

Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato dei Lavori Pubblici



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE



PROGETTO DEFINITIVO

CAT. P0120

CUP. G16J15001280002

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 -

Elaborato:

Compatibilità idraulica

Allegato:

3.0

I progettisti:

Ing. Massimo Sanna

Geol. Simone Manconi

V. il Responsabile del procedimento:

Ing. Massimo Sanna

Data:

2 luglio 2020

Revisione:



**CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE
ORISTANO**



“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 – ”

C.A.T. P0120

CUP: G16J15001280002

PROGETTO DEFINITIVO

COMPATIBILITÀ IDRAULICA

INDICE

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
3. INQUADRAMENTO DEI VINCOLI.....	7
3.1. P.A.I. E RELAZIONI CON L'AREA DI INTERESSE.....	7
3.2. P.S.F.F. E RELAZIONI CON L'AREA DI INTERESSE.....	9
3.3. CICLONE CLEOPATRA	11
3.4. ADEGUAMENTO DEL PUC DI SOLARUSSA AL PAI.....	12
3.5. P.G.R.A. E RELAZIONI CON L'AREA DI INTERESSE	13
4. INFORMAZIONE TERRITORIALE UTILIZZATA	16
5. ANALISI IDROLOGICA.....	17
5.1. RETICOLO IDROGRAFICO	17
5.2. BACINI IDROGRAFICI	17
5.3. TEMPO DI CORRIVAZIONE	19
5.4. CURVA AREA-TEMPI.....	21
5.5. ANALISI PLUVIOMETRICA	22
5.5.1. Determinazione degli afflussi.....	22
5.5.2. Ragguaglio dell'area di precipitazione.....	24
5.5.3. Calcolo del Curve Number.....	24
5.5.4. Precipitazione netta	27
5.6. CALCOLO DELLE PORTATE.....	27
6. ANALISI IDRAULICA – STATO ATTUALE.....	29
6.1. IL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS	29
6.2. BASE TEORICA DELLA VERIFICA IDRAULICA	29
6.3. MODELLO IDRAULICO	31
6.3.1. Geometria	31
6.3.2. Parametri di scabrezza.....	33
6.3.3. Condizioni al contorno	33
6.4. CANALE TOMBATO DI SOLARUSSA	34
6.5. RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA	39

7. IPOTESI PROGETTUALI.....	51
8. ANALISI IDRAULICA – STATO DI PROGETTO.....	55
8.1. IDROLOGIA NELLO STATO DI PROGETTO	55
8.2. MODELLO IDRAULICO	55
8.3. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA	55
9. CONCLUSIONI.....	67

1. Premessa

Con deliberazione n. 31/3 del 17/06/2015, la Giunta Regionale ha approvato in via definitiva il “Piano regionale delle infrastrutture”, all'interno del quale risulta compreso l'intervento denominato “Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso – Importo € 800.00,00” 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 così stipulata la convenzione tra l'Assessorato dei Lavori Pubblici e il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese (di seguito CBO).

All'interno di tale convenzione è previsto che il CBO debba procedere alla stesura di un Piano generale col 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 prioritario, da individuare sulla base del piano generale suddetto, per il quale si provvederà a redigere un progetto esecutivo delle opere e a 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.

Il primo aspetto è legato alla scelta dell'intervento per il quale progettare il lotto esecutivo. Tale scelta è ricaduta nella messa in sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba all'interno dell'abitato di Solarussa e la presente relazione è volta allo studio da un punto di vista idrologico e idraulico sull'efficacia di tale intervento. Risulta altresì importante sottolineare che, essendo un lotto funzionale, per una sua completa efficacia è fondamentale che tutti gli interventi previsti nel Piano di Mitigazione vengano realizzati. A tal fine, quindi, la relazione vuol dimostrare come gli interventi in progetto abbiano un aspetto benefico (ma non risolutivo) sulle condizioni di deflusso del rio Nura Craba.

Lo studio è stato sviluppato secondo le indicazioni di cui all'art. 24 e all'allegato E delle Norme di Attuazione del PAI della Regione Sardegna. Le NdA prevedono che la compatibilità idraulica dell'intervento proposto debba essere verificata in funzione degli effetti dell'intervento sui livelli di pericolosità rilevati dal PAI e valutata in base agli effetti sull'ambiente tenendo conto dell'evoluzione della rete idrografica complessiva e del trasferimento della pericolosità a monte e a valle.

Nel contesto generale dell'opera, lo studio si è reso necessario per l'analisi delle relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dell'assetto

idraulico e del dissesto idraulico attuale e potenziale delle aree interessate dall'intervento. Inoltre, lo studio è stato essenziale per verificare e dimostrare la coerenza del progetto con le previsioni e le norme del P.A.I., al fine di prevedere le adeguate misure di mitigazione e compensazione dell'eventuale incremento del pericolo e del rischio sostenibile associato agli interventi proposti.

In sintesi, lo studio di Compatibilità Idraulica, avrà cura di dimostrare che gli interventi sottoposti all'approvazione siano stati progettati rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistenti e di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio.

2. Inquadramento territoriale

La zona oggetto del Piano di Mitigazione è ricompresa nel comprensorio di bonifica “Nord” nei territori comunali di Zerfaliu, Solarussa, Siamaggiore, Oristano e Cabras. Il presente studio farà riferimento principalmente al solo comune di Solarussa, all'interno del quale è presente il tratto tombato in cui si intende intervenire.

Nell'ambito della redazione degli “Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)” l'area in oggetto è inserita nel bacino idrografico del fiume Tirso.

Il reticolo idrografico secondario del fiume Tirso ha una rilevanza notevole come si è evinto dagli eventi piovosi del 18 novembre 2013 (ciclone Cleopatra), che hanno messo alla luce varie problematiche idrauliche, soprattutto nei comuni di Solarussa e Zerfaliu.

Ai fini della valutazione della pericolosità idraulica si è indagato il rio Nura Craba, il quale ha origine appena a monte dell'abitato di Solarussa. Questo scorre dentro un canale tombato di sezione rettangolare di larghezza pari a 3m e altezza 2,50m per tutto il tratto urbano fino alla periferia sud del centro abitato (circa 1,2 Km), per poi proseguire, a cielo aperto, lungo un alveo a sezione trapezia con savanella centrale rivestita in cls.

Nella parte meridionale, in posizione intermedia tra il Rio Nura e Craba e il rilevato dell'argine destro del Fiume Tirso, corre il Rio Saoru, che in corrispondenza della periferia sud della frazione di Nuraxinieddu s'innesta sul Rio Nura e Craba, per poi confluire nello stagno di Cabras.



Figura 1 - Inquadramento del rio Nura Craba (blu scuro) e confluenza con il rio Saoru (blu chiaro)



Figura 2 – Individuazione del tratto tombato del rio Nura Craba all'interno di Solarussa. (in rosso)

3. Inquadramento dei vincoli

3.1. P.A.I. e relazioni con l'area di interesse

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. A tal proposito, si riporta brevemente il contesto normativo alla base della redazione dello stesso:

- Legge 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- Decreto Legge 11.6.1998, n. 180, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito con modificazioni dalla Legge 3.8.1998, n. 267;
- Decreto Legge 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365;

- D.P.C.M. 29 settembre 1998, “Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180”;
- Legge della Regione Sardegna 22.12.1989, n. 45, “Norme per l'uso e la tutela del territorio regionale”, e successive modifiche e integrazioni, tra cui quelle della legge regionale 15.2.1996, n.9;
- altre disposizioni normative.

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 e 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.

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.

Come meglio evidenziato in figura 2, il PAI prevede una fascia Hi4 all'interno degli argini del fiume Tirso e Hi1 all'esterno. Il centro abitato di Solarussa risulta non compreso all'interno di nessuna area di pericolosità.



Figura 3 – Sovrapposizione delle aree di pericolosità PAI su ortofoto

3.2. P.S.F.F. e relazioni con l'area di interesse

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 riguarda le procedure di approvazione, si fa riferimento alla delibera n. 2 del 17.12.2015, che ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, per tutto il territorio regionale con l'individuazione di nuove aree di pericolosità idraulica e la modifica di altre precedentemente identificate dal PAI.

Per quanto concerne gli elementi areali il Piano Stralcio 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.

L'area di interesse è ricompresa all'interno del sub-bacino 02 Tirso e, come si evince dall'elaborato 2_1_3_3-CartaFasce, si trova a cavallo del sottobacino 01-Tirso e 24-Minori tra il Tirso e il Temo.

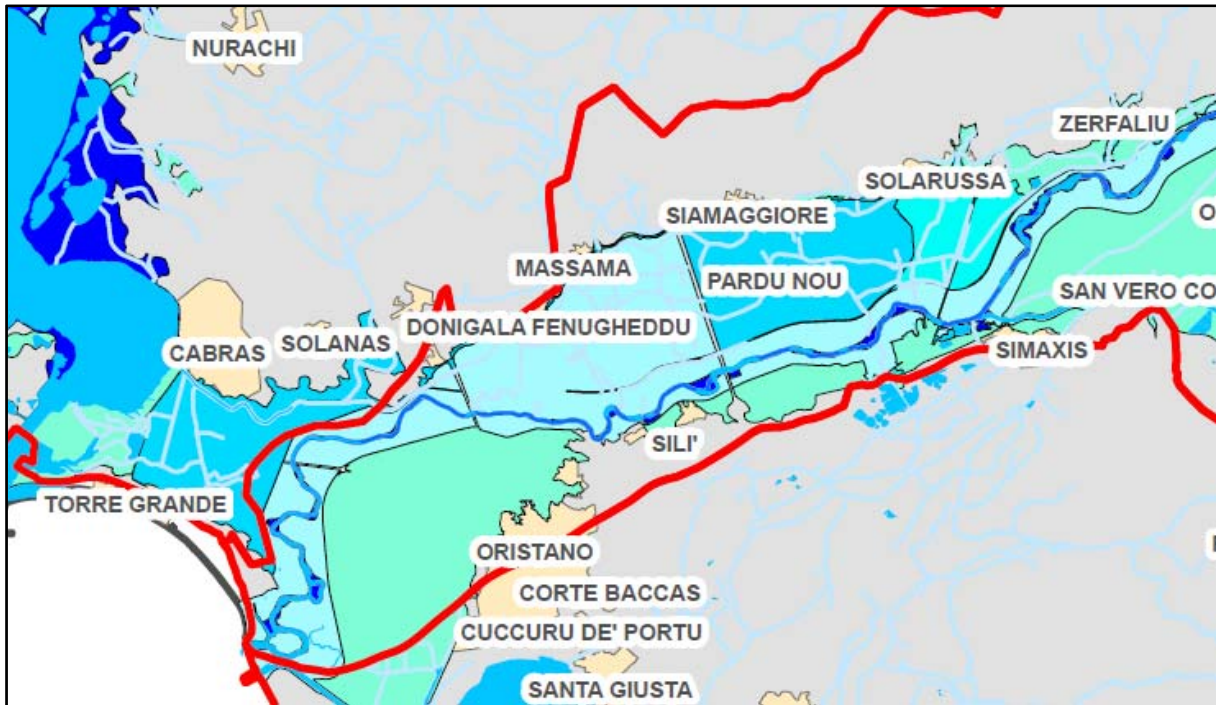


Figura 4- Estratto dall'elaborato 2_1_3_3-CartaFasce

Di seguito si riporta la perimetrazione definita in ambito PSFF, la quale risulta essere assolutamente più gravosa rispetto a quanto previsto dal PAI. Questo è dovuto al fatto che tale studio ha messo in evidenza un'insufficienza arginale in destra idraulica, nel tratto tra Silì e Oristano, cosicché tutte quelle aree risultino essere allagate per tempi di ritorno di 50 anni.

In figura 4 si riportano le aree di pericolosità idraulica della zona di interesse da cui si evince che il tratto tombato ricade in fascia Hi2 a causa della tracimazione dell'argine più a valle e che l'area del centro abitato a nord del canale è parzialmente ricompresa in Hi1.

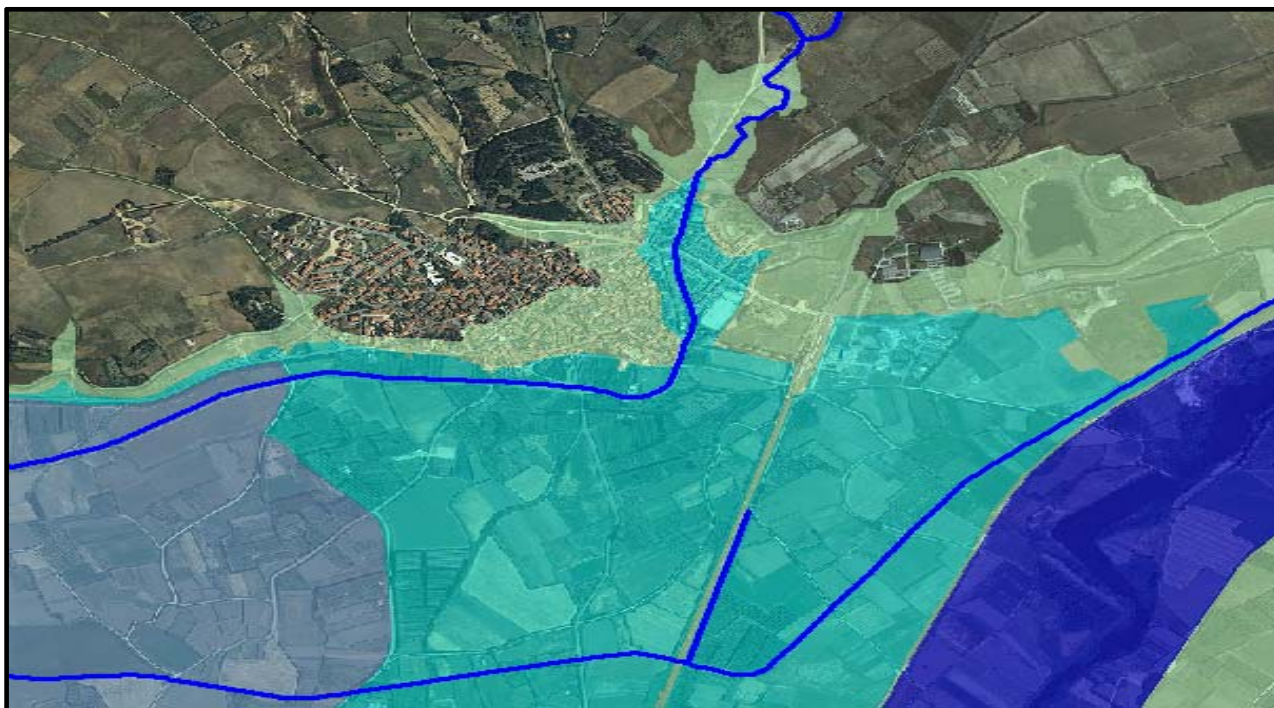


Figura 5 - Sovrapposizione delle aree di pericolosità del PSFF su ortofoto

3.3. Ciclone Cleopatra

Il ciclone Cleopatra è stato un ciclone extratropicale che ha colpito il bacino occidentale del Mediterraneo nel novembre del 2013. Il sistema di bassa pressione ha sviluppato un complesso di temporali a causa dell'aria fredda che, giungendo dal nord, è penetrata nel mediterraneo interagendo con l'aria calda proveniente da est.

Il ciclone ha generato abbondanti e intense precipitazioni sulla Sardegna, scaricando 440 mm d'acqua nella mattina del 18 novembre 2013, causando lo straripamento di vari canali e fiumi e provocando 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 di tipo Hi4. Solarussa è stato uno dei paesi colpiti dall'alluvione, per cui, come si può osservare in figura 5, la zona comunemente chiamata "Sa Pau" è soggetta ad una pericolosità molto elevata:



Figura 6 - Perimetrazione delle aree allagate a Solarussa a causa del Ciclone Cleopatra

3.4. Adeguamento del PUC di Solarussa al PAI

L'articolo 8 comma 2 e 2 bis delle Norme Tecniche d'Attuazione del PAI stabilisce che: *“Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI e tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico, i Comuni assumono e valutano le indicazioni di appositi studicomunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e alle inondazioni costiere, definiscono gli interventi di mitigazione e contengono anche le valutazioni afferenti agli studi dei bacini urbani di cui al comma 5 bis seguente.*

Gli studi comunali di assetto idrogeologico sono redatti, in ogni caso, in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici e di varianti generali agli strumenti urbanistici vigenti. Le conseguenti valutazioni, poste a corredo degli atti di piano costituiscono presupposto per verifiche di coerenza di cui all'articolo 31, comma 5 della legge regionale 22.04.2002, n.7 (legge finanziaria 2002). Il presente comma trova applicazione anche nel caso di variazioni agli strumenti urbanistici conseguenti all'approvazione di progetti ai sensi del DPR

18.4.1994, n. 383, “Regolamento recante disciplina dei procedimenti di localizzazione delle opere di interesse statale””.

Il comma 3 specifica ulteriormente che “gli studi di cui al comma 2 analizzano le possibili alterazioni dei regimi idraulici e della stabilità dei versanti collegate alle nuove previsioni di uso del territorio, con particolare riguardo ai progetti di insediamenti residenziali, produttivi, di servizi, di infrastrutture.”

Il Comune di Solarussa ha provveduto a redigere lo studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica per l'adeguamento del proprio PUC al PAI ai sensi dell'articolo 8 comma 2 delle NA del PAI medesimo. Tale studio è stato adottato con deliberazione del Consiglio Comunale n. 10 del 07/09/2015 ma non ancora approvato dall'Agenzia del Distretto Idrografico della Regione Sardegna.

Di seguito si riporta uno stralcio della tavola E12c “Carta della pericolosità idraulica – centro urbano” da cui emerge una pericolosità idraulica molto elevata lungo l'intero rio Nura Craba, tanto più evidente nelle zone colpite dal Ciclone Cleopatra di cui al punto precedente.

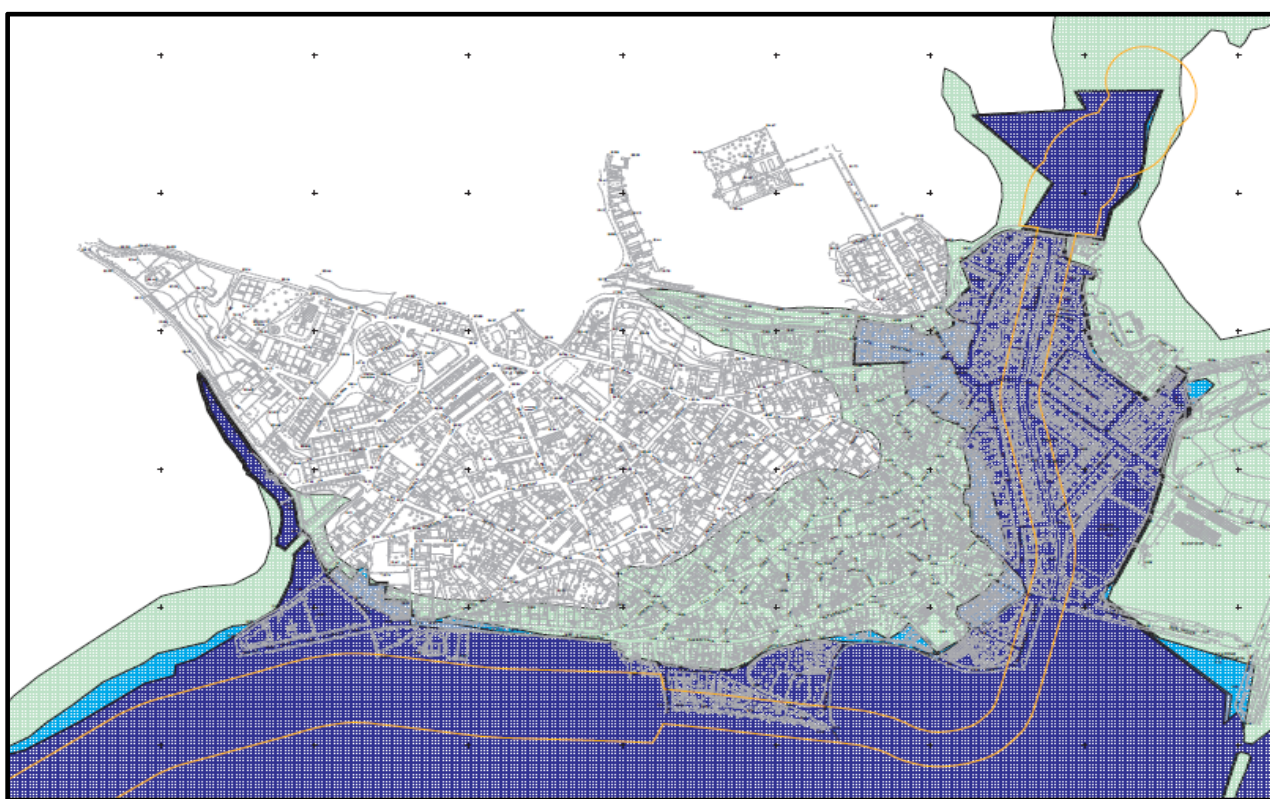


Figura 7 – Stralcio dalla tavola E12c “Carta della pericolosità idraulica - Centro urbano”

3.5. P.G.R.A. e relazioni con l'area di interesse

In attuazione delle previsioni dell'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e dell'art. 13 del D.Lgs. 152/2006, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 1 del 30.07.2015 è stata adottata la “Proposta di Piano di gestione del rischio di alluvioni” (di qui in poi PGRA) e la relativa

documentazione per la Valutazione Ambientale Strategica, comprendente il Rapporto Ambientale, la Sintesi non tecnica e la Valutazione di incidenza ambientale.

Con successiva Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 2 del 30.07.2015 è stata approvata la proposta di variante al PAI costituita dall'integrazione del Titolo V alle N.A del PAI recante "*Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del rischio di alluvioni (PGRA)*" così come riportato nell'allegato A alla presente deliberazione.

Le quattro classi di legenda utilizzate negli strumenti di pianificazione succitati (PAI, PSFF, studi ex art. 8 c.2 PAI e aree Cleopatra) sono state ricondotte alle tre classi individuate dal D.Lgs. 49/2010:

- P3 – Classe di pericolosità elevata, valevole per eventi con tempo di ritorno minori o uguali a 50 anni;
- P2 – Classe di pericolosità media, valevole per eventi con tempo di ritorno compresi tra 50 e 200 anni;
- P1 – Classe di pericolosità bassa, valevole per eventi con tempo di ritorno compresi tra 200 e 500 anni.

Con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.2 del 15/03/2016 venne approvata la prima versione del PGRA e tutti gli elaborati costituenti (relazioni, mappe, repertori, scenari d'intervento strategico e coordinato, atlanti, manuali, documenti VAS).



Figura 8 – Sovrapposizione delle aree di pericolosità PGRA su ortofoto

Come si può osservare in figura 8, il PGRA riprende fedelmente le aree individuate dal PSFF e dalle esondazioni conseguenti al Ciclone Cleopatra.

In seguito, con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.1 del 11/12/2018 pubblicata sul BURAS n.1 del 03/01/2019 che approva gli studi per gli Scenari di intervento strategico e coordinato per vari rii e fiumi, tra i quali il fiume Tirso, sono stati effettuati alcuni aggiornamenti agli elaborati della prima versione del PGRA.



Figura 9 - Sovrapposizione delle aree di pericolosità derivanti da "Scenari di intervento strategico e coordinato" del PGRA

Similmente al PGRA, anche gli esiti del nuovo studio definiscono una pericolosità P2 conseguente all'esondazione a valle del Tirso.

4. Informazione territoriale utilizzata

Per poter eseguire studi di natura idrologica e idraulica è necessario definire l'assetto del territorio.

A tal fine è stata utilizzata un'informazione territoriale che costituisce la sintesi delle informazioni provenienti dai rilievi eseguiti a diversa scala di dettaglio. In particolare, sono stati utilizzati:

- il DTM con passo a 10 m fornito dalla Regione Sardegna (fogli 528 e 529);
- il DTM con passo a 1 m dei centri urbani della Sardegna volo 2013;
- il DTM con passo a 1 m fornito dal “Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare” (fogli 528070_07, _08, _09, _10, _12, _13, _14, _15, _17, _18, _19, _20, _22, _23, _24, _25, 528080_01, _02, _06, _07, _11, _12, _13, 528110_03, _04, _08, _09);
- il DTM con passo 1 m realizzato per le Fasce Fluviali (sezioni 528040, 528080, 529010, 529050);
- la cartografia tecnica regionale in scala 1:10.000;
- i rilievi di dettaglio dell'alveo dei corsi d'acqua e degli attraversamenti presenti lungo il loro sviluppo.

L'elaborazione di tali informazioni, attraverso l'impiego di comuni procedimenti di interpolazione dei dati puntuali, ha consentito di ottenere un modello digitale di elevazione del terreno (DEM), con il quale è stato ricostruito l'andamento del terreno e la morfologia dell'alveo nella porzione di territorio individuata per la modellazione idraulica.

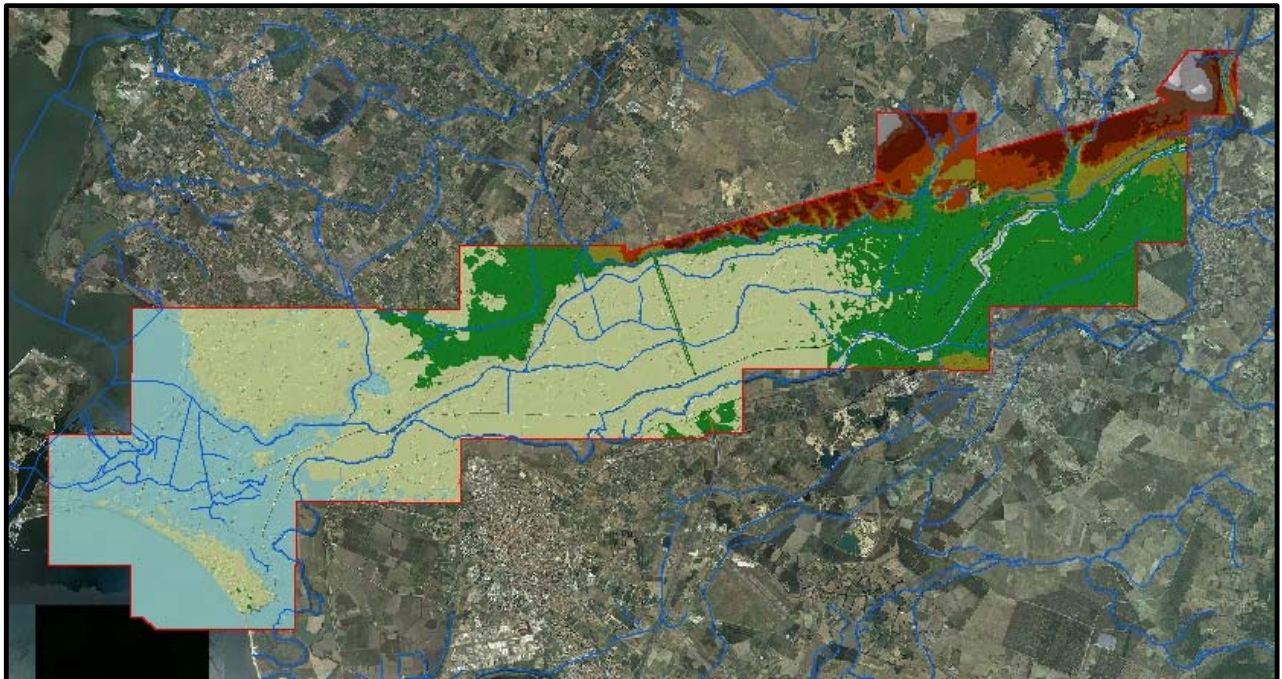


Figura 10 - TIN di informazione territoriale (elaborazione attraverso GIS) usato per il Piano di Mitigazione. Con i diversi colori sono rappresentati intervalli discreti del valore dell'elevazione del terreno.

5. Analisi idrologica

5.1. Reticolo idrografico

Sulla base di quanto esposto nella Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n.3 del 30/07/2015, l'art 1 prevede *“per le finalità di applicazione delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI e delle relative Direttive, di identificare quale reticolo idrografico di riferimento per l'intero territorio regionale l'insieme degli elementi idrici contenuti nell'ultimo aggiornamento dello strato informativo 04_ELEMENTO_IDRICO.shp del DGBT_10k_Versione 0.1 (Data Base Geo Topografico 1:10.000), da integrare con gli ulteriori elementi idrici eventualmente rappresentati nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM), Carta topografica d'Italia-serie 25V edita per la Sardegna dal 1958 al 1965”*.

Sulla scorta di tale deliberazione, è stata quindi definita l'idrografia dell'area in esame la quale risulta ricompresa all'interno del bacino del fiume Tirso e, più in particolare, oltre l'argine in destra idraulica del fiume Tirso medesimo. Il reticolo idrografico studiato nel Piano di Mitigazione è molto complesso, soprattutto per via dei numerosi canali di irrigazione e bonifica realizzati nei decenni scorsi, e si concentra su:

- Rio Nura Craba
- Rio Saoru
- Rio Tanui / Canale a marea di Bennaxi

Il Fiume Tirso non è stato oggetto di studio in quanto la convenzione stipulata con l'Assessorato ai Lavori Pubblici ha l'intento e il fine di mitigare il rischio idraulico indotto solo dal reticolo secondario.

Relativamente al fiume Tirso è stato presentato dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura dell'Università degli Studi di Cagliari ed approvato con deliberazione del Comitato Istituzionale n.1 del 11/12/2018 lo studio degli “Scenari di intervento strategico e coordinato”, nel quale sono previsti diversi interventi atti alla riduzione della pericolosità idraulica indotta dal fiume Tirso.

Si rimanda agli elaborati allegati alla suddetta deliberazione per maggiori informazioni.

Come già si è detto in precedenza, il presente studio è volto alla risoluzione delle problematiche connesse con la tombatura del rio Nura Craba all'interno del centro abitato di Solarussa, per cui i seguenti paragrafi tratteranno solo tale corso d'acqua, traendo spunto da quanto previsto nel suddetto Piano di Mitigazione.

5.2. Bacini idrografici

Il bacino idrografico utile alla definizione della portata al colmo di piena transitante all'interno del canale tombato è solo una porzione dell'intero bacino del rio Nura Craba.

In primo luogo, quindi, è stata individuata l'asta principale e si è scelta come sezione di chiusura la fine del tratto tombato del rio Nura Craba, posta in corrispondenza dell'attraversamento della Strada Provinciale 15. Il bacino sotteso è quello denominato "Nura Craba 2" nel Piano di mitigazione di cui si riporta la carta dei bacini.

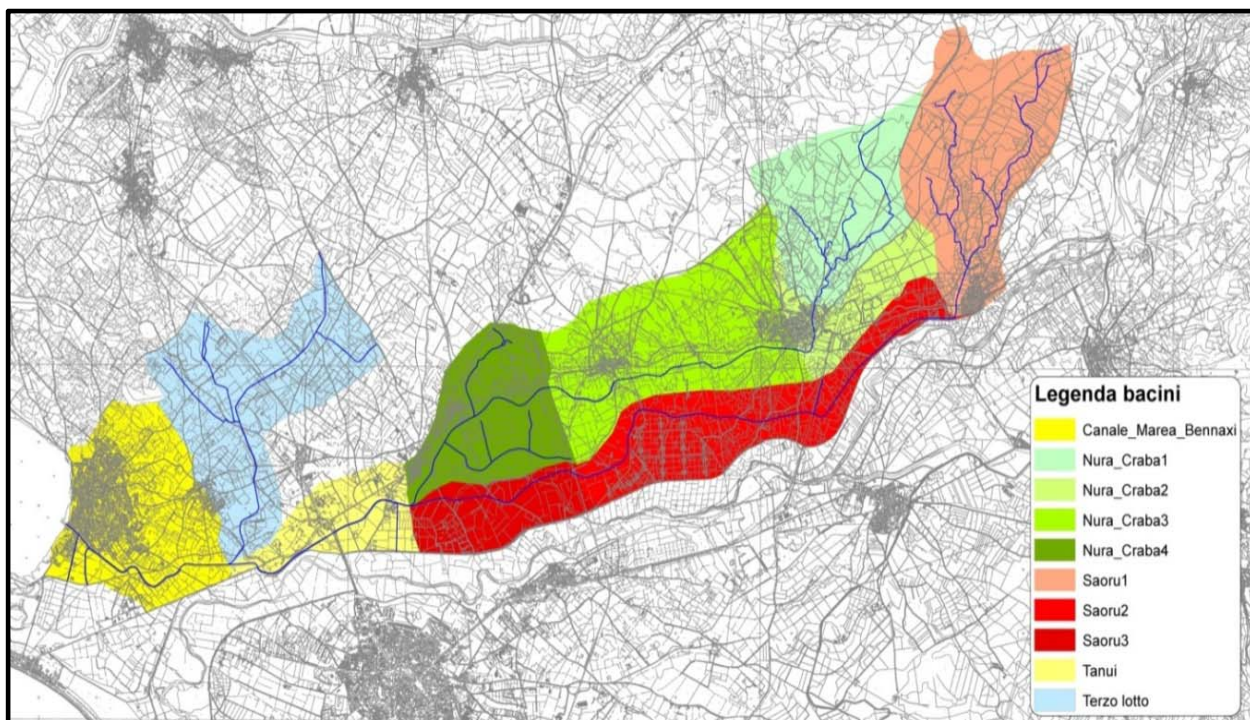


Figura 11 - Carta dei bacini tratta dal Piano di Mitigazione

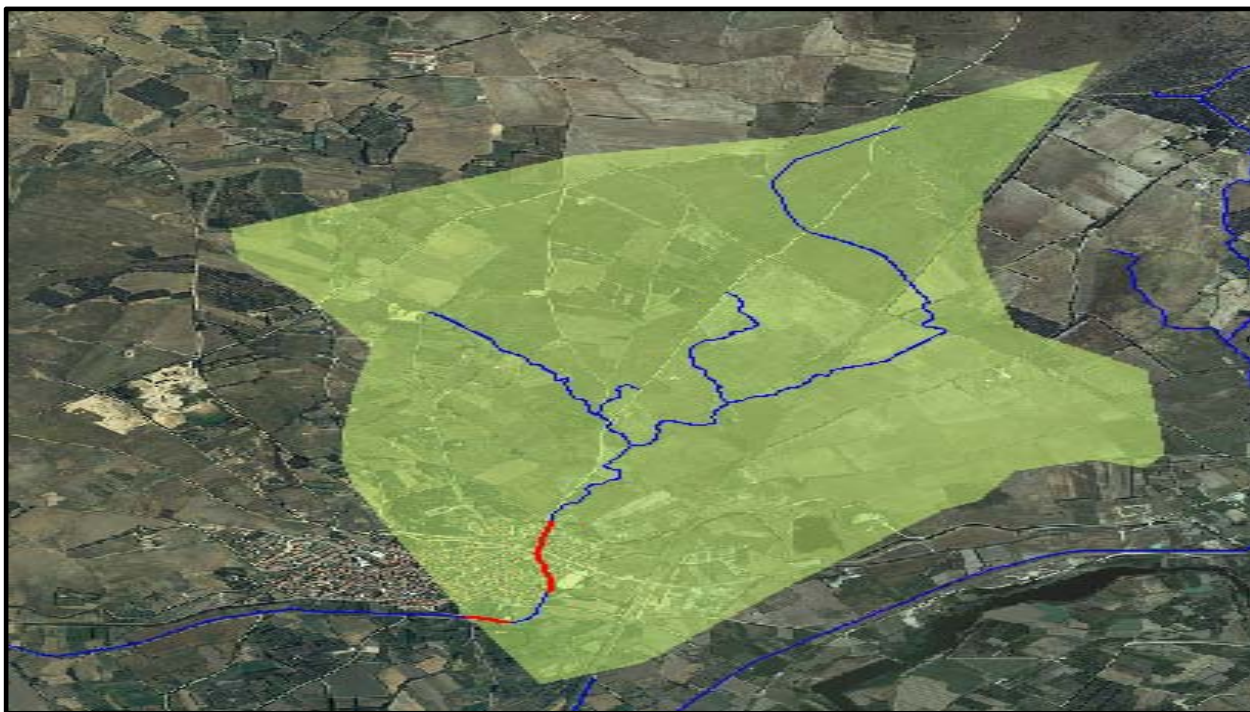


Figura 2 - Bacino di interesse (in rosso i tratti tombati)

Sulla base del modello digitale del suolo descritto al punto 4 è stato possibile definire le caratteristiche geometriche e geomorfologiche principali dei sottobacini necessarie per lo studio idrologico e idraulico.

Prima di tutto son state determinate le curve ipsografiche, che mettono in relazione tra loro le quote geodetiche con le aree sottese dalle rispettive curve di livello. Inoltre, son stati determinati diversi parametri caratteristici dei bacini, quali area, quota massima, quota minima, altezza media e pendenza media, e delle aste fluviali, quali lunghezza e pendenza media del tronco di interesse.

In tabella 1 si riportano i valori di alcune delle grandezze descritte, avendo indicato con:

- A_b l'area del bacino;
- L_a la lunghezza dell'asta principale;
- i_b la pendenza media del bacino;
- z_m la quota media del bacino;
- z_0 la quota della sezione di chiusura

	A_b [Km ²]	L_a [km]	i_b [%]	z_m [m]	z_0 [m]
Nura Craba (SP15)	8.09	5.28	2.264	27.76	6.65

Tabella 1 - Caratteristiche geomorfologiche dei bacini

5.3. Tempo di corrivazione

Note le caratteristiche del bacino e dell'asta fluviale, si deve calcolare il tempo di corrivazione, ovvero del tempo che impiega la particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano per arrivare alla sezione di chiusura.

Per il calcolo del tempo di corrivazione esistono numerose formule in letteratura, tra cui:

- Ventura: $t_c = 0.1272 \left(\frac{A}{i_m} \right)^{0.5}$
- Pezzoli: $t_c = 0.055 \frac{L}{i_m^{0.5}}$
- Viparelli: $t_c = \frac{L}{v}$
- VAPI: $t_c = 0.212 A^{0.231} \left(\frac{h_m}{i_m} \right)^{0.289}$
- Puglisi: $t_c = 6 \frac{L^{2/3}}{(h_{max} - h_{min})^{1/3}}$
- Tournon: $t_c = 0.396 * \frac{L}{i_m^{0.5}} \left(\frac{A}{L^2} * \sqrt{\frac{i_m}{i_b}} \right)^{0.72}$

- Giandotti: $t_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8(h_m - h_{min})^{0.5}}$
- Pasini: $t_c = 0.108 \frac{(AL)^{1/3}}{i_m^{0.5}}$
- SCS: $t_c = 0.00227 L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} i_b^{-0.5}$
- Kirpich $t_c = 0.095 \frac{L_a^{1.155}}{(z_{max} - z_{min})^{0.385}}$

Dove:

- A è l'area del bacino in km²;
- L è la lunghezza dell'asta principale in km;
- i_m è la pendenza del corso d'acqua m/m;
- v è la velocità con cui scorre la goccia d'acqua (1 m/s);
- i_b è la pendenza del bacino in %;
- h_m, h_{max} e h_{min} rappresentano rispettivamente la quota media, massima e minima;
- CN è il Curve Number associato al bacino.

Di seguito si consegna una rapida descrizione delle caratteristiche dei campioni di bacini osservati per la determinazione delle formule di calcolo.

- Ventura: il campo di impiego riguarda principalmente bacini pianeggianti di modeste dimensioni;
- Pezzoli: l'analisi ha riguardato un campione di piccoli bacini ricadenti nel territorio del Piemonte;
- Viparelli: il principio alla base è quello di considerare le isocorrive coincidenti con le isoipse e conseguentemente ammettere che la distanza percorsa dalla goccia sia sostanzialmente legata alla differenza di quota tra i punti del bacino e la quota della sezione di chiusura;
- VAPI: come specificato nelle Linee Guida del PSFF il metodo non va bene per bacini con A < 50 km²;
- Puglisi: è stato determinato dall'esame di bacini appenninici con superfici tra i 43 e i 94 Km²;
- Tournon: il campione osservato, e conseguentemente il campo di applicazione riguarda bacini con estensioni comprese tra 30 e 170 e Km²;
- Metodo di Giandotti: è indicato per bacini collinari con estensione maggiore ai 170 Km²;
- Metodo di Pasini: il metodo è applicato su bacini di pianura delle dimensioni di qualche km²;
- Metodo SCS: si basa sulla determinazione del curvenumber;
- Metodo di Kirpich: la formula è stata sviluppata per piccoli bacini pianeggianti di estensione inferiore ai 10 km² in Tennessee e Pennsylvania.

Vista l'eterogeneità delle formule e dei contesti con i quali esse sono state ottenute, si è scelto di adoperare unicamente quella di Viparelli, con una velocità di scorrimento di 1 m/s, conformemente al Piano di Mitigazione e a favore di sicurezza.

In tabella 2 si riportano i valori ottenuti

Autore	Ventura	Pezzoli	Tournon	Puglisi	Kirpich	Giandotti	Pasini	SCS	VAPI	Viparelli
tc [ore]	3.26	4.59	3.23	3.57	3.28	3.92	4.10	2.12	3.41	1.47

Tabella 2–Calcolo del tempo di corrivazione

5.4. Curva area-tempi

Noti il tempo di corrivazione e tutte le caratteristiche dell'asta fluviale e del rispettivo bacino, si è determinata la curva aree-tempi, ossia la funzione di risposta del bacino. La curva area-tempi, infatti, ci permette di dire quale sia la quota parte di bacino contribuente alla portata nella sezione di chiusura. Per la sua determinazione, si calcola preliminarmente la velocità di corrivazione, mediante la formula inversa di Viparelli (in questo caso è pari a 1 m/s per le scelte fatte e discusse nel paragrafo 5.3):

$$t_c = L_{asta} / V_c \rightarrow V_c = L_{asta} / t_c$$

Facendo l'ipotesi per cui le isocorrive coincidano con le linee ad uguale distanza idraulica, possiamo suddividere l'asta fluviale in vari tronchi, di cui misuriamo la lunghezza e di conseguenza il rispettivo tempo di corrivazione. Ora, poiché ogni tronco ha origine e fine per determinate quote, è possibile determinare l'area sottesa dalla curva di livello in cui termina il tronco fluviale considerato, cosicché si abbia una corrispondenza tra lunghezze dei tronchi, tempi di corrivazione e aree contribuenti. Da qua si può quindi determinare la curva aree-tempi.



Figura 3 - Esempio curva aree-tempi

Suddividendo il tempo di corrivazione in n intervalli Δt , si può calcolare la funzione di risposta del bacino, ossia la quota parte di area che contribuisce alla formazione della piena ad ogni incremento del tempo di Δt .

5.5. Analisi pluviometrica

Per la determinazione delle portate di piena è necessario utilizzare il metodo indiretto non essendo presenti strumenti atti alla misurazione delle portate in corrispondenza della sezione di chiusura dei bacini. Il metodo indiretto consiste in un modello afflussi-deflussi, ossia una metodologia che permette il calcolo delle portate in funzione delle altezze di precipitazione previste al variare del tempo di ritorno T_r .

5.5.1. Determinazione degli afflussi

Il calcolo delle altezze di precipitazione è stato eseguito mediante le Curve di Possibilità Pluviometrica estratte dalla distribuzione TCEV regionalizzata di Deidda, Piga e Sechi del 2000. Tale metodo prevede la suddivisione della Sardegna in 3 sottozone omogenee (SZO) e nell'individuazione della cosiddetta pioggia indice giornaliera H_g (figura 13), ovvero la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera, in funzione della posizione del sito in esame.

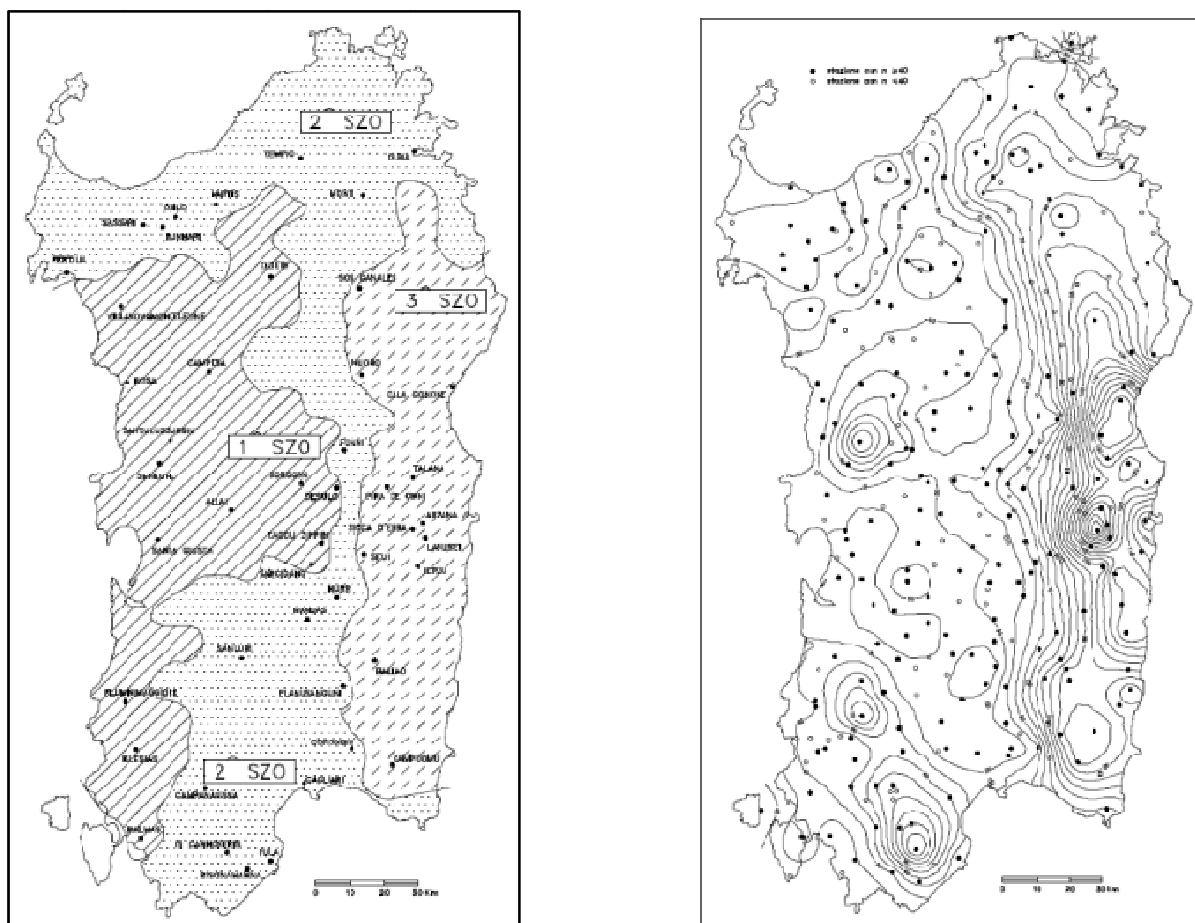


Figura 4 – Suddivisione della Sardegna in Sotto Zone Omogenee e Carta della pioggia indice giornaliera

A partire da questi parametri, dalla durata della precipitazione e dai tempi di ritorno di interesse (50, 100, 200, 500 anni), si possono calcolare le altezze di precipitazione lorde di progetto mediante le seguenti relazioni:

$$h_{Tr}(t) = H_m(t_p) * a t_p^n$$

nella quale:

$$H_m(t_p) = 1.1287 H_g(t_p/24)^{-0.493+0.476*\log(H_g)}$$

con H_g dipendente dalla posizione geografica del bacino, mentre i parametri a ed n dipendono dalla sottozona SZO di appartenenza.

per la sottozona I:

$$a = 0.4642 + 1.0376 * \text{Log}(Tr)$$

$$n = -0.18488 + 0.22960 * \text{Log}(Tr) - 0.033216 * (\text{Log}(Tr))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = -0.01469 - 0.0078505 * \text{Log}(Tr) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

per la sottozona II:

$$a = 0.43797 + 1.089 * \text{Log}(Tr)$$

$$n = -0.18722 + 0.24862 * \text{Log}(Tr) - 0.0336305 * (\text{Log}(Tr))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = -0.0063887 - 0.004542 * \text{Log}(Tr) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

per la sottozona III:

$$a = 0.40926 + 1.1441 * \text{Log}(Tr)$$

$$n = -0.1906 + 0.264438 * \text{Log}(Tr) - 0.038969 * (\text{Log}(Tr))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = 0.014929 + 0.0071973 * \text{Log}(Tr) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

L'area oggetto di studio ricade nella SZO 1 ed è caratterizzata da una pioggia indice H_g pari a 45 mm.

Altezze di precipitazione lorde [mm]				
T_R	50	100	200	500
h	49.20	56.05	62.89	71.91

Tabella 3 - Alteze di pioggia lorde calcolate con il metodo TCEV

5.5.2. Ragguaglio dell'area di precipitazione

Il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area $ARF(t, S)$, funzione della durata t in ore e della superficie del bacino S in km^2 , è esprimibile con la formulazione proposta nel FloodStudies Report - Wallingford:

$$ARF = 1 - (0.0394 S^{0.354}) t^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(S)))} \quad \text{per } S < 20 \text{ km}^2$$

$$ARF = 1 - (0.0394 S^{0.354}) t^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(S)))} \quad \text{per } 20 < S < 100 \text{ km}^2$$

Nel caso specifico $ARF=0,929$ ma, a favore di sicurezza, nei seguenti calcoli si è scelto di utilizzare un valore unitario ($ARF=1$).

5.5.3. Calcolo del Curve Number

A partire dalle altezze di precipitazione lorde, si devono calcolare quelle nette in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

Per far ciò è stato usato il metodo del Curve Number (CN) proposto dal SoilConservation Service. Questo consiste nell'attribuire ad ogni categoria di uso del suolo un certo valore del CN (come previsto dalle Metodologie di Analisi previste per gli "studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF)") così da determinare la capacità di accumulo del terreno, ovvero di deflusso del suolo.

In primo luogo, quindi, è stata caricata su GIS la carta Corine Land Cover RAS - 2008 e ad ogni tipologia di uso del suolo è stato associato un certo valore del CN(II) classe C secondo quanto previsto nella tabella 4.

Quindi, si è proceduto all'analisi delle informazioni presenti nella Carta Geologica resa disponibile dalla Regione

Sardegna, al fine di ottenere fattori correttivi per il calcolo definitivo dei valori di CN a scala regionale. Come per l'uso del suolo, è stato associato ad ogni unità geologica un fattore correttivo ΔCN da sommare al valore del CN(II) precedentemente definito.

L'area si trova in un'area caratterizzata principalmente da sedimenti alluvionali, depositi pleistocenici e basalti.

A questo punto si sono determinate le aree destinate ai vari usi del suolo, e si è associato ad ognuno di essi il rispettivo CN. Quindi, è stata fatta una media ponderata dei CN rispetto alle aree, così da ottenere un valore caratteristico del bacino. Il valore ottenuto rappresenta quello di CN relativo ad una condizione media di umidità antecedente (AMC) in funzione della precipitazione dei 5 giorni precedenti l'evento in studio, detto CN (II).

A questo valore è stato aggiunto il fattore correttivo relativo alla geologia del suolo.

A favore di sicurezza si è posta, infine, una condizione sfavorevole di umidità, per cui si è utilizzato il CN (III):

$$CN (III) = \frac{23 \text{ CN } (II)}{10 + 0.13 \text{ CN } (II)}$$

1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	95
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95
1122 - FABBRICATI RURALI	95
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95
123 - AREE PORTUALI	95
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95
131 - AREE ESTRATTIVE	75
1321 - DISCARICHE	75
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75
133 - CANTIERI	95
141 - AREE VERDI URBANE	70
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75
143 - CIMITERI	95
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60
2122 - RISAIE	99
2123 - VIVAI	70
2124 - COLTURE IN SERRA	75
221 - VIGNETI	60
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60
223 - OLIVETI	60
231 - PRATI STABILI	75
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60
242 - SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	70
244 - AREE AGROFORESTALI	70
3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE	50
31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
31122 - SUGHERETE	65
31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50
31124 - ALTRO	50
3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	60
321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
3222 - FORMAZIONI DI RIPANON ARBOREE	65
3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
3232 - GARIGA	65

3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5%E< 40%	75
411 - PALUDI INTERNE	99
421 - PALUDI SALMASTRE	99
422 - SALINE	75
423 - ZONE INTERTIDALI	99
5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99
5112 - CANALI E IDROVIE	99
5121 - BACINI NATURALI	99
5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
522 - ESTUARI E DELTA	99
5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	99
5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99

Tabella 4 - Tabella dei valori CN al variare del tipo di uso del suolo

I fattori correttivi sono stati definiti per i tre macrobacini (Nura Craba, Saoru e Bannaxi):

			Bannaxi		Saoru		Nura Craba	
GERAR		ΔCN	A _i	ΔCN _i	A _i	ΔCN _i	A _i	ΔCN _i
A220	Depositi olocenici dell'area continentale	5	97280	0.01	0	0.00	0	0.00
A222	Sedimenti alluvionali	-5	30350037	-2.18	10859973	-2.48	6167804	-1.19
A223	Sedimenti lacustri	10	1295807	0.19	0	0.00	0	0.00
A225	Sedimenti litorali	-5	4458.55	0.00	0	0.00	0	0.00
A230	Depositi pleistocenici dell'area continentale	5	29434440	2.11	7101922	1.62	15099687	2.92
B111	Basalti dei plateau	10	8212035	1.18	3640628	1.66	4571407	1.77
B225	Distretto vulcanico di Ottava	5	307385	0.02	307385	0.07	0	0.00
				1.33		0.87		3.50

Tabella 5 - Calcolo fattore correttivo geologico del CN

Noto il valore del Curve Number si può calcolare lo Storage S, ossia il volume di acqua che il terreno è in grado di immagazzinare al proprio interno, e l'Initial Abstraction I_a, ovvero la quota parte di acqua persa per intercezione:

$$S = \frac{25400 - 254 \text{ CN}}{\text{CN}}$$

$$I_a = 0.2 S$$

	CN (II)	CN (II)+ΔCN	CN (III)	S	I _a
Nura Craba (SP15)	65.56	69.06	83.70	49.48	9.90

Tabella 6 - Valori del Curve Number

I valori riportati in tabella 6 sono stati ritenuti troppo bassi per cui, in accordo con i funzionari dell'ARDIS, si è deciso di imporre valori del CN superiori, pari a 93. Questa scelta appare giustificata dal fatto che gli eventi meteorici estremi avvenuti negli ultimi anni sono stati talmente intensi da non permettere al suolo di drenare le acque efficacemente, cosicché i deflussi superficiali son risultati più abbondanti delle attese.

Inoltre, va sottolineato il fatto che la tabella 4 è stata definita in contesti diversi da quello sardo, per cui potrebbe generare valutazioni non corrette.

5.5.4. Precipitazione netta

Il valore del curve number permette di fare delle valutazioni relativamente alle perdite delle precipitazioni dovute ad infiltrazione e intercezione.

Per calcolare la precipitazione netta che effettivamente contribuisce al deflusso superficiale si utilizza la seguente relazione

$$h_N = \frac{(h - I_a)^2}{h - I_a + S}$$

dove h è la precipitazione cumulata e h_N rappresenta la pioggia netta cumulata.

Altezze di precipitazione nette [mm]				
T _R	50	100	200	500
h _N	31.93	38.23	44.62	53.16

Tabella 7 - Altezze di pioggia nette

5.6. Calcolo delle portate

La portata al colmo può essere calcolata con la formula razionale secondo cui:

$$Q_{Tr} = \varphi \frac{ARF \cdot h_{Tr} \cdot S}{t_c}$$

dove l'ARF è stato definito al punto 5.5.2, $\varphi \cdot h_{Tr}$ è l'altezza di precipitazione netta (con φ coefficiente di deflusso), S è la superficie del bacino e t_c è il tempo di concentrazione. Tale relazione è valida sotto le seguenti ipotesi semplificative:

- una generica goccia d'acqua che cade in un generico punto del bacino, segue sempre e comunque una traiettoria del tutto autonoma, fino a quando non confluisce nella sezione terminale, contribuendo alla portata di deflusso insieme alle altre generiche gocce d'acqua mediante il principio di sovrapposizione degli effetti;
- ogni particella viaggia con velocità propria del tutto indipendente dal moto delle altre particelle liquide, come se fosse la sola presente nel bacino;
- le precipitazioni di carattere piovoso sono costanti nelle due dimensioni tempo e spazio.

I parametri calcolati nei paragrafi precedenti consentono la valutazione della portata di piena con i tempi di ritorno in linea con le prescrizioni del PAI, ovvero per 50, 100, 200 e 500 anni.

Portate al colmo di piena Q [m^3/s]				
T_R	50	100	200	500
Nura Craba (SP15)	48.95	58.62	68.41	81.50

Tabella 8 - Valori delle portate di progetto in m^3/s per i diversi tempi di ritorno

6. Analisi idraulica – stato attuale

6.1. Il codice di calcolo HEC-RAS

HEC RAS è un codice sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il software è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua sia in regime di moto permanente che in regime di moto vario mediante l'equazione del flusso monodimensionale.

Per l'analisi del moto HEC RAS impone di fissare la portata su ogni ramo della rete e di definire per ogni ramo le condizioni al contorno di monte (indispensabile per il profilo coniugato di corrente veloce) e di valle (indispensabile per il profilo coniugato di corrente lenta). Il programma permette di dedurre il solo profilo coniugato di corrente lenta, il solo regime di corrente veloce ovvero di determinare autonomamente il profilo della corrente in regime misto utilizzando e raccordando entrambi i profili coniugati (metodo utilizzato nella modellazione). Le condizioni al contorno sono sinteticamente riconducibili a due tipi: altezza nota del pelo libero (critica, di moto uniforme, nota o imposta in corrispondenza di particolari condizioni) oppure conoscenza della velocità media in sezione.

Il software prevede un tool di risoluzione ed un editor per la geometria delle sezioni molto raffinati. È infatti possibile introdurre con un notevole grado di precisione gli elementi geometrici di dettaglio quali ponti, tombinature, luci a battente, guadi, confluenze, argini, casse di espansione, salti di fondo, briglie e qualunque manufatto in genere.

Hec-Ras dispone di una funzione di interpolazione geometrica delle sezioni rilevate che risulta certamente di grande utilità, soprattutto nei tratti in cui la definizione della geometria non sia sufficientemente dettagliata, al fine di evitare che vengano valutate forti perdite di energia per bruschi cambiamenti di sezione che nella realtà potrebbero essere gradualmente e non immediati come può accadere tra due sezioni non interpolate.

6.2. Base teorica della verifica idraulica

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.

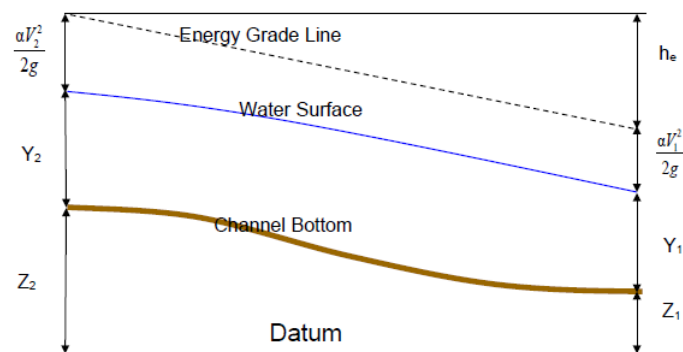


Figura 5 - Schematizzazione grafica della variazione dell'energia di una corrente idraulica

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 profilo della corrente sarà valutato considerando il moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che in generale presenta variazioni di portata nel tempo, si avranno delle differenze, tuttavia, l'involuppo dei massimi livelli idrici riscontrabili in un transitorio di portata variabile non sono, in generale, superiori ai livelli idrici riscontrabili in moto permanente.

6.3. Modello idraulico

6.3.1. Geometria

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.

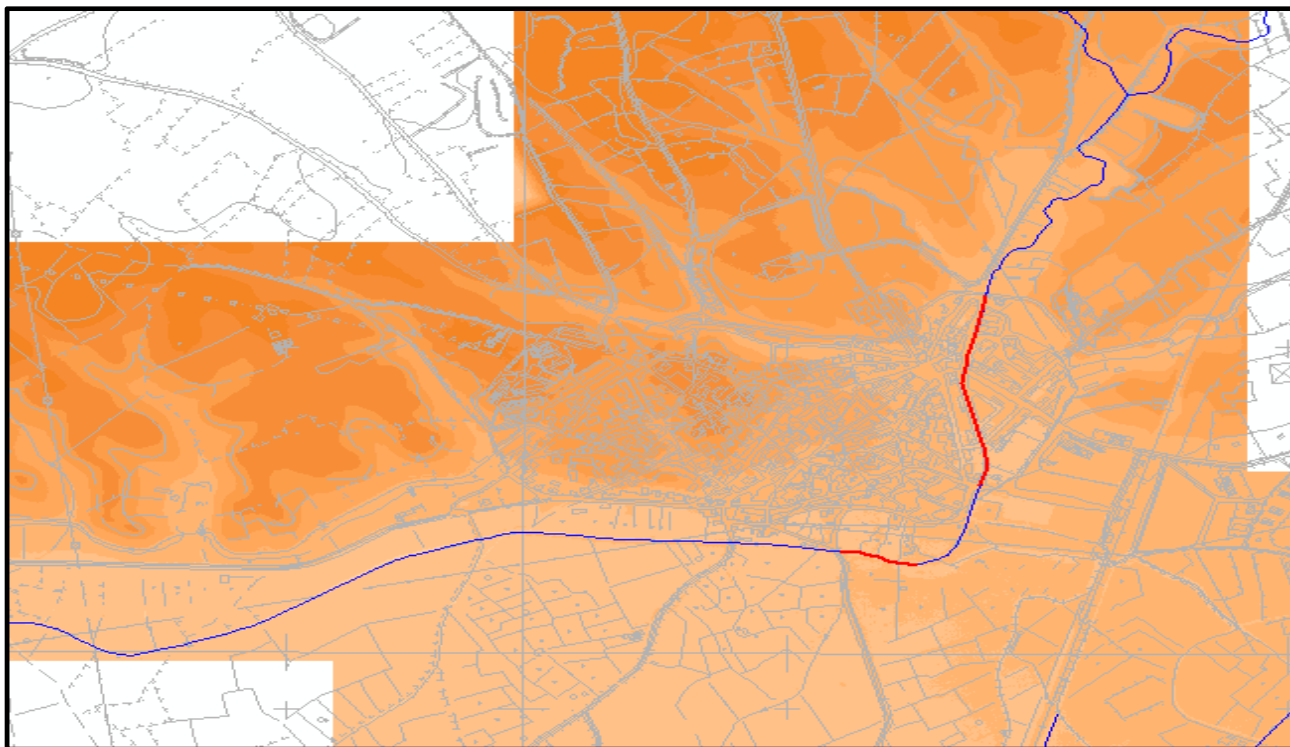


Figura 6 – Modello digitale del suolo (DTM)

I software GIS e i loro componenti aggiuntivi permettono il passaggio delle informazioni dall'ambiente Gisad HEC-RAS e viceversa, così da poter realizzare il modello geometrico e idraulico.

In primo luogo sono stati individuati i tracciati dei corsi d'acqua sulla base delle CTR e delle evidenze altimetriche mostrate dai DTM. Il passo successivo è il tracciamento delle "Bank Lines", linee che permettono di separare l'alveo dal resto della sezione, e dei "FlowPaths", 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 un comando del software, vengono collegate al DTM cosicché ogni punto della sezione abbia associata una

quota. Particolare attenzione va posta nella metodologia con la quale si tracciano le sezioni, in quanto devono permettere la valutazione di tutte le apprezzabili modifiche del corso d'acqua (sia la forma dell'alveo che la direzione del corso d'acqua) e la modellazione delle opere di attraversamento che si trovano lungo il suo sviluppo longitudinale. Per questo motivo le sezioni non devono essere troppo lontane tra loro, e devono essere tracciate laddove sono presenti punti singolari, quali i ponti.

Il modello generato su Gis è stato quindi esportato su HEC-RAS così da poter effettuare l'analisi idraulica sulla base delle portate calcolate in precedenza.

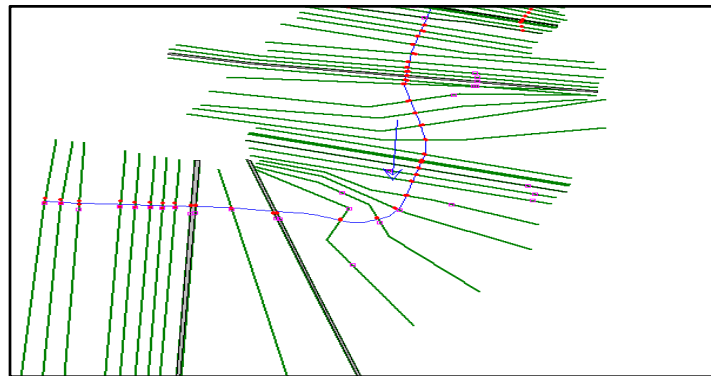


Figura 7 - Geometria su HEC-RAS

Quanto fatto fino ad ora permette una definizione della geometria ottima ma non definitiva, in quanto risultano necessarie diverse integrazioni relativamente agli argini (levees) e alle opere di attraversamento (bridges e culverts), qualora presenti.

Gli argini sono stati individuati sezione per sezione in funzione della loro altimetria, così da evitare che il flusso si spandesse sull'intera estensione della sezione, andando a generare risultati non veritieri in termini di aree di esondazione e di velocità della corrente.

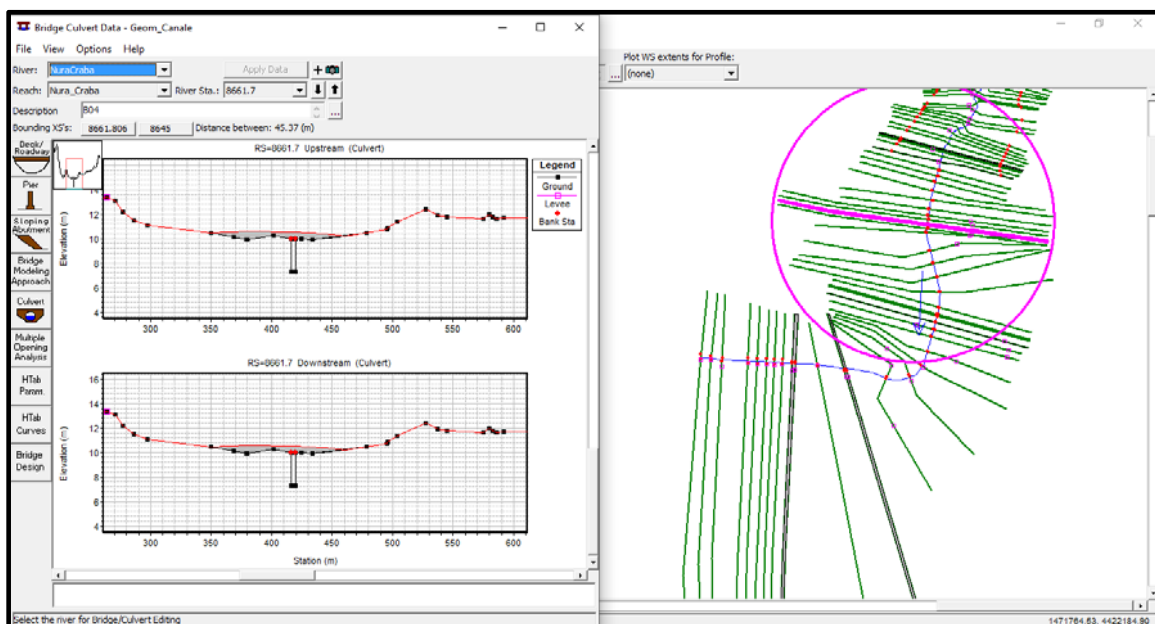


Figura 8 - Particolare del ponte sulla strada provinciale SP9

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

Per quanto riguarda le opere di attraversamento, si è resa necessaria una campagna di rilievi in sito col fine di valutare la posizione precisa delle stesse, reso possibile mediante l'utilizzo di un sistema GPS, e le loro dimensioni. Tali opere sono state censite e modellate su HEC-RAS. Questo aspetto è fondamentale perché molte di esse risultano essere sottodimensionate per tempi di ritorno cinquantennali onde per cui generano dei profili di rigurgito con innalzamento del tirante idrico a monte, che conseguentemente porta a diffuse esondazioni.

6.3.2. Parametri di scabrezza

Il profilo della corrente è stato valutato considerando il moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che in generale presenta variazioni di portata nel tempo, esistono delle differenze di comportamento. Tuttavia è riscontrato che l'involuppo dei massimi livelli idrici che si verificano in un transitorio non presenta in generale valori significativamente differentida quelli riscontrabili in moto permanente.

Le perdite di carico distribuite sono valutate mediante la formula di Manning (n), assegnato per ciascuna sezione attraverso il confronto critico del valore calcolato tramite il metodo del U.S. Soil Conservation Service con il valore desunto dalla letteratura di settore, anche in considerazione del diversificato grado di antropizzazione delle aree di studio.

Più precisamente, si è scelto di imporre un coefficiente di Manning pari a 0.025 all'interno del canale in cls, 0.030 nei tratti naturali e 0.035 all'esterno dell'alveo.

6.3.3. Condizioni al contorno

Prima di tutto si son definiti quattro profili e sono state inserite le portate calcolate al punto 5.6 della presente relazione per i corrispettivi tempi di ritorno (ovvero profili).

Quindi, son state definite le “reach boundary conditions” che rappresentano le condizioni al contorno del flusso. I parametri da definire cambiano, ovviamente, a seconda che il moto sia in condizioni sub-critiche o super-critiche. Le correnti oggetto di questo studio risultano essere tutte sub-critiche per cui si dovranno definire le seguenti condizioni al contorno:

- condizione di valle: altezza del tirante idrico atteso (desunto dal Piano di Mitigazione nella sezione 7359,666 e pari a 9,11, 9,30, 9,51 e 9,81 m slm rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni);
- condizione di monte: altezza critica, ovvero quel tirante tale per cui si manifesta il passaggio da corrente veloce a corrente lenta e viceversa.

6.4. Canale tombato di Solarussa

La modellazione idraulica ha tenuto conto della presenza del canale tombato di Solarussa secondo quanto previsto dalla “Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti (articolo 22 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI)” allegato alla D.C.I. n.2 del 17.10.2017.



Figura 9 - Tratto tombato a monte dell'attraversamento della SP9



Figura 10 - Tratto a valle dell'attraversamento della SP9

Al capitolo 6 vengono specificati i criteri per le verifiche di sicurezza da cui si evince:

- il tempo di ritorno della piena da utilizzare per le verifiche idrauliche dei canali tombati esistenti deve rispettare un valore non inferiore ai 200 anni;
- il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del canale tombato è quello prescritto dall'articolo 21 delle N.A. del P.A.I.;
- nel caso in cui il franco non fosse rispettato, la modellazione dei canali con sezione ampia ispezionabile (come nel caso in esame) può essere eseguita modellando lo scorrimento al di fuori del canale della quota parte della portata non convogliabile con i franchi prescritti per i vari tempi di ritorno.

Tenendo conto che lungo il canale sono presenti degli attraversamenti stradali, il franco di sicurezza va definito nei riguardi di questi ultimi secondo quanto previsto dall'articolo 21 delle NdA del PAI:

“...un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, pari a quanto indicato dall'analisi modellistica sul franco idraulico approvata dal Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino, corrispondente al massimo tra:

1) $0,7 v^2 / 2g$, dove v indica la velocità media della corrente;

2) un metro;

3) $0,87\sqrt{y} + \alpha y'$, dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente aerea e α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2. Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente la larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.

Fermo restando il valore minimo del franco di un metro, nel caso di profondità media della corrente inferiore a un metro, potrà essere assunto un franco pari al doppio della profondità media della corrente y .”

Nel caso specifico, il canale non è assolutamente in grado di smaltire una portata due centennale, per cui si è proceduto nella valutazione della portata critica, ossia di quella massima tale per cui viene rispettato il franco.

La modellazione del canale è stata condotta dal punto iniziale del rio Nura Craba, fino alla sezione 7359.666, posta circa 350 m a valle della fine del tratto tombato.

Per individuare la portata critica si è fatta variare iterativamente la portata all'interno del canale, imponendo come condizione di monte l'altezza critica e come condizione di valle la pendenza del canale medesimo (pari a 0.00065), fino ad individuare quella per la quale tutte le sezioni soddisfacessero il franco minimo richiesto.

Da questa analisi è stato possibile definire una portata critica $Q_{cr} = 2.5 \text{ mq/s}$.

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Quota sponda	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m slm	m/s	m ²	
8853.0	2.5	7.5	8.51	10.1	0.7	3.55	0.22
8831.5	2.5	7.41	8.5	10.01	0.65	3.83	0.2
8809.8	2.5	7.4	8.5	10	0.65	3.83	0.2
8777.9	2.5	7.39	8.48	9.99	0.65	3.82	0.2
8743.8	2.5	7.38	8.46	9.98	0.66	3.8	0.2
8712.9	2.5	7.35	8.45	9.95	0.65	3.85	0.2
8691.3	2.5	7.33	8.44	9.93	0.64	3.89	0.19
8676.8	2.5	7.3	8.44	10	0.63	3.98	0.19
8661.8	2.5	7.3	8.43	10	0.63	3.96	0.19
8661.7	Culvert						
8645.0	2.5	7.3	8.41	10	0.65	3.87	0.2
8631.4	2.5	7.25	8.4	9.85	0.62	4.03	0.18
8567.0	2.5	7.25	8.37	9.85	0.64	3.94	0.19
8520.9	2.5	7.21	8.36	9.81	0.62	4.01	0.19
8473.5	2.5	7.09	8.34	9.69	0.57	4.38	0.16
8418.9	2.5	7.06	8.33	9.66	0.56	4.43	0.16
8364.9	2.5	6.9	8.31	9.5	0.51	4.95	0.14
8341.6	2.5	6.83	8.31	9.43	0.48	5.18	0.13
8335.0	2.5	6.83	8.31	9.43	0.48	5.18	0.13
8327.1	2.5	6.83	8.3	9.43	0.48	5.16	0.13
8327.0	Culvert						
8312.6	2.5	6.83	8.29	9.43	0.49	5.11	0.13
8286.8	2.5	6.81	8.29	9.41	0.48	5.17	0.13
8261.3	2.5	6.78	8.28	9.38	0.48	5.26	0.12
8207.1	2.5	6.77	8.27	9.37	0.48	5.26	0.12
8153.0	2.5	6.75	8.26	9.35	0.47	5.29	0.12
8094.3	2.5	6.74	8.25	9.34	0.47	5.29	0.12
8009.2	2.5	6.76	8.23	9.36	0.48	5.16	0.13
7911.5	2.5	6.73	8.21	9.33	0.48	5.2	0.13
7911.4	Culvert						
7895.0	2.5	6.73	8.2	9.33	0.49	5.15	0.13
7807.5	2.5	6.73	8.18	9.33	0.49	5.09	0.13
7688.1	2.5	6.73	8.16	9.33	0.5	5	0.13
7688.1	Culvert						
7678.0	2.5	6.73	8.15	9.33	0.5	4.98	0.13

Tabella 9 - Risultati della modellazione idraulica all'interno del canale tombato

Sulla base di questi valori è stato possibile calcolare il franco minimo mediante i tre criteri descritti in precedenza, denominati nella tabella 10 - F1, F2 e F3 -, e quindi il valore da adottare come il massimo dei tre.

Station	F1	F2	F3	Franco da modellazione HEC-RAS
	m	m	m	m
8853.0	0.02	1	0.87	1.59
8831.5	0.02	1	0.91	1.51
8809.8	0.02	1	0.91	1.5
8777.9	0.02	1	0.91	1.51
8743.8	0.02	1	0.90	1.52
8712.9	0.02	1	0.91	1.5
8691.3	0.01	1	0.92	1.49
8676.8	0.01	1	0.93	1.56
8661.8	0.01	1	0.92	1.57
8661.7				
8645.0	0.02	1	0.92	1.59
8631.4	0.01	1	0.93	1.45
8567.0	0.01	1	0.92	1.48
8520.9	0.01	1	0.93	1.45
8473.5	0.01	1	0.97	1.35
8418.9	0.01	1	0.98	1.33
8364.9	0.01	1	1.03	1.19
8341.6	0.01	1	1.06	1.12
8335.0	0.01	1	1.06	1.12
8327.1	0.01	1	1.05	1.13
8327.0				
8312.6	0.01	1	1.05	1.14
8286.8	0.01	1	1.06	1.12
8261.3	0.01	1	1.07	1.10
8207.1	0.01	1	1.07	1.10
8153.0	0.01	1	1.07	1.09
8094.3	0.01	1	1.07	1.09
8009.2	0.01	1	1.05	1.13
7911.5	0.01	1	1.06	1.12
7911.4				
7895.0	0.01	1	1.05	1.13
7807.5	0.01	1	1.05	1.15
7688.1	0.01	1	1.04	1.17
7688.1				
7678.0	0.01	1	1.04	1.18

Tabella 10 - Calcolo del franco e verifica

Si osserva come con una portata pari a $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ il franco venga sempre rispettato.

Tale portata critica è stata, quindi, detratta da quella relativa all'intero bacino definita al punto 5.6, come previsto dalla "Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti", e si è condotta una modellazione nel centro abitato in assenza di funzionalità del canale di cui si riporta il profilo in figura 20.

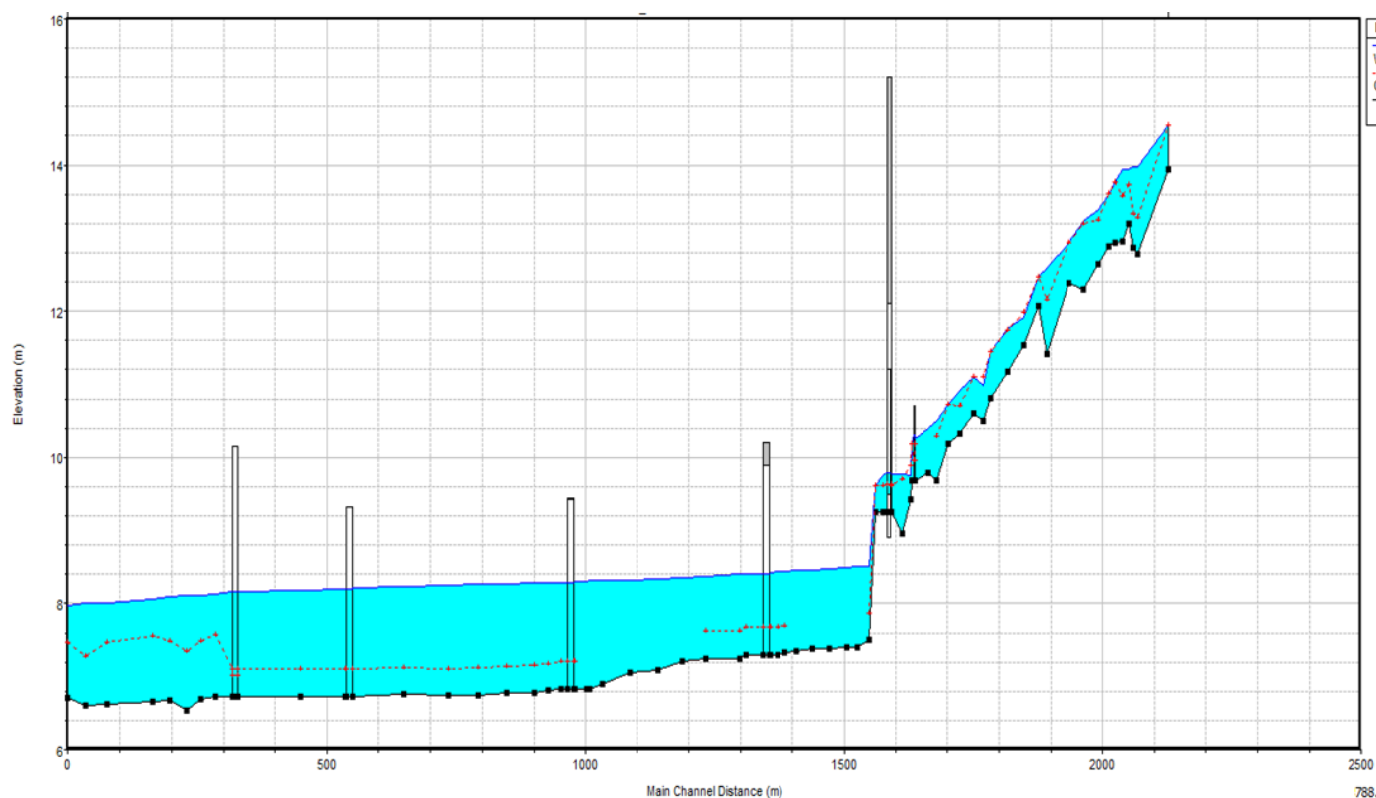


Figura 20 – profilo idraulico del tratto studiato per la verifica del canale tombato Solarussa

6.5. Risultati dell'analisi idraulica

Come prevede la Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti, nel caso in cui il franco non sia rispettato, la modellazione dei canali con sezione ampia ispezionabile può essere eseguita modellando lo scorrimento al di fuori del canale della quota parte della portata non convogliabile con i franchi prescritti per i vari tempi di ritorno.

A tal proposito è stata fatta una seconda modellazione dell'asta fluviale considerando il canale totalmente ostruito, cosicché il deflusso avvenga al di sopra della copertura, inserendo delle ineffective flow areas. Di seguito si riportano i risultati della suddetta analisi idraulica, basata su quanto riportato nel Piano di Mitigazione:

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	32.67	13.94	15.28	1.43	22.82	0.67
9349.431	32.67	12.87	14.39	2.46	13.26	1.00
9282.145	32.67	12.65	14.22	0.21	153.17	0.08
9225.262	32.67	12.38	13.51	3.52	9.29	2.19
9165.645	32.67	12.07	13.48	1.24	26.35	0.50
9106.150	32.67	11.18	12.76	2.72	12.00	1.00
9059.962	32.67	10.49	12.15	0.73	44.94	0.30
8991.198	32.67	10.18	11.77	1.80	18.11	1.00
8952.555	32.67	9.79	11.58	0.88	37.10	0.43
8926.719	32.67	9.69	11.56	0.65	50.00	0.25
8926.700	Culvert					
8920.000	32.67	9.69	11.54	0.67	48.83	0.26
8917.466	32.67	9.43	11.54	0.64	51.02	0.24
8901.988	32.67	8.96	11.49	0.99	33.14	0.46
8880.648	32.67	9.26	11.49	0.57	57.41	0.21
8880.640	Culvert					
8874.379	46.45	9.26	11.06	1.45	32.69	0.52
8866.000	46.45	9.26	10.97	1.64	28.96	0.61
8852.968	46.45	7.50	11.00	1.26	53.79	0.21
8831.531	46.45	7.41	10.97	1.40	61.48	0.24
8809.840	46.45	7.40	10.97	0.86	86.70	0.14
8777.865	46.45	7.39	10.95	0.83	90.77	0.14
8743.762	46.45	7.38	10.92	0.81	89.11	0.14

8712.933	46.45	7.35	10.91	0.66	107.07	0.11
8691.347	46.45	7.33	10.90	0.57	120.70	0.10
8676.806	46.45	7.30	10.89	0.61	120.10	0.10
8661.806	46.45	7.30	10.89	0.62	119.16	0.10
8645.000	Bridge					
8631.432	46.45	7.30	10.82	0.71	106.69	0.12
8566.961	46.45	7.25	10.80	0.85	93.80	0.14
8520.885	46.45	7.25	10.68	1.51	55.61	0.26
8473.490	46.45	7.21	10.67	0.80	94.90	0.14
8418.895	46.45	7.09	10.67	0.32	186.21	0.05
8364.895	46.45	7.06	10.66	0.30	187.19	0.05
8341.583	46.45	6.90	10.65	0.51	118.42	0.08
8335.000	46.45	6.83	10.62	1.01	72.37	0.16
8327.100	46.45	6.83	10.62	1.02	71.79	0.17
8312.613	46.45	6.83	10.62	0.41	175.03	0.07
8286.771	Bridge					
8261.288	46.45	6.83	10.62	0.42	173.93	0.07
8207.063	46.45	6.81	10.61	0.64	137.67	0.11
8152.956	46.45	6.78	10.60	0.73	120.58	0.12
8094.312	46.45	6.77	10.59	0.41	203.51	0.07
8009.150	46.45	6.75	10.58	0.39	221.99	0.06
7911.455	46.45	6.74	10.56	0.74	98.89	0.12
7895.000	68.06	6.76	10.29	2.77	45.53	0.47
7868.668	68.06	6.73	9.49	1.17	117.65	0.22
7807.540	Bridge					
7688.118	68.06	6.73	9.43	1.45	92.57	0.28
7678.000	68.06	6.63	9.39	1.02	143.52	0.20
7643.398	68.06	6.73	9.31	0.97	135.99	0.19
7616.447	68.06	6.73	9.17	0.81	142.87	0.17
7589.250	Bridge					
7556.367	68.06	6.77	9.16	0.54	253.00	0.16
7523.813	68.06	6.76	9.15	0.46	292.88	0.14
7434.596	68.06	6.53	9.15	0.60	251.56	0.17
7394.492	68.06	6.81	9.14	0.44	279.80	0.13
7359.666	68.06	6.81	9.13	0.57	251.69	0.17

Tabella 11 – Risultati per portate con tempo di ritorno di 50 anni

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	40.06	13.94	15.37	1.48	26.98	0.65
9349.431	40.06	12.87	14.58	2.09	19.18	1.00
9282.145	40.06	12.65	14.22	0.26	153.17	0.10
9225.262	40.06	12.38	13.58	3.32	12.07	2.03
9165.645	40.06	12.07	13.59	0.36	110.20	0.13
9106.150	40.06	11.18	12.92	2.71	14.79	1.00
9059.962	40.06	10.49	12.23	0.79	50.72	0.32
8991.198	40.06	10.18	11.84	1.83	21.87	1.00
8952.555	40.06	9.79	11.78	0.74	54.50	0.30
8926.719	40.06	9.69	11.76	0.61	65.73	0.22
8926.700	Culvert					
8920.000	40.06	9.69	11.74	0.63	63.93	0.22
8917.466	40.06	9.43	11.74	0.61	65.31	0.21
8901.988	40.06	8.96	11.72	0.76	52.86	0.34
8880.648	40.06	9.26	11.71	0.52	76.60	0.18
8880.640	Culvert					
8874.379	56.12	9.26	11.14	1.58	36.12	0.57
8866.000	56.12	9.26	11.03	1.83	31.18	0.66
8852.968	56.12	7.50	11.07	1.37	58.39	0.23
8831.531	56.12	7.41	11.04	1.43	70.63	0.24
8809.840	56.12	7.40	11.04	0.90	96.06	0.15
8777.865	56.12	7.39	11.02	0.87	101.03	0.15
8743.762	56.12	7.38	10.99	0.87	98.10	0.15
8712.933	56.12	7.35	10.97	0.71	116.82	0.12
8691.347	56.12	7.33	10.96	0.62	131.03	0.10
8676.806	56.12	7.30	10.95	0.66	131.54	0.11
8661.806	56.12	7.30	10.95	0.66	130.44	0.11
8645.000	Bridge					
8631.432	56.12	7.30	10.88	0.75	118.03	0.13
8566.961	56.12	7.25	10.86	0.90	105.97	0.15
8520.885	56.12	7.25	10.73	1.61	62.35	0.27
8473.490	56.12	7.21	10.72	0.87	102.39	0.15
8418.895	56.12	7.09	10.72	0.36	195.68	0.06
8364.895	56.12	7.06	10.71	0.34	195.41	0.06
8341.583	56.12	6.90	10.69	0.59	123.52	0.10
8335.000	56.12	6.83	10.65	1.15	75.69	0.19
8327.100	56.12	6.83	10.65	1.16	74.92	0.19
8312.613	56.12	6.83	10.66	0.46	183.11	0.08

8286.771	Bridge					
8261.288	56.12	6.83	10.65	0.47	181.70	0.08
8207.063	56.12	6.81	10.64	0.71	145.89	0.12
8152.956	56.12	6.78	10.63	0.83	127.57	0.13
8094.312	56.12	6.77	10.61	0.48	212.73	0.08
8009.150	56.12	6.75	10.61	0.45	232.57	0.07
7911.455	56.12	6.74	10.58	0.86	100.89	0.14
7895.000	80.77	6.76	10.44	1.63	121.14	0.27
7868.668	80.77	6.73	9.54	1.13	145.18	0.22
7807.540	Bridge					
7688.118	80.77	6.73	9.50	1.34	122.13	0.26
7678.000	80.77	6.63	9.47	0.88	187.40	0.17
7643.398	80.77	6.73	9.41	0.80	182.47	0.16
7616.447	80.77	6.73	9.33	0.56	234.65	0.11
7589.250	Bridge					
7556.367	80.77	6.77	9.33	0.39	387.42	0.11
7523.813	80.77	6.76	9.33	0.34	449.37	0.10
7434.596	80.77	6.53	9.32	0.42	390.20	0.11
7394.492	80.77	6.81	9.32	0.34	438.53	0.10
7359.666	80.77	6.81	9.32	0.40	424.21	0.11

Tabella 12 - Risultati per portate con tempo di ritorno di 100 anni

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	47.58	13.94	15.43	1.58	30.17	0.67
9349.431	47.58	12.87	14.65	2.12	22.43	1.00
9282.145	47.58	12.65	14.22	0.31	153.17	0.12
9225.262	47.58	12.38	13.74	0.47	102.17	0.19
9165.645	47.58	12.07	13.51	1.71	27.79	0.68
9106.150	47.58	11.18	13.04	2.73	17.45	1.00
9059.962	47.58	10.49	12.28	0.87	54.46	0.34
8991.198	47.58	10.18	12.01	1.33	35.75	0.67
8952.555	47.58	9.79	11.99	0.64	74.39	0.24
8926.719	47.58	9.69	11.98	0.56	84.31	0.19
8926.700	Culvert					
8920.000	47.58	9.69	11.97	0.57	83.38	0.19
8917.466	47.58	9.43	11.97	0.57	83.49	0.18
8901.988	47.58	8.96	11.96	0.60	79.29	0.23
8880.648	47.58	9.26	11.95	0.48	98.74	0.15
8880.640	Culvert					

8874.379	65.91	9.26	11.23	1.66	40.38	0.61
8866.000	65.91	9.26	11.07	2.03	33.04	0.72
8852.968	65.91	7.50	11.13	1.47	62.59	0.25
8831.531	65.91	7.41	11.11	1.45	78.79	0.24
8809.840	65.91	7.40	11.10	0.94	104.49	0.16
8777.865	65.91	7.39	11.08	0.91	110.37	0.15
8743.762	65.91	7.38	11.05	0.92	106.27	0.15
8712.933	65.91	7.35	11.03	0.76	125.60	0.13
8691.347	65.91	7.33	11.01	0.66	140.26	0.11
8676.806	65.91	7.30	11.01	0.70	141.81	0.12
8661.806	65.91	7.30	11.00	0.71	140.55	0.12
8645.000	Bridge					
8631.432	65.91	7.30	10.93	0.80	127.65	0.13
8566.961	65.91	7.25	10.91	0.95	116.32	0.16
8520.885	65.91	7.25	10.77	1.71	67.86	0.29
8473.490	65.91	7.21	10.75	0.95	108.03	0.16
8418.895	65.91	7.09	10.75	0.41	202.79	0.07
8364.895	65.91	7.06	10.74	0.38	201.49	0.06
8341.583	65.91	6.90	10.72	0.66	127.03	0.11
8335.000	65.91	6.83	10.67	1.30	77.48	0.21
8327.100	65.91	6.83	10.66	1.33	76.44	0.22
8312.613	65.91	6.83	10.68	0.52	187.64	0.09
8286.771	Bridge					
8261.288	65.91	6.83	10.67	0.53	185.79	0.09
8207.063	65.91	6.81	10.66	0.81	149.69	0.13
8152.956	65.91	6.78	10.64	0.95	130.02	0.15
8094.312	65.91	6.77	10.62	0.55	214.79	0.09
8009.150	65.91	6.75	10.61	0.52	233.70	0.08
7911.455	65.91	6.74	10.57	1.03	99.54	0.17
7895.000	93.57	6.76	10.44	1.89	121.12	0.31
7868.668	93.57	6.73	9.63	0.94	196.61	0.18
7807.540	Bridge					
7688.118	93.57	6.73	9.60	1.04	181.54	0.19
7678.000	93.57	6.63	9.59	0.66	272.18	0.12
7643.398	93.57	6.73	9.56	0.58	272.13	0.11
7616.447	93.57	6.73	9.53	0.38	384.04	0.07
7589.250	Bridge					
7556.367	93.57	6.77	9.52	0.29	566.18	0.08
7523.813	93.57	6.76	9.52	0.25	659.99	0.07
7434.596	93.57	6.53	9.52	0.31	579.71	0.08
7394.492	93.57	6.81	9.52	0.25	668.94	0.07
7359.666	93.57	6.81	9.52	0.28	676.09	0.08

Tabella 13 - Risultati per portate con tempo di ritorno di 200 anni

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	57.70	13.94	15.51	1.67	34.48	0.68
9349.431	57.70	12.87	14.72	2.22	25.97	1.00
9282.145	57.70	12.65	14.22	0.38	153.17	0.14
9225.262	57.70	12.38	13.82	0.50	115.79	0.20
9165.645	57.70	12.07	13.42	2.41	23.92	1.00
9106.150	57.70	11.18	13.20	0.74	78.27	0.28
9059.962	57.70	10.49	12.43	0.85	67.63	0.31
8991.198	57.70	10.18	12.34	0.82	70.21	0.32
8952.555	57.70	9.79	12.33	0.52	109.95	0.16
8926.719	57.70	9.69	12.33	0.47	122.75	0.15
8926.700	Culvert					
8920.000	57.70	9.69	12.32	0.47	121.86	0.15
8917.466	57.70	9.43	12.32	0.45	126.97	0.14
8901.988	57.70	8.96	12.32	0.47	122.42	0.15
8880.648	57.70	9.26	12.31	0.43	133.13	0.12
8880.640	Culvert					
8874.379	79.00	9.26	11.35	1.67	47.83	0.63
8866.000	79.00	9.26	11.13	2.27	35.30	0.80
8852.968	79.00	7.50	11.21	1.58	67.91	0.26
8831.531	79.00	7.41	11.19	1.48	89.16	0.24
8809.840	79.00	7.40	11.18	0.98	115.28	0.16
8777.865	79.00	7.39	11.16	0.95	122.55	0.16
8743.762	79.00	7.38	11.12	0.97	117.03	0.16
8712.933	79.00	7.35	11.10	0.81	137.19	0.13
8691.347	79.00	7.33	11.09	0.71	152.45	0.12
8676.806	79.00	7.30	11.08	0.74	155.56	0.12
8661.806	79.00	7.30	11.07	0.75	154.11	0.12
8645.000	Bridge					
8631.432	79.00	7.30	11.00	0.84	140.89	0.14
8566.961	79.00	7.25	10.98	0.98	130.54	0.16
8520.885	79.00	7.25	10.83	1.80	76.64	0.30
8473.490	79.00	7.21	10.81	1.01	117.15	0.17
8418.895	79.00	7.09	10.81	0.45	214.24	0.07
8364.895	79.00	7.06	10.80	0.43	211.45	0.07
8341.583	79.00	6.90	10.77	0.75	133.10	0.12
8335.000	79.00	6.83	10.71	1.48	81.12	0.24
8327.100	79.00	6.83	10.69	1.51	79.65	0.25
8312.613	79.00	6.83	10.71	0.59	196.36	0.10
8286.771	Bridge					

8261.288	79.00	6.83	10.70	0.60	193.79	0.10
8207.063	79.00	6.81	10.69	0.89	157.89	0.14
8152.956	79.00	6.78	10.66	1.07	136.90	0.17
8094.312	79.00	6.77	10.64	0.62	222.73	0.10
8009.150	79.00	6.75	10.63	0.59	241.98	0.10
7911.455	79.00	6.74	10.61	0.54	258.01	0.09
7895.000	110.56	6.76	10.44	2.23	121.11	0.37
7868.668	110.56	6.73	9.85	0.57	342.65	0.10
7807.540	Bridge					
7688.118	110.56	6.73	9.84	0.59	336.98	0.11
7678.000	110.56	6.63	9.83	0.38	492.15	0.07
7643.398	110.56	6.73	9.83	0.36	463.41	0.06
7616.447	110.56	6.73	9.81	0.23	695.78	0.04
7589.250	Bridge					
7556.367	110.56	6.77	9.81	0.20	908.73	0.05
7523.813	110.56	6.76	9.81	0.18	1039.18	0.05
7434.596	110.56	6.53	9.81	0.08	945.94	0.05
7394.492	110.56	6.81	9.81	0.17	1070.91	0.05
7359.666	110.56	6.81	9.81	0.17	1081.21	0.05

Tabella 14 - Risultati per portate con tempo di ritorno di 500 anni

Nelle figure seguenti si riportano i profili idraulici per i 4 tempi di ritorno, mentre si rimanda agli allegati per quanto riguarda le sezioni di calcolo.

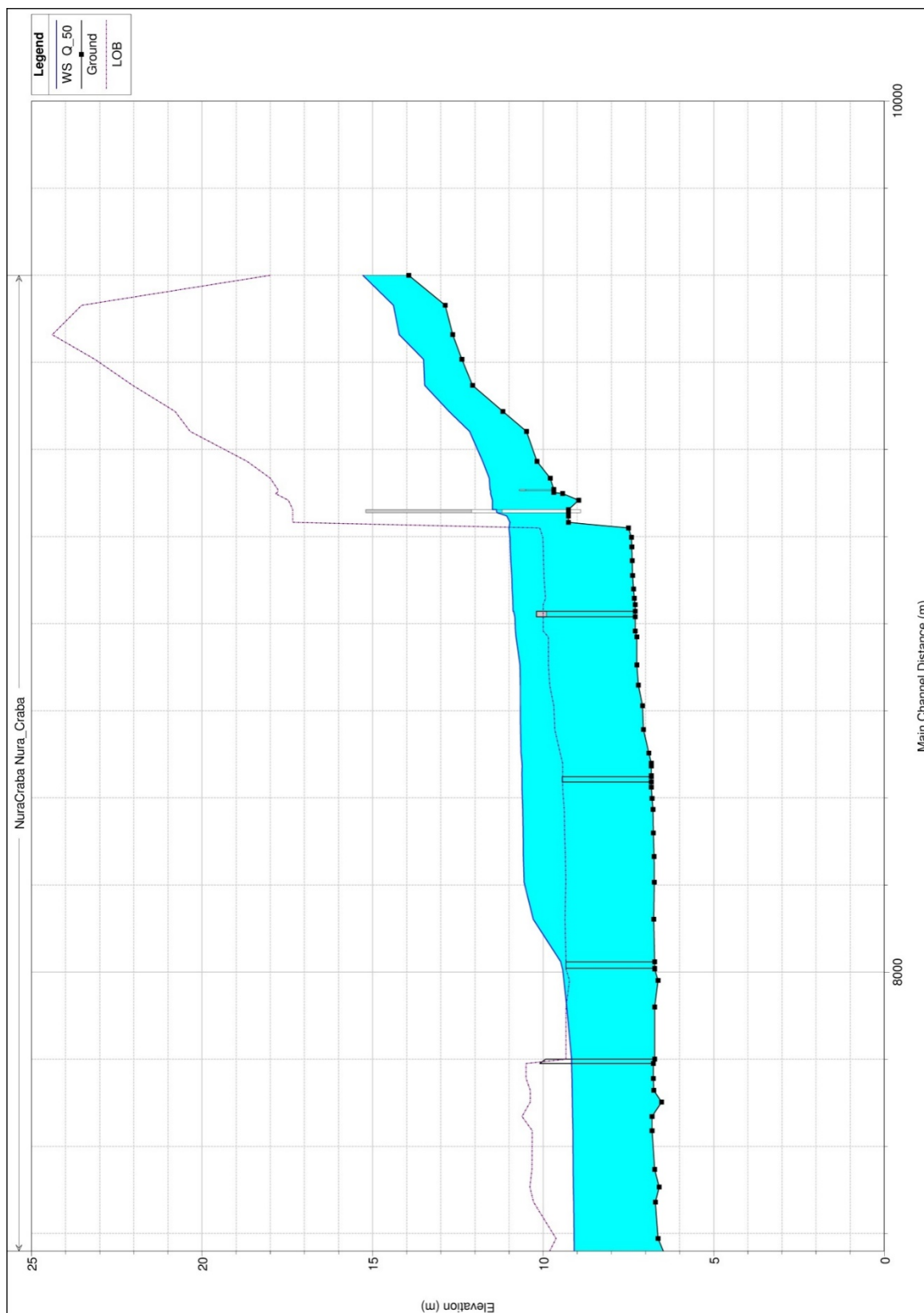


Figura 11 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 50 anni

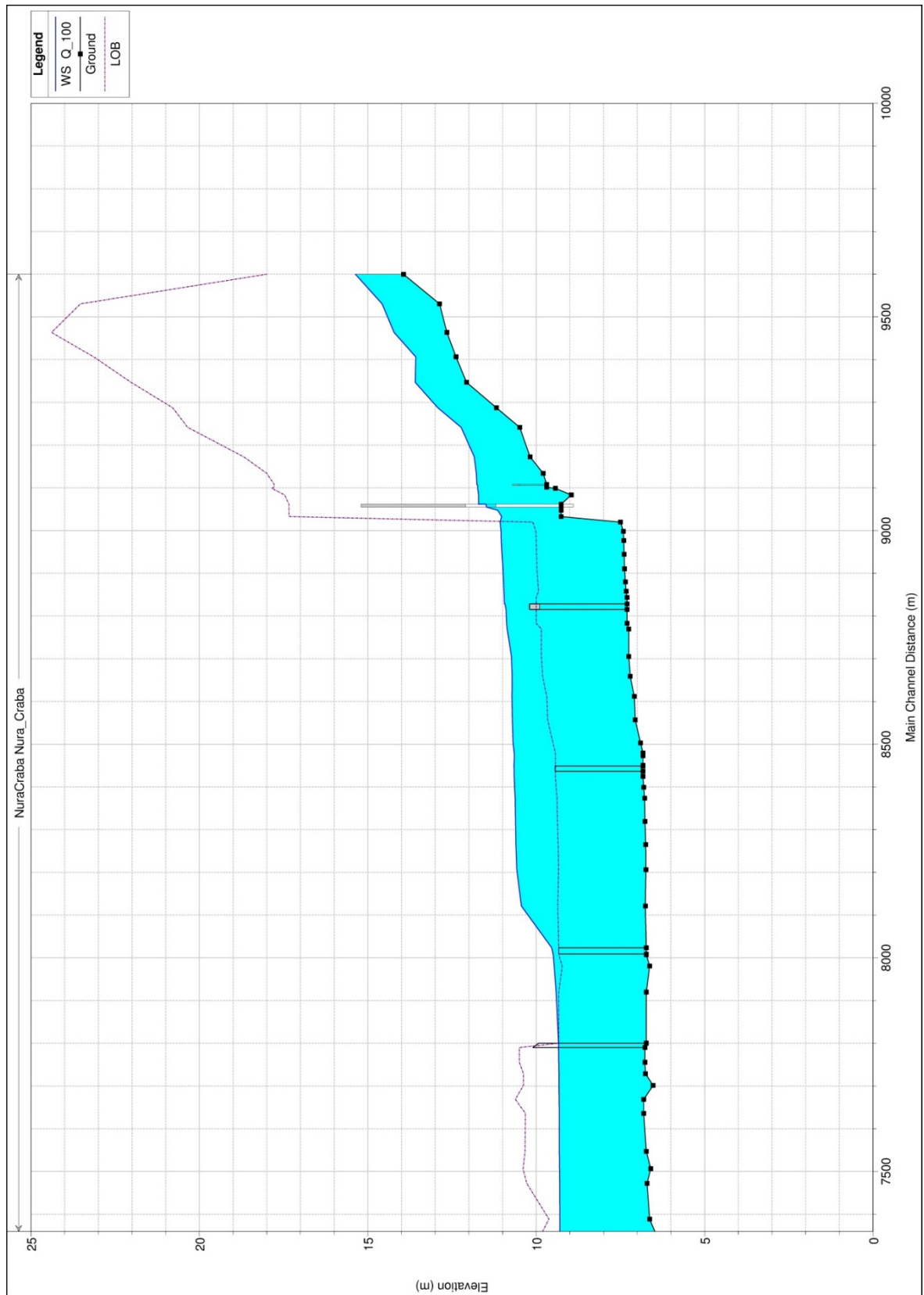


Figura 12 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 100 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

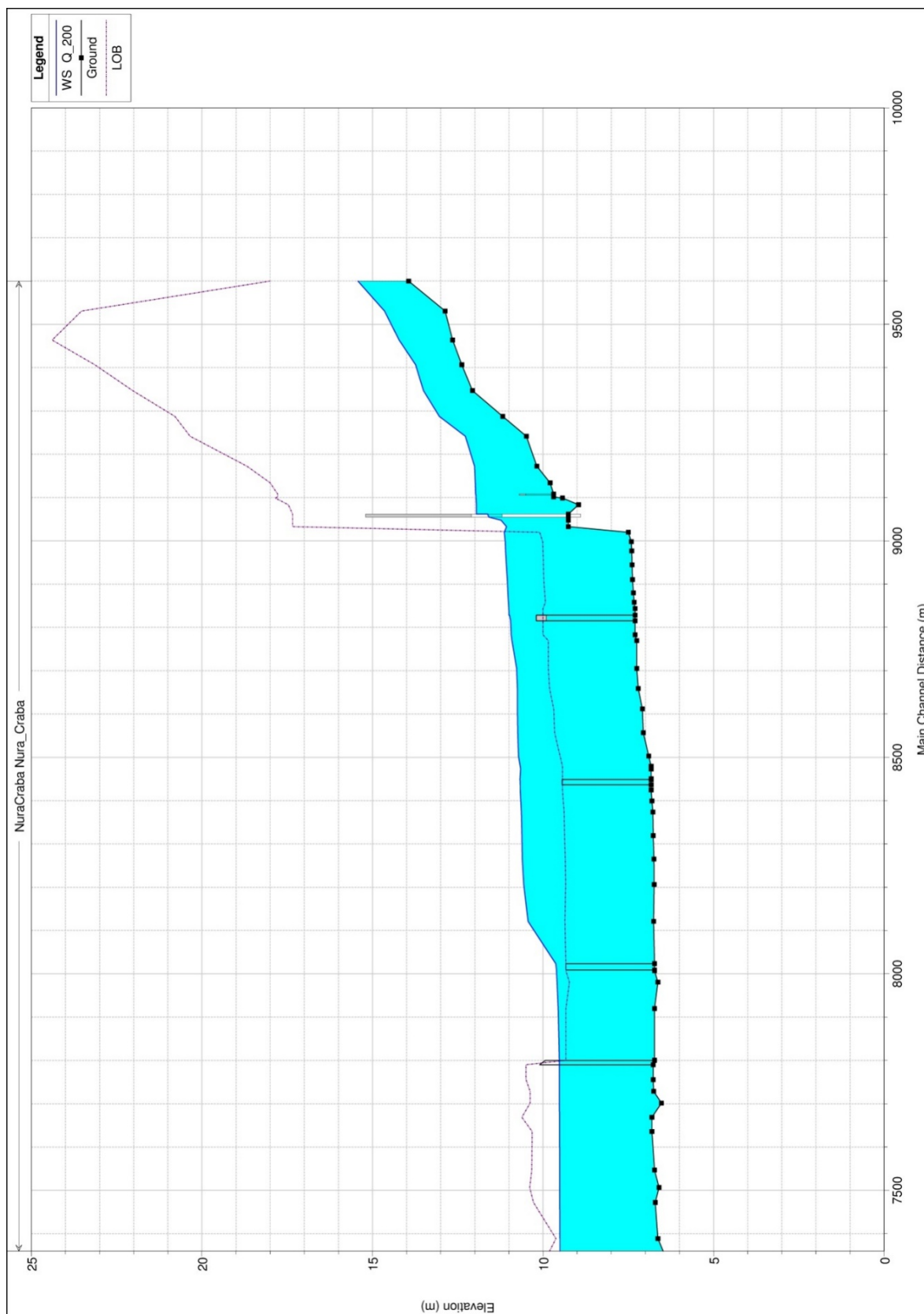


Figura 13 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 200 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

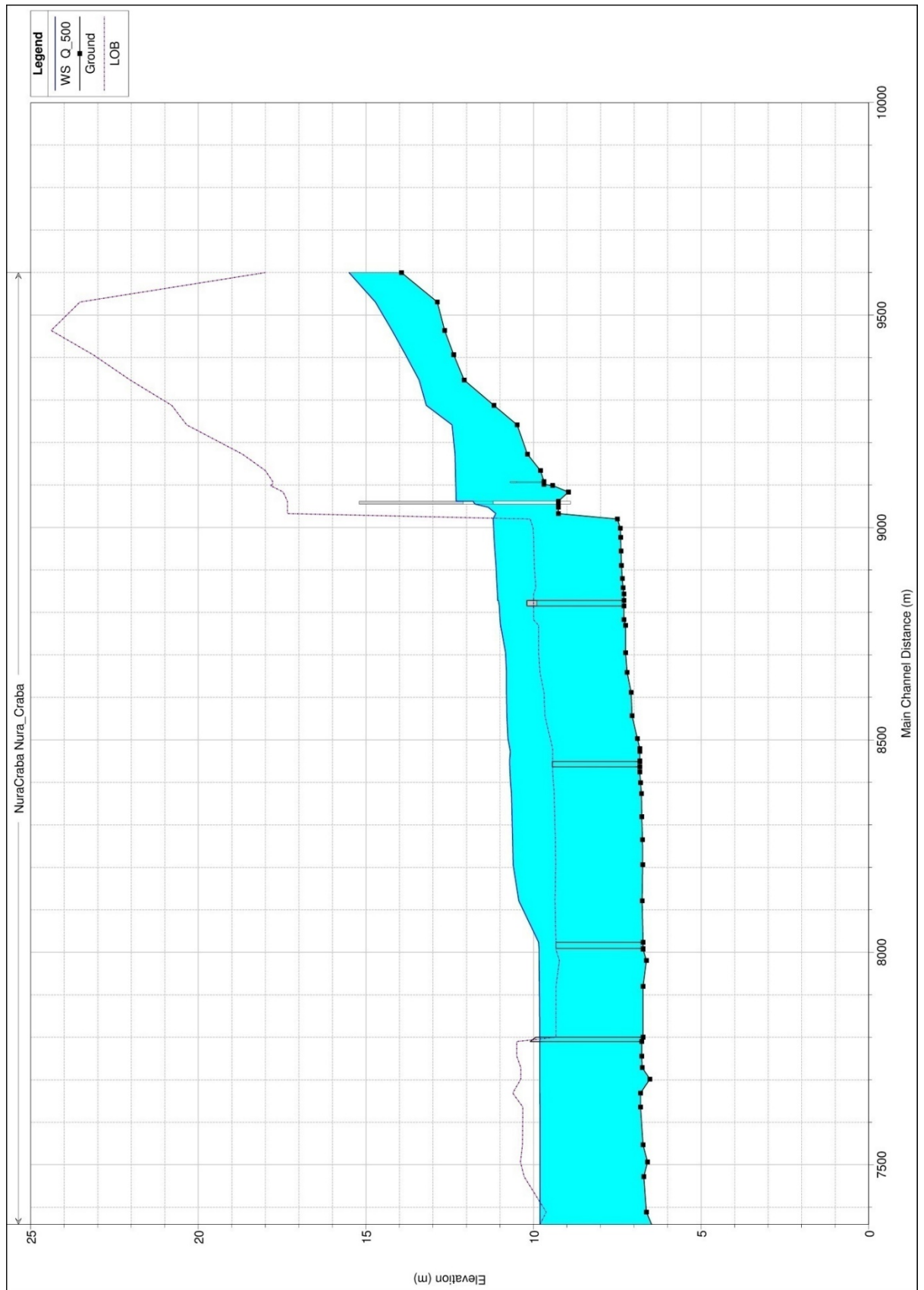


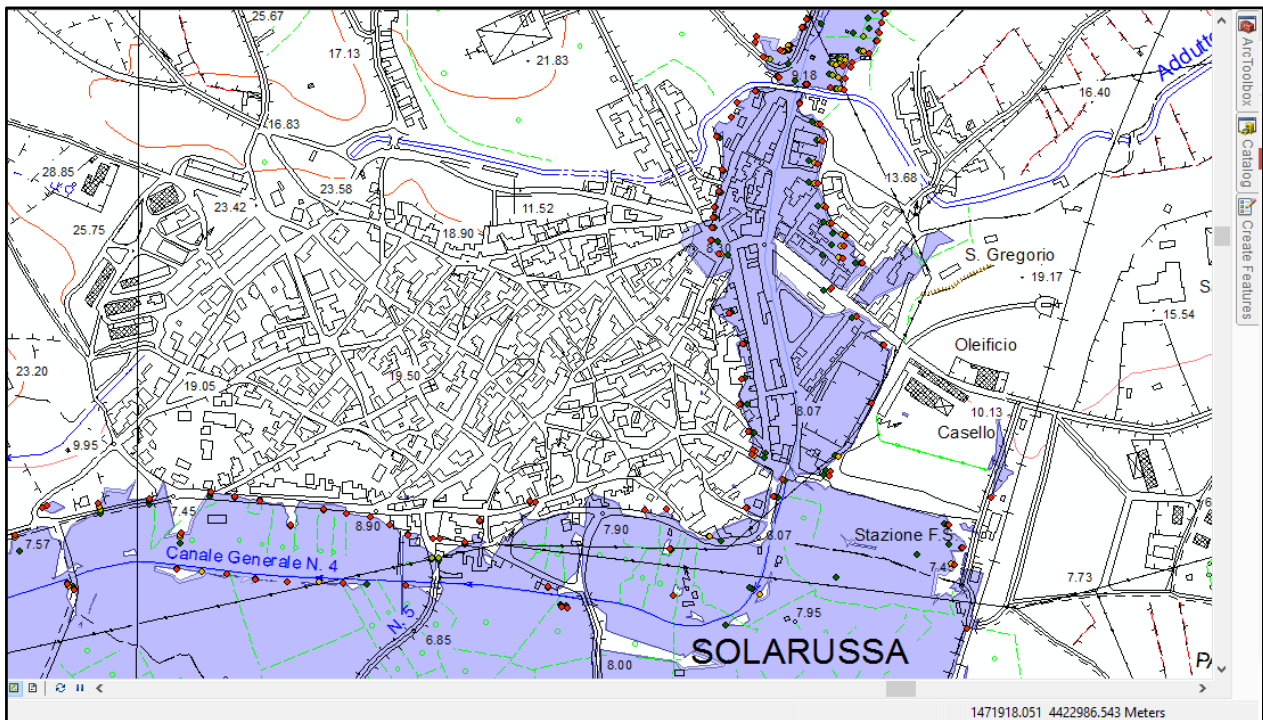
Figura 14 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 500 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

Una volta terminata la definizione della geometria e del flusso, si può procedere con la fase di elaborazione vera e propria che permette di individuare le insufficienze delle varie sezioni, e quindi le esondazioni per ogni tempo di ritorno.

Questi risultati vengono esportati in ambiente GIS cosicché possano essere definite le aree di pericolosità idraulica H_{i4} , H_{i3} , H_{i2} , H_{i1} relative ai tempi di ritorno di 50 anni, 100 anni, 200 anni e 500 anni.

L'importazione della modellazione svolta su HEC-RAS permette di ottenere i punti "Water Surface Extents", ossia i punti della sezione coincidenti con gli estremi del pelo libero. Ancor più importante risulta la definizione delle aree di esondazione sulla base delle quote del DTM, infatti è possibile generare dei poligoni luogo dei punti la cui quota geodetica sta al di sotto della quota del pelo libero calcolata su HEC-RAS.



Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messa in sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

7. Ipotesi progettuali

Il Piano di Mitigazione prevede una serie di interventi diffusi nel territorio necessari per un'adeguata mitigazione e riduzione del rischio idraulico, in quanto modifiche al deflusso delle acque in alcuni tronchi fluviali possono generare effetti nei tratti sia a monte che a valle.

La soluzione che è apparsa più risolutiva ai fini della riduzione della pericolosità idraulica consiste in una serie di opere di seguito brevemente elencate:

- realizzazione di una traversa di laminazione a monte del Canale Adduttore sul rio Nura Craba;
- realizzazione di un canale diversivo che prelevi le acque dalla traversa e le reimmetta sul rio Nura Craba nel tratto a sud del centro abitato di Solarussa;
- eliminazione della copertura del tratto tombato del rio Nura Craba;
- realizzazione di due canali di guardia, uno a nord e uno a est del centro abitato di Solarussa;
- allargamento del tratto terminale tra muri del rio Nura Craba, a sud del centro abitato di Solarussa;
- ampliamento della sezione idraulica del rio Nura Craba;
- realizzazione di una traversa di laminazione a monte della strada provinciale SP9 sul rio Saoru;
- sostituzione dell'attraversamento del Canale Adduttore sul rio Saoru con un sifone;
- ampliamento della sezione idraulica sul rio Saoru;
- risagomatura della sezione sul rio Tanui e su una porzione del Canale a marea di Bennaxi;
- demolizione di tutti i ponti canale;
- demolizione di tutti i ponti tubo e sostituzione con attraversamenti in subalveo;
- demolizione e rifacimento di tutti gli attraversamenti stradali e ferroviari con il rispetto del franco idraulico di sicurezza.

In figura 26 vengono mostrati gli interventi principali.



Figura 16 - Ortofoto con indicazione degli interventi da realizzare

In attuazione delle previsioni dell'articolo 22 e dell'articolo 8 comma 9 delle NdA del PAI è stata redatta e approvata la Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti, definito come tale una qualunque opera derivante dalla copertura di un corso d'acqua facente parte del reticolo idrografico regionale e che non sia identificabile come rete urbana di smaltimento delle acque bianche e meteoriche.

La direttiva fornisce indirizzi operativi per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza e specifica quanto segue:

Si stabilisce che, anche a seguito di (...) interventi di ampliamento, non si possa procedere con la deperimetrazione delle aree di pericolosità se non nel caso di riapertura totale del canale.

Appare chiara la necessità di inserire all'interno del Piano di Mitigazione lo stombamento del tratto chiuso del rio Nura Craba, il quale, peraltro, ha già danneggiato la copertura in occasione di alcuni eventi alluvionali intensi.

La presente relazione prende in considerazione, quindi, gli interventi previsti all'interno del centro abitato di Solarussa ovvero l'eliminazione della copertura del tratto tombato del rio Nura Craba e la pulizia del tratto che va dal Canale Adduttore al ponte sulla SP15. In questo modo si vuole eliminare definitivamente una fonte di rischio idraulico che spesso ha provocato allagamenti nella zona di Sa Pauli, area limitrofa al rio Nura Craba appena a valle del Canale Adduttore.

L'eliminazione della copertura nel tratto tombato è molto importante da un punto di vista idraulico in quanto nel caso in cui il livello idrico all'interno del canale dovesse raggiungere la quota sommitale delle sponde si avrebbe una riduzione della portata effluente nel caso di funzionamento a bocca piena rispetto a quello a pelo libero.

Questo è facilmente dimostrabile con la legge di Chezy, nella quale la portata è funzione del raggio idraulico:

$$Q = S \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i} = S \cdot R^{2/3} \cdot k_s \cdot i^{1/2}$$

Ipotizzando che il moto sia del tipo uniforme, a parità del parametro di scabrezza k_s , della pendenza del fondo i e dell'area bagnata S , è evidente che al crescere del raggio idraulico R cresce proporzionalmente anche la portata Q transitante dalla sezione S .

Definendo con Q_{rl} la portata relativa al funzionamento a bocca piena, con Q_{lib} la portata con funzionamento a cielo aperto, con Q_{tomb} la portata del medesimo canale tombato e con h/hr il rapporto tra l'altezza del tirante e quella del canale, si ottiene un grafico come quello riportato in figura 27.

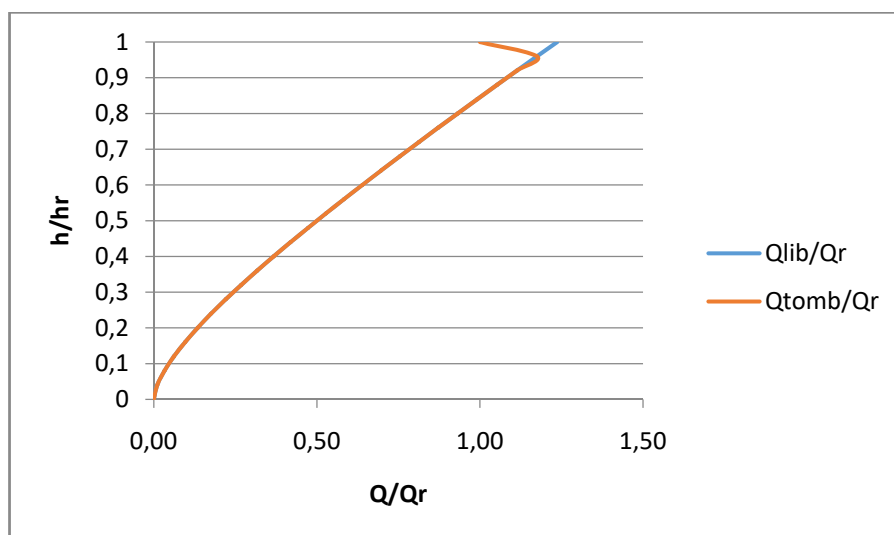


Figura 17 - Confronto tra le portate relative di un canale a pelo libero e tombato

Risulta evidente come da un punto di vista idraulico la presenza della copertura sul canale sia un elemento di impedimento per il deflusso delle acque.

Altro aspetto, ancora più importante, è legato alle possibili ostruzioni che possono verificarsi a causa del materiale trasportato. Gli eventi di piena spesso sono caratterizzati da un'elevata quantità di materiale flottante e di trasporto solido, tale da provocare parziali o totali restringimenti della sezione. Eliminando la copertura si riduce la probabilità che possano esserci ostruzioni o quantomeno rende possibile intervenire tempestivamente nel caso in cui del materiale si fermasse all'interno del canale.

Infine, un ultimo aspetto da valutare è l'aumento, seppur piccolo, dell'altezza della sezione utile del canale all'interno del centro abitato. Infatti, la copertura è costituita da lastre di cemento armato con spessore di 20 cm, poggiate sui muri laterali del canale e bloccate da dei cordoli laterali, come si può vedere in figura 28.



Figura 18 - Dettaglio del collegamento delle lastre della copertura con i muri

8. Analisi idraulica – stato di progetto

8.1. Idrologia nello stato di progetto

L'eliminazione della copertura nel tratto tombato non modifica le dinamiche idrologiche descritte in precedenza al capitolo 5, per cui di seguito si riporta il set di portate già calcolato

Portate al colmo di piena Q [m ³ /s]				
T _R	50	100	200	500
Nura Craba (SP15)	48.95	58.62	68.41	81.50

Tabella 15 - Valori delle portate di progetto in m³/s per i diversi tempi di ritorno

8.2. Modello idraulico

La modellazione idraulica è stata condotta prendendo come base quanto già fatto nell'analisi dello stato attuale e modificando la geometria, in particolar modo per quanto riguarda le obstruzioni inserite lungo il canale.

L'eliminazione della copertura, infatti, permette di studiare il rio Nura Craba come un canale normale a cielo aperto, per cui si considera anche il tratto tra muri funzionante a regime, e non più parzialmente ostruito come quanto visto al capitolo 6.4 della presente relazione.

Le condizioni al contorno e i parametri di scabrezza vengono mantenuti uguali al modello precedente.

8.3. Risultati della modellazione idraulica

Di seguito si riportano i risultati della modellazione idraulica nello stato di progetto.

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	32.67	13.94	15.28	1.43	22.82	0.67
9349.431	32.67	12.87	14.39	2.46	13.26	1.00
9282.145	32.67	12.65	14.22	0.21	153.17	0.08
9225.262	32.67	12.38	13.51	3.52	9.29	2.19
9165.645	32.67	12.07	13.48	1.24	26.35	0.50

9106.150	32.67	11.18	12.76	2.72	12.00	1.00
9059.962	32.67	10.49	12.15	0.73	44.94	0.30
8991.198	32.67	10.18	11.77	1.80	18.11	1.00
8952.555	32.67	9.79	11.59	0.88	37.24	0.43
8926.719	32.67	9.69	11.56	0.65	50.13	0.25
8926.700	Culvert					
8920.000	32.67	9.69	11.55	0.67	49.08	0.26
8917.466	32.67	9.43	11.54	0.64	51.26	0.24
8901.988	32.67	8.96	11.49	0.98	33.49	0.46
8880.648	32.67	9.26	11.49	0.57	57.78	0.21
8880.640	Culvert					
8874.379	48.95	9.26	11.07	1.48	32.98	0.53
8866.000	48.95	9.26	10.97	1.69	28.94	0.63
8852.968	48.95	7.50	11.00	1.44	53.72	0.25
8831.531	48.95	7.41	10.96	1.62	60.62	0.27
8809.840	48.95	7.40	10.97	0.99	87.07	0.17
8777.865	48.95	7.39	10.95	0.97	91.24	0.16
8743.762	48.95	7.38	10.93	0.94	89.64	0.16
8712.933	48.95	7.35	10.91	0.77	107.83	0.13
8691.347	48.95	7.33	10.90	0.66	121.61	0.11
8676.806	48.95	7.30	10.90	0.71	121.09	0.12
8661.806	48.95	7.30	10.89	0.72	120.14	0.12
8661.700	Bridge					
8645.000	48.95	7.30	10.82	0.83	107.49	0.14
8631.432	48.95	7.25	10.80	0.98	94.47	0.17
8566.961	48.95	7.25	10.66	1.80	53.19	0.31
8520.885	48.95	7.21	10.66	0.95	93.71	0.16
8473.490	48.95	7.09	10.66	0.39	185.06	0.07
8418.895	48.95	7.06	10.66	0.36	186.10	0.06
8364.895	48.95	6.90	10.64	0.61	117.50	0.10
8341.583	48.95	6.83	10.61	1.19	70.94	0.20
8335.000	48.95	6.83	10.60	1.20	70.32	0.20
8327.100	48.95	6.83	10.61	0.50	172.56	0.08
8327.000	Bridge					
8312.613	48.95	6.83	10.61	0.50	171.39	0.08
8286.771	48.95	6.81	10.60	0.77	134.31	0.13
8261.288	48.95	6.78	10.58	0.87	117.29	0.14
8207.063	48.95	6.77	10.58	0.50	198.42	0.08
8152.956	48.95	6.75	10.57	0.48	215.27	0.08
8094.312	48.95	6.74	10.54	0.89	96.34	0.15
8009.150	68.06	6.76	10.44	1.55	121.15	0.26
7911.455	68.06	6.73	8.99	5.60	18.20	1.19

7911.400	Bridge					
7895.000	68.06	6.73	9.42	1.70	88.40	0.33
7868.668	68.06	6.63	9.39	1.20	140.56	0.23
7807.540	68.06	6.73	9.30	1.13	134.42	0.22
7688.118	68.06	6.73	9.16	0.93	142.52	0.19
7688.100	Bridge					
7643.398	68.06	6.77	9.16	0.54	253.00	0.16
7616.447	68.06	6.76	9.15	0.46	292.88	0.14
7589.250	68.06	6.53	9.15	0.60	251.56	0.17
7556.367	68.06	6.81	9.14	0.44	279.80	0.13
7523.813	68.06	6.81	9.13	0.57	251.69	0.17
7434.596	68.06	6.73	9.12	0.31	393.77	0.09
7394.492	68.06	6.60	9.12	0.47	303.26	0.13
7359.666	68.06	6.71	9.11	0.49	261.21	0.14

Tabella 16 – Risultati per portate con tempo di ritorno di 50 anni

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	40.06	13.94	15.37	1.48	26.98	0.65
9349.431	40.06	12.87	14.58	2.09	19.18	1.00
9282.145	40.06	12.65	14.22	0.26	153.17	0.10
9225.262	40.06	12.38	13.58	3.32	12.07	2.03
9165.645	40.06	12.07	13.59	0.36	110.20	0.13
9106.150	40.06	11.18	12.92	2.71	14.79	1.00
9059.962	40.06	10.49	12.23	0.79	50.72	0.32
8991.198	40.06	10.18	11.84	1.83	21.87	1.00
8952.555	40.06	9.79	11.77	0.74	53.89	0.31
8926.719	40.06	9.69	11.76	0.61	65.16	0.22
8926.700	Culvert					
8920.000	40.06	9.69	11.74	0.62	64.18	0.22
8917.466	40.06	9.43	11.74	0.61	65.55	0.21
8901.988	40.06	8.96	11.72	0.75	53.23	0.33
8880.648	40.06	9.26	11.71	0.52	76.92	0.18
8880.640	Culvert					
8874.379	58.62	9.26	11.15	1.61	36.42	0.58
8866.000	58.62	9.26	11.02	1.89	31.02	0.69
8852.968	58.62	7.50	11.07	1.57	58.10	0.27
8831.531	58.62	7.41	11.04	1.64	69.97	0.27
8809.840	58.62	7.40	11.04	1.04	96.56	0.17
8777.865	58.62	7.39	11.02	1.01	101.68	0.17

8743.762	58.62	7.38	11.00	1.00	98.83	0.17
8712.933	58.62	7.35	10.98	0.82	117.83	0.14
8691.347	58.62	7.33	10.97	0.71	132.24	0.12
8676.806	58.62	7.30	10.96	0.76	132.90	0.13
8661.806	58.62	7.30	10.95	0.77	131.81	0.13
8661.700	Bridge					
8645.000	58.62	7.30	10.89	0.87	119.60	0.15
8631.432	58.62	7.25	10.87	1.03	107.57	0.17
8566.961	58.62	7.25	10.73	1.85	61.65	0.32
8520.885	58.62	7.21	10.72	1.00	103.41	0.17
8473.490	58.62	7.09	10.73	0.43	197.28	0.07
8418.895	58.62	7.06	10.72	0.40	196.86	0.07
8364.895	58.62	6.90	10.70	0.68	124.43	0.11
8341.583	58.62	6.83	10.66	1.32	75.85	0.22
8335.000	58.62	6.83	10.65	1.33	75.08	0.22
8327.100	58.62	6.83	10.66	0.54	184.49	0.09
8327.000	Bridge					
8312.613	58.62	6.83	10.66	0.55	183.08	0.09
8286.771	58.62	6.81	10.65	0.83	147.13	0.13
8261.288	58.62	6.78	10.63	0.96	128.59	0.16
8207.063	58.62	6.77	10.62	0.55	214.85	0.09
8152.956	58.62	6.75	10.61	0.52	235.29	0.08
8094.312	58.62	6.74	10.58	1.00	101.32	0.16
8009.150	80.77	6.76	10.44	1.84	121.13	0.31
7911.455	80.77	6.73	9.54	1.31	143.85	0.25
7911.400	Bridge					
7895.000	80.77	6.73	9.49	1.57	118.76	0.30
7868.668	80.77	6.63	9.46	1.02	185.44	0.19
7807.540	80.77	6.73	9.41	0.93	181.41	0.18
7688.118	80.77	6.73	9.33	0.65	234.49	0.13
7688.100	Bridge					
7643.398	80.77	6.77	9.33	0.39	387.42	0.11
7616.447	80.77	6.76	9.33	0.34	449.37	0.10
7589.250	80.77	6.53	9.32	0.42	390.20	0.11
7556.367	80.77	6.81	9.32	0.34	438.53	0.10
7523.813	80.77	6.81	9.32	0.40	424.21	0.11
7434.596	80.77	6.73	9.31	0.24	563.93	0.07
7394.492	80.77	6.60	9.31	0.34	465.40	0.09
7359.666	80.77	6.71	9.31	0.36	413.47	0.10

Tabella 17 - Risultati per portate con tempo di ritorno di 100 anni

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m3/s	m slm	m slm	m/s	m2	
9418.309	47.58	13.94	15.43	1.58	30.17	0.67
9349.431	47.58	12.87	14.65	2.12	22.43	1.00
9282.145	47.58	12.65	14.22	0.31	153.17	0.12
9225.262	47.58	12.38	13.74	0.47	102.17	0.19
9165.645	47.58	12.07	13.51	1.71	27.79	0.68
9106.150	47.58	11.18	13.04	2.73	17.45	1.00
9059.962	47.58	10.49	12.28	0.87	54.44	0.34
8991.198	47.58	10.18	12.01	1.31	36.31	0.65
8952.555	47.58	9.79	12.00	0.63	75.09	0.23
8926.719	47.58	9.69	11.98	0.56	84.99	0.19
8926.700	Culvert					
8920.000	47.58	9.69	11.97	0.57	83.97	0.19
8917.466	47.58	9.43	11.97	0.57	84.02	0.18
8901.988	47.58	8.96	11.96	0.59	80.05	0.23
8880.648	47.58	9.26	11.96	0.48	99.36	0.15
8880.640	Culvert					
8874.379	68.41	9.26	11.24	1.67	40.87	0.62
8866.000	68.41	9.26	11.07	2.09	32.77	0.74
8852.968	68.41	7.50	11.13	1.69	62.18	0.28
8831.531	68.41	7.41	11.10	1.68	78.02	0.28
8809.840	68.41	7.40	11.10	1.09	104.79	0.18
8777.865	68.41	7.39	11.08	1.06	110.79	0.18
8743.762	68.41	7.38	11.05	1.06	106.74	0.18
8712.933	68.41	7.35	11.03	0.88	126.33	0.15
8691.347	68.41	7.33	11.02	0.77	141.17	0.13
8676.806	68.41	7.30	11.01	0.81	142.86	0.13
8661.806	68.41	7.30	11.00	0.82	141.59	0.14
8661.700	Bridge					
8645.000	68.41	7.30	10.94	0.92	128.83	0.15
8631.432	68.41	7.25	10.92	1.09	117.45	0.18
8566.961	68.41	7.25	10.76	2.03	65.63	0.35
8520.885	68.41	7.21	10.75	1.11	107.42	0.19
8473.490	68.41	7.09	10.75	0.48	202.42	0.08
8418.895	68.41	7.06	10.74	0.45	201.11	0.08
8364.895	68.41	6.90	10.71	0.78	126.59	0.13
8341.583	68.41	6.83	10.66	1.53	76.09	0.25
8335.000	68.41	6.83	10.65	1.56	75.00	0.25
8327.100	68.41	6.83	10.67	0.62	185.86	0.10
8327.000	Bridge					

8312.613	68.41	6.83	10.66	0.63	183.96	0.10
8286.771	68.41	6.81	10.65	0.97	146.89	0.16
8261.288	68.41	6.78	10.62	1.14	126.44	0.19
8207.063	68.41	6.77	10.61	0.65	210.33	0.11
8152.956	68.41	6.75	10.60	0.63	227.67	0.10
8094.312	68.41	6.74	10.58	0.57	245.94	0.09
8009.150	93.57	6.76	10.44	2.13	121.11	0.35
7911.455	93.57	6.73	9.63	1.09	194.93	0.21
7911.400	Bridge					
7895.000	93.57	6.73	9.60	1.20	179.82	0.23
7868.668	93.57	6.63	9.59	0.76	271.19	0.14
7807.540	93.57	6.73	9.56	0.68	271.65	0.13
7688.118	93.57	6.73	9.53	0.44	383.98	0.08
7688.100	Bridge					
7643.398	93.57	6.77	9.52	0.29	566.18	0.08
7616.447	93.57	6.76	9.52	0.25	659.99	0.07
7589.250	93.57	6.53	9.52	0.31	579.71	0.08
7556.367	93.57	6.81	9.52	0.25	668.94	0.07
7523.813	93.57	6.81	9.52	0.28	676.09	0.08
7434.596	93.57	6.73	9.52	0.19	770.76	0.05
7394.492	93.57	6.60	9.51	0.26	675.83	0.06
7359.666	93.57	6.71	9.51	0.27	640.73	0.07

Tabella 18 - Risultati per portate con tempo di ritorno di 200 anni

Station	Portata Q	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità	Area bagnata	Froude
	m ³ /s	m slm	m slm	m/s	m ²	
9418.309	57.70	13.94	15.51	1.67	34.48	0.68
9349.431	57.70	12.87	14.72	2.22	25.97	1.00
9282.145	57.70	12.65	14.22	0.38	153.17	0.14
9225.262	57.70	12.38	13.82	0.50	115.79	0.20
9165.645	57.70	12.07	13.42	2.41	23.92	1.00
9106.150	57.70	11.18	13.20	0.74	78.27	0.28
9059.962	57.70	10.49	12.43	0.85	67.63	0.31
8991.198	57.70	10.18	12.34	0.82	70.21	0.32
8952.555	57.70	9.79	12.33	0.52	109.95	0.16
8926.719	57.70	9.69	12.33	0.47	122.74	0.15
8926.700	Culvert					
8920.000	57.70	9.69	12.33	0.47	122.59	0.15
8917.466	57.70	9.43	12.33	0.45	127.71	0.14
8901.988	57.70	8.96	12.32	0.47	123.16	0.15

8880.648	57.70	9.26	12.32	0.43	133.72	0.12
8880.640	Culvert					
8874.379	81.50	9.26	11.36	1.68	48.42	0.63
8866.000	81.50	9.26	11.12	2.33	35.00	0.81
8852.968	81.50	7.50	11.21	1.82	67.52	0.30
8831.531	81.50	7.41	11.19	1.70	88.67	0.28
8809.840	81.50	7.40	11.18	1.13	115.75	0.19
8777.865	81.50	7.39	11.16	1.10	123.21	0.18
8743.762	81.50	7.38	11.13	1.12	117.75	0.18
8712.933	81.50	7.35	11.11	0.94	138.22	0.15
8691.347	81.50	7.33	11.09	0.82	153.72	0.13
8676.806	81.50	7.30	11.08	0.86	157.05	0.14
8661.806	81.50	7.30	11.08	0.87	155.62	0.14
8661.700	Bridge					
8645.000	81.50	7.30	11.01	0.97	142.79	0.16
8631.432	81.50	7.25	10.99	1.12	132.52	0.18
8566.961	81.50	7.25	10.83	2.08	76.17	0.35
8520.885	81.50	7.21	10.82	1.16	118.67	0.19
8473.490	81.50	7.09	10.82	0.52	216.51	0.09
8418.895	81.50	7.06	10.81	0.50	213.54	0.08
8364.895	81.50	6.90	10.78	0.86	134.50	0.14
8341.583	81.50	6.83	10.71	1.69	81.43	0.27
8335.000	81.50	6.83	10.70	1.72	79.95	0.28
8327.100	81.50	6.83	10.72	0.68	198.59	0.11
8327.000	Bridge					
8312.613	81.50	6.83	10.71	0.69	196.11	0.11
8286.771	81.50	6.81	10.70	1.02	160.22	0.16
8261.288	81.50	6.78	10.67	1.22	139.17	0.20
8207.063	81.50	6.77	10.65	0.71	227.13	0.12
8152.956	81.50	6.75	10.64	0.67	247.95	0.11
8094.312	81.50	6.74	10.62	0.62	264.14	0.10
8009.150	110.56	6.76	10.45	2.41	125.86	0.40
7911.455	110.56	6.73	9.85	0.66	342.15	0.12
7911.400	Bridge					
7895.000	110.56	6.73	9.84	0.68	336.59	0.12
7868.668	110.56	6.63	9.83	0.44	491.89	0.08
7807.540	110.56	6.73	9.83	0.41	463.30	0.08
7688.118	110.56	6.73	9.81	0.27	695.76	0.05
7688.100	Bridge					
7643.398	110.56	6.77	9.81	0.20	908.73	0.05
7616.447	110.56	6.76	9.81	0.18	1039.18	0.05
7589.250	110.56	6.53	9.81	0.08	945.94	0.05
7556.367	110.56	6.81	9.81	0.17	1070.91	0.05

7523.813	110.56	6.81	9.81	0.17	1081.21	0.05
7434.596	110.56	6.73	9.81	0.15	1159.32	0.04
7394.492	110.56	6.60	9.81	0.19	1098.07	0.04
7359.666	110.56	6.71	9.81	0.12	1052.21	0.04

Tabella 19 - Risultati per portate con tempo di ritorno di 500 anni

Nelle figure seguenti si ripotano i profili idraulici per i 4 tempi di ritorno, mentre si rimanda agli allegati per quanto riguarda le sezioni di calcolo.

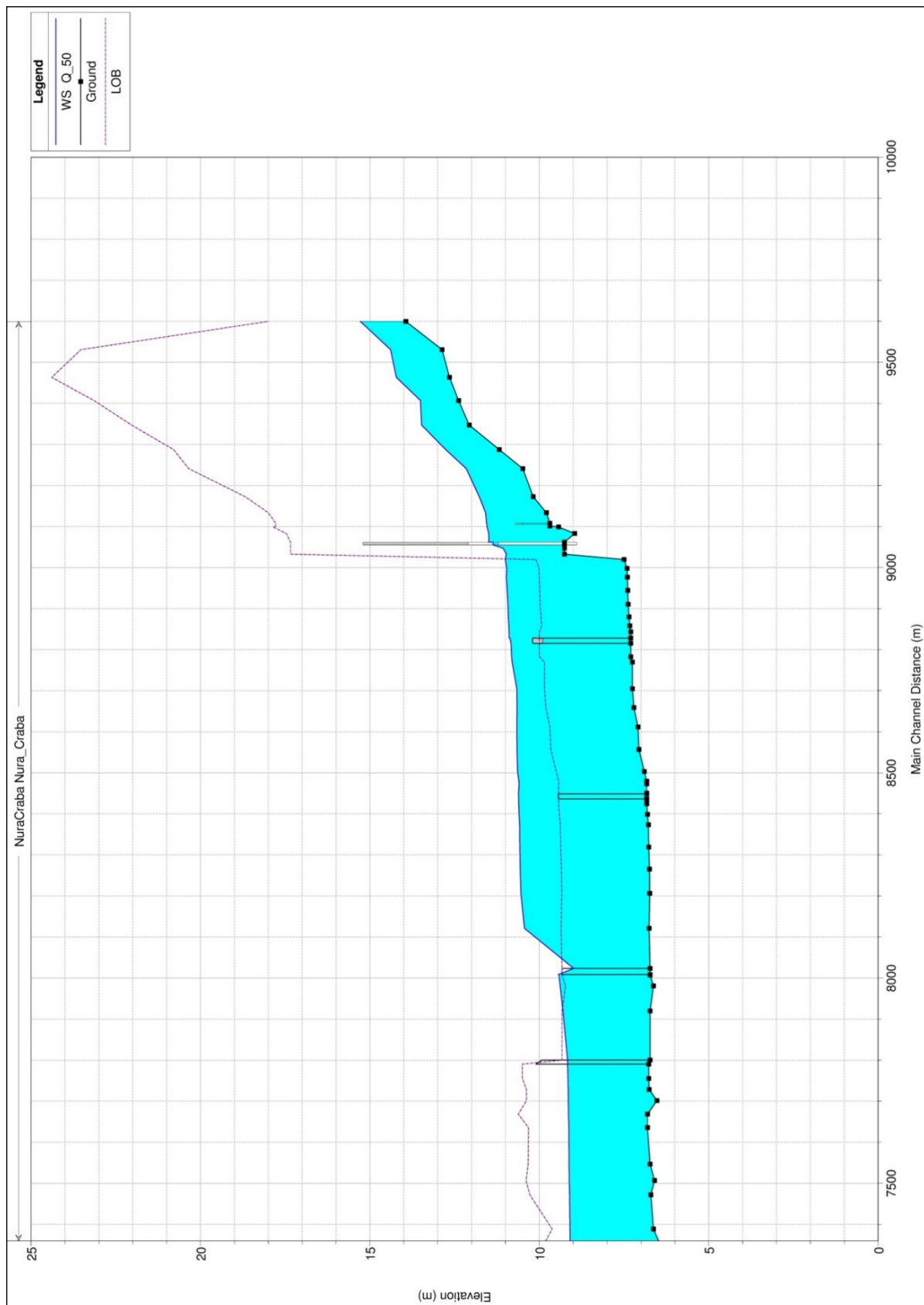


Figura 19 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 50 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

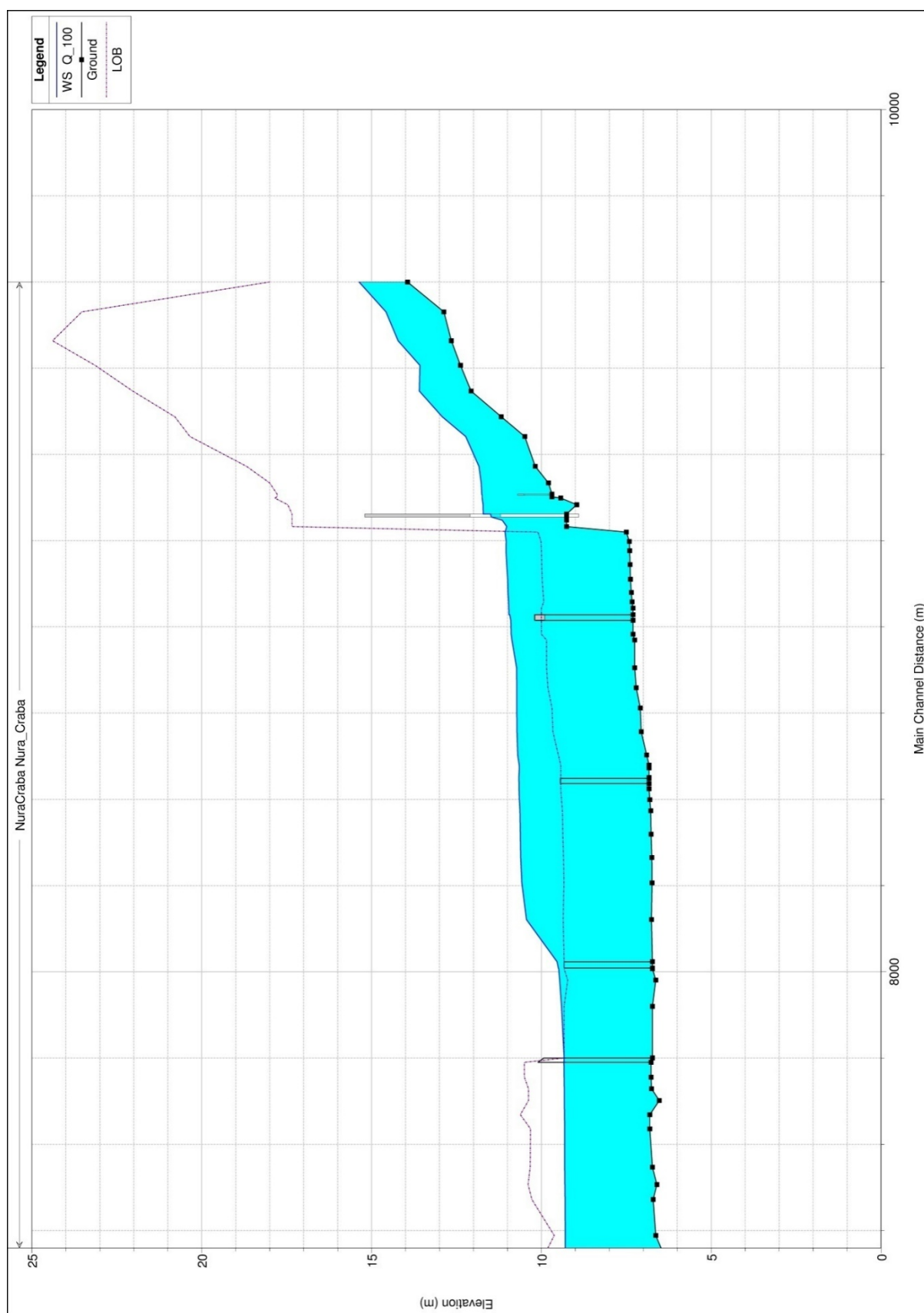


Figura 20 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 100 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

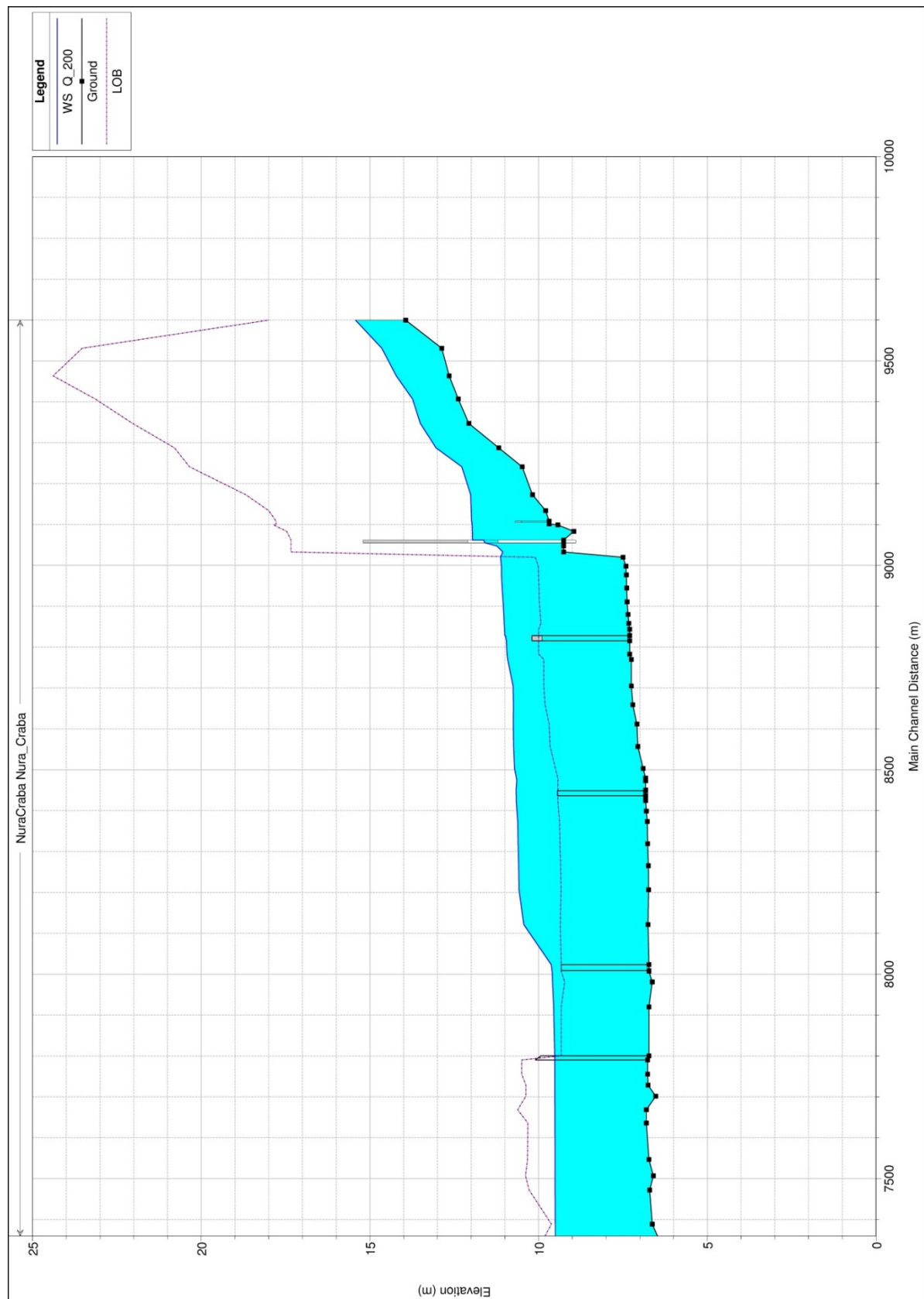


Figura 21 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 200 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

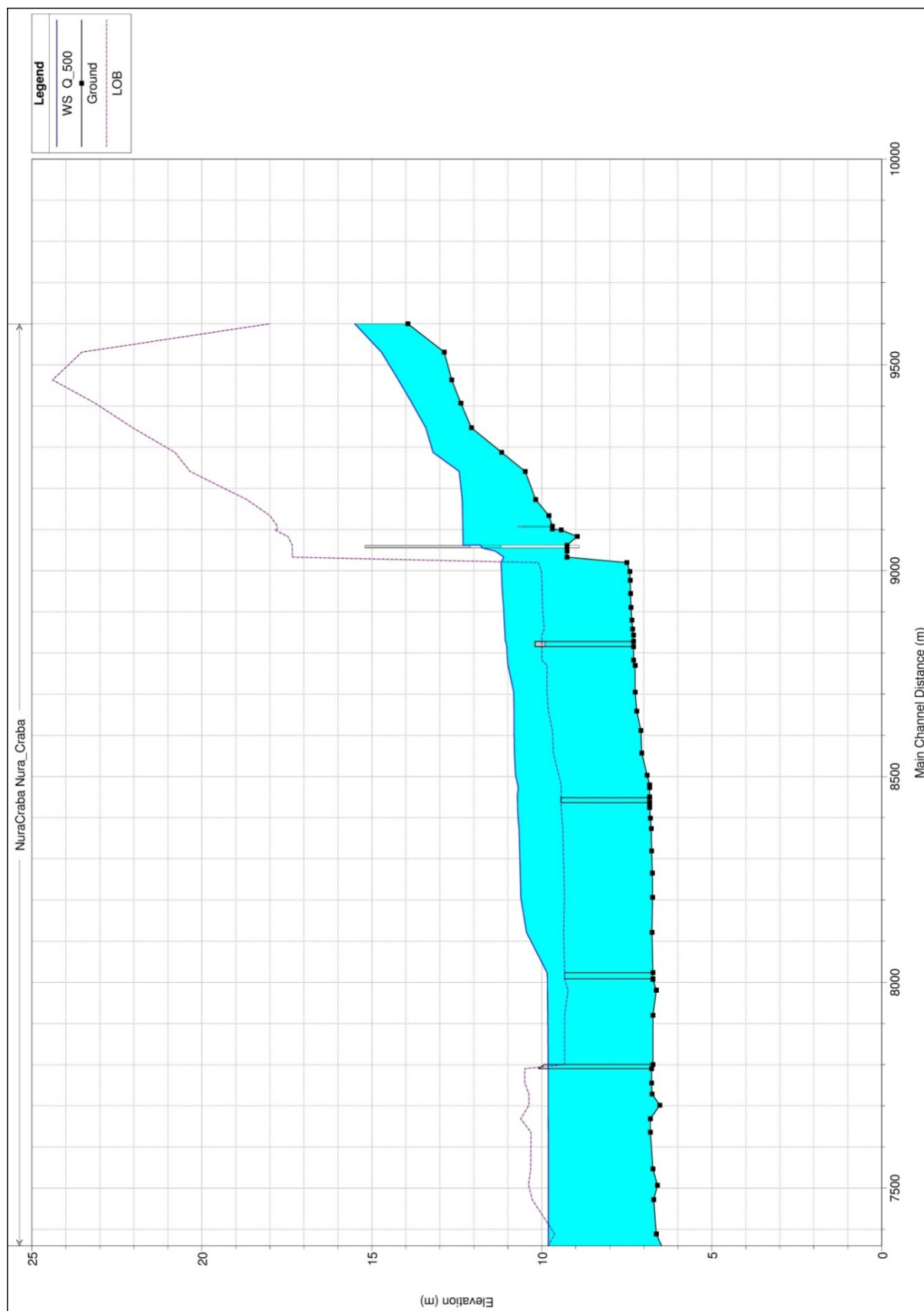


Figura 22 - Profilo del rio Nura Craba per tempo di ritorno di 500 anni

Opere di mitigazione del rischio idrogeologico delle aree in riva destra del fiume Tirso. Messain sicurezza del tratto tombato del rio Nura Craba nell'abitato di Solarussa. I° Stralcio funzionale.

9. Conclusioni

La modellazione idraulica condotta sia allo stato attuale (con canale tombato) che nello scenario di progetto (copertura assente) ha messo in evidenza un sostanziale equilibrio dei risultati.

Questo aspetto appare verosimile e corretto in quanto le rilevanti portate che transitano nel rio Nura Craba in occasione di eventi con tempi di ritorno superiori ai 50 anni sono tali da rendere la presenza del tratto tra muri quasi ininfluente. La portata che defluisce all'interno della sezione in cis è nettamente inferiore rispetto a quelle di piena, per cui il suo funzionamento non sposta gli equilibri nei riguardi delle piene più importanti.

L'eliminazione della copertura risulta comunque compatibile con quanto previsto dal PAI, le cui Norme di Attuazione (aggiornate all'ottobre del 2019) prevedono all'art. 23 comma 9 lettera a che *“allo scopo di impedire l'aggravarsi delle situazioni di pericolosità e di rischio esistenti nelle aree di pericolosità idrogeologica tutti i nuovi interventi previsti dal PAI e consentiti dalle presenti norme devono essere tali da migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario, non aumentando il rischio di esondazione a valle”*.

L'art. 8 comma 9 lettera c vieta espressamente le nuove coperture dei tratti tombati:

“Nelle fasce di tutela dei corpi idrici superficiali individuate ai sensi del precedente comma sono vietati(..) ogni nuova copertura di corsi d'acqua affluenti non richiesta da esigenze di protezione civile”.

Inoltre, la Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti (articolo 22 delle norme tecniche di attuazione del PAI) pone la riapertura totale dei canali come una delle principali tipologie di interventi da eseguire per ridurre gli aspetti per i quali l'opera non è adeguata rispetto ai criteri di funzionalità idraulica.

In conclusione, appare evidente l'utilità dell'eliminazione della copertura del tratto tombato del rio Nura Craba, nonché la sua propedeuticità per gli altri interventi previsti dal Piano di Mitigazione nel comune di Solarussa, uno di quelli maggiormente interessati da fenomeni di allagamento.

Il Tecnico

Ing. Massimo Sanna