PUC 2009 ORISTANO

COMUNE DI ORISTANO
Provincia di Oristano

Sindaco
Dott. Guido Tendas

Assessore all'Urbanistica
Gianluca Mugheddu

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA - art. 8 c.2 delle Norme di Attuazione del PAI esteso a tutto il territorio comunale

Dirigente Settore Sviluppo del Territorio
Dott. Ing. Giuseppe Pinna

Progettista
Ing. Alessandro Salis
Geol. Fausto A. Pani
Geol. Roberta M. Sanna

Collaboratori
Ing. Roberta Lai

ALLEGATO 1
Relazione idrologica-idraulica

Rev.
Dicembre 2015

Indice

1 PREMESSA 4
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA DI STUDIO 7
3 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA IDROGRAFICO 10
3.1 SISTEMA A NORD DEL TIRSO (TANUI-SAURU) 13
3.2 SISTEMA A SUD DEL TIRSO 15
3.2.1 Rio Merdegani 15
3.2.2 Rio Roia Sa Murta 16
3.2.3 Rio Spinarba 18
3.3 DRENI MINORI 21
4 ANALISI IDROLOGICA 41
4.1 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO 41
4.2 INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI DI BACINO 44
4.3 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO- METODO INDIRETTO 45
5 ANALISI IDRAULICA 56
5.1 CONSIDERAZIONI GENERALI 56
5.2 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI 56
5.3 METODOLOGIA UTILIZZATA 57
5.4 IL MODELLO DI CALCOLO 57
5.5 RISULTANZE DELLO STUDIO 61
5.5.1 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL SISTEMA IN DESTRA IDRAULICA DEL TIRSO (SISTEMA A NORD) 61
5.5.2 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL SISTEMA IN SINISTRA IDRAULICA DEL TIRSO (SISTEMA A SUD) 68
5.5.3 AREE DRENANTI MINORI 74
5.6 CONDIZIONI DI VINCOLO ESISTENTE 78
6 CONCLUSIONI 79

Indice delle figure

Figura 1 Inquadramento territoriale 7
Figura 2 Elaborazioni cartografiche tratte dal DTM 10 m fornito dalla RAS 8
Figura 3 Carta dell'acclività del territorio comunale 9
Figura 4 Sistema dei bacini principali 10
Figura 5 Arginature del tirso 11
Figura 6 Rappresentazione del sistema S'Aoru-Benaxi 11
Figura 7 Sistema drenate du base Google Earth 12
Figura 8 Sistema drenate su base Dtm 10m 12
Figura 9 Planimetria e sezione di un transetto generico sul Tirso 14
Figura 10 Sistema idrografico su DTM 10m 16
Figura 11 Sistema idrografico su DTM 10m 17
Figura 12 Sommitale del bacino del rio Spinarba 19
Figura 13 Canale Spinarba nel suo tratto centrale 19
Figura 14-Sistema drenante 20
Figura 15 Andamento del canale Spinarba in prossimità dell'aeroporto 21
Figura 16 Intervento di sistemazione sul canale Torangius 23
Figura 17 Idrografia GeobMP in evidenzia i tratti riconducibili al canale Torangius 26
Figura 18 Stralcio IGM 1990 26
Figura 19 stralcio IGM 1960 27
Figura 201974 Carta Tecnica Italia Meridionale 27
Figura 21 Dettaglio Sa Maddalena su GeodbMp e Dsm1m 28
Figura 22 Sezione in progetto canale San Giovanni. 31
Figura 23 Sezione in progetto per eventuale ampliamento canale San Giovanni 31
Figura 24 Area fociva del canale Torangius 35
Figura 25 Aree orientate in direzione nord-sud 36
Figura 26 stralcio Carta Tecnica Italia Meridionale 1974 37
Figura 27 Stralcio IGM 1950 37
Figura 28 andamento del terreno nel tratto attiguo alla linea ferroviaria 38
Figura 29 Dtm 1m su base IGM 25000 39
Figura 30 Sezione colta sulla fascia litoranea su Dtm 1m 40
Figura 31 -Elementi che concorrono al bilancio idrologico del processo "afflussi-deflussi" 42
Figura 32 – Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad. Ricerca n°9 dell'Università di Cagliari, 1997). 47
Figura 33 – Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna. In ciascuna zona I parametri del modello TCEV sono riportati in Tabella 8. (da Deidda ed. al., 1993) 47
Figura 34 Transetto di calcolo con campo di velocità, in estrema destra la presenza di un'area di cava 70

Indice delle tabelle

Tabella 1 Formule utilizzate per la stima del tempo di corrivazione 50
Tabella 2 Elementi morfologici di bacino e indicazioni idrologiche 53
Tabella 3 Quadro di sintesi dei tempi di corrivazione determinati..... 53
Tabella 4 Indicazione delle valutazioni di piena determinate con il metodo indiretto 54
Tabella 5 -Portate di progetto in m3/s..... 62

1 PREMESSA

I sottoscritti Ing. Alessandro Salis, Dott. Geol Roberta Sanna e Dott. Geol Fausto Alessandro Pani, sono stati incaricati di predisporre lo *Studio di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica*, come richiesto dall'art.8 comma 2 delle NTA del PAI.

La relazione in oggetto contiene le risultanze dello studio effettuato in ottemperanza a quanto disposto dagli articoli 8 e 26 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. all'interno del territorio Comunale.

Le N.T.A. del PAI richiamano i seguenti articoli:

ARTICOLO 8 Indirizzi per la pianificazione urbanistica e per l'uso di aree di costa

2. Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal P.A.I., in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici anche di livello attuativo e di varianti generali agli strumenti urbanistici vigenti i Comuni […] assumono e valutano le indicazioni di appositi studi di compatibilità idraulica geologica e geotecnica, predisposti in osservanza dei successivi articoli 24 e 25, riferiti a tutto il territorio comunale o alle sole aree interessate dagli atti proposti all'adozione.

5. In applicazione dell'articolo 26, comma 3, delle presenti norme negli atti di adeguamento dei piani urbanistici comunali al P.A.I. sono delimitate puntualmente alla scala 1: 2.000 le aree a significativa pericolosità idraulica o geomorfologica non direttamente perimetrate dal P.A.I.

ARTICOLO 26 Aree pericolose non perimetrate nella cartografia di piano

1. Possiedono significativa pericolosità idraulica le seguenti tipologie di aree idrografiche appartenenti al bacino idrografico unico della Regione Sardegna:
a. reticolo minore gravante sui centri edificati;

[..]

3. Per le tipologie di aree indicate nei commi 1 e 2 le prescrizioni applicabili valgono all'interno di porzioni di territorio delimitate dalla pianificazione comunale di adeguamento al P.A.I., ai sensi dell'articolo 8, comma 5. […].

4. Alle aree elencate nei precedenti commi 1 e 2, dopo la delimitazione da parte della pianificazione comunale di adeguamento al P.A.I., si applicano le prescrizioni individuate dalla stessa pianificazione

comunale di adeguamento al P.A.I. tra quelle per le aree di pericolosità idrogeologica molto elevata, elevata e media.

L'applicazione delle disposizioni di cui sopra evidentemente recepisce gli intendimenti di quanto già indicato nella L. 183/89 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo che all'art. 1 recita: *La presente legge ha per scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi* e anticipa i dettami del disposto del Testo Unico sull'Ambiente (D.L. 152/06) che all'art. 53 richiama le finalità legate al risanamento idrogeologico del territorio tramite la prevenzione dei fenomeni di dissesto. L'adempimento di quanto sopra richiamato passa in prima analisi attraverso lo studio delle interazioni tra il reticolo idrografico, l'attività antropica esistente, e le ipotesi relative ad eventuali ulteriori e successive fasi di pianificazione urbanistica.

Il risultato dell'analisi di cui sopra è l'individuazione di aree caratterizzate da possibili coinvolgimenti da parte di aree di esondazione o da situazione di puntuale criticità.

In termini di interazione con gli strumenti di pianificazione territoriale, l'indagine si traduce nell'eventuale apposizione di vincoli di vario grado, passando alla sostanziale in edificabilità (Zone H_{i4}, H_{i3}), alla edificabilità soggetta a prescrizioni specifiche (Zone H_{i2}), sino alla totale mancanza di condizionamento(Zone H_{i1}).

Si rileva che il processo di antropizzazione va visto nella generalità dei casi non solamente come atto esclusivamente edificatorio, ma anche legato alla pratica agraria che ha, in alcuni casi, confinato in maniera rilevante il percorso naturale del deflusso.

La presente relazione, si articola secondo successive fasi di approfondimento; in particolare il documento si suddividerà secondo i seguenti passi:

<u>Inquadramento territoriale</u>:

Consegna una breve descrizione del territorio comunale unitamente all'elencazione del quadro informativo territoriale utilizzato.

<u>Configurazione del sistema idrografico</u>:

Riporta un'elencazione delle aste fluviali principali e dei compluvi di cui si è potuto definire una quadro conoscitivo sulla base delle informazioni cartografiche e delle conoscenze locali.

Analisi idrologica:

Oltre ad una breve rassegna relativa alla interpretazione del fenomeno con relativa metodologia di calcolo, sono richiamate:

- ✓ le grandezze caratteristiche che contraddistinguono il bacino scolante afferente alle sezioni di chiusura delle aste in esame;
- ✓ le grandezze idrologiche necessarie per la determinazione del valore della precipitazione.
- ✓ determinazioni numeriche delle portate di calcolo.

Analisi idraulica:

La prima fase è destinata all'illustrazione del fenomeno fisico e al relativo codice di calcolo utilizzato, successivamente, sono consegnate le elaborazioni numeriche; profili, sezioni e tabulati numerici sono consegnati negli allegati.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA DI STUDIO

Il comune di Oristano è posto nel versante centro-occidentale della Sardegna, e risulta delimitato a sud dal territorio di Santa Giusta e Palmas Arborea, a nord dai Comuni di Cabras, Nurachi, Baratili S. Pietro, Zeddiani, Siamaggiore, ad est dal territorio di Simaxis, e Villaurbana e ad Ovest dal mare. L'area oggetto di studio è inquadrata all'interno dell'intero territorio comunale e si estende per una superficie di circa 85,7 Km².

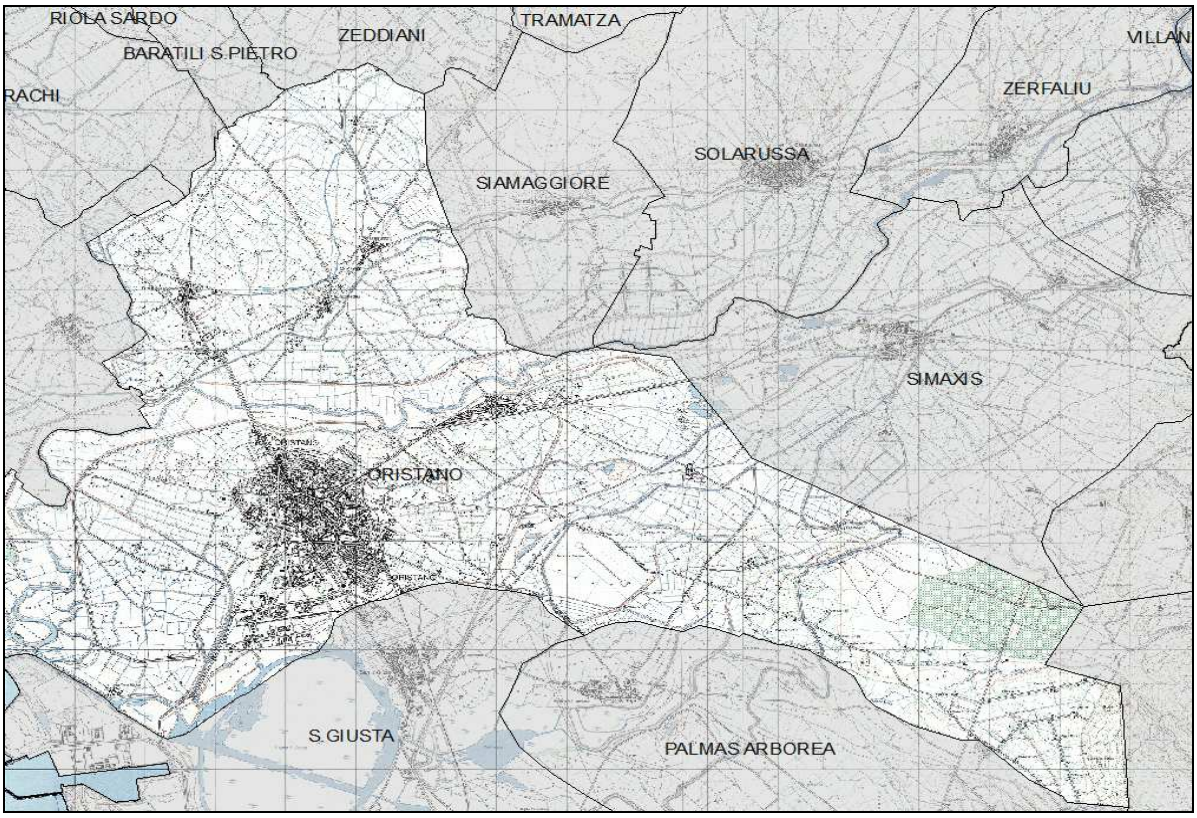


Figura 1 Inquadramento territoriale

Dal punto di vista morfologico, una visione generale consegna un territorio prevalentemente pianeggiante, eccezion fatta per i lievi rilievi della parte sud orientale del territorio comunale ,caratterizzati da quote massime di poco superiori ai 200 metri in corrispondenza della Costa Pisu a nord di Monte Arci.

La distribuzione delle quote nel territorio comunale e consegnata di seguito:

da quota -1.4 m s.l.m.	a quota 10 m s l.m.	46.1 Km2	54.1%
da quota 10 m s.l.m.	a quota 20 m s l.m.	30.7 Km2	36.0%

da quota 20 m s.l.m.	a quota 50 m s l.m.	6.5 Km2	7.6%
da quota 50 m s.l.m.	a quota 75 m s l.m.	1.2 Km2	1.4%
da quota 75 m s.l.m.	a quota 100 m s l.m.	0.2 Km2	0.2%
da quota 100 m s.l.m.	a quota 215 m s l.m.	0.5 Km2	0.6%

L'immagine successiva, realizzata con analisi sul DTM 10 m (v. *Figura 2*) fornito dalla RAS, evidenzia un territorio con una superficie contenuta entro i 20 m per il 90% del suo territorio, e solo un 1% superiore a 100 m. In particolare, l'immagine consegna le variazioni altimetriche all'intero del territorio comunale, eseguita su DTM riclassificato.

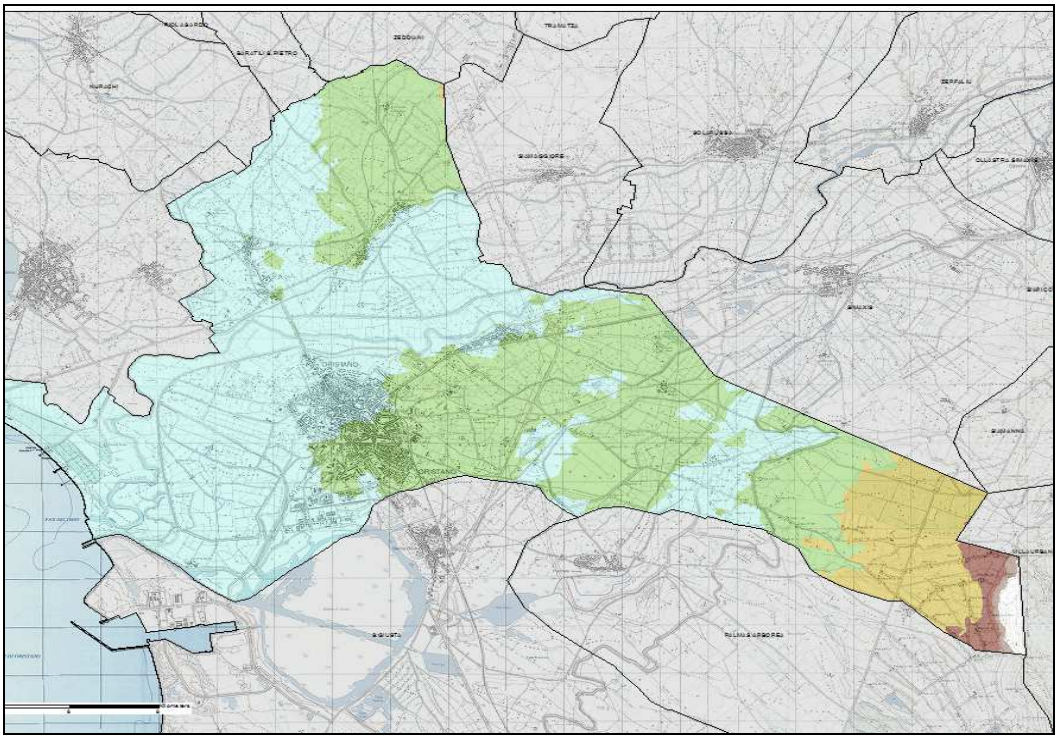


Figura 2 Elaborazioni cartografiche tratte dal DTM 10 m fornito dalla RAS

Per quanto concerne le pendenze riscontrate, l'83% del territorio comunale presenta acclività inferiori al 2%, e circa il 99 % in cui la pendenza è inferiore al 10% (v. Figura 3).

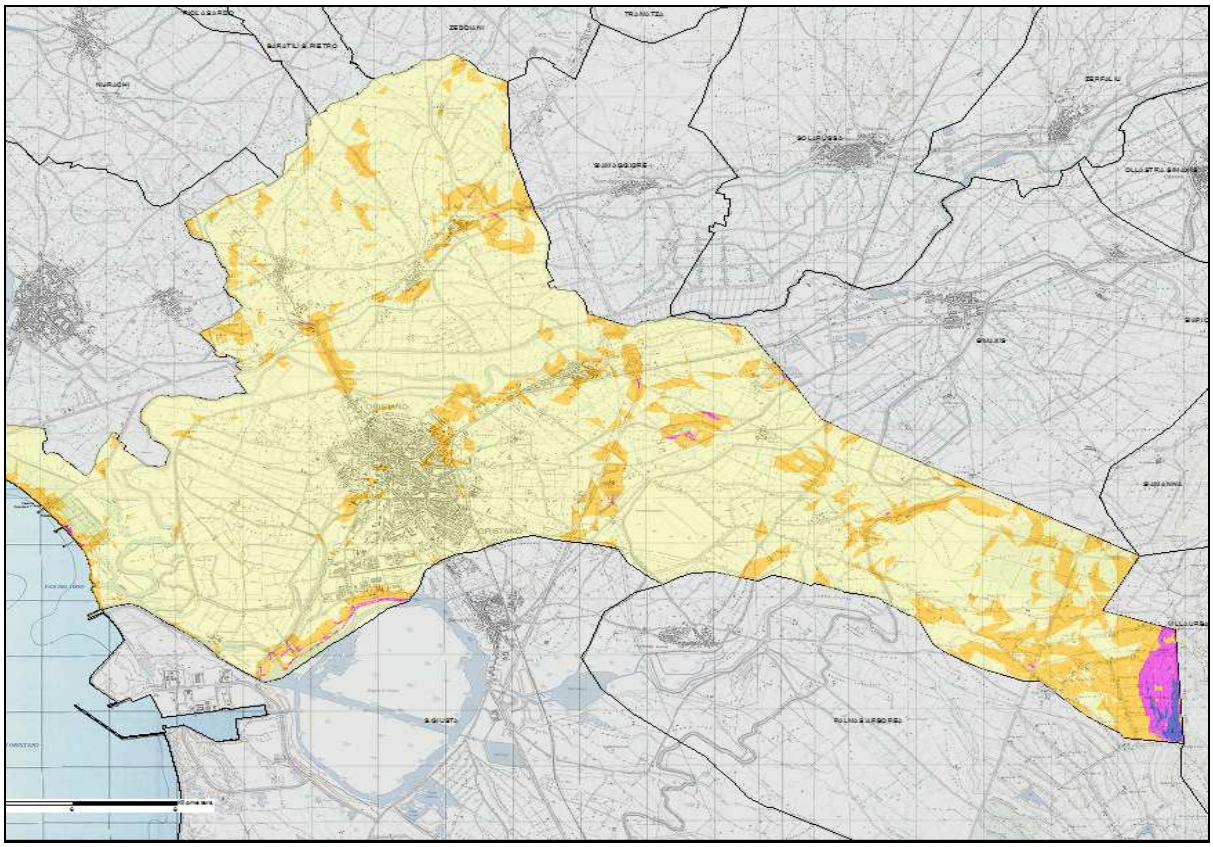


Figura 3 Carta dell'acclività del territorio comunale

3 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA IDROGRAFICO

L'idrografia generale dell'area in esame è incentrata nell'interno del bacino del fiume Tirso, mantenendosi a nord il bacino del Rio Mare Foghe e a sud il bacino del Rio Mogoro (v. Figura 4); negli ultimi 25 Km circa del suo percorso, all'altezza dei comuni di Ollastra in sinistra idraulica e di Zerfaliu in destra idraulica, il corso del fiume è arginato, impedendo quindi che i contributi dei bacini esterni vadano a confluire sul fiume stesso (Figura 5).

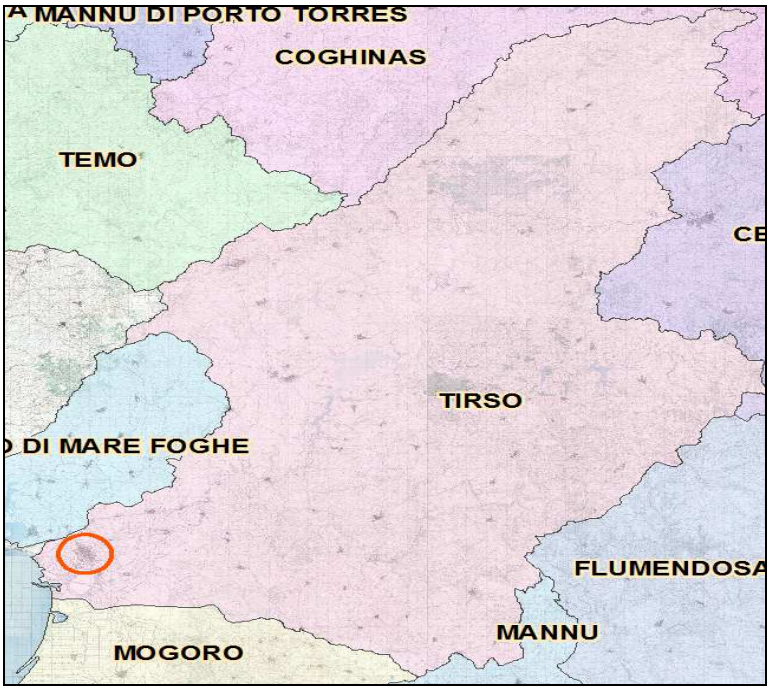


Figura 4 Sistema dei bacini principali

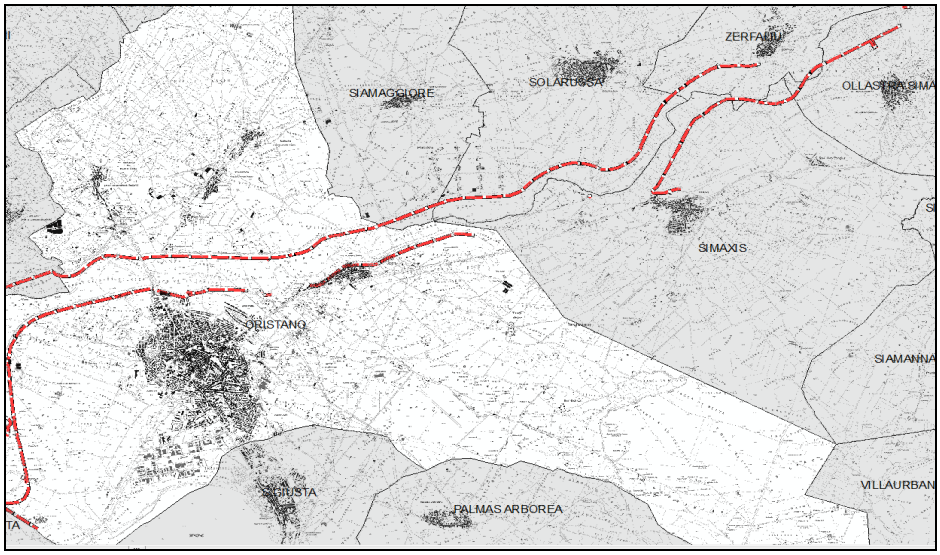


Figura 5 Arginature del tirso

L'insieme della morfologia e della presenza delle opere determina quindi due aree a nord e a sud, la prima riconducibile al sistema S'Aoru/Bennaxi.

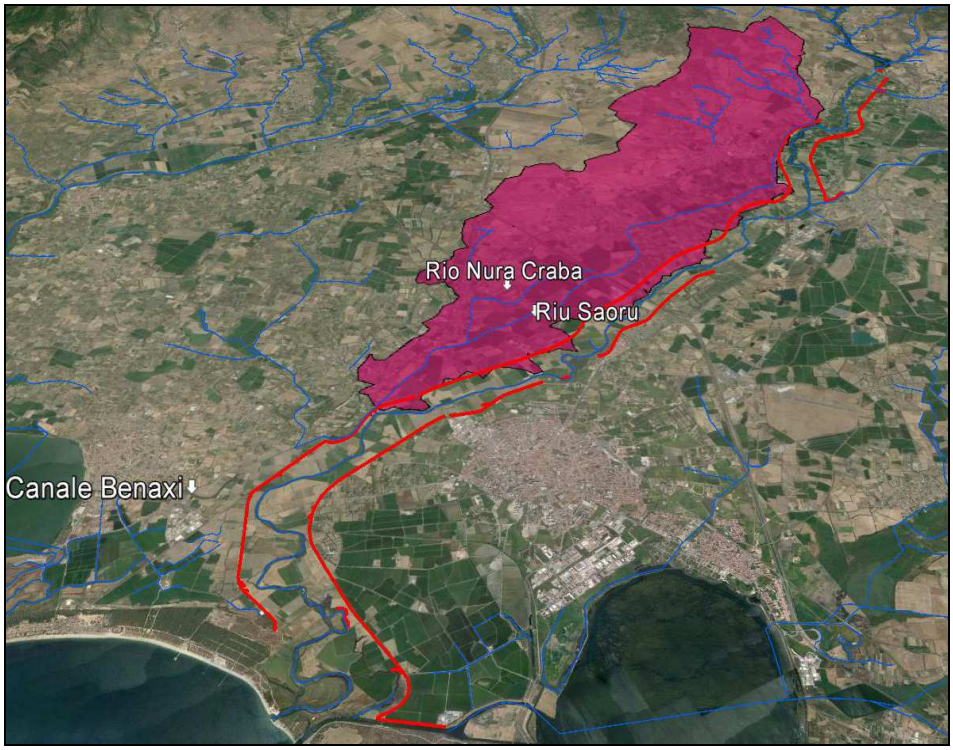


Figura 6 Rappresentazione del sistema S'Aoru-Benaxi

La seconda, riconducibile ai bacini a sud del Tirso e provenienti principalmente dal versante nordoccidentale del monte Arci, individua due sottobacini principali: il rio Tumboi (o Roia Sa Murta) e il Rio Merd'e Cani. Sempre a sud del Tirso, tra l'argine e il Rio Merd'e Cani, è evidente una vasta area estremamente pianeggiante solcata dal Canale di Bonifica Spinarba.

Le due immagini successive consegnano una rappresentazione schematica dell'intero comparto drenante a sud del Tirso, la prima su base cartografica satellitare, la seconda su base informativa tratta dal DTM 10m.

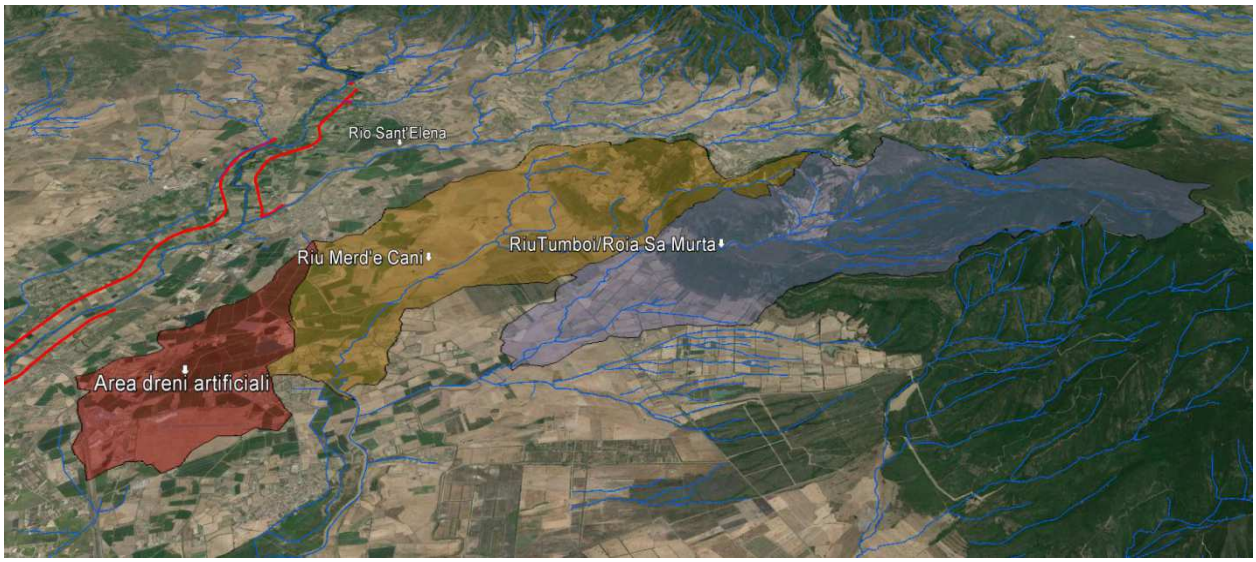


Figura 7 Sistema drenate du base Google Earth

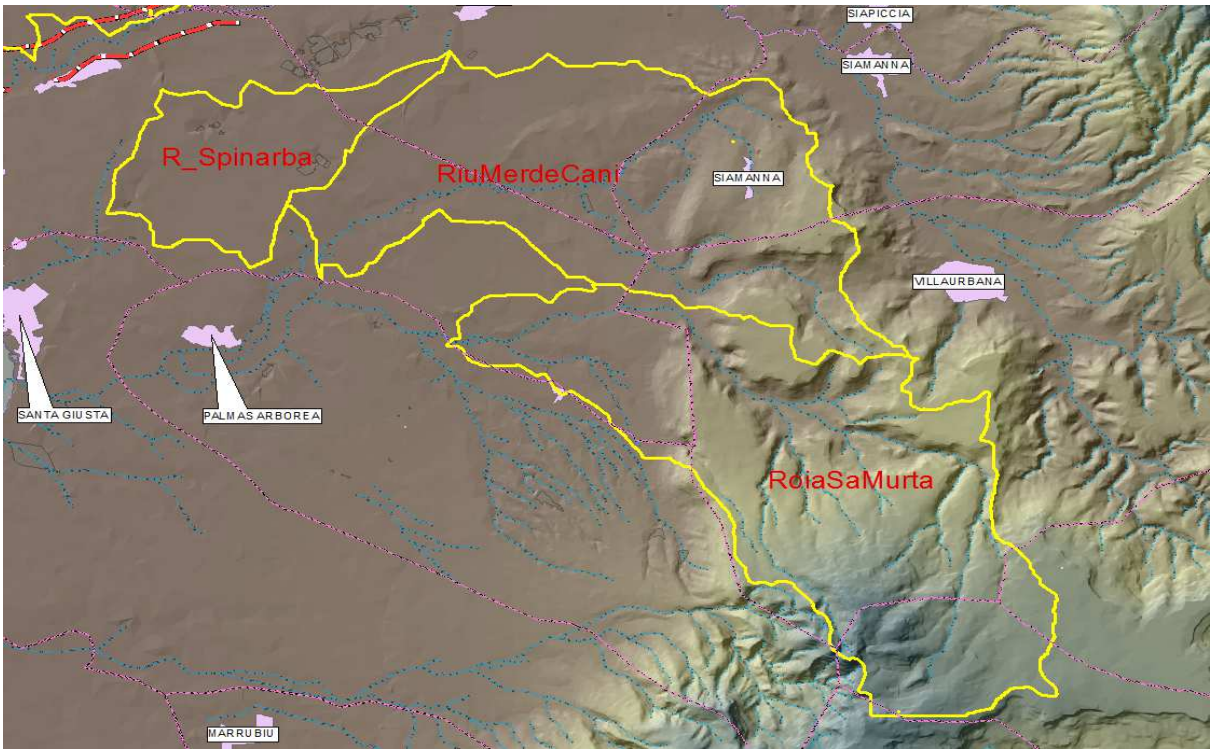


Figura 8 Sistema drenate su base Dtm 10m

3.1 SISTEMA A NORD DEL TIRSO (TANUI-SAURU)

Il bacino nella sua interezza ha origine a nord del territorio comunale di Zerfaliu, nell'area prossima al Nuraghe Pidighi a quota 99 m slm. L'asta principale scorrendo in direzione nord sud costeggia ad ovest l'abitato di Zerfaliu e successivamente piega scorrendo parallelamente all'argine destro del Tirso. Poco prima del cambio di direzione attraversa il canale di irrigazione denominato Adduttore destro Tirso che dalla Diga di Santa Vittoria alimenta i comparti irrigui della bassa valle del fiume.

Proseguendo verso occidente, in corrispondenza del tratto prossimo all'abitato di Solarussa, gli si affianca il Rio Nura Craba; i due rii si sviluppano parallelamente all'argine sinistro e rimanendo distanziati tra loro per circa un chilometro, fungendo sostanzialmente da elementi di rottura dei deflussi naturali che avvenivano verso il Tirso; sostanzialmente fungono da colatori destri del Tirso Stesso. Evidentemente in condizioni estreme, le sezioni degli stessi non sono tali da contenerne le piene e le stesse ricadono quindi nelle aree contermini unendosi alle aree di pericolosità idraulica del Tirso..

La successiva immagine consegna una sezione trasversale del F. Tirso con evidenziate le l'ubicazione degli alvei dei due rii S'Aoru e Nura Craba.

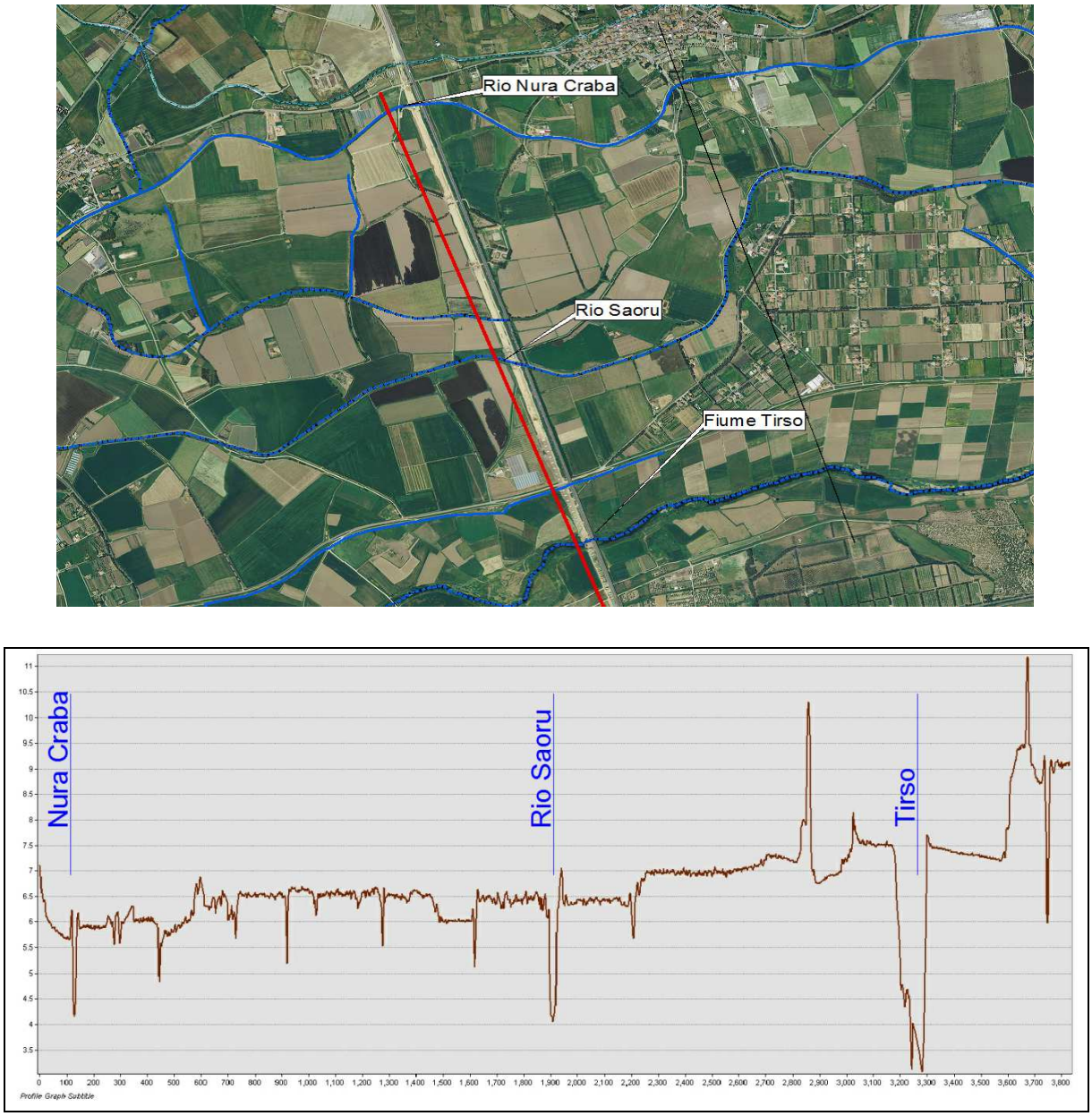


Figura 9 Planimetria e sezione di un transetto generico sul Tirso

Proseguendo verso sud le due aste fluviali si incontrano a sud di Nuraxinieddu, successivamente sempre di direzione ovest-est, dopo circa dieci chilometri si immettono nello stagno di Cabras a sud dell'omonimo centro.

Nell'ultimo tratto il corso d'acqua assume il toponimo di Canale di Bonifica a Marea Benaxi.

3.2 SISTEMA A SUD DEL TIRSO

Come indicato precedentemente, il sistema dei deflussi richiama tre aree drenanti:

1. il rio Merd'e Cani
2. il sistema Roia Sa Murta/Tumboi
3. il rio Spinarba.

3.2.1 Rio Merdegani

Il Rio Merd'e Cani ha origine nel territoro comunale di Siamanna in località Campu Isquidda a nord della SP 68. A nord dello stresso scorre il bacino del Rio Sant'Elena che si immette sul Tirso all'altezza di Simaxis.

Il Rio Merd'e Cani prosegue il suo corso in direzione sud ovest raccogliendo in sponda sinistra i rii che provengono la rilievo di Pranu Sara a Vilaurbana: si tratta di alcuni compluvi di ridotte dimensioni (qualche ettaro) che contrinuiscono al deflusso del fiume. In questo tratto, come per'altro in tutto il suo sviluppo, le pendenze del fiume sono ridotte superando un dislivello di 34 m in 4 Km, con una pendenza media dell'ordine si 0.08 %. Pendenza che se rapportata al fatto che si tratta di una porzione sommitale dell'asta fluviale, può a ben ragione definirsi estremamente bassa.

Alla fine di questo tratto, ovvero dopo quattro chilometri dall'origine, incontra il suo primo importante immissario, il Rio Ilixi che nella parte iniziale assume il nome di Riu Florissa.

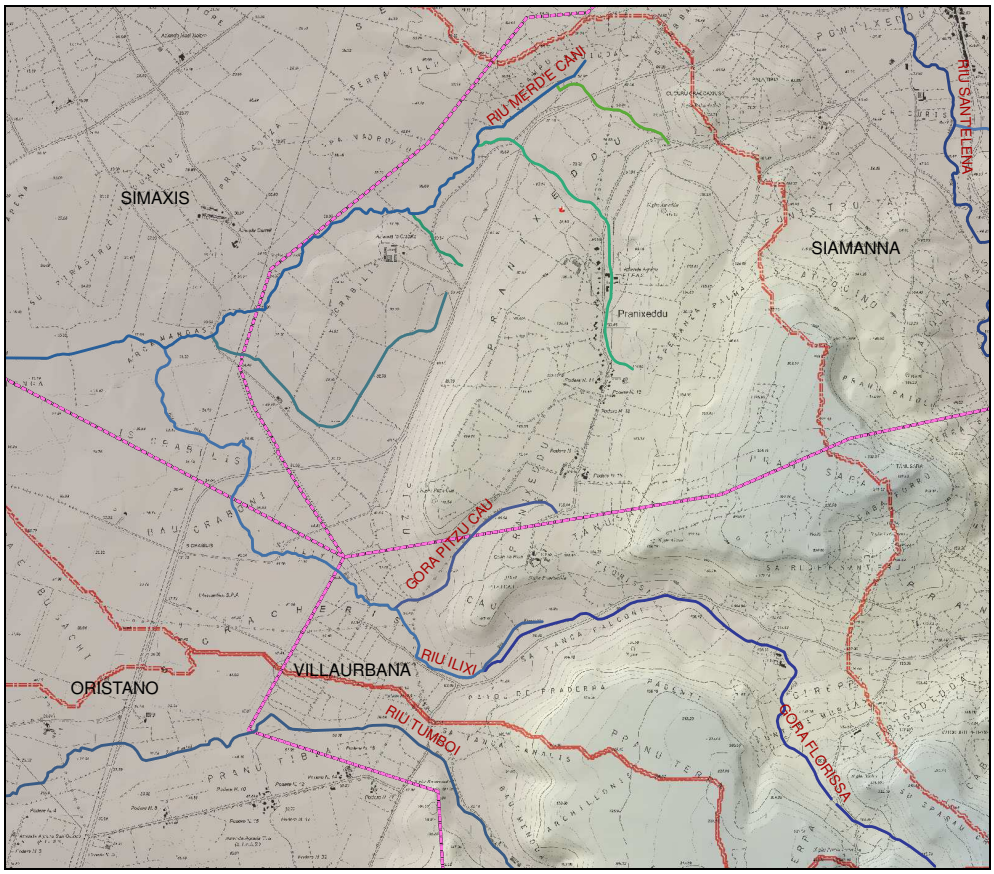


Figura 10 Sistema idrografico su DTM 10m

Quest'ultimo ha origine nella vallecola compresa tra il rilievo di Pranu Sara in destra idraulica e il rilievo di Pranu terra in sinistra idraulica. Il Riu Ilixi confluisce sul rio Merd'e Cani immettendosi in sinistra idraulica in località Arca Mandas, a quota 18 m slm, in un contesto territoriale caratterizzato dalla presenza di colture seminative irrigue e prati artificiali. Il corso d'acqua, superato il canale irriguo Tirso Arborea, assume pendenze progressivamente minori, attestandosi su valori di qualche unità per mille e incisioni dell'alveo ridotte, tali comunque da veicolare esclusivamente le portate ordinarie.

3.2.2 Rio Roia Sa Murta

Il Rio Roia Sa Murta è caratterizzato dall'avere una parte sommitale con un reticolo idrografico estremamente ramificato e proveniente dal versante nord orientale del monte Arci.

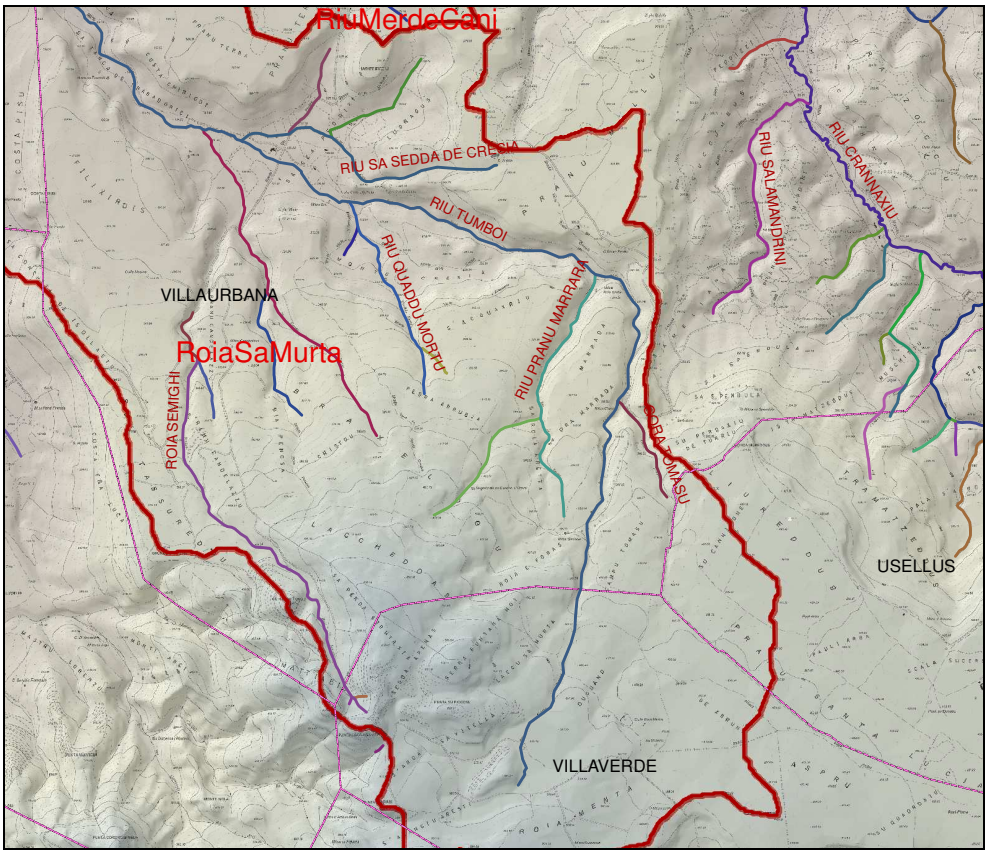


Figura 11 Sistema idrografico su DTM 10m

L'elemento di maggiore rilevanza è il Rio Tumboi, che ha origine in agro di Villaverde in località Roia Menta a quota 560 m slm; proseguendo verso valle in direzione sud-nord va ad interessare il territorio di Villaurbana, piega in sinistra idraulica dopo circa 5 Km dall'origine dopo che gli si affiancano in destra il Gora Tomasue e in sinistra idraulica il Rio Pranu Marrara. Il contesto ha una quota di circa 235 m slm: in questa prima fase il sistema idrografico ha un'elevata pendenza con valori che si attestano sul 6 - 7%.

Piegando in sinistra idraulica, il fiume scorre incontrando in destra idraulica il rio Sedda Sa Cresia e in sinistra il Rio Sa Grutta e Santas: sono bacini relativamente acclivi con una superficie poco superiore al chilometro quadrato, e il primo tratto di circa 2 km continua a mantenere una pendenza di tutto rispetto, con valori che si attestano su 5%. Successivamente si ha una brusca riduzione della pendenza con valori che progressivamente si riducono, assumendo in corrispondenza dell'immissione con il Rio Sa

Grutta e Santas valori dell'ordine dell'1%: il rio si infila in una stretta gola denominata Sa Tanca de Srabadorici, con una pendenza longitudinale che tende ancora a ridursi avvicinandosi al limite comunale.

All'interno del territorio comunale il rio scorre per circa 3.5 Km, in direzione est-ovest: le pendenze sono modeste, poco inferiori all' 1%, e vanno ulteriormente a ridursi quando, abbandonato il territorio di Oristano, si inoltra nel territorio di Palmas Arborea incontrando in sinistra i Rio Zeddiani di cui assume il nome. Il rio Zeddiani, superato l'adduttore Tirso Arborea, si inoltra nella località Su Barroccu e' su Para, un'area sostanzialmente pianeggiante occupata da seminativi e colture orticole.

3.2.3 Rio Spinarba

Il rio Spinarba, ha origine all'interno del territorio comunale di Simaxis, in un'area impiegata per la coltivazione del riso, come indicato nello strato informativo allegato alla DELIBERAZIONE N. 3 DEL 30.07.2015 avente ad oggetto *Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs.49/2010 "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni – Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico della Regione Autonoma della Sardegna — Reticolo idrografico di riferimento per le finalità di applicazione delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI e delle relative Direttive.* L'elemento idrico è individuato come elemento artificiale, ed infatti ha la finalità di drenare le acque zenitali e irrigue e ricondurle verso le aree più vallive.

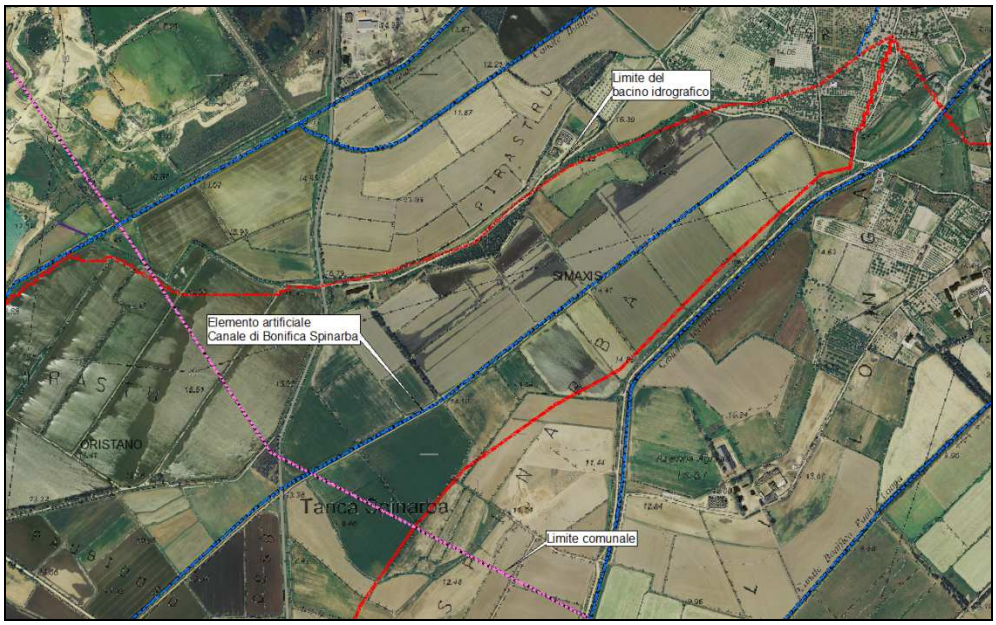


Figura 12 Sommitale del bacino del rio Spinarba

La natura del sistema drenante, riconducibile al canale di Bonifica Spinarba, si conferma sostanzialmente in tutto il comparto da esso attraversato: in particolare, non si tratta di un compluvio dettato dall'orografia presente ma sostanzialmente di una rete di bonifica realizzata al fine di drenare le acque dei vari comparti agricoli. L'estrema planarità delle aree attraversate comporta una naturale propensione alla stazionarietà dei deflussi, arrestati dalla fitta rete di viabilità interpoderale che caratterizza il sistema.

In particolare, all'interno del territorio di Oristano, va ad interessare un contesto agricolo a vocazione risicola. Questa condizione influisce in maniera considerevole sulle caratteristiche di deflusso delle aree drenanti.

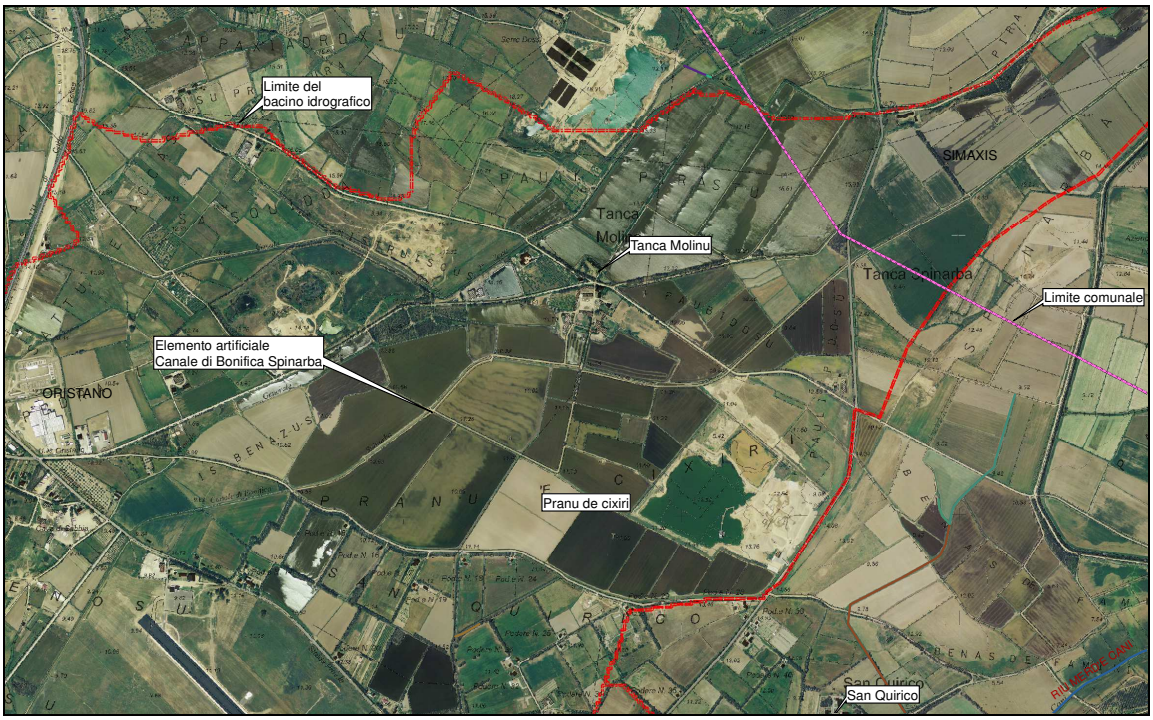


Figura 13 Canale Spinarba nel suo tratto centrale

Proseguendo progressivamente verso valle, il sistema dei deflussi segue principalmente la linea del canale Spinarla, e ad esso si affiancano i sistemi di canalizzazione artificiali dei vari canali perimetrali dei comparti agricoli.

Come più specificatamente descritto nel seguito, l'individuazione delle aree interessate dalla pericolosità idraulica in queste aree non potrà essere ricondotta ad analisi tradizionale di tipo afflussi deflussi, ma verterà in maniera considerevole su una interpretazione immagini satellitari o altra documentazione, riconoscendo ai comparti risicoli un livello di pericolosità legato al persistere di un tirante idrico di cui non si può non tenere conto.

Proseguendo verso valle, il canale si trova costretto tra due aree la cui quota topografica assume valori maggiori: in destra un comparto industriale prossimo alla S.P. 57, e in sinistra l'aeroporto di Fenosu.

Il Canale costeggia il confine Ovest dell'aeroporto per circa 1400 m scostandosi successivamente da esso in direzione nord sud.

Figura 14-Sistema drenante

La successiva immagine consegna l'andamento del canale nell'intorno della struttura aeroportuale, con indicazione dell'andamento del terreno.

Indipendentemente da situazione puntuali e intrinseche nell'approssimazione dell'informazione, si può evincere la presenza di una pendenza estremamente bassa riconducibile a valori dell'ordine di qualche unità per mille.

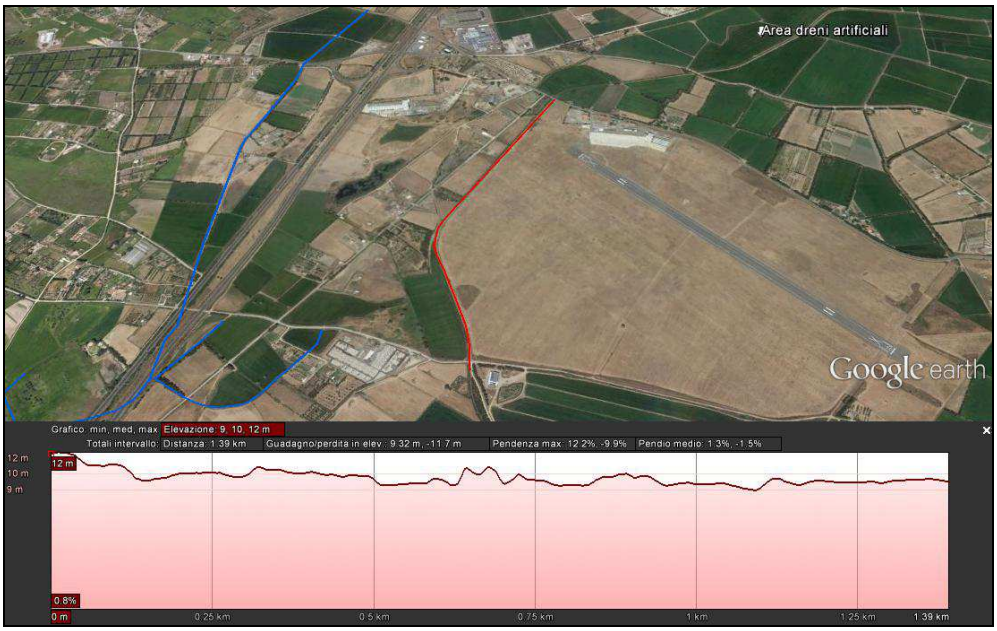


Figura 15 Andamento del canale Spinarba in prossimità dell'aeroporto

Successivamente, sempre con pendenze esigue il canale tende ad attraversare le aree agricole per immettersi successivamente sullo stagno.

3.3 DRENI MINORI

Una specifica nota va riferita alle aree non ricompresse all'interno dei bacini o superfici precedentemente indicate; la scarsissima pendenza del contesto intorno ad Oristano ha determinato un'estrema variabilità di risposta del territorio nei confronti delle precipitazioni intense.

La presenza dell'argine sinistro del Tirso, la SS 131 e la linea ferroviaria ad ovest dell'abitato hanno sostanzialmente definito un'area disgiunta dagli apporti dei bacini esterni. Giova rilevare che la scarsissima pendenza sia della rete drenante che delle aree, ha determinato, come evidenziato nel proseguo, vaste aree di esondazione con tiranti idrici modesti e velocità di deflusso stanzialmente nulle. Sono aree sulle quali l'acqua va sostanzialmente a stagnare non avendo un adeguato gradiente che le consenta lo sbocco a mare.

Le aree di cui si fa cenno riguardano essenzialmente :

- un'area compresa tra l'abitato di Oristano e l'argine sinistro del Tirso;
- una seconda area tra l'abitato e la SS 130 e la linea ferroviaria.

La prima area, è morfologicamente riconducibile all'ampia area di pertinenza fluviale della zona fociava del Tirso: l'argine sinistro impedisce l'afflusso delle portate verso il fiume che conseguentemente tendono a persistere nelle aree esterne, andando ad alimentare il canale Torangius. Quest'ultimo è stato oggetto di un recente intervento progettuale con il quale è stata ridefinita la sezione idraulica per una portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.

L'intervento di risagomatura della sezione idraulica è facente parte del progetto di adeguamento viario predisposto dalla Provincia di Oristano. Nell'ambito del progetto di Costruzione della Circonvallazione nord-ovest Oristano, si prevede uno spostamento, un adeguamento in forma e rivestimento del canale Torangius, nonché una ridefinizione della sezione idraulica con un rivestimento in cls dell'alveo.

Di sotto si consegnano due immagini relative all'area di intervento e alla sezione tipo dell'intervento, quest'ultimo tratto dal progetto.

L'intervento prevede un allargamento del canale per un tratto superiore ad un chilometro a partire dalla sezione colta in corrispondenza del centro commerciale in sponda sinistra al Tirso lungo, prossimo all'argine lungo la SP54.

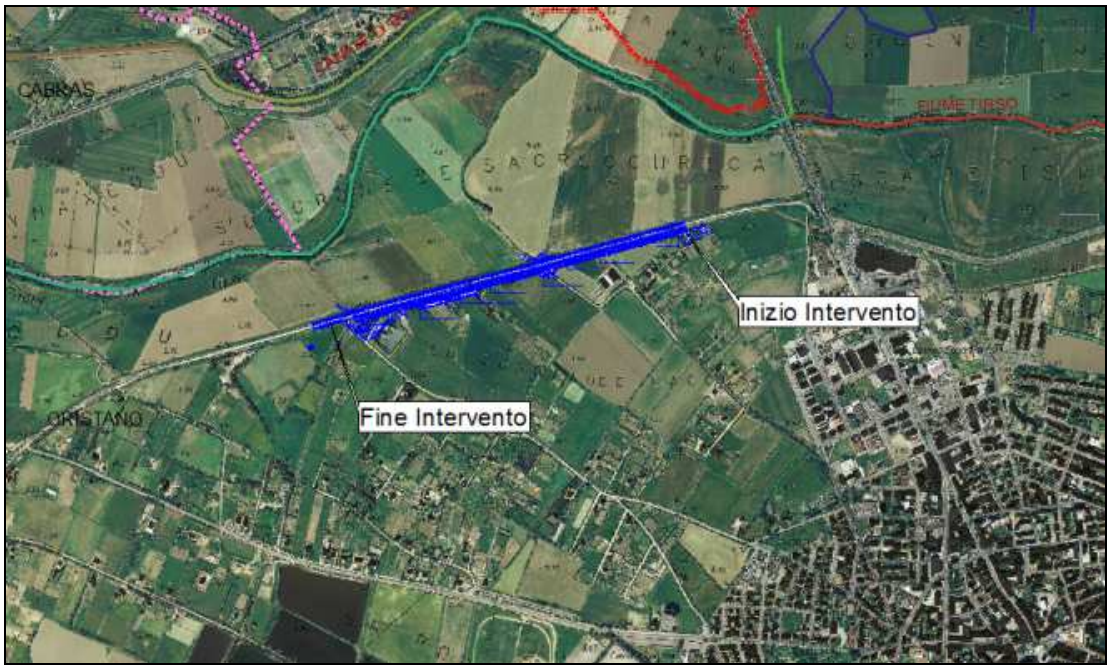


Figura 16 Intervento di sistemazione sul canale Torangius

Sono di seguito riportate le considerazioni idrologiche e idrauliche tratte dalla relazione di compatibilità idraulica assunte alla base del progetto.

In corsivo si richiamano gli elementi del progetto.

Ai fini della determinazione della portata di piena del bacino, è stato preliminarmente individuato su cartografia tecnica regionale 1:10.000 il bacino e successivamente, utilizzando un programma CAD, in corrispondenza di ciascuna sezione di interesse sono stati determinati l'area del bacino scolante e la lunghezza dell'asta di canale a monte. I valori ricavati sono i seguenti:

- sezione a valle del contraffosso di Silì: A = 3,83 km2; L = 4,93 Km; pmed = 4.5 m slm

- sezione 0 tratto stradale in progetto: A = 4,86 km2; L = 6,95 Km; pmed = 3.9 m slm (inizio tratto)

- sezione 32 tratto stradale in progetto: A = 5,46 km2; L = 8,15 Km; pmed = 3.5 m slm (fine tratto)

[...]

Nel caso in esame si è considerato che il bacino del canale San Giovanni è inquadrabile nel tipo ideologico di suolo B ed è costituito in linea di massima per il 80% da aree di campagna (spazi aperti con manto

erboso superiore al 75% con CN = 61) e per il 20% da aree urbanizzate (zone residenziali con lotti fino a 500 mq con CN = 85).

Pertanto si ricava il valore ponderale del parametro CN = 0,80x61 + 0,20x85 = 65,8.

Per tener conto dello stato iniziale di umidità del suolo al verificarsi della pioggia critica il parametro CN è stato corretto con le formule sopra riportate ottenendo il valore: CN(III) = 81,56.

E' stato quindi ricavato il valore di S (S= 57,36 mm) e quindi il valore della pioggia netta hnetta.

Poiché è risultata la pioggia lorda per il tempo di ritorno di 200 anni hlorda = hc = 254,76 mm, si ricava hnetta = 196.83 mm.

Pertanto il valore del coefficiente di afflusso □□ risulta: □□ = 196.83 mm/254,76 mm = 0,77.

Per il bacino in esame il coefficiente di laminazione □□ può essere posto pari a 0,9 e pertanto risulta un coefficiente di deflusso φ = 0,77x0,9 □□ 0,7.

[...]

Sono state proposte numerose formule empiriche per la determinazione del tempo di corrivazione, affette tutte un notevole grado di incertezza. Nelle aree di pianura, dove l'influenza delle pendenze è bassa, è molto utilizzata la seguente formula dovuta a Pasini:

tc = 0,24 (A□ L)1/3

I valori di tc ricavati per i tre sottobacini studiati sono riportati nella Tabella 05

La portata di piena

Con i valori dei parametri determinati nei punti precedenti è stata calcolata per ciascun sottobacino la massima portata di piena.

Nelle Tabella 05 allegata nella pagina seguente sono riportati i valori di portata massima calcolati, con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni ed ai parametri caratteristici delle tre sezioni considerate della portata di piena corrispondente.

TABELLA 05 CALCOLO TEMPO DI CORRIVAZIONE E PORTATA MASSIMA SOTTOBACINI CANALE SAN GIOVANNI							
	A (Kmq)	L (Km)	t_c (giorni)	t_c (ore)	φ	h (mm)	Q_{max} (mc/sec)
Sezione Torangius - Pasini	3,83	4,928	0,64	15,34	0,70	221,8	**10,77**
Sezione inizio strada - Pasini	4,86	6,949	0,78	18,61	0,70	243,6	**12,36**
Sezione 32 strada - Pasini	5,46	8,152	0,85	20,41	0,70	254,8	**13,25**

Il progetto evidenzia che il bacino idrografico, dal punto di vista morfologico si estenderebbe sin quasi a Simaxis, raccogliendo lungo il suo percorso le acque provenienti dalle varie aree di bonifica: nella sostanza drena e recapita le portate di piena di un bacino ben inferiore.

Sulla base di quanto esposto nella la Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n.3 del 30.07.2015 all'art. 1, recita che:

1. 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 DBGT_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.

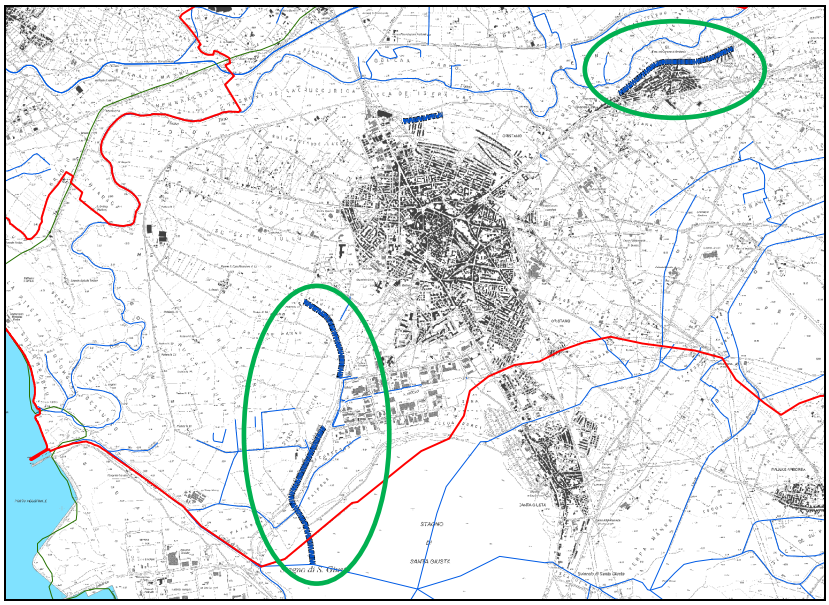


Figura 17 Idrografia GeobMP in evidenzia i tratti riconducibili al canale Torangius

Nel dettaglio il sistema drenante risulta interrato in corrispondenza di un tratto tombato poco a valle di Silì, in località Sa Maddalena.

Di seguito si consegnano le rappresentazioni grafiche su cartografia IGM disponibile e su cartografia del 1975 nell'area di Sa Maddalena.

Figura 18 Stralcio IGM 1990

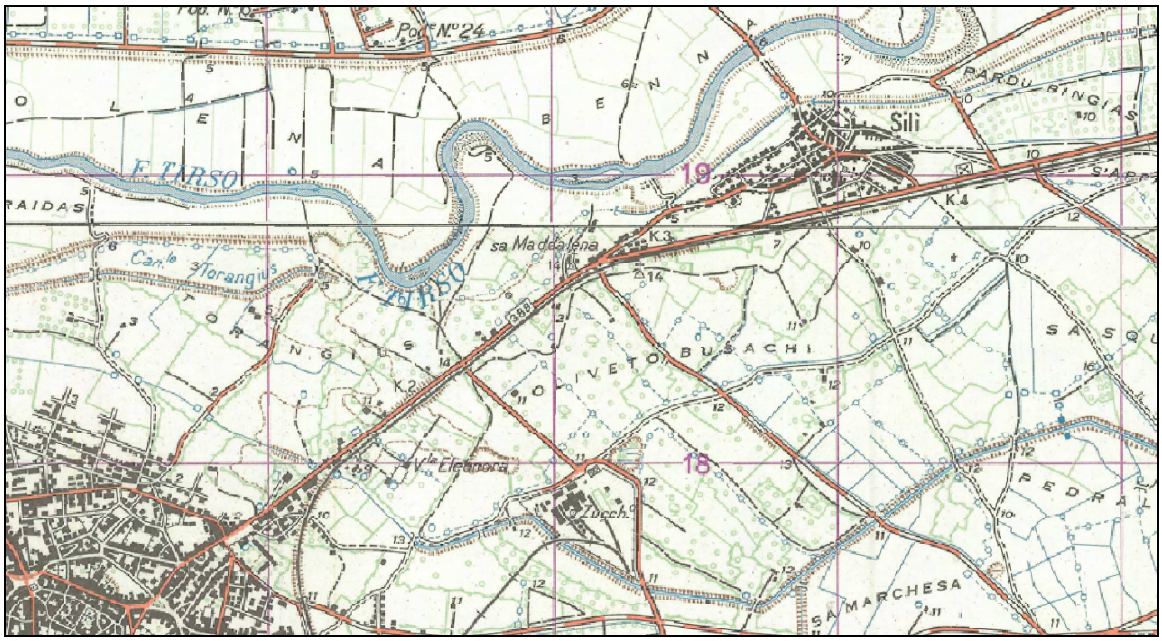


Figura 19 stralcio IGM 1960

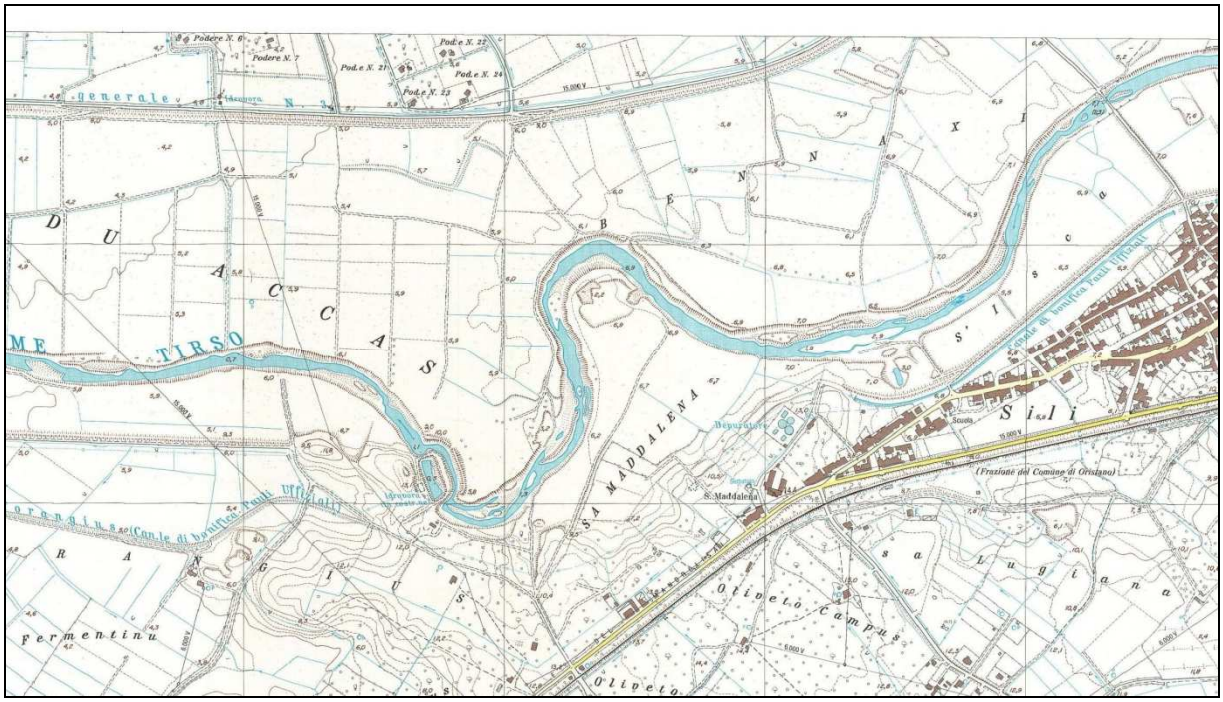


Figura 20 - 1974 Carta Tecnica Italia Meridionale

Sulla base del fatto che il tratto del canale risulta a deflusso limitato dalla capacità drenante del tratto coperto, la proposta progettuale della Provincia verte su due ipotesi:

- valutare l'apporto compatibile con il tratto coperto de Sa Maddalena sommato al bacino residuo;
- valutare la portata dell'intero bacino assumendo completamente pervio il tratto coperto.

Sulla base dell'immagine di seguito consegnata, si evidenzia che il tratto coperto è sostanzialmente una galleria che attraversa un alto topografico al quale si connette parte iniziale del'argine sinistro del Tirso.

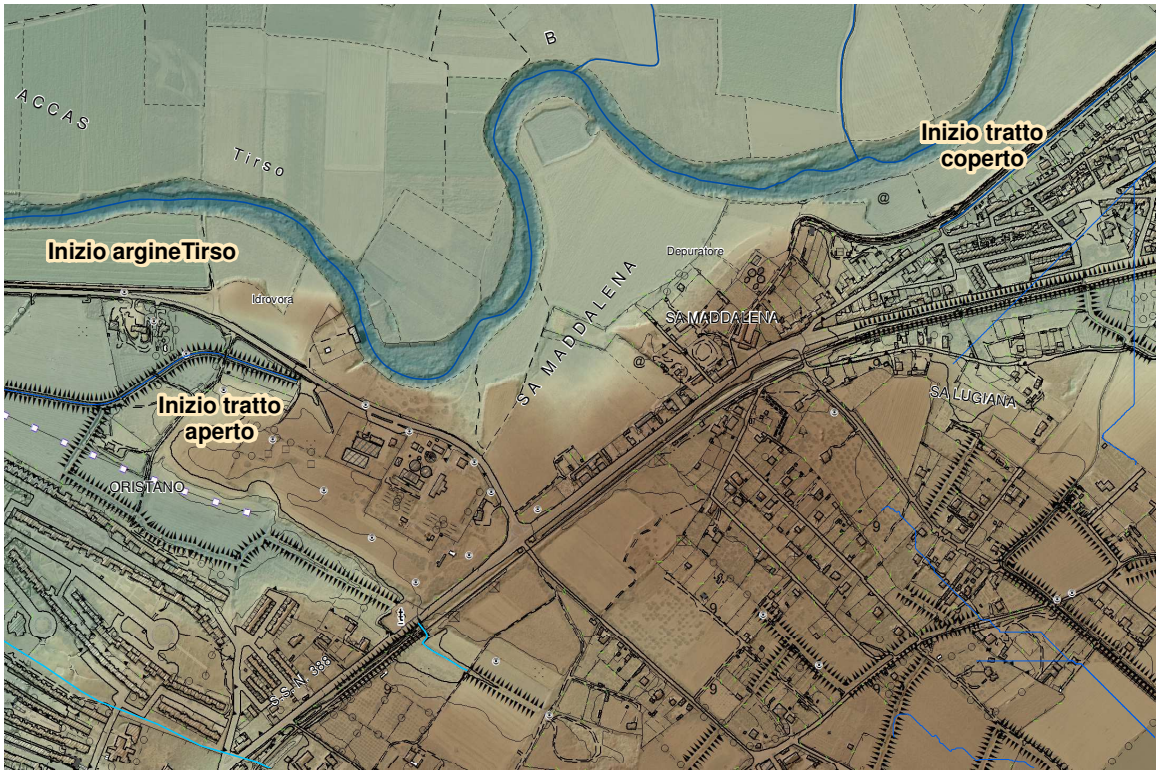


Figura 21 Dettaglio Sa Maddalena su GeodbMp e Dsm1m

Per quanto sopra è condivisibile ipotizzare il bacino parziale assumendo come di fatto è, e l'apporto dal tombato come esclusivo di un sistema drenante relativo a portate ordinarie.

Sulla base di quanto sopra si consegnano le considerazioni idrauliche proposte nell'ambito del progetto.

Verifica idraulica delle sezioni

La sezione tipica del canale San Giovanni a monte del contraffosso di Silì è costituita da un alveo di magra di sezione trapezia rivestito in calcestruzzo e da un alveo di piena con savanelle in terra e pareti trapezie sempre in terra.

In corrispondenza dell'altura della Maddalena il canale è costituito da un cunicolo interrato in mattoni di larghezza 1,00 m, altezza 2,00 m e lunghezza di oltre un chilometro. La copertura è realizzata con una voltina a botte e la copertura di terra in alcuni tratti è anche di alcuni metri.

La sezione tipica del canale San Giovanni a valle del contraffosso di Silì è costituita da un alveo di magra di sezione trapezia rivestito in calcestruzzo e da un alveo di piena con savanelle in terra e pareti trapezie sempre in terra.

In particolare la sezione di magra trapezia rivestita in calcestruzzo in questo tratto ha base 50 cm e sponde con scarpa 1/1 e altezza 50 cm. La sezione di piena ha una savanella della larghezza di 50 cm per parte in terra e sponde sempre in terra con scarpa 1/1 e altezza variabile in funzione dell'orografia dei terreni attraversati.

Nel tratto tombato in prossimità del Centro Commerciale (a monte del tratto interessato dal progetto stradale) la sezione è costituita da uno scatolare in cemento armato delle dimensioni nette 250 cm di base e 130 cm di altezza. Di sezione analoga sono anche dotati alcuni ponticelli presenti.

Nel tratto compreso tra la sezione 0 e la sezione 32 il canale San Giovanni riprende la sua tipica sezione composta costituita da una sezione trapezia di magra rivestita in calcestruzzo di base 50 cm e sponde con scarpa 1/1 e altezza 50 cm e da una sezione di piena con savanella della larghezza di 50 cm per parte in terra e sponde sempre in terra con scarpa 1/1 e altezza variabile in funzione dell'orografia dei terreni attraversati..

Come si evince dalla descrizione delle varie tratte del canale appena evidenziata, il bacino a monte dell'altura della Maddalena, che rappresenta la maggiore area scolante afferente al canale San Giovanni, ha un vincolo rappresentato appunto dal cunicolo che attraversa l'altura della Maddalena. Nella tabella 06 allegata è stata calcolata la massima portata che può defluire attraverso il cunicolo in moto uniforme. Come si vede il valore è piuttosto modesto (1,73 mc/s) e pertanto tutto il tratto di monte risulterebbe rigurgitato.

E' apparso dunque ragionevole prevedere nella fase attuale l'adozione, nella tratta di interferenza con la strada in progetto, una sezione che fosse in grado di smaltire con un abbondante franco la portata costituita da valore riferibile al bacino a valle della Maddalena, con l'incremento della portata che nelle condizioni attuali può defluire attraverso il cunicolo.

L'Amministrazione Provinciale ha tuttavia segnalato l'impegno ad ampliare la sezione trapezia, che attualmente si realizzerebbe se si verificasse la condizione di un deflusso libero del tratto di bacino a monte dell'altura della Maddalena, con la sezione più ampia che viene verificata nel proseguo della presente Relazione e con le ulteriori prescrizioni che dovesse ritenere di porre il Servizio del Genio Civile di Oristano.

Nel tratto del canale San Giovanni che interferisce con la strada di Circonvallazione nord – ovest di Oristano, tra le sezioni 0 e 32, pertanto nell'immediato si realizzerebbe la seguente tipologia di sezione:

1. un canale trapezio, in sostituzione di quello esistente, avente dimensioni maggiori e le seguenti caratteristiche: sezione trapezia interamente rivestita avente base 1,00 m, sponde con scarpa 3/2 e altezza 1,70 m. E' anche prevista, in prosecuzione delle sponde, una parte di raccordo con i terreni circostanti realizzata in terra con sponde aventi sempre scarpa 3/2, che garantisce un franco di altezza pari a circa 65-70 cm.

Nell'eventualità che si verificassero le condizioni di libero deflusso precedentemente indicate, vi sarebbe l'impegno da parte della Provincia di Oristano ad adeguare la sezione suddetta con la seguente:

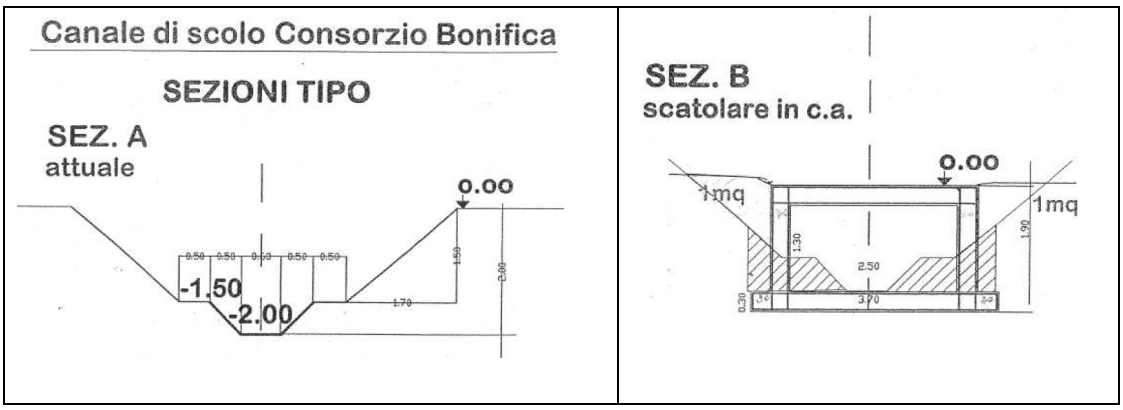
2. un canale trapezio, in sostituzione di quello esistente, avente dimensioni molto maggiori e le seguenti caratteristiche: sezione trapezia interamente rivestita avente base 2,50 m, sponde con scarpa 3/2 e altezza 1,70 m. E' anche prevista, in prosecuzione delle sponde, una parte di raccordo con i terreni circostanti realizzata in terra con sponde aventi sempre scarpa 3/2, che garantisce un franco di altezza pari a circa 25-30 cm.

La proposta di due sezioni alternative è legata come detto ai due scenari esaminati.

Il primo considera la presenza del ristretto cunicolo della Maddalena che costituisce un impedimento fisico allo svilupparsi delle portate a valle dell'altura della Maddalena, mentre il secondo considera il contributo dell'intero bacino scolante senza limitazioni.

Ai fini della verifica idraulica delle due sezioni trapezie rivestite proposte, considerato che il canale con le attuali tecnologia verrà realizzato con calcestruzzo ben lisciato e ben curato, è stato assunto per entrambe le sezioni un coefficiente scabrezza □□ = 0,36 (Bazin).

Nella pagina seguente sono riportate graficamente le due tipologie di sezioni esistenti e la sezione tipo in progetto.



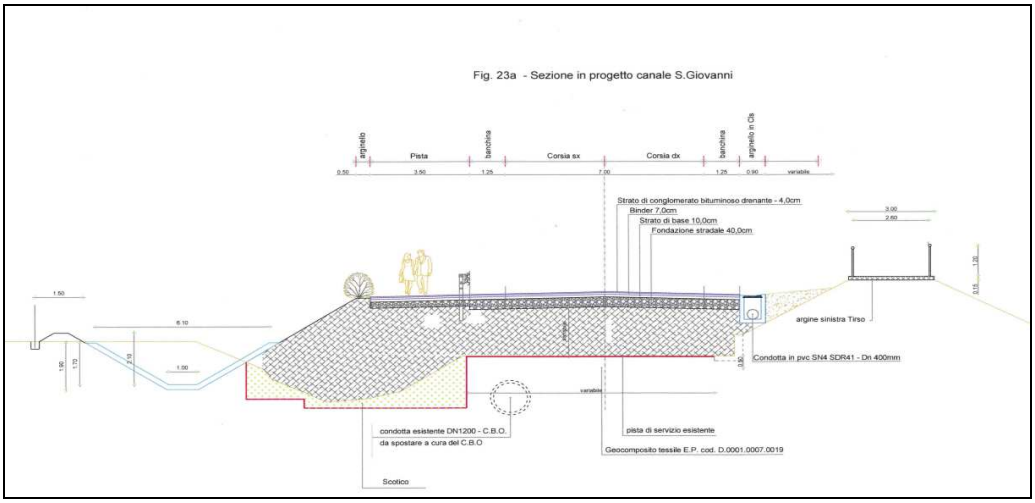


Figura 22 Sezione in progetto canale San Giovanni.

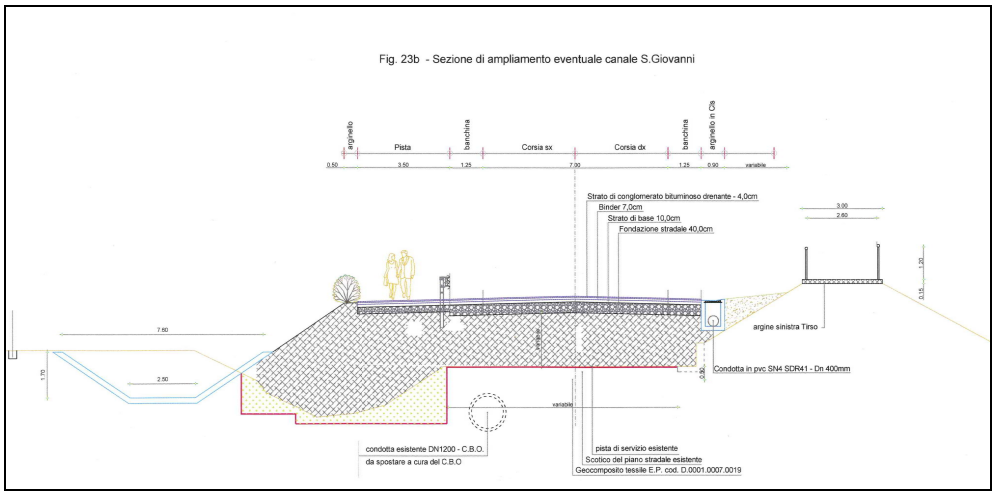


Figura 23 Sezione in progetto per eventuale ampliamento canale San Giovanni

A valle dell'area di intervento, l'alveo riprende la sua forma originaria, le condizioni morfologiche dell'area e la scarsa pendenza determinano una agevole condizione di crescita della vegetazione in alveo.

Proseguendo verso valle il canale tende a piegare in sinistra affiancadosi alla viabilità poderale, successivamente, piegando in destre idraulica si affianca alla SP49 prima di sfociare nello stagno di Santa Giusta.

Con le portate ricavate al precedente punto 3.3.1 si è proceduto alla verifica idraulica delle sezioni sopra riportate utilizzando la nota formula di Chézy, con coefficiente di attrito calcolato con la II formula di Bazin:

$$Q = C*A*Ö(R*I)$$

Nella considerazione che verrà realizzata una tipologia di sezione trapezia, rivestita interamente con calcestruzzo ben lisciato, è stato adottato, come detto, un valore di scabrezza G = 0,36 (valido per canali rivestiti in calcestruzzo con pareti ben lisciate ed in buone condizioni di conservazione) (Cfr. Tab. II allegata al testo: Idraulica – Volume primo parte seconda (G. De Marchi - Hoepli):

Sono state effettuate due verifiche, che corrispondono a due diverse sezioni tipo:

- la prima verifica non tiene conto della presenza del cunicolo della Maddalena, che ha una lunghezza di qualche centinaio di metri, e che quindi assume che alla portata che determina il colmo nella sezione 32, ultima sezione in cui la strada è parallela al canale San Giovanni, possa contribuire l'intero bacino senza alcuna limitazione;

- la seconda tiene conto del fatto che la portata massima che può attraversare il cunicolo della Maddalena in moto uniforme, come evidenziato nella Tabella 06 allegata, è inferiore ai 2 mc/s (portate in arrivo superiori determinerebbero certamente un rigurgito verso monte e portate inferiori a quella di moto uniforme verso valle. Pertanto, considerato che il bacino residuo è accreditato di una portata pari a: 13.26 mc/s - 10,77 mc/s = 2,48 mc/s, la portata complessiva massima che può giungere alla sezione 32 è pari a 4,48 mc/s.

Come si evince dalle Tabelle 07 e 08 di seguito allegate, le due sezioni precedentemente indicate risultano sufficienti a smaltire, con un adeguato franco, la portata calcolata con il corrispondente tempo di ritorno di 200 anni.

In relazione alla problematica idraulica derivante dalla insufficienza della sezione idraulica del cunicolo della Maddalena rispetto a piene con elevati tempi di ritorno, è evidente che essa non viene influenzata dall'esistenza o meno della strada in progetto, né dell'eventuale modifica della sezione del canale San Giovanni a valle. Per quanto a nostra conoscenza, il Consorzio di Bonifica ha proposto quale soluzione utile a risolvere il problema del possibile rigurgito e quindi del potenziale allagamento dei terreni a monte del cunicolo la realizzazione di una chiavica immediatamente a monte del cunicolo, che consentirebbe di scaricare nel fiume Tirso le acque di piena eccedenti la capacità di deflusso dello stesso cunicolo.

TABELLA 06

VERIFICA CON PORTATA MASSIMA - CANALE SAN GIOVANNI
SEZIONE RETTANGOLARE: CUNICOLO LA MADDALENA

TIPOLOGIA DELLA SEZIONE	Complessiva canale in mattoni		
PORTATA DI CALCOLO	**1,73**		
SCABREZZA	0,46		
LARGHEZZA DEL FONDO	1,00		
ALTEZZA D'ACQUA	2,00		
SCARPA	0		
AREA DELLA SEZIONE LIQUIDA	2,00		
CONTORNO BAGNATO	5,00		
RAGGIO IDRAULICO	0,40		
COEFFICIENTE DI ATTRITO	50,37		
PENDENZA DEL CANALE	0,00074		
VELOCITA'	0,87		

TABELLA 07 VERIFICA CON PORTATA MASSIMA - CANALE SAN GIOVANNI SEZIONE TRAPEZIA RIVESTITA LARGHEZZA FONDO 2,50 m	
TIPOLOGIA DELLA SEZIONE	sezione trapezia rivestita
PORTATA DI CALCOLO	**13,26**
SCABREZZA	0,36
LARGHEZZA DEL FONDO	2,50
ALTEZZA D'ACQUA	1,60
SCARPA	1,500
AREA DELLA SEZIONE LIQUIDA	7,87
CONTORNO BAGNATO	8,29
RAGGIO IDRAULICO	0,95
COEFFICIENTE DI ATTRITO	63,54
PENDENZA DEL CANALE	0,00074
VELOCITA'	1,68

TABELLA 08 VERIFICA CON PORTATA MASSIMA - CANALE SAN GIOVANNI SEZIONE TRAPEZIA RIVESTITA LARGHEZZA FONDO 1,00 m	
TIPOLOGIA DELLA SEZIONE	sezione trapezia rivestita
PORTATA DI CALCOLO	**4,48**
SCABREZZA	0,36
LARGHEZZA DEL FONDO	1,00
ALTEZZA D'ACQUA	1,22
SCARPA	1,500
AREA DELLA SEZIONE LIQUIDA	3,44
CONTORNO BAGNATO	5,39
RAGGIO IDRAULICO	0,64
COEFFICIENTE DI ATTRITO	59,97
PENDENZA DEL CANALE	0,00074
VELOCITA'	1,30

L'ultimo tratto del percorso del Canale di San Giovanni è caratterizzato dalle interazioni con il canale perimetrale di Santa Giusta: il canale perimetrale affranca lo specchio acque dagli apporti provenienti dalle aree esterne, evitando quindi eventuali contaminazioni con le sostanze provenienti dai bacini afferenti.

In particolare, l'immissione del San Giovanni nello stagno di Santa Giusta è ostacolato da una traversa dotata di troppo pieno che dirotta i deflussi ordinari lungo il canale circondariale; lo stesso attraversa in sifone i due bracci del canale di Pesaria per poi riversarsi all'interno del porto industriale.

Di seguito si consegna una rappresentazione aerea con le indicazioni delle singole opere d'arte che caratterizzano il contesto focivo.

Figura 24 Area fociva del canale Torangius

La seconda area di cui si è fatto cenno in precedenza è ubicata tra l'abitato e ovest, la SS 131 a est e il limite comunale a sud: è priva di pendenze apprezzabili e dotata di una fitta rete di bonifica finalizzata all'evacuazione delle acqua zenitali. Mediante l'ausilio del dtm 1m si sono comunque potute individuare due aree.

La prima porzione, della superficie di circa 2 km^2, ha un leggero orientamento verso sud, e secondo le indicazioni tratte dalla carta dell'Uso del Suolo, è principalmente interessata dalla presenza di prati stabili e risaie. Tali attività, soprattutto le seconde, che, secondo la stagionalità, determinano una altissima variabilità del suolo nei confronti della capacità di deflusso con rilevante capacità di accumulo.

Non è individuata una linea di deflusso principale, ma come riscontrabile anche dalla cartografia IGM 25000, è visibile folta presenza di linee drenati legate alla bonifica agraria. Non si ravvedono condizioni di diffuso particolare legate ad una via preferenziale, e le stesse canalizzazione esistenti risultano sede di recapito essenzialmente in virtù dei pettini della rete di dreno.

Trattandosi inoltre di una rete di bonifica non risulta compatibile con gli eventi eccezionali che conseguentemente tendono a persistere nell'area.

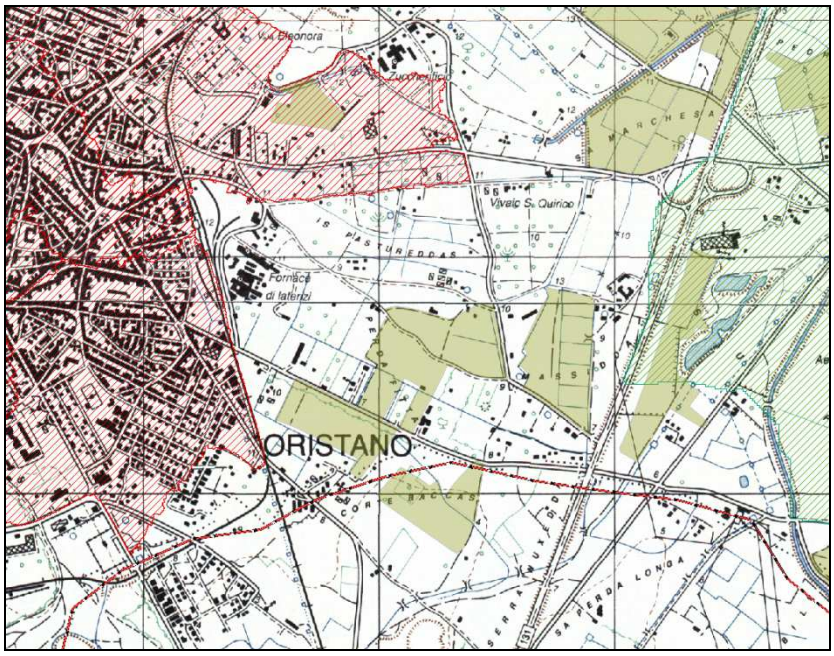


Figura 25 Aree orientate in direzione nord-sud

Il comparto più a nord è invece riconducibile a un sistema drenante orientato verso il contesto urbano. Il bacino si estende all'esterno dell'abitato per circa 0.5 km², ed è separato dall'abitato per effetto della linea ferroviaria: lo stesso bacino è reso comunicante con il comparto urbano per il tramite dei tombini ferroviari e perla viabilità che sottopassa il piano ferro.

Le successive immagini consegnano una rappresentazione dell'area precedentemente al processo di espansione che ha caratterizzato l'area negli anni 70 e 80: è evidente la presenza del Canale Adduttore Generale, canale in derivazione dal Canale d'irrigazione Tirso Arborea che si dirama all'altezza di Simaxis e alimenta il comparto irriguo tra l'argine sinistro del Tirso e l'abitato di Oristano in prossimità della foce.

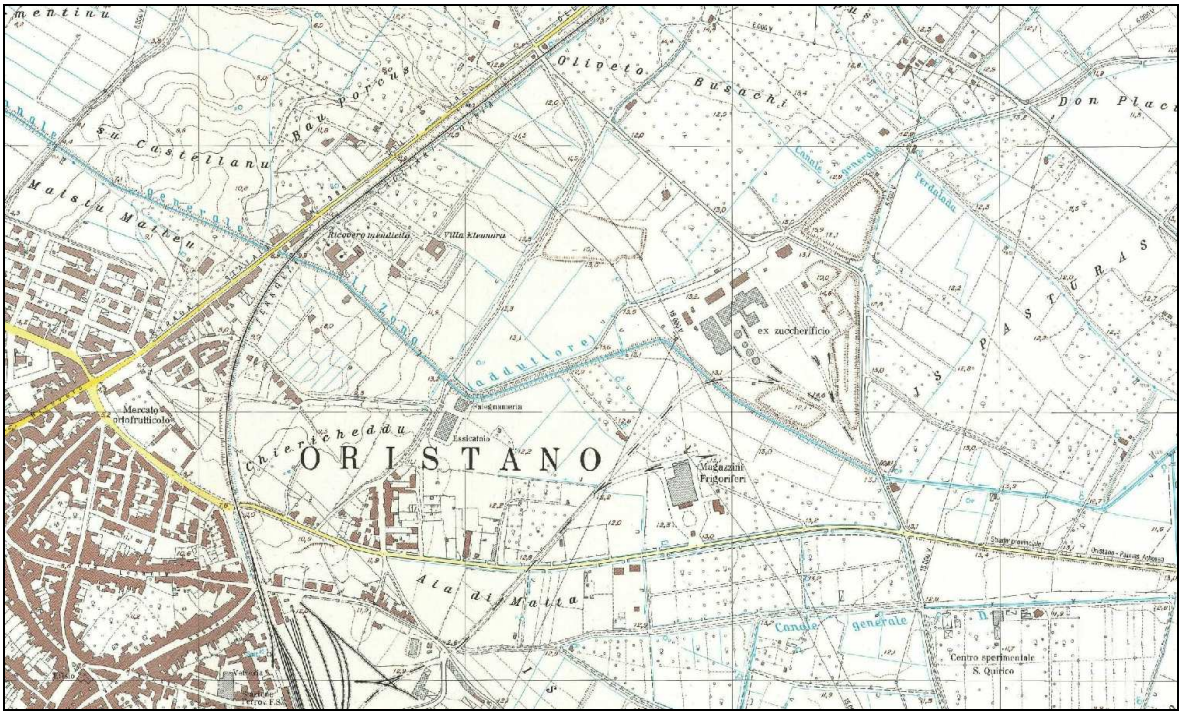


Figura 26 stralcio Carta Tecnica Italia Meridionale 1974

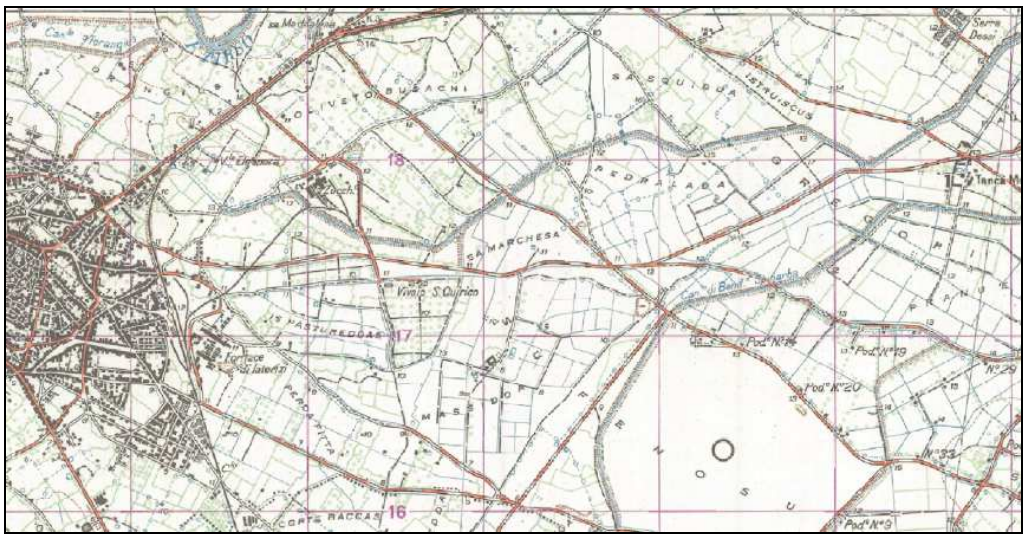


Figura 27 Stralcio IGM 1950

Dl punto di vista dell'orografia, si individuano due aree generalmente più depresse, una più a sud corrispondente al punto A (v. Figura 28), che ha come linea di passaggio il sottopasso stradale sulla linea ferroviaria, e una più a nord contraddistinta in figura dalla

lettera B, il cui attraversamento della linea ferroviaria è in questo caso affidata ad un sottopasso stradale.

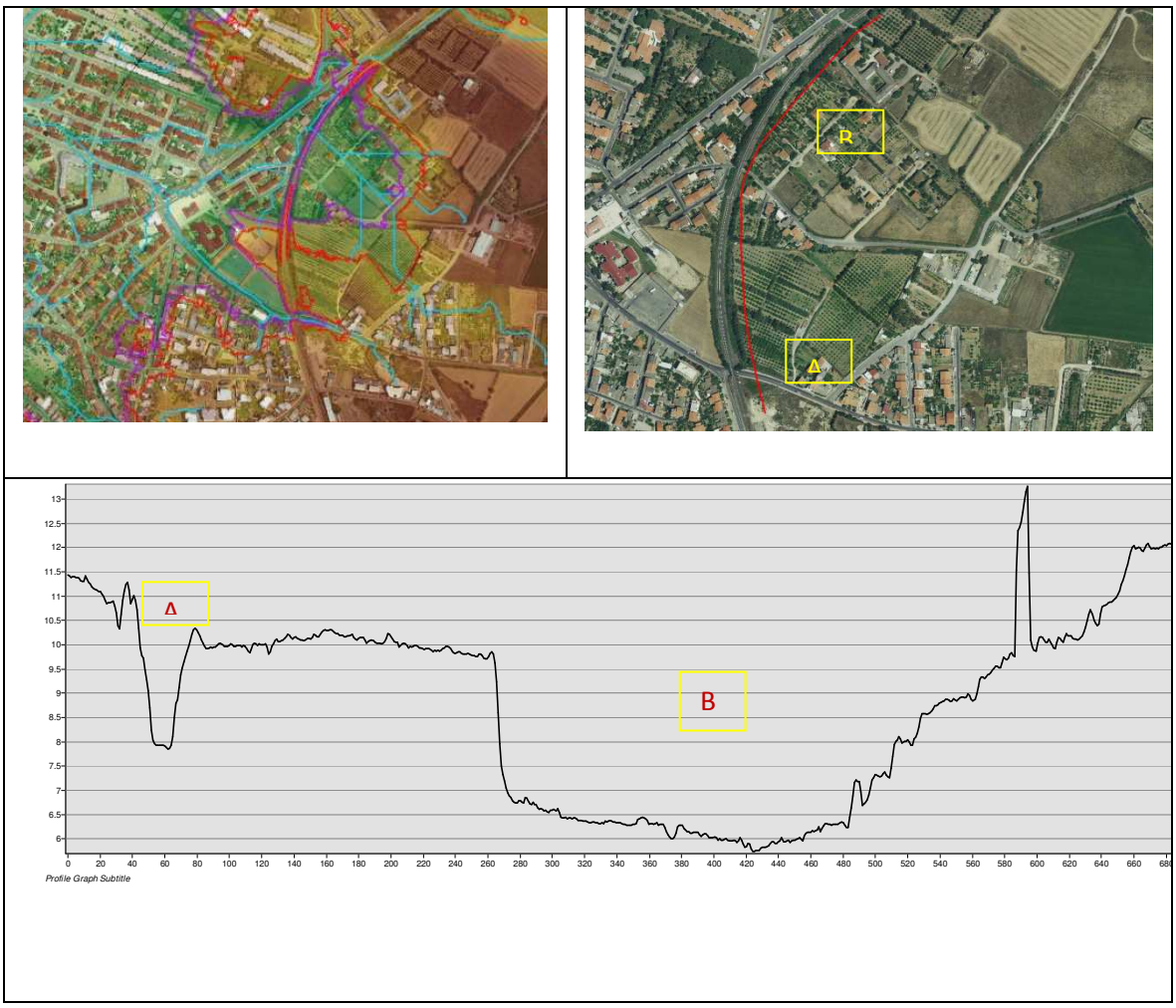


Figura 28 andamento del terreno nel tratto attiguo alla linea ferroviaria

L'ultima area, dimensionalmente marginale ma sicuramente di interesse turistico rilevante, è relativa al contesto di Marina di Torre Grande in sponda destra al Tirso in prossimità della foce. L'area segue sostanzialmente la linea di costa dall'argine destro del fiume sino allo stagno di Mardini, la bocca d'ingresso dello stagno di Cabras: la lunghezza complessiva è poco inferiore ai 5 Km, mentre la profondità verso l'entroterra si mantiene sempre inferiore al chilometro.

Nell'area si possono individuare due sistemi ben distinti, uno riguardante più propriamente la fascia costiera con l'edificato e tutta la zona boschiva circostante; il secondo riconducibile ai contesti agricoli, comprese le attività risicole della zona.

I due comparti sono separati dalla Strada Provinciale n. 2 che li sconnette idraulicamente: l'area a nord drena le piogge zenitali e i suoi apporti esterni sul canale Brabau che poi si immette mediante idrovora sul canale Bau Mannu (immissario della Peschiera Pontis). La zona a sud della strada provinciale è invece di dimensioni tali da non risultare soggetta ad apporto alcuno se non dalle piogge zenitali; l'area risulta inoltre il tutto sostanzialmente separati dalla Strada provinciale n. 2.

Le sottostanti immagini evidenziano l'alto topografico in corrispondenza della Marina di Torre Grande.

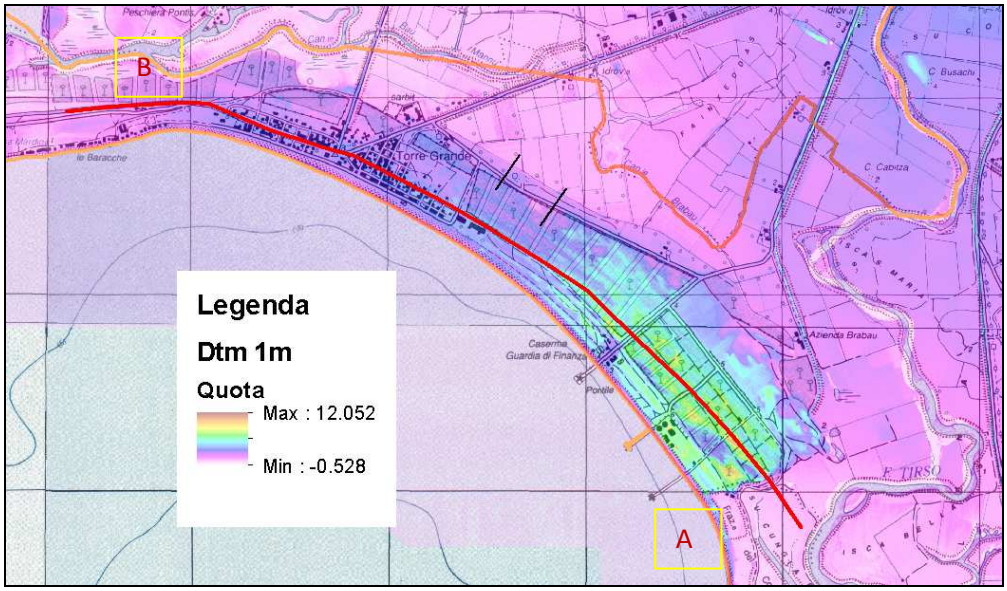


Figura 29 Dtm 1m su base IGM 25000

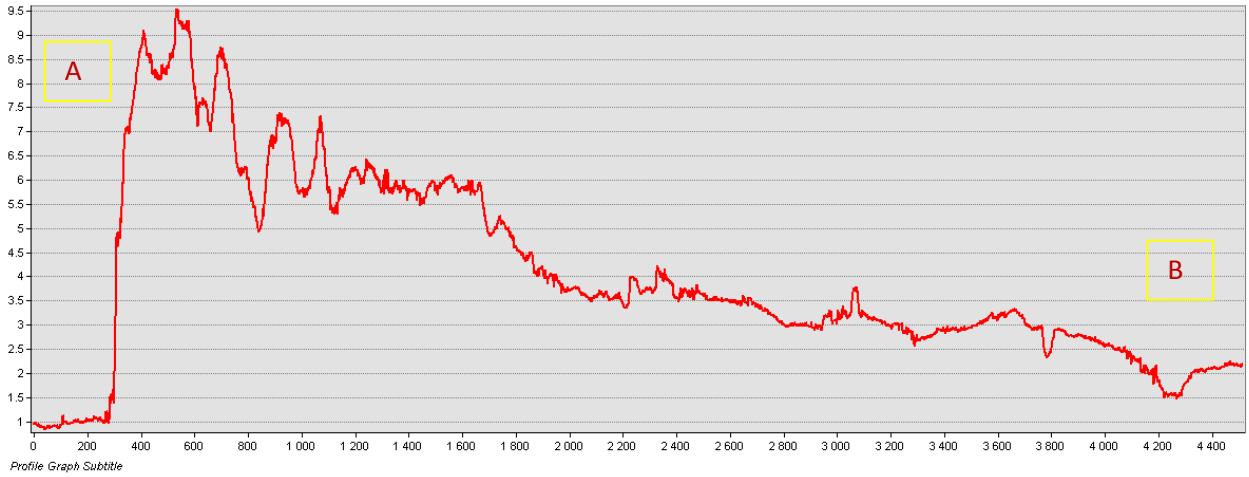


Figura 30 Sezione colta sulla fascia litoranea su Dtm 1m

4 ANALISI IDROLOGICA

Per la valutazione delle portate di calcolo sulle superfici scolanti individuate all'interno del territorio comunale, si è operato attraverso l'utilizzo del codice di calcolo Arc Hydro Tools attraverso una successione di fasi:

- ✓ sono state individuate preliminarmente le superfici scolanti elementari;
- ✓ sono state successivamente aggregate le superfici di cui sopra, individuando i bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua oggetto di valutazione idraulica o per i quali si valutata l'interazione con le aree di pertinenza;
- ✓ per i bacini inquadrati sono state determinate le aste principali, le grandezze geomorfologiche, le grandezze idrologiche;
- ✓ con l'applicazione delle metodologie note sono state effettuate le valutazioni idrologiche al fine di definire i valori delle portate di calcolo;

Il calcolo della portata è stato effettuato conformemente a quanto previsto nelle Linee Guida del PAI. In esse si rileva che, in mancanza di dati osservati, si dovrà far ricorso alle metodologie di calcolo disponibili, che possono essere inquadrate in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di *Metodi Diretti*, la seconda come *Metodi Indiretti*, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate calcolati, ovvero indirettamente tramite trasformazione afflussi–deflussi. Nel presente caso, in mancanza di dati rilevati, si farà ricorso alla seconda metodologia.

4.1 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO

A premessa della descrizione del metodo utilizzato, è importante rilevare che la definizione delle aree di allagamento sulla cartografia è l'ultimo passo di un processo di analisi che non può essere scisso dalle precedenti fasi e che, come tale, risente delle schematizzazioni che necessariamente devono essere assunte. Nell'analisi idrologica l'ordine di schematizzazione assunto riguarda sia il quadro concettuale che esprime il verificarsi del fenomeno, sia la successiva traduzione modellistica del fenomeno

semplificato. Nel primo caso giova rilevare che la schematizzazione di base per la rappresentazione della trasformazione degli afflussi in deflussi parte dall'individuazione di un processo descrittivo che assume il deflusso come accorpamento negativo delle grandezze facenti parte del bilancio idrico.

In particolare con il concetto di "trasformazione afflussi-deflussi" raggruppa l'insieme di quei diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso, a partire dalla precipitazione meteorica, prima ancora che il deflusso stesso si incanali nella rete idrografica secondo la schematizzazione riportata in Figura 31.

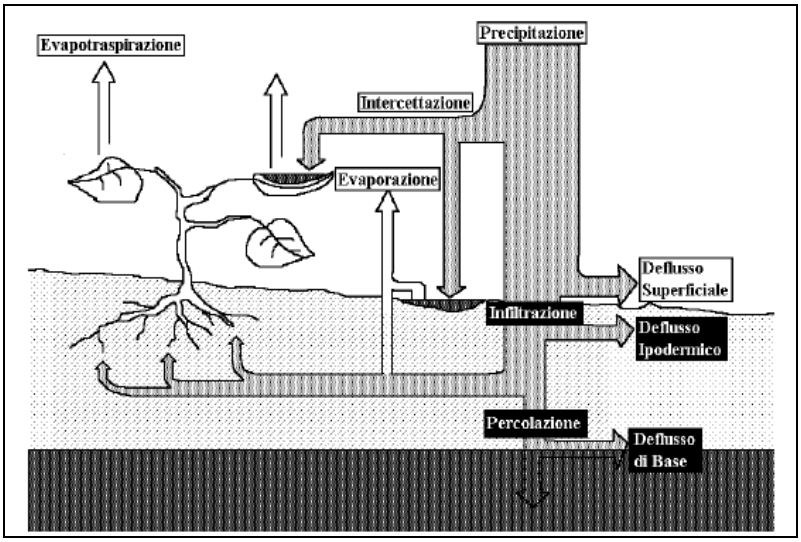


Figura 31 -Elementi che concorrono al bilancio idrologico del processo "afflussi-deflussi"

La realizzazione di modelli di piena passa necessariamente attraverso ulteriori semplificazioni del fenomeno, trascurando alcune grandezze che possono considerarsi ininfluenti, infatti:

1. l'evapotraspirazione risulta essere modesta o nulla in relazione ai deflussi superficiali che assumono importanza preponderante rispetto agli altri;
2. i diversi tipi di deflusso (superficiale, ipodermico, profondo o di base) assumono una importanza relativa che varia in funzione del tempo caratteristico di risposta del bacino in esame.

3. il deflusso di base, ovvero quello che può ritenersi costante e determinato dalle portate di magra del corso d'acqua, può essere ritenuto costante nell'ambito dell'evento di piena. Tale contributo, risulta in genere essere di uno o più ordini di grandezza inferiore alle portate di piena, e quindi in buona approssimazione trascurabile, così pure il deflusso ipodermico nel caso di un bacino di dimensioni medie o piccole.

La seconda fase consiste nello stabilire le relazioni analitiche intercorrenti tra le caratteristiche dell'evento meteorico che causa la piena e le modalità con cui avviene la trasformazione afflussi-deflussi.

Il processo di analisi ha avuto le sue prime formulazioni nella metà dell'800 (Mulvany) nella relazione veniva definito il valore della portata al colmo Q per un assegnato periodo di ritorno per effetto di una precipitazione ricadente in un bacino assegnato.

Nella sua formulazione, venivano assunte le seguenti semplificazioni:

- ✓ il valore della portata al colmo Q relativo ad un evento meteorico costante, è il maggiore tra tutti i valori di portata definiti per lo stesso bacino e per lo stesso tempo di ritorno T.
- ✓ per un preassegnato periodo di ritorno, l'evento meteorico che genera il valore massimo di portata ha una durata pari al tempo di corrivazione;
- ✓ che la portata al colmo Q per un evento causata da una precipitazione ragguagliata di intensità costante sia proporzionale all'intensità della precipitazione, alla superficie del bacino e a un coefficiente C legato alle caratteristiche del bacino e al suo grado di impermeabilità.

Il successivo approccio cinematico cui si fa affidamento per la determinazione della portata introduce semplificazioni che tendono a schematizzare il deflusso sempre assumendo delle condizioni che tendono a eliminare le interazioni tra le grandezze che concorrono; in particolare, le ipotesi di base sono:

- ✓ il trasferimento della piena sia affidata al trasferimento di massa liquida;
- ✓ ogni goccia percorra sempre la stessa traiettoria anche con l'evoluzione del processo di pioggia, e che quindi le linee di corrivazione siano immutabili;

- ✓ il tempo di corrivazione, e quindi la velocità di ruscellamento dell'acqua sia immutabile con il livello di saturazione del terreno e con il formarsi del velo idrico superficiale,
- ✓ la velocità della goccia non sia influenzata dal moto delle altre gocce;
- ✓ la portata di piena sia data dalla somma delle portate provenienti dalle altre parti di bacino che si resentano alla sezione di chiusura allo stesso istante.

Le ipotesi di cui sopra diventano di fondamentale importanza in relazione al contesto territoriale entro cui si opera, e inducono approssimazioni più o meno rilevanti in base alle forme e caratteristiche dei bacini di riferimento.

Entrando nelle specifiche grandezze che influenzano il modello, si rileva che le semplificazioni riguardano sia il grado di precisione della stima dell'intensità di pioggia, della sua distribuzione spaziale, che evidentemente la superficie del bacino ma anche la sua forma, così pure dell'individuazione della pioggia netta, e passa attraverso una modellizzazione della risposta del bacino stesso.

Le considerazioni su esposte, dunque, inducono a ritenere che possa essere accettato un grado di scostamento rispetto alle condizioni che realmente potrebbero verificarsi.

In fase di valutazione delle grandezze su richiamate, sarà opportuno valutare il grado di imprecisione che deriva dalla valutazione dell'intensità di pioggia, dalla sua distribuzione spaziale e dal comportamento del bacino idrografico per quanto attiene il processo di trasformazione afflussi deflussi.

4.2 INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI DI BACINO

Con l'ausilio di codici specifici per l'idrologia in ambiente GIS è stata dunque eseguita la prima fase di processo dei dati. Successivamente sono stati definiti, per ogni cella[1], la direzione del flusso, la direzione di massima pendenza, il numero di celle a monte che contribuiscono al flusso, la rete di drenaggio, le aree di drenaggio per ogni segmento

1 Il modello è costituito da una griglia di celle la cui dimensione viene assegnata sulla base delle necessità di calcolo.

idrico, etc., ai fini di ottenere il quadro completo che concorre all'individuazione dei parametri di bacino.

L'intera procedura consente di individuare quindi i principali parametri idrologici, quali la pendenza del bacino, l'asta principale, la lunghezza e pendenza dell'asta principale, la quota massima, minima e la superficie del bacino, la pendenza media.

4.3 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO- METODO INDIRETTO

Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione, nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizzi quella della portata al colmo.

La portata di piena è espressa dalla ben nota *Formula Razionale*:

$$Q_P = i_{[\tau, T_R, r(\tau, A)]} * \Phi * A * \varepsilon(\tau)$$

espressione di un modello deterministico elementare a fondamento cinematico, con il seguente significato dei simboli:

i Intensità di pioggia

T_R Tempo di ritorno

$r(\tau, A)$ Coefficiente di ragguaglio areale

A Area del bacino

τ Durata della pioggia critica

Φ Coefficiente di deflusso

$\varepsilon(\tau)$ Coefficiente di laminazione

Nella valutazione dell'entità della precipitazione si è ritenuto di applicare sia la metodologia classica proposta dal Puddu e successivamente aggiornata, sia il metodo di più recente pubblicazione che prevede la definizione delle curve di possibilità pluviometrica basate sul modello TCEV.

Altezza di pioggia critica

Metodo TCEV

Eventi di pioggia particolarmente intensi sfuggivano alla capacità di previsione delle curve di possibilità pluviometriche formulate da curve a due parametri, si è reso pertanto necessario sviluppare una trattazione capace di interpretare più fedelmente eventi di breve durata, anche utilizzando curve di distribuzione con un maggior numero di parametri.

In detta recente trattazione si è riscontrata l'impossibilità di adottare, per tempi di ritorno superiori ai 10 anni, un unico tipo di funzione monomia; si è invece reso necessario separare la casistica in due tipologie di eventi: piogge di durata inferiore a un'ora e piogge di durata superiore a un'ora.

Le equazioni elaborate sono:

$$h(T,t) = (a_1\ a_2') * t^{(b_1 + b_2')} \qquad t \le 1\,ora$$

$$h(T,t) = (a_1\ a_2'') * t^{(b_1 + b_2'')} \qquad t > 1\,ora$$

dove

$$a_1 = \frac{\mu_g}{0.886 * 24^{b_1}}$$

$$b_1 = -0.493 + 0.476 * Log\ \mu_g$$

avendo indicato con μ_g il valore medio giornaliero della pioggia il cui valore è rilevabile nella seguente carta. I parametri a_2', a_2'' e b_2', b_2'' contraddistinguono invece la sottozona di appartenenza, l'area in esame insiste nella **Sottozona 1**.

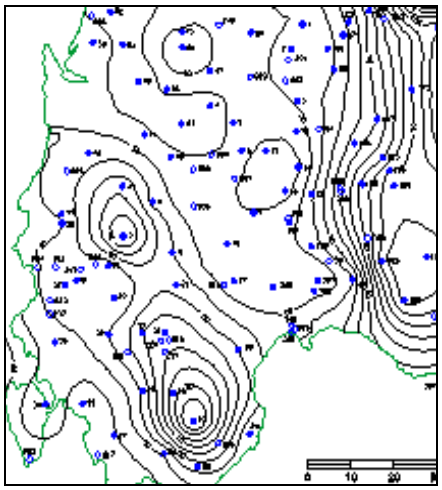


Figura 32 – Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad. Ricerca n°9 dell'Università di Cagliari, 1997).

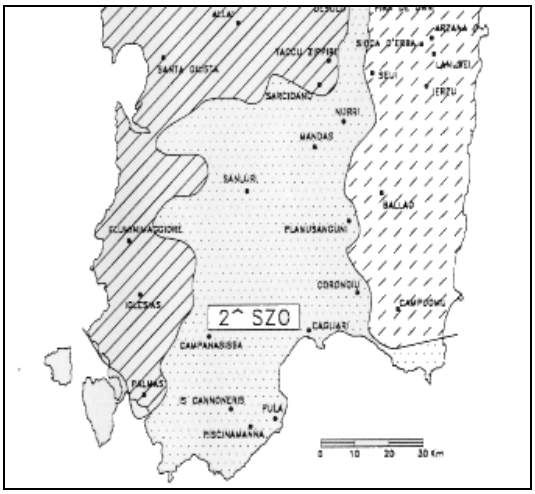


Figura 33 – Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna. In ciascuna zona I parametri de modello TCEV sono riportati in Tabella 8. (da Deidda ed al., 1993)

Valutazione del coefficiente di deflusso Φ

Per la valutazione del coefficiente di deflusso, si fa ricorso al metodo CN del *Soil Conservation Service*, che secondo gli autori trova impiego ottimale nell'ambito dei piccoli bacini.

Si intende per pioggia netta la grandezza:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{h_{lorda} + S - I_a}$$

dove

$$S = 254 * \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Per la determinazione del CN si è operato partendo dalle indicazioni definite nell'ambito del progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali; in particolare si è partito dalla cartografia dell'uso del suolo, sulla base dell'uso del suolo sono state determinati i valori di CN di partenza secondo i valori espressi nella Tabella 1 presente nell'elaborato "Metodologia di Analisi".

In una seconda fase sulla base delle indicazioni derivanti dalla geologia della Sardegna desunta dalla carta geologica della carta geologica sono stati introdotti, sempre secondo quanto previsto dalle Metodologia di analisi dei valori correttivi caratterizzati ogni tipo litologico, così come descritto nella Tabella 2.

L'attribuzione ai valori del CN derivanti dall'uso del suolo, dei valori correttivi derivanti dalla carta geologica conduceva a valori del CN che potevano essere considerati omogenei come criterio di definizione in tutto il territorio analizzato.

Il parametro S, rappresenta la quantità d'acqua immagazzinabile nel bacino, ovvero la massima altezza di pioggia che può essere ritenuta, ed è legato alla possibilità di infiltrazione, e alle condizioni di umidità precedenti *(AMC Antecedet Misture Condition).*

La scelta del valore del CN quindi conto della condizione di umidità del suolo a causa di eventi meteorici che possono aver interessato il bacino in esame nei 5 giorni precedenti l'evento critico attraverso l'introduzione del parametro CNIII che sarà utilizzato nei calcoli e che deriva dall'applicazione della seguente :

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

Il valore dell'infiltrazione iniziale è dato dalla:

I_a=0.2*S

Nella fase applicativa si sono resi necessari ulteriori approfondimenti legati al livello di dettaglio con il quale si è operato; in particolare giova evidenziare i seguenti aspetti:

a) Nella valutazione dell'altezza di pioggia netta, il valore sottratto al deflusso, per effetto della percentuale immagazzinata, è evidentemente legato al valore di S e quindi del CN; S è un valore assoluto, quindi è disgiunto dall'altezza di pioggia, in quanto per definizione frutto dell'uso del suolo e della geologia. Inoltre, minore è la dimensione del bacino, minore è il tempo di corrivazione, minore è la pioggia lorda e maggiore è l'influenza che il CN e quindi di Ia ha sulla determinazione del valore della pioggia netta. Per i piccoli bacini dell'ordine di qualche ettaro, con altezze di pioggia di alcuni millimetri, si determinano valori di S confrontabili con l'altezza netta; con conseguente

rapporto pioggia netta/pioggia lorda decisamente basso. Questo limite dell'applicazione del metodo tende a scomparire nei bacini di maggiore dimensione. In condizioni di eventi estremi su piccoli bacini il metodi tende quindi a sottostimare in maniera estrema i valori di portata.

b) Il legame del valore del CN con l'uso del suolo può indurre, soprattutto nei piccoli bacini, problematiche legate alla brusca variazione della copertura vegetale, anche stagionalmente o per effetto di variazione della pratica agraria. Estremizzando il concetto, anche un evento incendiario può trasformato in poche ore coperture boscate o a macchia mediterranea, riconducibili a valori del CNII nell'interno del 60, a coperture riconducibili ad aree a pascolo naturale con valori del CNII nell'interno del 75. Al contrario, nei grandi bacini l'eventuale alterazione della copertura è più probabile che possa riguardare solo una sua porzione. Tanto maggiore è la dimensione del bacino tanto minore è l'incidenza complessiva della possibile variazione. In bacini ridotti, a ridosso dei centri urbani è purtroppo possibile che il disboscamento accidentale possa interessare un intero bacino, con conseguenze drammatiche in ordine alla variazione della possibilità di deflusso.

Queste considerazioni, che non devono assolutamente essere intese come critiche al metodo proposto nel PSFF, evidenziano sostanzialmente l'esigenza di una particolare cura nella valutazione del CN soprattutto per i piccoli bacini.

La determinazione del valore, è stata quindi effettuata sia in considerazione delle linee guida e sia attraverso aggiustamenti puntuali che interessavano prioritariamente i bacini minori.

I valori conclusivi e di sintesi sono consegnati nelle seguenti tabelle.

Per il coefficiente di ragguaglio areale si assumono le seguenti espressioni:

$r = 1 - (0.0394\ A^{0.354})\ d^{(-0.40+0.0208\ \ln(4.6-\ln(A)))}$ per $A < 20\ km^2$

$r = 1 - (0.0394\ A^{0.354})\ d^{(-0.40)}$ per $A > 20\ km^2$

Durata della pioggia critica

Per la valutazione della durata della pioggia critica si è assunto il modello utilizzato nella procedura VAPI Sardegna; si è quindi ammesso che la durata della pioggia corrisponda alla somma del tempo necessario per la formazione del deflusso superficiale e del tempo di corrivazione del bacino:

$$\tau = \tau_c + \tau_f$$

dove

τ_c è il tempo di corrivazione

τ_f è il tempo necessario per la formazione del ruscellamento superficiale

La valutazione del tempo di corrivazione viene fatta attraverso un confronto critico delle seguenti formule empiriche:

Tempo di corrivazione [h]			
Ventura:	$t_c(h)=0,1272*(A/i_m)^{0,}$	**Puglisi:**	$t_c(h)=6*L^{2/3}/(h_{max}-h_{min})^{0,5}$
Pezzoli:	$t_c(h)=0,55*L/(i_m)^{0,5}$	**Tournon:**	$t_c(h)=0,369*L/(i)^{0,5}*[((A/L^2)*(i/i_m))]^{0,72}$
Viparelli:	$t_c(h)=L/V$	**Giandotti**	$t_c(h)=(4*A^{0,5}+1,5*L)/(0,8*H_m^{0,5})$
VAPI:	$t_c(h)=0.212*a^{0.231}*(hm/J)^{0.289}$	**Pasini:**	$t_c(h)=0,108*(A*L^{1/3})/i_m^{0,5}$

Tabella 1 Formule utilizzate per la stima del tempo di corrivazione

Dove:

A rappresenta la superficie del bacino [km²]

L la lunghezza dell'asta principale [m]

L_m distanza massima percorsa dall'acqua [m]

i la pendenza del versante [%]

i_m la pendenza media dell'asta principale [%]

h_m la quota media del versante [m]

h_{max} e h_{min} le quote, rispettivamente, massima e minima del versante [m].

V rappresenta la velocità di scorrimento, generalmente si è impiegato 1,3 m/s

Relativamente alla determinazione del tempo di corrivazione, la scelta è stata effettuata sulla base del confronto tra i valori calcolati con le varie metodologie proposte dalla letteratura tecnica.

Alla base della valutazione dei metodi proposti e necessaria una breve rappresentazione delle ipotesi o dei campioni esaminati dagli estensori delle formule proposte per la determinazione del tempo di corrivazione.

Il metodo di calcolo di Viparelli (1961), è sostanzialmente un metodo che parte dalla definizione di un modello sintetico del bacino idrografico; il principio quello di considerare le isocorrive coincidenti con le isoipse; 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. L'ipotesi di base è tanto più vera quanto maggiore è la circolarità del bacino esaminato. Parti di bacino con la medesima quota di spartiacque hanno isocorrive differenti, in queste condizioni cade la coincidenza dei tempi di percorrenza, e conseguentemente l'idrogramma di piena reale tende a essere più schiacciato di quello di calcolo. In base a questi presupposti il metodo tende quindi a sovrastimare le portate di calcolo. Un ultima considerazione è invece legata al comportamento della corrente in relazione al fenomeno di esondazione: si è infatti osservato (VAPI Sardegna) che durante la fase di esondazione, la corrente, tende a rallentare soprattutto nelle sue aree di frangia, conseguentemente il tempo di ascesa dell'idrogramma di piena tende ad essere più lungo del tempo di corrivazione, in queste condizioni la determinazione della pioggia critica andrebbe definita sulla base di un evento meteorico avente una durata maggiore rispetto a quello definito in base ai tempi di corrivazione.

Gli altri metodi proposti nascono invece dall'analisi dei tempi di risposta di una serie di bacini osservati, sulla base delle osservazioni effettuate, viene definita una formula per il

calcolo del tempo di risposta dello stesso comparto drenante legandolo ad una serie di parametri morfologici.

Il peso dei vari parametri definiti, è evidentemente variabile tra una formula ed un'altra, in considerazione alle caratteristiche dei tipi di bacini osservati. In linea di principio, la scelta del metodo da utilizzare in ogni specifica applicazione, dovrebbe definirsi sulla base di una eventuale similitudine dei bacini oggetto di valutazione con il campione esaminato in fase di predisposizione della formula.

La difficoltà di definire l'eventuale similitudine dei casi specifici con i campioni osservati, porta, ai fini cautelativi, ad assumere di volta in volta valori dei tempi di corrivazione in linea con le valutazioni più basse derivanti dall'applicazione dei vari metodi; escludendo comunque quei valori che tendono a scostarsi in maniera significativa dalle valutazioni medio basse o quei valori che nascono dall'applicazione di una formula che trae origine da esperienze decisamente differenti;

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

- ✓ Metodo di Giandotti: è indicato per bacini collinari con estensione maggiore ai 170 Km^2;
- ✓ Metodo di Pasini: il metodo è applicato su bacini di pianura delle dimensioni di qualche Km^2;
- ✓ Metodo di Ventura: il campo di impiego riguarda principalmente bacini pianeggianti di modeste dimensioni;
- ✓ Tournon: il campione osservato, e conseguentemente il campo di applicazione riguarda bacini con estensioni comprese tra 30 e 170 e Km^2;
- ✓ Puglisi: è stato determinato dall'esame di bacini dell'apennino da uno con superfici tra i 43 e i 94 Km^2 ;
- ✓ Pezzoli: l'analisi ha riguardato un campione di piccoli bacini ricadenti nel territorio del Piemonte
- ✓ Salis-Sechi: il metodo è stato proposto in occasione della pubblicazione del VAPI Sardegna (1991) ha origine dalla necessità di valutare l'attendibilità in campo regionale

dell'applicazione delle consuete formule per la determinazione dei tempi di corrivazione. La formulazione proposta nasce dall'esame di 18 stazioni idrometriche e dall'analisi di fenomeni estremi di portata di piena registrati, il campione esaminato riguarda bacini di grandi dimensioni (oltre 100 Km²). In questo caso le dimensioni dei bacini sono inferiori a tale valore, e quindi non verranno presi in considerazione.

Scelta del tempo di ritorno

I tempi di ritorno adottati sono conformi alle indicazioni del PAI, in particolare sono stati adottati 50, 100, 200, 500 anni.

Nelle tre tabelle che seguono sono sintetizzate le indicazioni morfologiche e pluviometriche, le caratteristiche sul CN, i valori dei tempi di corrivazione calcolati e le conseguenti portate al colmo per i quattro tempi di ritorno.

Tabella 2 Elementi morfologici di bacino e indicazioni idrologiche

	AREA DEL BACINO	Q CHIUSURA	QUOTA MASSIMA	QUOTA MEDIA	PENDENZA MEDIA DEL BACINO	PENDENZA MEDIA DEL BACINO	LUNGHEZZA	pendenza	v media	CN
	Km2	m	m	m	%		(Km)		m /s	
NuraCraba	20.58	1.6	62.76	23.42	2.57	0.03	12.82	0.004	1.3	93
RioS_Aoru01	17.70	-3.9	89.25	23.79	1.89	0.02	17.23	0.004	1.3	93
R_Tanui	44.03	-3.9	89.25	21.40	2.08	0.02	19.54	0.004	1.3	93
RiuMerdeCani	26.74	4.9	282.06	61.74	5.93	0.06	13.61	0.020	1.3	93
RoiaSaMurta	31.38	17.0	637.88	22.29	2.02	0.02	16.55	0.035	1.3	93
Riu_Tumboi	25.22	20.2	637.88	325.08	16.24	0.16	15.48	0.037487	1.3	93
ComplPodere02	5.08	21.5	423.89	116.94	10.05	0.10	7.02	0.057181	1.3	94
R_Spinarba	8.54	2.7	19.01	11.92	1.17	0.01	5.17	0.001432	1.3	94

Tabella 3 Quadro di sintesi dei tempi di corrivazione determinati

	Pasini	Giandotti	Viparelli	Ventura	Pezzoli	Puglisi	Tournon	Salis-Sechi	Valore adottato
NuraCraba	10.55	10.01	2.74	8.79	10.74	8.34	9.10	3.05	2.74
RioS_Aoru01	10.89	10.14	3.68	8.02	14.20	8.83	7.98	3.24	3.24
R_Tanui	16.23	13.89	4.18	13.34	16.98	9.60	14.26	3.77	3.77
RiuMerdeCani	5.41	6.81	2.91	4.62	5.25	5.25	6.38	3.37	2.91
RoiaSaMurta	4.62	25.77	3.54	3.80	4.85	4.57	8.97	3.56	3.54
Riu_Tumboi	4.08	3.10	3.31	3.30	4.40	4.38	3.69	4.02	3.10
ComplPodere02	1.49	2.50	1.50	1.20	1.62	2.98	1.85	2.37	1.20
R_Spinarba	10.08	8.01	1.10	9.82	7.51	7.07	11.16	2.57	1.10

Tabella 4 Indicazione delle valutazioni di piena determinate con il metodo indiretto

	Tempo di ritorno	hg_med.	h_med_(d)	h'(Tr)	h(d,Tr)	i(d,r)	Ia(CN)			pioggia netta		*Pioggia netta ragguagliata all'area*	*Portata al colmo*
	anni	mm	mm	mm				a=	n=	*hn*	*c*	*mm*	*m³/s*
NuraCraba	50	45	27	2.17	58.4	21	3.8	2.227	-0.024	40.37	0.69	37.25	77.71
RioS_Aoru01	50	45	28	2.17	61.1	19	3.8	2.227	-0.024	42.91	0.70	39.95	60.59
R_Tanui	50	45	29	2.16	63.6	17	3.8	2.227	-0.024	45.30	0.71	41.25	133.76
RiuMerdeCani	50	45	27	2.17	59.3	20	3.8	2.227	-0.024	41.26	0.70	37.86	96.70
RoiaSaMurta	50	45	29	2.16	62.5	18	3.8	2.227	-0.024	44.27	0.71	40.67	100.25
Riu_Tumboi	50	45	28	2.17	60.3	19	3.8	2.227	-0.024	42.22	0.70	38.89	87.87
ComplPodere02	50	45	21	2.22	46.7	39	3.2	2.227	-0.024	31.63	0.68	29.56	34.79
R_Spinarba	50	45	21	2.22	45.6	41	3.2	2.227	-0.024	30.67	0.67	28.19	60.58
	Tempo di ritorno	hg_med.	h_med_(d)	h'(Tr)	h(d,Tr)	i(d,r)	Ia(CN)			pioggia netta		Pioggia netta ragguagliata all'area	Portata al colmo
	anni	mm	mm	mm				a=	n=	*hn*	*c*	*mm*	*m³/s*
NuraCraba	100	45	27	2.47	66.4	24	3.8	2.539	-0.026	47.91	0.72	44.20	92.21
RioS_Aoru01	100	45	28	2.46	69.4	21	3.8	2.539	-0.026	50.81	0.73	47.30	71.75
R_Tanui	100	45	29	2.45	72.3	19	3.8	2.539	-0.026	53.54	0.74	48.79	158.21
RiuMerdeCani	100	45	27	2.47	67.4	23	3.8	2.539	-0.026	48.92	0.73	44.87	114.59
RoiaSaMurta	100	45	29	2.46	71.1	20	3.8	2.539	-0.026	52.36	0.74	48.12	118.61
Riu_Tumboi	100	45	28	2.47	68.6	22	3.8	2.539	-0.026	50.03	0.73	46.06	104.08
ComplPodere02	100	45	21	2.53	53.2	44	3.2	2.539	-0.026	37.72	0.71	35.25	41.49
R_Spinarba	100	45	21	2.53	52.0	47	3.2	2.539	-0.026	36.62	0.70	33.65	72.33
	Tempo di ritorno	hg_med.	h_med_(d)	h'(Tr)	h(d,Tr)	i(d,r)	Ia(CN)			pioggia netta		*Pioggia netta ragguagliata all'area*	*Portata al colmo*
	anni	mm	mm	mm				a=	n=	*hn*	*c*	*mm*	*m³/s*
NuraCraba	200	45	27	2.77	74.4	27	3.8	2.8517	-0.0285	55.50	0.75	51.20	106.81

RioS_Aoru01	200	45	28	2.76	77.8	24	3.8	2.8517	-0.0285	58.74	0.76	54.69	82.96
R_Tanui	200	45	29	2.75	80.9	21	3.8	2.8517	-0.0285	61.80	0.76	56.32	182.64
RiuMerdeCani	200	45	27	2.77	75.6	26	3.8	2.8517	-0.0285	56.63	0.75	51.94	132.66
RoiaSaMurta	200	45	29	2.75	79.6	23	3.8	2.8517	-0.0285	60.49	0.76	55.58	137.02
Riu_Tumboi	200	45	28	2.76	76.8	25	3.8	2.8517	-0.0285	57.87	0.75	53.29	120.40
ComplPodere02	200	45	21	2.84	59.7	50	3.2	2.8517	-0.0285	43.88	0.73	41.01	48.27
R_Spinarba	200	45	21	2.84	58.4	53	3.2	2.8517	-0.0285	42.65	0.73	39.19	84.22

	Tempo di ritorno	**hg_med.**	**h_med_(d)**	**h'(Tr)**	**h(d,Tr)**	**i(d,r)**	**Ia(CN)**			pioggia netta		***Pioggia netta ragguagliata all'area***	***Portata al colmo***
	anni	mm	mm	mm				**a=**	**n=**	***hn***	***c***	***mm***	***m³/s***
NuraCraba	500	45	27	3.16	84.9	31	3.8	3.265	-0.032	65.57	0.77	60.49	126.20
RioS_Aoru01	500	45	28	3.15	88.7	27	3.8	3.265	-0.032	69.26	0.78	64.48	97.81
R_Tanui	500	45	29	3.13	92.3	24	3.8	3.265	-0.032	72.74	0.79	66.28	214.95
RiuMerdeCani	500	45	27	3.16	86.2	30	3.8	3.265	-0.032	66.86	0.78	61.32	156.62
RoiaSaMurta	500	45	29	3.14	90.7	26	3.8	3.265	-0.032	71.24	0.79	65.47	161.38
Riu_Tumboi	500	45	28	3.15	87.7	28	3.8	3.265	-0.032	68.27	0.78	62.86	142.04
ComplPodere02	500	45	21	3.25	68.3	57	3.2	3.265	-0.032	52.11	0.76	48.70	57.31
R_Spinarba	500	45	21	3.25	66.9	61	3.2	3.265	-0.032	50.70	0.76	46.59	100.12

5 ANALISI IDRAULICA

5.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

L'analisi degli effetti dei deflussi sul territorio, legati ad eventi di particolare rilevanza sul reticolo idrografico interno al territorio comunale, è stata effettuata rilevando il comportamento che le portate veicolate internamente al reticolo idrografico hanno con le aree di pertinenza fluviale.

5.2 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

Come per l'analisi idrologica, anche in quella idraulica sono state utilizzate opportune schematizzazioni e semplificazioni che mirano a produrre un approccio modellistico del fenomeno che possa tradursi in una procedura di calcolo.

La trasposizione dell'evento meteorico e conseguentemente di piena sul territorio è descritta attraverso la modellazione della propagazione della piena sul reticolo idrografico.

In questa fase sono svariate le semplificazioni che vengono assunte: in primo luogo di carattere modellistico, assumendo valide le ipotesi di base dell'equazione di de Saint Venant, e quindi ritenendo in prima stesura che l'alveo sia un cilindroide, che il moto sia gradualmente variato, che durante l'evento di piena la sezione si mantenga immutata come forma e come caratteristiche di scabrezza, e infine che il fluido trasportato si comporti come un fluido newtoniano. Il codice di calcolo utilizzato introduce dei parametri correttivi, che in qualche maniera danno ragione alle semplificazioni adottate in fase di calcolo dei livelli idrici durante lo sviluppo longitudinale dell'asta. Il modello idraulico è stato realizzato utilizzando le informazioni desunte dalla cartografia disponibile (dtm 10 m e dtm 1 m) supportata da ulteriori indagini in situ. La simulazione del deflusso idraulico sul modello generato dalle informazioni cartografiche ha definito un profilo di corrente per ogni portata di calcolo.
L'impronta dell'allagamento è definito dal luogo dei punti che in ogni sezione si trovano al di sotto dell'altezza idrica calcolata. In fase di modellazione si è operato valutando l'andamento dei profili idrici su più sezioni attigue effettuando sostanzialmente una media mobile ed eliminando i valori decisamente anomali. Inoltre, si è osservato se le aree esondate potessero o meno rientrare in alveo: laddove non risultasse possibile il rientro in

alveo si è confermata un'area di esondazione anche laddove la sezione risultasse idonea. In ultima analisi, si è cercato di dare una giustificazione globale alle aree coinvolte dagli allagamenti valutando sulla base delle informazioni locali il comportamento delle portate di piena in occasione di eventi di rilievo, consentendo indubbiamente di realizzare una calibrazione dei modelli idraulici prodotti.

5.3 METODOLOGIA UTILIZZATA

In ottemperanza a quanto disposto dalle Linee Guida del PAI, l'analisi verrà condotta in condizioni di moto permanente per le portate di piena con tempi di ritorno 50, 100, 200, 500 anni.

Nella valutazione delle aree di esondazione si è operato secondo la metodologia di seguito descritta.

Si è realizzato un modello idraulico del terreno nel quale fossero ben definite le sezioni trasversali (transetti), l'andamento planimetrico dell'alveo e la presenza di opere di attraversamento; le caratteristiche di cui sopra definiscono l'andamento planoaltimetrico del rio e conseguentemente le sue caratteristiche geometriche. In una seconda fase, sulla base delle presenza di vegetazione, o sulla base delle caratteristiche del materiale presente in alveo, si è attribuito il coefficiente di scabrezza.

L'analisi in condizioni di moto permanente necessita della definizione della condizione a contorno di monte e della definizione a contorno di valle; premettendo che da un'analisi di sensitività si è osservato che generalmente questo parametro, se scelto con criterio, non produce particolari variazioni dei livelli idrici già dopo alcuni metri, si è ritenuto cautelativo assumere per le due condizioni l'ipotesi di altezza di moto uniforme.

5.4 IL MODELLO DI CALCOLO

Il modello idraulico utilizzato in questo studio, denominato HEC-RAS, nella sua versione 4.0, è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua in condizioni di moto stazionario e non stazionario.

Questa scelta è stata fatta per ragioni di coerenza con il PAI che ha individuato e perimetrato le aree a rischio idraulico utilizzando questo codice di calcolo. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente ecc.

Moto permanente

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico,

$$\boxed{Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_e} \qquad (1)$$

dove:

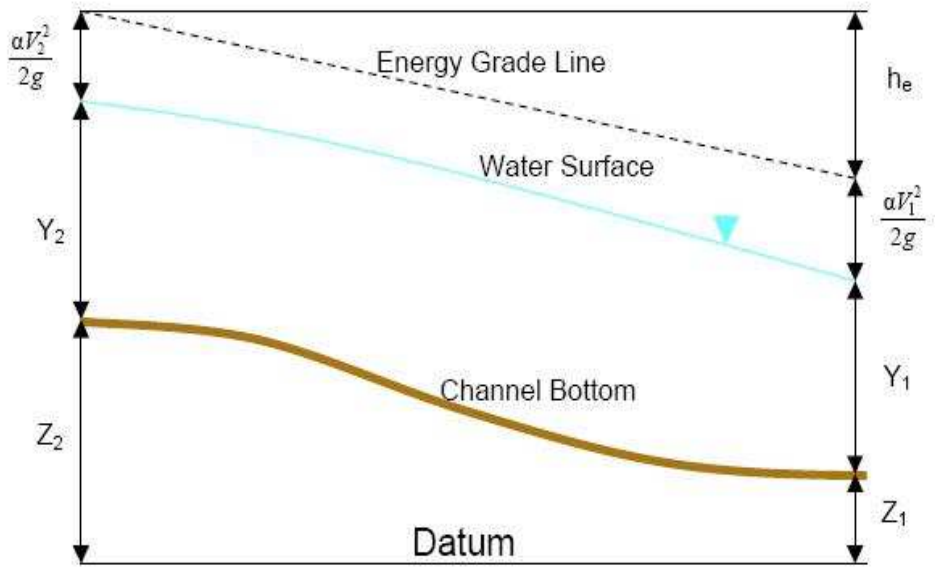
Y1 e Y2 sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;

Z1 e Z2 sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

V1 e V2 sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;

α1 e α2 sono coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche;

he è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.



Il termine *he* dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^{\,2}}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^{\,2}}{2g} \right| \qquad (2)$$

dove:

L è la lunghezza del tronco considerato;

$\overline{S_f}$ è la cadente media tra le due sezioni;

C è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verifichino transizioni da corrente lenta e veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni.

Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step), tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di

espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

5.5 RISULTANZE DELLO STUDIO

In analogia a quanto visto relativamente alle valutazioni idrologiche, anche le valutazioni idrauliche sono state svolte individuando due contesti principali, riguardanti i bacini a nord e sud del Tirso, con una successiva analisi riguardante le aree esterne sia al Tirso che ai bacini di cui sopra.

Una nota specifica riguarda l'eventuale analisi del Tirso: nel presente documento sono state assunte integralmente le indicazioni del PSFF, attendo la conclusione del Piano di Gestione Rischio Alluvione che ha in essere la Regione Sardegna.

Le tavole, unitamente alle elaborazioni grafiche e numeriche allegate alla presente relazione, consegnano in dettaglio le risultanze delle modellazioni; di seguito sono raccolte invece le considerazioni di sintesi che emergono dall'interpretazione delle modellazioni, relative alla sola pericolosità molto elevata H4, che risulta essere predominante nello studio.

5.5.1 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL SISTEMA IN DESTRA IDRAULICA DEL TIRSO (SISTEMA A NORD)

Il sistema in destra idraulica del fiume Tirso è sostanzialmente costituito dai Rii Nura Craba e dal Rio S'Aoru: i due si incontrano poco a sud di Nuraxinieddu e vanno a costituire il Rio Tanui che sfocia in corrispondenza dell'abitato di Cabras; la modellazione idraulica è stata eseguita con l'ausilio dell'informazione cartografica relativa al DTM 1m fornito dalla Regione Sardegna.

Le portate di calcolo risultano le seguenti:

	River	Reach	RS	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500
1	NuraCraba	NuraCraba	2631.233	77.71	92.21	106.81	126.2
2	S_Aoru	S_Aoru	1842.23	60.59	71.75	82.96	97.81
3	Tanui	Tanui	3415.161	133.76	158.21	182.64	214.95

Tabella 5 -Portate di progetto in m3/s

Di seguito si consegna lo schema planimetrico del modello idraulico.

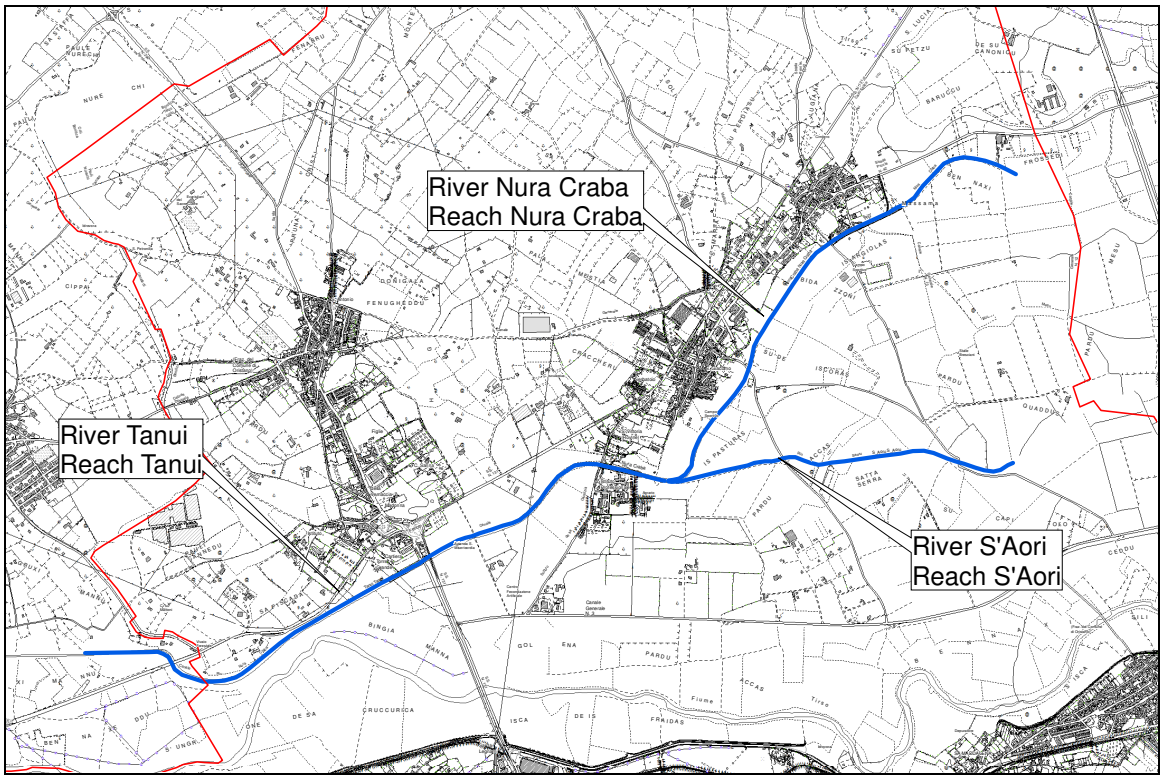


Figura 34 Modello idraulico del sistema a nord del Tirso

Per quanto concerne le specifiche sui modelli e le risultanze delle modellazioni stesse si riscontra quanto segue.

Il modello del Rio Nura Craba si estende per una lunghezza di circa 2600 m, con una pendenza è sostanzialmente nulla, inferiore allo 0.1 %. Il modello idraulico è stato realizzato predisponendo 27 sezioni con lunghezze che talvolta sono prossime al chilometro. Si è reso necessario ampliare il transetto a causa dell'esigua pendenza del

contesto territoriale in cui si opera.

Si osserva inoltre che il rio, il cui percorso è stato alterato, e tende a scorrere parallelamente al Tirso con la sezione trasversale che sostanzialmente favorisce i deflussi verso il Tirso stesso.

La successiva sezione, tipica del contesto esaminato, evidenzia come il canale tenda sostanzialmente ad articolarsi come un canale a *mezza costa*, la destra idraulica è quindi il limite dell'area di espansione, ove per'altro sorge il centro di Nuraxinieddu.

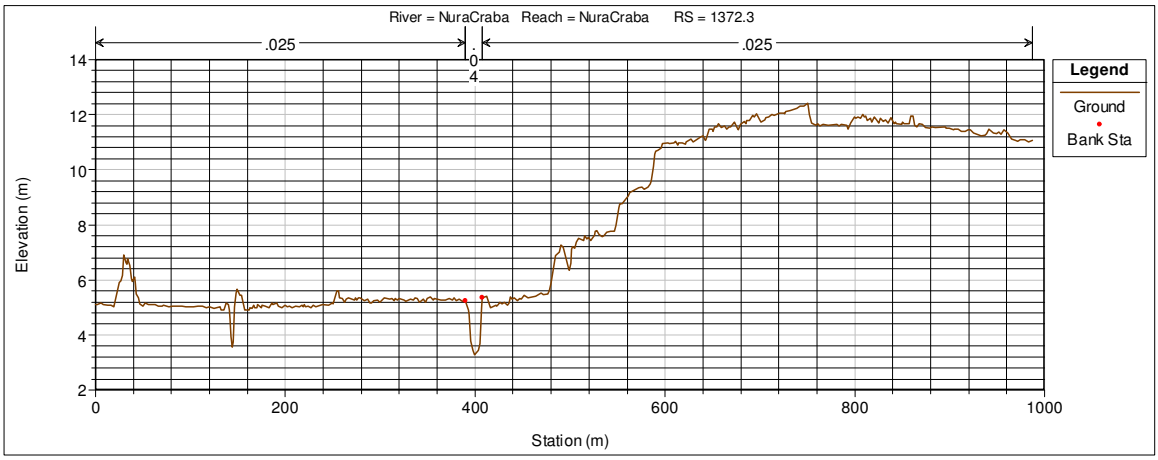


Figura 35 Sezione idraulica Riu Nura Craba

L'area di espansione, come evidenziato in precedenza, si addossa il sottostante rio S'Aoru e in seconda battuta all'argine destro del Tirso.

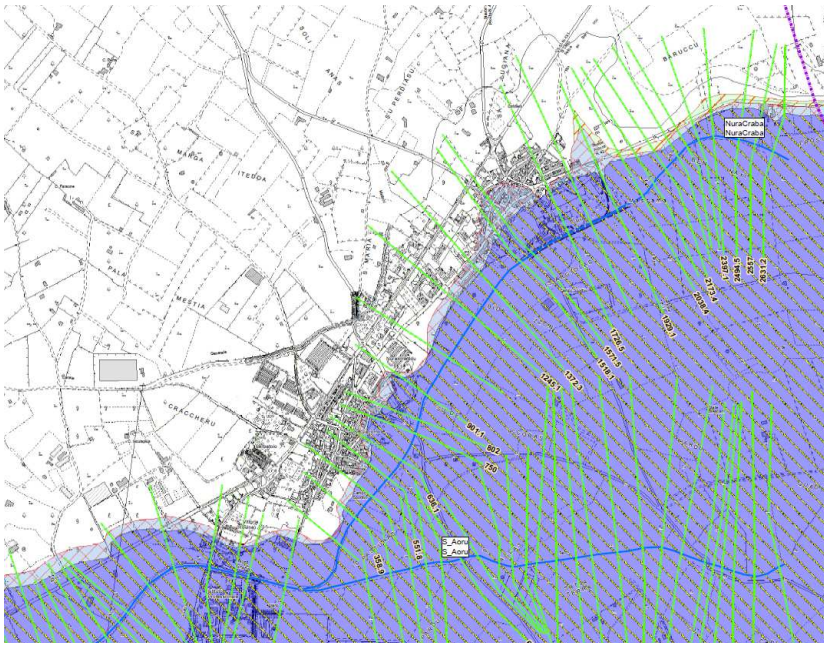


Figura 36 Aree di pericolosità idraulica Rio Nura Craba

Il Rio S'Aoru è invece stato modellato per una lunghezza di 1850 m: scorre anch'esso parallelamente all'argine destro del tirso, in piena area golenale. Come per il precedente, anche in questo caso le pendenze si mantengono sotto l'uno per mille. I transetti sono 26 e anche in questo caso le lunghezze sono dell'ordine del chilometro.

Gli alvei sono fortemente inerbiti e le zone golenali sostanzialmente pianeggianti come evidenziato nella successiva figura.

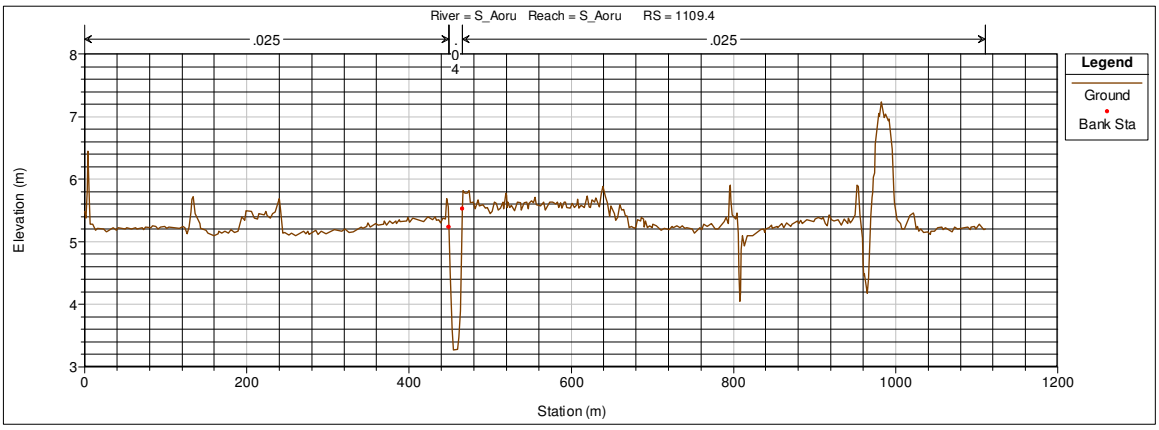


Figura 37 Sezione idraulica Rio S'Aoru

Le aree di espansione sono estremamente estese con tiranti idrici modesti e velocità in golena modeste; la modellazione ha evidenziato una sostanziale occupazione dell'intero transetto di calcolo proprio per effetto dell'orizzontalità della zona golenale. Il rio si trova nella golena del Tirso, la cui espansione ricopre in sostanza le aree di pericolosità dei due rii su esposti.

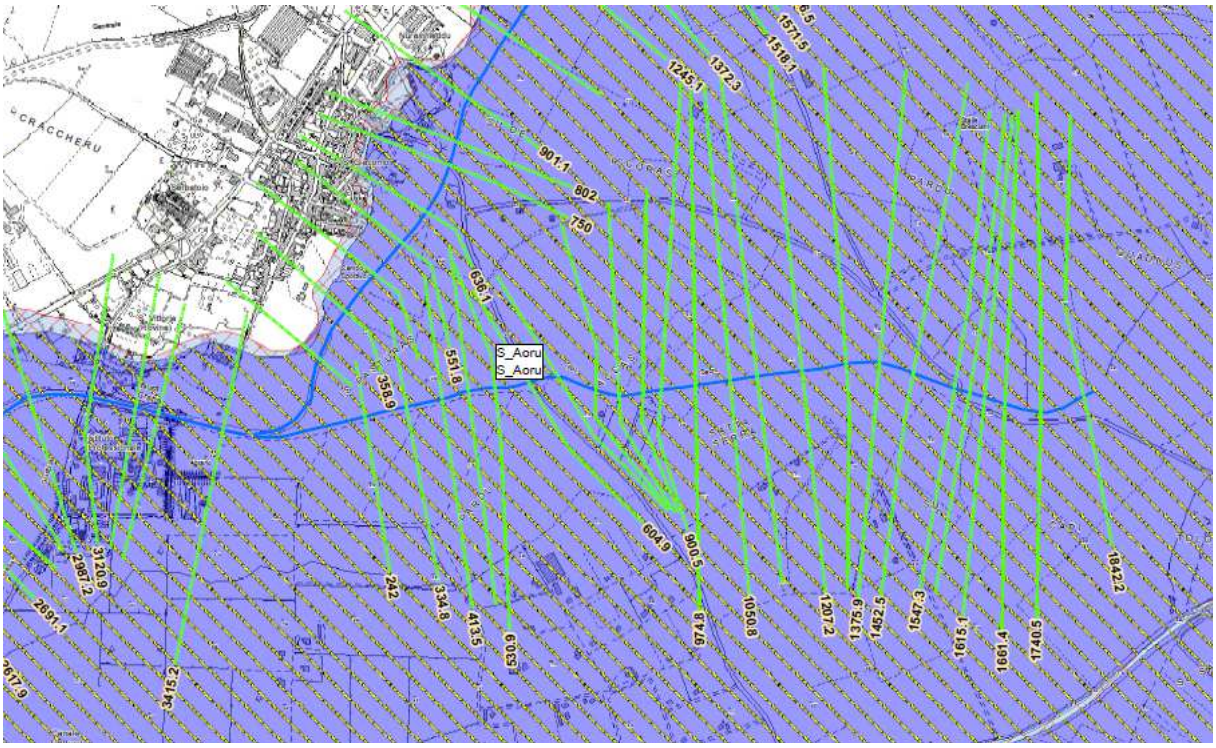


Figura 38 Aree di pericolosità idraulica Rio S'Aoru

Il Tanui, come detto, nasce dalla confluenza dei Rii Nura Craba e S'Aoru; scorre in direzione est ovest, sino ad attraversre la Strada Provinciale 56 alla Madonna del Rimedio; la sezione è larga circa 25 m e profonda due metri circa, e spesso ricolma di vegetazione che, unitamente alla forte orizzonalità dell'asta, (anche in questo caso le pendenze sono inferiori all'uno per mille) limita fortemente la velocità di deflusso.

Figura 39 Vista del Rio Tanui

Circa 1500 m a valle dell'attraversamento con il ponte del Rimedio, il fiume interseca la SP 1: è questo un punto di discontinuità della sezione idraulica, mentre a valle la sezione si estende per una larghezza di circa 30 m con una sezione trapezia con profondità di 3m circa.

Tra i due ponti il deflusso è fortemente confinato, a sinistra dall'argine destro del Tirso al quale si avvicina fortemente, e a destra da un'area a quota maggiore interessato dal vivaio della Forestale.

E' questo un punto particolarmente critico, in quanto sia il Tanui ma ancor più il Tirso subiscono una riduzione della sezione idraulica che evidentemnte si traduce con un aumento del tirante idrico.

Il modello idraulico è stato realizzato con l'implementazione di 41 transetti; in basso la sezione trasversale colta in prossimità del vivaio (dx idraulica, in sinistra è evidente l'argine del Tirso).

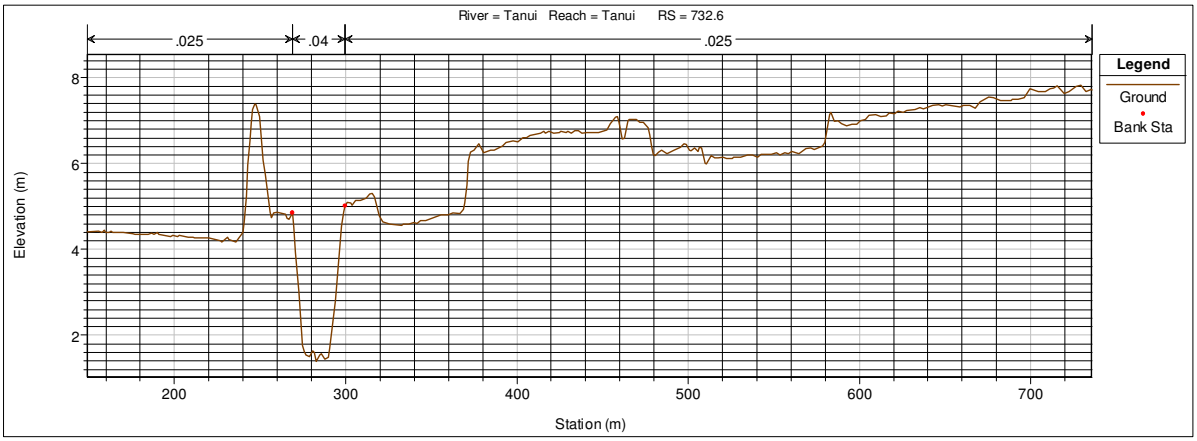


Figura 40 Sezione trasversale Rio Tanui

La successiva figura mostra in una rappresentazione 3D l'argine destro del Tirso, che dopo l'attraversamento del ponte del rimedio, tende ad avvicinarsi fortemente al ciglio del Rio Tanui e ad accompagnarlo sin tanto che il fiume è costretto in destra idraulica dal vivaio su citato.

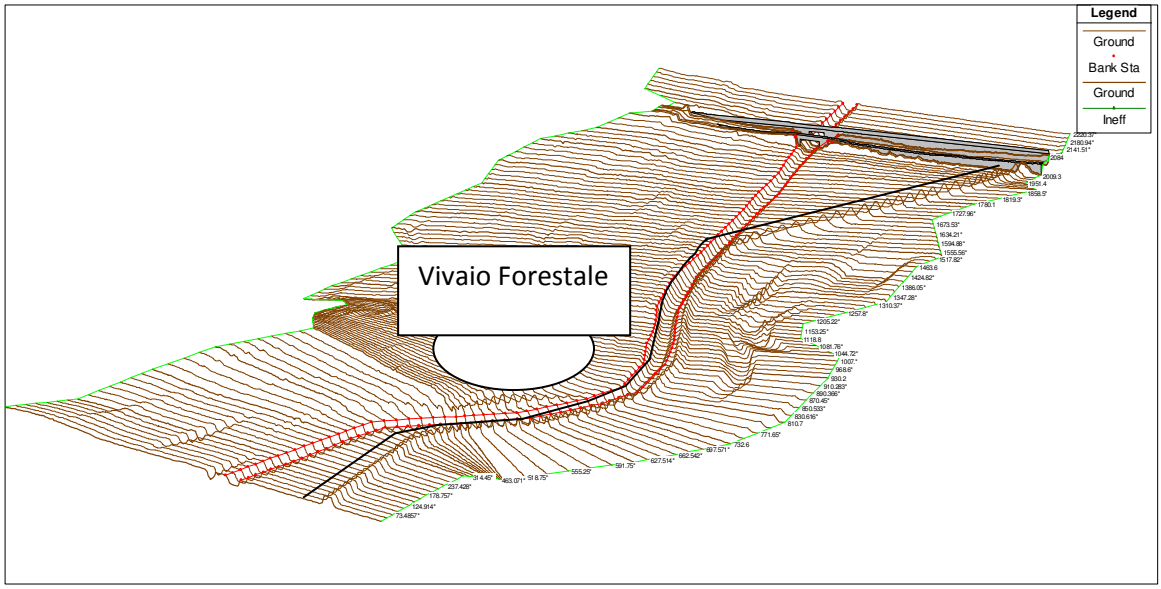


Figura 41 Rappresentazione 3D dell'argine dx del Tirso

5.5.2 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL SISTEMA IN SINISTRA IDRAULICA DEL TIRSO (SISTEMA A SUD)

Come evidenziato nel paragrafo relativo alla parte idrologica, il sistema dei deflussi in sinistra idraulica del Fiume Tirso è principalmente affidato alle linee di deflusso riconducibili ai Rii Spinarba, il rio Merd'e Cani e il rio Roia Sa Murta.

Per quanto concerne le informazioni cartografiche disponibili, si è potuto utilizzare il DTM 1m per quanto concerne il rio Spinarba, mentre per i rimanenti due, non essendo disponibile un'informazione di dettaglio, si è operato con l'ausilio del DTM 10 riclassificato con le informazioni relative alle sezioni d'alveo.

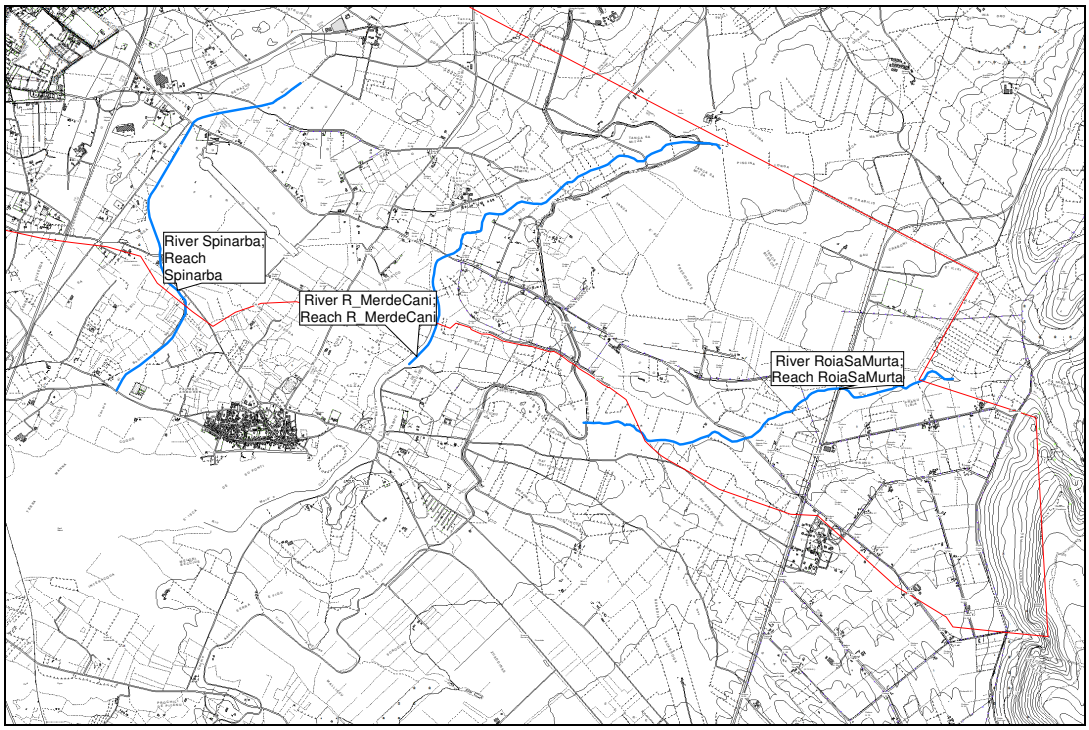
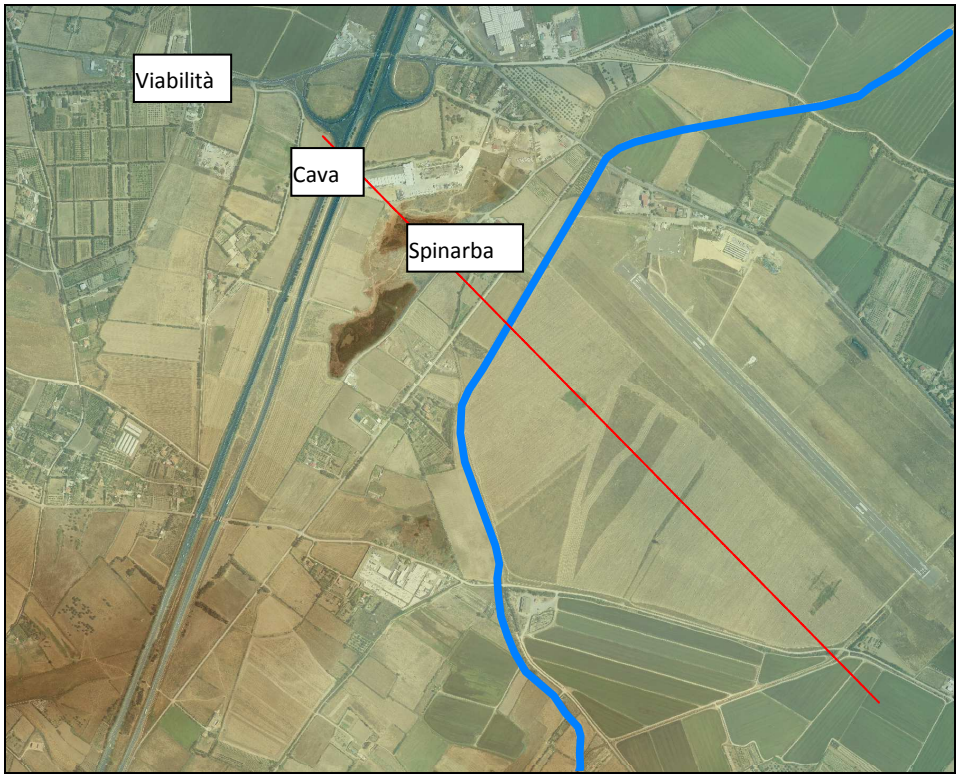


Figura 42 Modello idraulico del sistema a sud del Tirso

Il rio Spinarba, come già evidenziato, è un canale che ha origine in agro di Simaxis e funge da canale di dreno per le campagne che attraversa lungo il suo percorso; in quanto canale di dreno, è evidentemente dimensionato per portate ordinarie e, attraversando aree sostanzialmente pianeggianti, è privo di pendenze di rilevo. L'intero sviluppo è dell'ordine dei 3700 m, e nei primi 2400 m la pendenza si attesta su valori dell'uno per mille, mentre successivamente aumenta sino a valori del cinque per mille.

Durante il suo percorso, attraversa aree a vocazione agricola, spesso risicola, ed aree occupate da cave, entrambe situazioni che determinano un comportamento idraulico estremamente variabile. In particolare, come si potrà riprendere successivamente, le risaie determinano delle condizioni di pericolosità intrinseca legata alla tipologia dello specifico uso del Suolo.

Le figure seguenti consegnano l'andamento di una sezione trasversale al corso d'acqua in prossimità della pista dell'aeroporto di Fenosu.



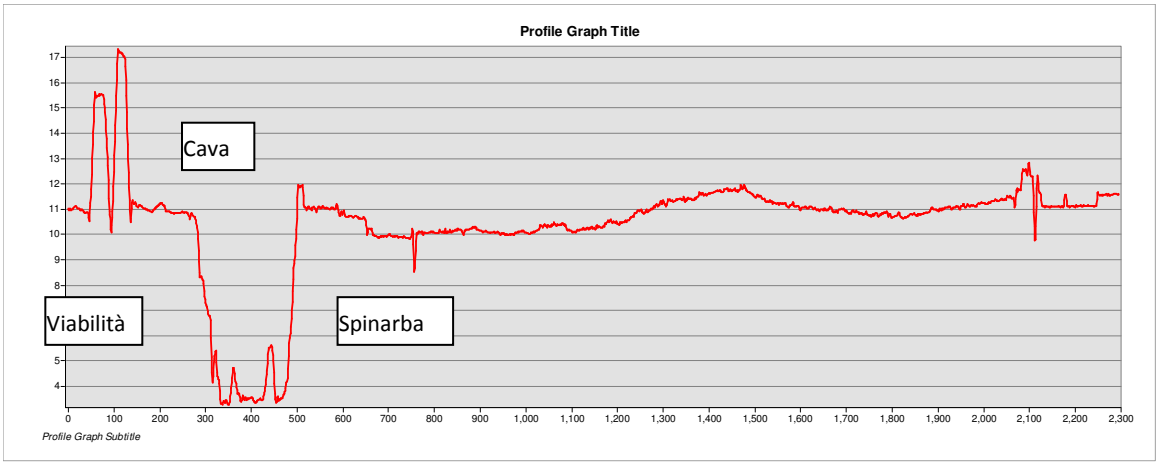


Figura 43 Planimetria e sezione trasversale del Rio Spinarba in prossimità dell'aeroporto

Complessivamente il modello idraulico è stato ottenuto con il tracciamento di 31 transetti, anche in questo caso particolarmente lunghi al fine di valutare l'espansione delle aree golenali nella sua totale interezza. In taluni casi la lunghezza totale ha raggiunto i 2 km, andando ad individuare alle estremità il minimo rilevato, spesso legato alla viabilità che in qualche maniera confina le portate esondate, e con velocità estremamente basse, qualche centimetro al secondo.

I valori della portata assunti alla base del calcolo sono:

	River	Reach	RS	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500
1	Spinarba	Spinarba	3987.8	60.58	72.33	84.22	100.12

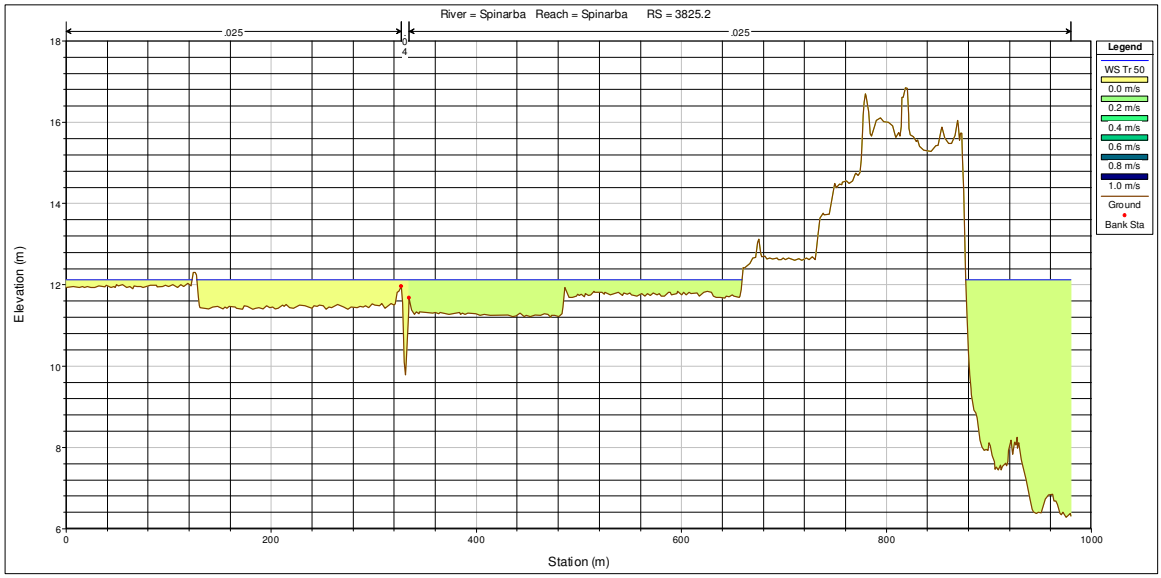


Figura 44 Sezione idraulica con campo di velocità (in estrema destra la presenza di un'area di cava)

Le aree di pericolosità idraulica sono particolarmente estese sia in sinistra che in destra idraulica a monte della pista di Fenusu, con l'espansione destra confinata dal rilevato stradale interpoderale di una risaia.

Come si potrà evincere dalle sezioni idrauliche allegate al documento, le aree di pericolosità si sono spesso estese oltre le arei individuate dai transetti: questo in quanto la presenza delle risaie metteva in evidente comunicazione aree depresse. Le medesime aree non sono quindi sede di deflusso naturale ma alimentate artificialmente, e sono tuttavia aree nelle quali è presente un tirante idrico apprezzabili seppure con velocità nulle.

In relazione al Rio Merd'e Cani, il modello analizzato ha una lunghezza di circa 400 m, di cui una prima porzione di circa 1500m ha una pendenza apprezzabile riconducibile a valori dell'ordine del 1.5 %, mentre la rimanente porzione presenta una pendenza estremamente inferiore, minore dell'uno per mille.

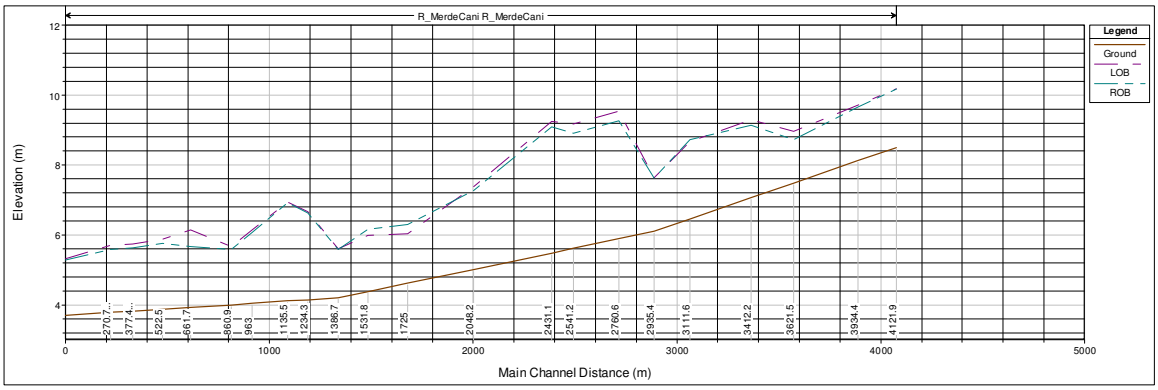


Figura 45 Profilo del Rio Merd'e Cani

Lungo il suo percorso va ad interessare aree a vocazione agricola: la sua sezione d'alveo è generalmente trapezia con 4 metri circa in sommità, scarpe a 45% e altezza compresa tra 1.5 e 2 metri. Il fondo dell'alveo in ampi tratti è interessato dalla presenza d'acqua sostanzialmente ferma, ad evidenziare una quasi totale assenza di gradiente idraulico.

Figura 46 Sezione trapezia del Rio Merd'e Cani

L'area di espansione della piena tende a defluire in destra idraulica, verso aree caratterizzate da attività risicole, mentre in sinistra idraulica tende a rimanere confinata dal Canale Adduttore Tirso Arborea. Le fasce di allagamento si mantengono entro valori di circa 300 m, con velocità sempre estremamente modeste. L'assenza di un'informazione cartografica di dettaglio non consente una verifica puntuale dei tiranti idrici come avviene laddove è presente un volo leader. Si rileva tuttavia che le informazioni in possesso possono indicare tiranti idrici abbastanza modesti.

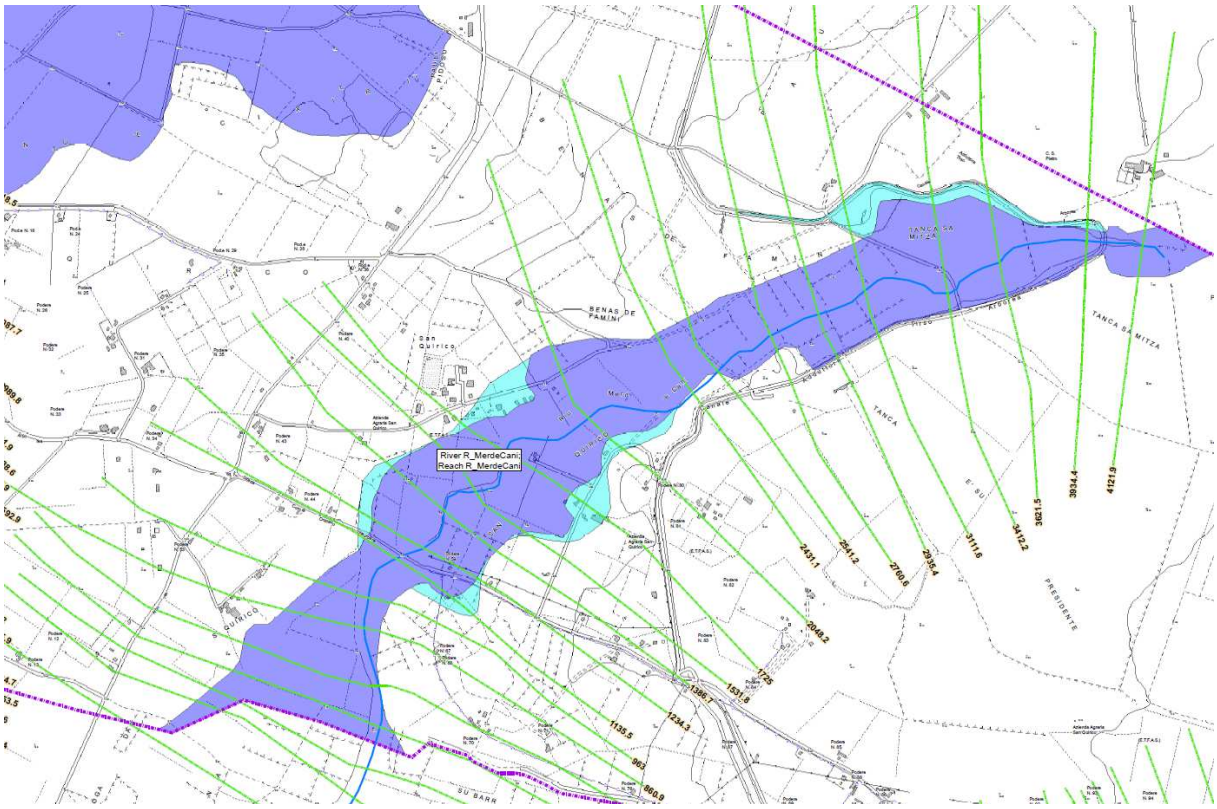


Figura 47 Aree di pericolosità idraulica del Rio Merd'e Cani

Ancora più a sud scorre il Rio Roia sa Murta o Tumboi, compluvio che discende dai rilevati del Monte Arci, decisamente acclive nei primi mille chilometri di modellazione, con valori dell'ordine dell'1.5% per poi degradare progressivamente nella seconda parte, con valor di pendenza dell'ordine di qualche unità per mille.

Il numero dei transetti individuato è di 27, con lunghezze superiori a due chilometri.

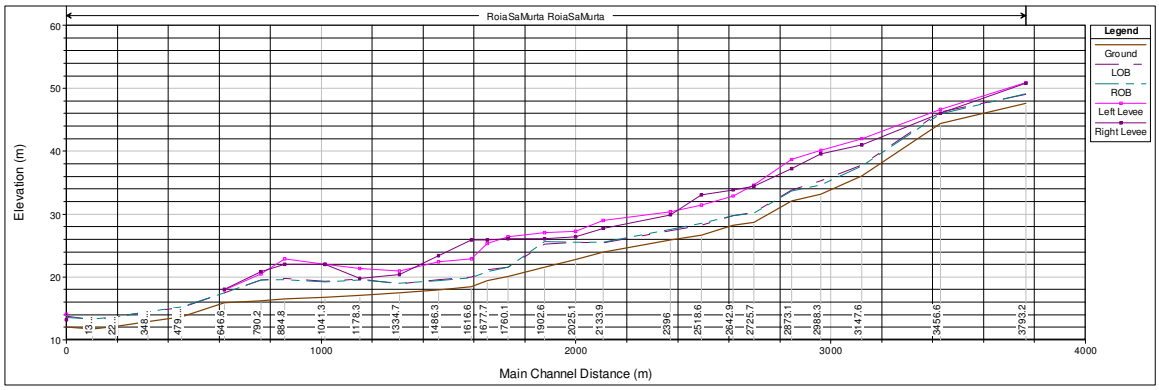


Figura 48 Profilo Rio Roia Sa Murta

Rispetto alle condizioni precedentemente descritte, il corso d'acqua non va ad interessare aree a vocazione risicola e le sezioni trasversali tendono ad essere leggermente più chiuse con un maggiore confinamento delle portate esondate. Le aree di allagamento si estendono infatti nell'interno del corso d'acqua per una larghezza di 150 - 180m per poi allargarsi maggiormente quando si giunge nel limite del territorio comunale.

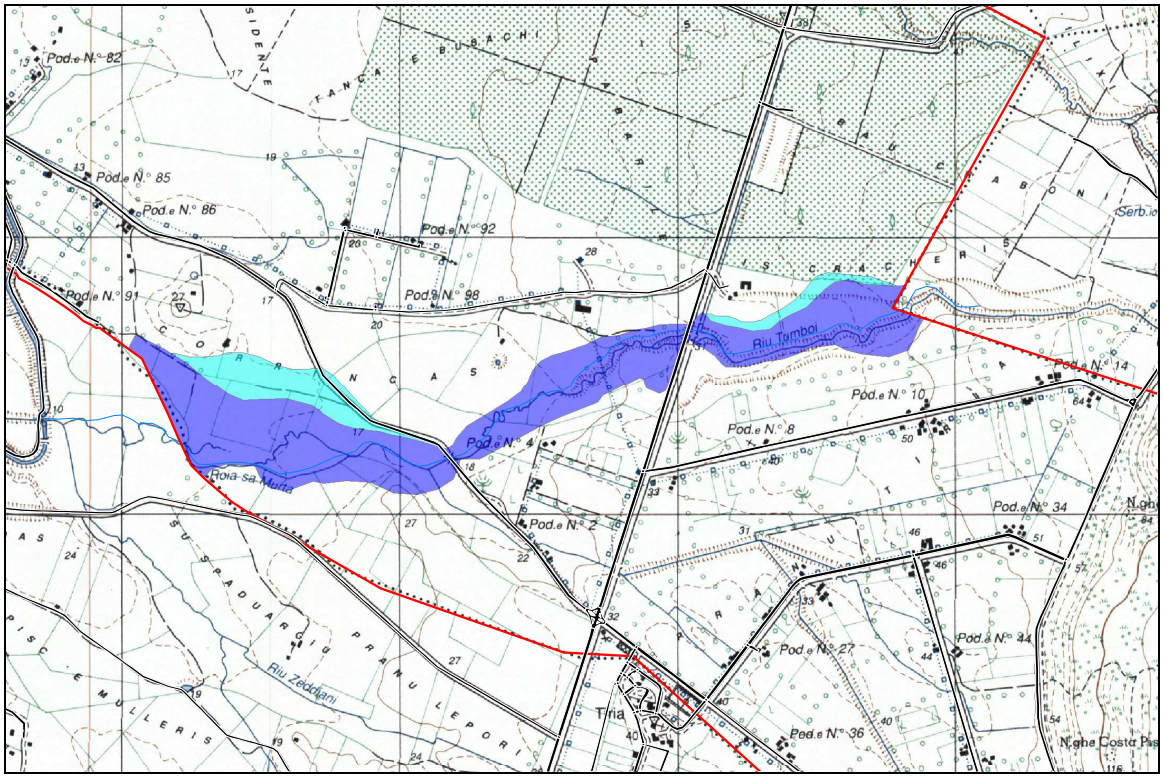


Figura 49 Aree di pericolosità idraulica Rio Roia Sa Murta

5.5.3 AREE DRENANTI MINORI

Come richiamato nella parte idrologica di cui ai punti precedenti, sono state analizzate le porzioni d'area ricomprese tra l'abitato e l'argine sinistro del Tirso in prossimità della foce (area contermine al canale Torangius), e la porzione di territorio compresa tra la SS 131 e la linea ferroviaria ad est di Oristano.

Nel primo caso, vista la specificità del sito e gli interventi in fase realizzativa da parte della provincia, si è operato mutuando le informazioni derivanti dalle indicazioni locali, dalla

modellazione idraulica, da considerazioni di tipo morfologiche e dalle indicazioni degli elaborati progettuali.

Non si è ritenuto che l'approccio modellistico classico potesse dare le giuste informazioni, in quanto sono estremamente complesse le interazioni tra le possibili cause che determinano gli scenari di pericolosità idraulica.

Giova inoltre osservare, che diversamente dalle condizioni generali, le basi cartografiche utilizzate in questa sede non hanno potuto dare le informazioni che ci si sarebbe potuto aspettare: il DTM depurato dall'edificato consegna dei vuoti che, stante le minime alterazioni orografiche, risultano determinanti. Inoltre la presenza degli specchi d'acqua determinati dalle risaie impediva di fatto la lettura del terreno; anche il DSM in questo caso, vista la folta vegetazione, soprattutto in alveo, non consentiva un'adeguata lettura delle forme.

Una prima analisi è stata comunque condotta mediante l'implementazione di un modello idraulico in ambiente HecRas, con un foltissimo numero di transetti, anche estremamente estesi.

Figura 50 Modello idraulico del canale S. Giovanni

La forma delle sezioni, riconducibile a quella di seguito consegnata, evidenziava generalmente una presenza del tirante idrico in sponda destra, laddove l'orografia nel tratto a valle della fine intervento provincia tendeva ad assumente valori generalmente più bassi.

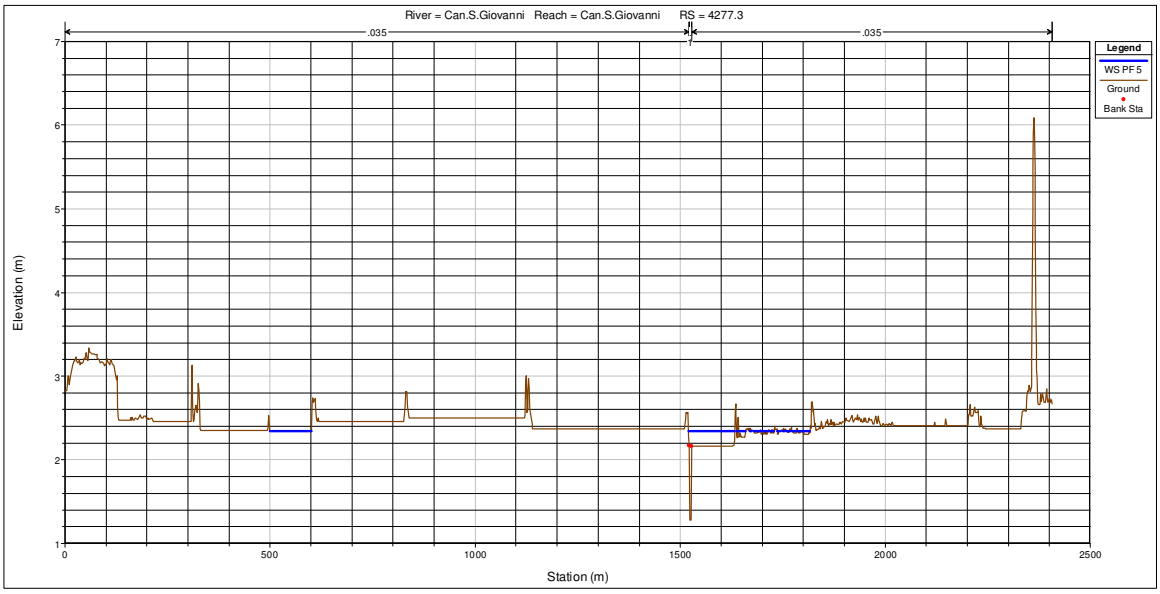


Figura 51 Sezione idraulica Rio S. Giovanni

Quanto su espresso è evidente sul piano quotato sotto consegnato, ottenuto dall'interpolazioni sul DSM di punti colti in aree libere. Come si può osservare, nella generalità dei casi le quote in sponda sinistra tendono ad assumere valori più elevati rispetto a quelli in sponda destra.

Figura 52 Piano quotato desunto dal DSM

Sulla base di quanto su esposto, unitamente alle considerazioni sulle aree dedite all'attività risicola, si determinano le seguenti aree di pericolosità idraulica.

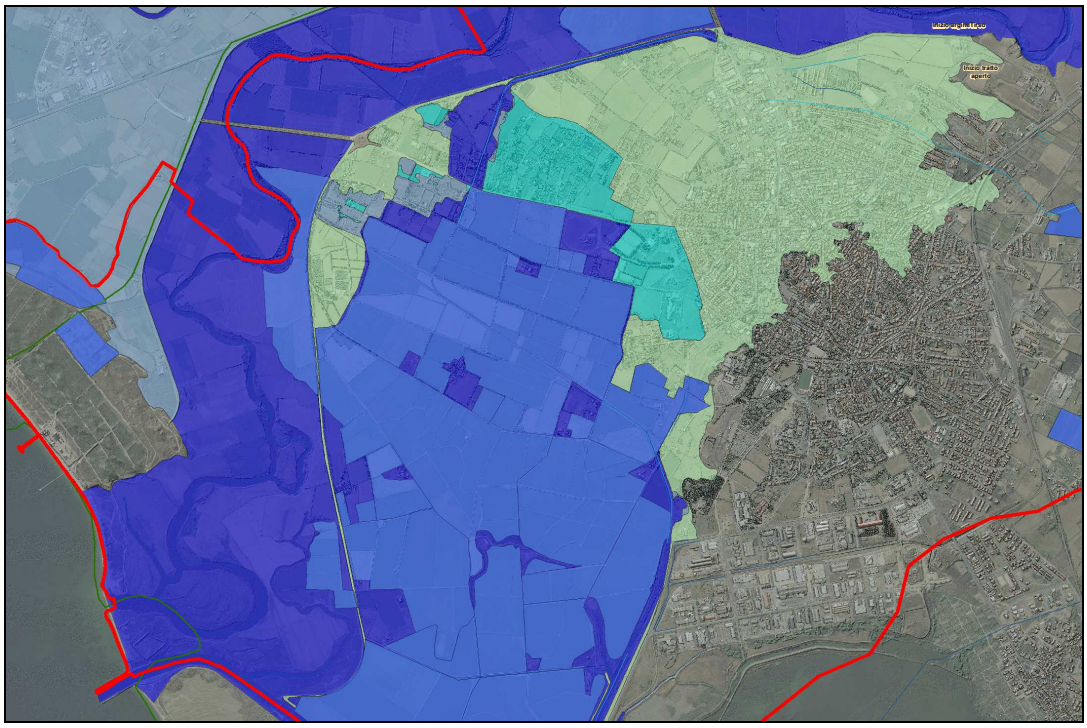


Figura 53 Aree di pericolosità idraulica dei bacini di dreno minori

Per quanto concerne la porzione del territorio compresa tra la SS 131 e la linea ferroviaria, non si colgono gli estremi per l'individuazione di livelli di pericolosità tali da generare condizioni di pericolosità idraulica. Il bacino ricompreso tra le due linee viarie, come espresso nel paragrafo relativo, si estende per una superficie dell'ordine del mezzo chilometro quadrato: è pur vero che le portate tendono a concentrarsi esclusivamente nei sottopassi menzionati, ma la condizione di estrema planarità dell'area si ritiene possa determinare condizioni che si esauriscono in concomitanza con la cessazione dell'evento, eventualmente con tiranti idrici non ragguardevoli.

5.6 CONDIZIONI DI VINCOLO ESISTENTE

La trattazione su esposta non ha opportunamente tenuto conto degli effetti legati al Fiume Tirso; lo studio recepisce infatti integralmente quanto consegnato nell'ambito del Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali adottato con Delibera n.1 del 20.06.2013 e con Delibera n.1 del 05.12.2013. Fasi successive valuteranno l'adozione di quanto emergerà dalle risultanze del redigendo Progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

6 CONCLUSIONI

Il contesto territoriale esaminato può sostanzialmente essere riconducibile a tre aree principali: una a nord del tirso, riconducibili al sistema drenante S'Aoru - Nura Craba, una riconducibile a Tirso stesso e uno a Sud del Tirso che ricomprende i deflussi proveniente dai rilievi del Monte Arci e dalle aree debolmente drenanti ricomprese nel territorio di Simaixs.

Il sistema a nord del Tirso risulta fortemente modificato per effetto della presenza dell'argine destro del fiume, arginatura che impedisce alle acque di immettersi nel Fiume stesso costringendole in un percorso parallelo ad esso sino a defluire sul Canale di Bonifica a Marea Benaxi e successiva immissione nello stagno di Cabras. La debole pendenza delle linee di deflusso favorisce una condizione di criticità idraulica del sistema, con coinvolgimento delle aree ad esse attigue e ubicate in sponda destra del Tirso.

Il fiume Tirso, indagato nell'ambito della Stesura del PAI, successivamente del PSFF e al momento della stesura del presente documento, in fase di analisi nell'ambito del PGRA, risulta generalmente confinato in sinistra idraulica dalla difesa arginale, in destra idraulica invece si individuano principalmente due criticità: a monte della SP il sistema arginale risulta insufficiente per la portata centenaria, a valle della stessa strada invece la criticità di manifesta già con la portata cinquantenaria.

Il sistema a valle del Tirso, riconducibile sostanzialmente ai rii Spinarba, Merd'e Cani e Tumboi/Roia Sa Murta, tende sostanzialmente a collegarsi al sistema stagnale di Santa Giusta. Le aree attraversa sono debolmente pendenti, conseguentemente sono apprezzabili situazioni di esondazioni con tiranti e velocità di deflusso modeste.

Unitamente alle due macro aree di sui sopra si è valutata l'area ricompresa tra la sponda sinistra del Tirso, l'abitato di Oristano e il canale di Pesaria; è un'area a forte vocazione risicola, con quote del terreno che spesso non si discostano da valori prossimi al livello del are. L'analisi ha individuato una vasta area di pericolosità legata all'insufficiente capacità di drenaggio dell'area.

Si ritiene tuttavia rimarcare che l'area è interessata da tiranti idrici estremamente modesti con velocità sostanzialmente nulla. Il suo storico impiego ha favorito una sensibile rete di

collegamento stradale, spesso in quota rispetto alle possibili esondazioni, così pure risultano in quota le aree interessate dai centri di lavorazione a servizio delle aree di coltivazione.