica, l'acqua tende a spostarsi verso percorsi più favorevoli e precisamente andando a impattare sulla parete del ponte canale andrebbe ad aggirarla per poi rientrare in alveo una volta superata. Tale situazione si verifica anche in condizioni ordinarie di deflusso nella stagione umida, ragion per cui in regime di piena, con alte portate e velocità della corrente più importanti può verificarsi un'erosione al piede che unita alla spinta della corrente potrebbe determinare l'indebolimento della struttura (ormai datata e alle volte fatiscente) e il conseguente trascinamento verso valle dell'opera, cui seguirebbe la conseguente riduzione della sezione idraulica delle sezioni a valle ed eventuali pericoli per le persone.

7. AZIONI DI TRASCINAMENTO SUI RIVESTIMENTI

Le correnti idriche trasportano frequentemente in natura materiali solidi incoerenti che derivano dalle azioni erosive sui versanti e dagli sforzi esercitati dalla corrente stessa sull'alveo. Nella progettazione degli interventi di sistemazione dei corsi d'acqua è importante conoscere come la fase liquida interagisca con la frazione solida costituente il contorno del dominio liquido, ossia l'alveo. Nella maggioranza dei casi questi ultimi sono di tipo non coesivo e pertanto manifestano iterazioni intergranulari non dissimili da quelle che caratterizzano l'attrito tra le superfici solide a contatto tra loro.

Pertanto, anche per i sedimenti si può prevedere la possibilità di movimento in relazione alle caratteristiche idrodinamiche della corrente liquida con la quale sono a contatto.

In questo capitolo si considerano gli effetti che la corrente, supposta stazionaria, ha sulla stabilità dei sedimenti al fondo e sulle sponde.

I fenomeni di trascinamento ed erosione degli elementi che costituiscono le difese spondali possono essere impediti attraverso la scelta dell'opportuna pezzatura dei massi e dell'inclinazione con cui vengono posati.

L'analisi della stabilità del materiale utilizzato per il rivestimento delle sponde arginali prevede il seguente sviluppo:

- definizione dei parametri idraulici di interesse;
- caratterizzazione del materiale del rivestimento, di fondo e di sponda, e verifica della sua stabilità;
- individuazione della granulometria e del peso necessari ad assicurare la resistenza.

7.1 Verifica di stabilità all'erosione

Differenti formule di calcolo sono disponibili in letteratura per la valutazione della stabilità di materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici (in generale desunti da dati sperimentali) delle velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle

condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Le formule che si basano sul concetto di velocità critica, sebbene molto usate in passato, presentano evidenti limiti di applicabilità: infatti, non essendo generalmente disponibili informazioni sulla distribuzione delle velocità nelle sezioni d'alveo, si utilizza nei calcoli il valore della velocità media per il confronto con il valore di velocità critica, che porta ad una sovrastima della velocità allo strato limite, specialmente per alvei che hanno elevata scabrezza e che quindi non presentano uno strato limite laminare.

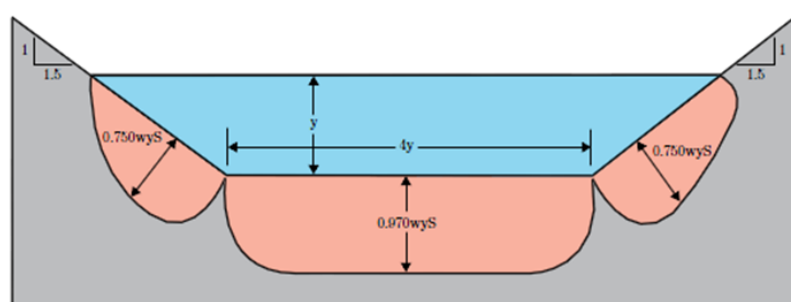
Per questo motivo appare preferibile l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento. Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale solido in alveo, secondo la formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (\text{kg/m}^3)$$

dove γ (kg/m³) è il peso specifico dell'acqua, R (m) è il raggio idraulico della sezione e i (m/m) la pendenza di fondo.

Sulle sponde il valore di tensione si riduce linearmente dal fondo alla sommità. È consuetudine applicare sulle sponde il 75% del valore calcolato in alveo, in via cautelativa si è applicata la medesima tensione sia sulle sponde che al fondo attribuendo il 100% del valore calcolato.

Figure 8-7 Lateral distribution of shear stress in a trapezoidal channel



w=specific weight of water, y=depth, and S=slope

(210-VI-NEH, August 2007)

La condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_{CR} > \tau_0$, ossia quando la tensione tangenziale critica del materiale di rivestimento del canale è maggiore o uguale a quella di moto incipiente esercitata dalla corrente.

La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936 - la cui formula base è stata ricavata da esperimenti su letti a granulometria uniforme di forte scabrezza), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \Phi(Re^*)$$

con:

τ_{cr} = tensione tangenziale critica (kg/m²);

γ_s = peso specifico materiale d'alveo (kg/m³);

γ = peso specifico dell'acqua (kg/m³);

d = diametro del granulo (m);

Φ = parametro adimensionale, dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds (Re^*) relativo alla velocità di attrito ($u^* = \tau_{cr}/\rho$).

Per la traduzione della condizione di equilibrio suddetta in termini applicativi sono state proposte varie formulazioni, derivanti da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo alla preventiva definizione della tipologia dei substrati naturali o artificiali e del comportamento idraulico dell'alveo.

In particolare, alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

- $\Phi = 0,047$ nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;
- $\Phi = 0,058 - 0,060$ nell'espressione originale di Shields per $Re^* > 400$;
- $\Phi = 0,116$ nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle.

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti le opere in esame verrà fatto riferimento, nel caso specifico, all'espressione di Shields nella formulazione originale.

Per l'analisi si è determinata la tensione al fondo associata alla portata con TR=200 anni, come riportate nel capitolo 4, ricavando le grandezze caratteristiche dell'alveo per tali portate. L'analisi è stata distinta per le diverse sezioni idrauliche cui ricadono i ponti canale e sono di seguito riportate:

i	0.0017	B11
R ₅₀	0.95 m	
R ₁₀₀	0.99 m	
R ₂₀₀	1.08 m	
R ₅₀₀	1.37 m	
i	0.0016	B12
R ₅₀	1 mq	
R ₁₀₀	1.05 m	
R ₂₀₀	1.3 m	
R ₅₀₀	1.59 m	
i	0.0019	B17
R ₅₀	0.72 mq	
R ₁₀₀	0.8 m	
R ₂₀₀	0.88 m	
R ₅₀₀	0.98 m	
i	0.003	B19
R ₅₀	0.28 mq	
R ₁₀₀	0.31 m	
R ₂₀₀	0.47 m	
R ₅₀₀	0.72 m	
i	0.0016	B24
R ₅₀	0.46 mq	
R ₁₀₀	0.68 m	
R ₂₀₀	1.15 m	
R ₅₀₀	1.67 m	

Applicando la teoria di Shields alle diverse sezioni si è determinato mediante risolutore di calcolo il diametro minimo da adottare per evitare che si realizzi la condizione di moto incipiente sulla sezione più penalizzata, che di conseguenza rende verificate anche le altre.

Di seguito il risultato dei calcoli ottenuti:

Sez B11 - TR200			Sez B12 - TR200			Sez B17 - TR200		
D50_prog	0.00080091	m	D50_prog	0.000800907	m	D50_prog	0.00080091	m
ρ _{prog}	1900	kg/mc	ρ _{prog}	1900	kg/mc	ρ _{prog}	1900	kg/mc
τ ₀	0.1801116	Pa	τ ₀	0.3876912	Pa	τ ₀	0.1640232	Pa
φ _{cr}	0.056	-	φ _{cr}	0.056	-	φ _{cr}	0.056	-
φ _{prog}	0.02547112	-	φ _{prog}	0.054826726	-	φ _{prog}	0.02319592	-
Sez B19 - TR200			Sez B24 - TR200					
D50_prog	0.00080091	m	D50_prog	0.00080091	m			
ρ _{prog}	1900	kg/mc	ρ _{prog}	1900	kg/mc			
τ ₀	0.138321	Pa	τ ₀	0.180504	Pa			
φ _{cr}	0.056	-	φ _{cr}	0.056	-			
φ _{prog}	0.01956115	-	φ _{prog}	0.02552661	-			

7.1 – Risultati analisi della condizione di moto incipiente

Dove:

ϕ_{cr} = parametro di Shields associato alla condizione di moto incipiente;

ϕ_{prog} = parametro di Shields associato al terreno di riporto con D di progetto;

τ_0 = tensione tangenziale dovuta all'azione della corrente (Pa);

ρ_{prog} = densità del terreno di riporto in progetto (kg/m³);

$D_{50\ prog}$ = diametro passante in misura 50% del peso che verifica la condizione di stabilità (m);

I risultati mettono in luce che il diametro minimo da adottare per evitare il trascinamento del sedimento risulta pari a 0.8 mm, in via cautelativa si prevede di costituire uno strato di corazzamento costituito da ghiaia fina con diametro $D_{50} = 2$ mm e densità pari a 2000 kg/mc per uno spessore di 10 cm. I risultati in merito a tale configurazione sono:

D50_prog	0.002	m
ρ_{prog}	2000	kg/mc
ϕ_{cr}	0.056	-
$\phi_{progmax}$	0.02195556	-

7.2 Metodologia di ripristino spondale

Prima della demolizione dell'opera è previsto uno scotico del terreno circostante l'opera per uno spessore di 20 cm su una fascia di 50 cm attorno all'opera, il materiale risultante sarà deposto in attesa del termine delle lavorazioni di ripristino.

Il volume da colmare a seguito della rimozione delle opere sarà ricolmato mediante terreno di caratteristiche confacenti all'utilizzo su apparati arginali, per la precisione si adotterà del terreno argilloso limoso di classificazione CNR-UNI 1006 tra A4 e A6, verrà deposto per strati di 50 cm che saranno costipati adeguatamente prima di deporre lo strato successivo. Il volume verrà colmato fino alla quota di -20 cm dalla superficie del piano campagna (orizzontalmente) e piano spondale (su parete inclinata).

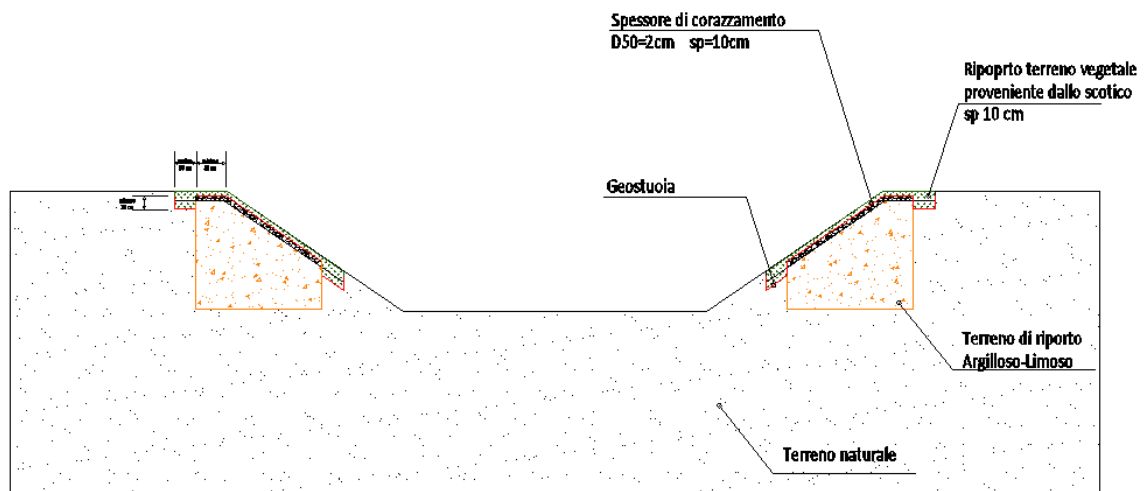
I 20 cm restanti saranno colmati rispettivamente con 10 cm di corazzamento mediante ghiaia fine $D_{50}=2$ mm, sopra il quale sarà disposta una geostuoia che ricoprirà tutta la porzione interessata

dalla scotico, a chiusura dell'intervento sarà riposizionato il terreno vegetale originale proveniente dallo scotico fino a raccordare il piano inclinato e orizzontale da ripristinare e a ricoprimento della porzione scoticata.

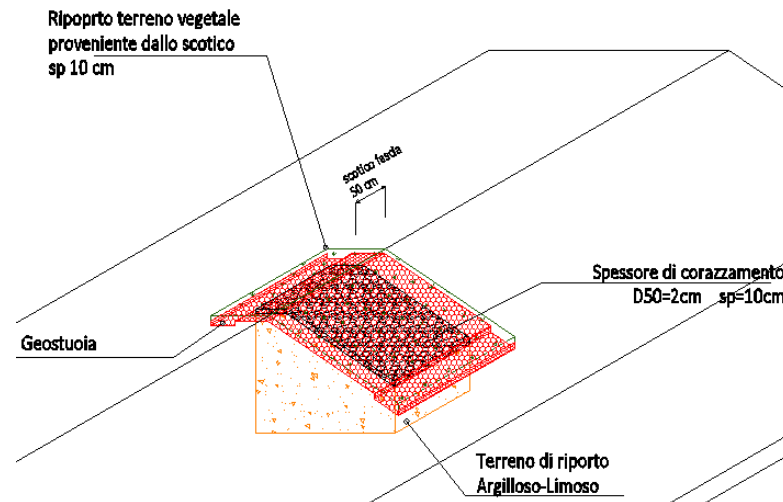


7.1 – Esempio di geostuoia e della sua integrazione con l'alveo naturale.

La posa delle geostuoia dovrà essere conforme a quanto indicato dal produttore, di seguito il dettaglio grafico visionabile nell'elaborato "Ripristino spondale ex ante-ex post".



7.2 – Vista in sezione del ripristino spondale da eseguire



7.3 – Vista assonometrica rispristino spondale da eseguire

8. Conclusioni

Le opere oggetto di intervento risultano essere opere fuori terra e l'intervento atto a semplice eliminazione non va ad influire sulla condizione idraulica del reticolo generando impatti negativi. La rimozione denota un marginale miglioramento del funzionamento idraulico del rio, che risulta ovviamente limitato dalla presenza nelle medesime sezioni di ulteriori attraversamenti influenzanti il deflusso idrico.

Sono evidenti i benefici in termini qualitativi dovuti alla rimozione dell'opera, garantendo un ritorno alla naturalità dell'alveo, l'eliminazione di possibili ostruzioni dovute a materiale trasportato dalla corrente, eventuale collasso della struttura e trascinamento a valle della stessa. Questo determina in condizioni di piena degli importanti vantaggi.

Si ritiene in definitiva che la demolizione sia fine esclusivamente al miglioramento della situazione si trova il rio Nura Craba e rappresenta un passo necessario al fine della mitigazione del rischio idraulico unitamente agli interventi previsti dal piano di mitigazione generale.

In merito all'analisi sul processo erosivo si ritiene possibile l'adozione di terreno naturale senza problemi di trascinamento ma in via cautelativa si predilige l'adozione di uno strato di corazzamento in ghiaia fine con diametro più che doppio rispetto a quanto emerso dalla verifica. Al fine di garantire

resistenza a fenomeni erosivi ma al contempo garantire un recupero rapido della naturalità della sponda si prevede l'adozione di una geostuoia a protezione del corazzamento con la funzione, oltre che di tenuta, di costituire un ambiente stabile e prolifico adatto alla ricrescita rapida della vegetazione autoctona che popola del rio.