



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

Assessoradu de sos traballos pùblicos
Assessorato dei lavori pubblici

**Direzione Generale
Servizio territoriale opere idrauliche di Oristano**

**Servizio tecnico relativo all'Analisi, studi e redazione progetto di manutenzione dell'alveo
del fiume Tirso con programmazione degli interventi di manutenzione.**

(Servizio di piena 2015)

Ricompreso nel programma "Servizio di piena e Intervento Idraulico" anno 2017.

Approvato con Decreto dell'Assessore regionale dei Lavori Pubblici n. 4 (Prot. n. 2123/GAB) del 27.06.2017.

**Realizzazione dell'intervento di difesa spondale in sinistra dell'ansa
del fiume Tirso in località Cabitza a valle del ponte di Brabau, previsti
dal progetto di manutenzione dell'alveo del fiume Tirso**

PROGETTO DEFINITIVO

Studio di compatibilità geologica e geotecnica

Allegato:

B2

Scala:

Redatto da:

Responsabile della progettazione: **Ing. Tonino Mulas**

Progettazione:

Aspetti geologici: **Geol. Orlando Antonio Mereu**

Aspetti idraulici: **Ing. Tonino Mulas**

Ing. Gian Lorenzo Cugusi

Ing. Michele Ortu

Rilievi plano-batimetrici: **Ing. Michele Ortu**

Coordinatore per la sicurezza in fase progettazione: **Ing. Gian Lorenzo Cugusi**

Committente	Direzione Generale Servizio territoriale opere idrauliche di Oristano			Responsabile del Settore Opere Idrauliche e Assetto Idrogeologico Ing. Stefano Piga
29.10.2018				Ing. Tonino Mulas via Toniolo n.17 09170 — Oristano t.mulas@ording.or.it
DATA EMISSIONE	INDICE REVISIONI	DATA	DESCRIZIONE DELLA MODIFICA	
Ottobre 2018				



SOMMARIO

SOMMARIO	i
PREMESSA	1
QUADRO NORMATIVO	2
LOCALIZZAZIONE DELL'AREA	3
DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
AMMISSIBILITÀ DELL'OPERA CON IL PAI	5
ASSETTO GEOLITOLOGICO GENERALE	6
SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE	8
GEOMORFOLOGIA E PROCESSI IN ATTO	10
MODELLO GEOLOGICO	17
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	18
VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA SCOGLIERA	20
PIANO DI MANUTENZIONE	21
CONCLUSIONI E COMPATIBILITÀ DEGLI INTERVENTI	22



PREMESSA

Il seguente studio di compatibilità geologica e geotecnica è stato redatto a supporto del progetto definitivo-esecutivo riguardante l'intervento di difesa sponale da realizzazione alla sinistra idraulica dell'ansa del fiume *Tirso* che si trova a valle del ponte *Brabau* in località *Cabitza*.

L'intervento, previsto nel progetto generale di manutenzione del fiume *Tirso* (Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione dei sedimenti" in attuazione degli articoli 13 e 15 delle N.A. del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna), è volto alla protezione di un tratto del fiume *Tirso*, caratterizzato da un'attiva di erosione sponale che con il tempo ha modificato il tracciato del corso d'acqua, ed interessato l'area coltivata che si trova nel terrazzo golenale adiacente.

Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica, secondo l'art. 25 delle NTA del PAI, si è reso necessario in quanto l'opera sarà realizzata lungo una fascia fluviale, ricadente in un settore del sub-bacino n° 2 "*Tirso*", che presenta un grado di pericolosità molto elevata da frana Hg4 (art. 8, comma 2 delle NTA del P.A.I. per tutto il territorio comunale di Oristano - adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.2 del 03.07.2018).

Lo studio di compatibilità si propone di verificare, sulla base dell'analisi della tendenza morfoevolutiva e sulla base degli aspetti geologici e geotecnici dell'area di progetto, che il nuovo intervento non determini variazioni o incrementi del grado di pericolosità e di rischio da frana.

Lo studio è stato elaborato, secondo l'allegato F delle Norme di attuazione del P.A.I., con l'obiettivo di dimostrare le finalità indicate nell'art. 23 comma 6 e nell'art. 25 della stessa normativa.

Con riferimento al D.M. 11/03/1988 e al D.M. 17/01/2018 (NTC), l'analisi geologica e geotecnica, si è articolata secondo i seguenti punti:

- ✓ rilievo dei dati geologico-stratigrafici di superficie in un ambito areale significativo;
- ✓ analisi dei processi morfogenetici in atto o potenziali;
- ✓ ricostruzione del modello geologico;
- ✓ ricostruzione stratigrafica e caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- ✓ analisi del dimensionamento dell'opera;
- ✓ analisi del rischio e della compatibilità geologica e geotecnica.



QUADRO NORMATIVO

- **D.M. LL.PP. 11.03.1988** “Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64;
- *Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988* – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988;
- *D.M. Infrastrutture 17.01.2018* - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.2.2. Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica; 6.4. Opere di fondazione;
- *Circ. attuativa approvata il 27.07.2018 dal C.S. LL.PP.* - Applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- *D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni* - “Norme in materia ambientale”.



Fig. 1 - Foto aerea con tratto fluviale in forte erosione



LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'intervento di protezione spondale è previsto lungo un tratto della sponda sinistra dell'alveo di magra del fiume *Tirso*, che si trova in località *Cabitza*, a circa 3 km dal suo sbocco sul mare. Rispetto all'argine sinistro, il tratto d'alveo è compreso tra la rampa arginale n°27 e n°27-bis.

L'intervento di protezione spondale interesserà il margine di un terrazzo alluvionale posto alla quota di circa 2,00-2,50 metri s.l.m.

L'area, che si estende urbanisticamente nella zona agricola E1, ricade nella seguente cartografia:

- nella tavoletta I.G.M.I. in scala 1:25.000, FG 528 sez. II “*Oristano*”;
- nella C.T.R. Carta Tecnica Regionale, in scala 1:10.000, FG 528110 “*Foce del Tirso*”;
- nel Catasto Terreni del comune di Oristano al FG 10, particelle 129, 135;
- nella Carta Geologica D'Italia, in scala 1:100.000, FG 217 “*Oristano*”;
- nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, FG 528 “*Oristano*”.

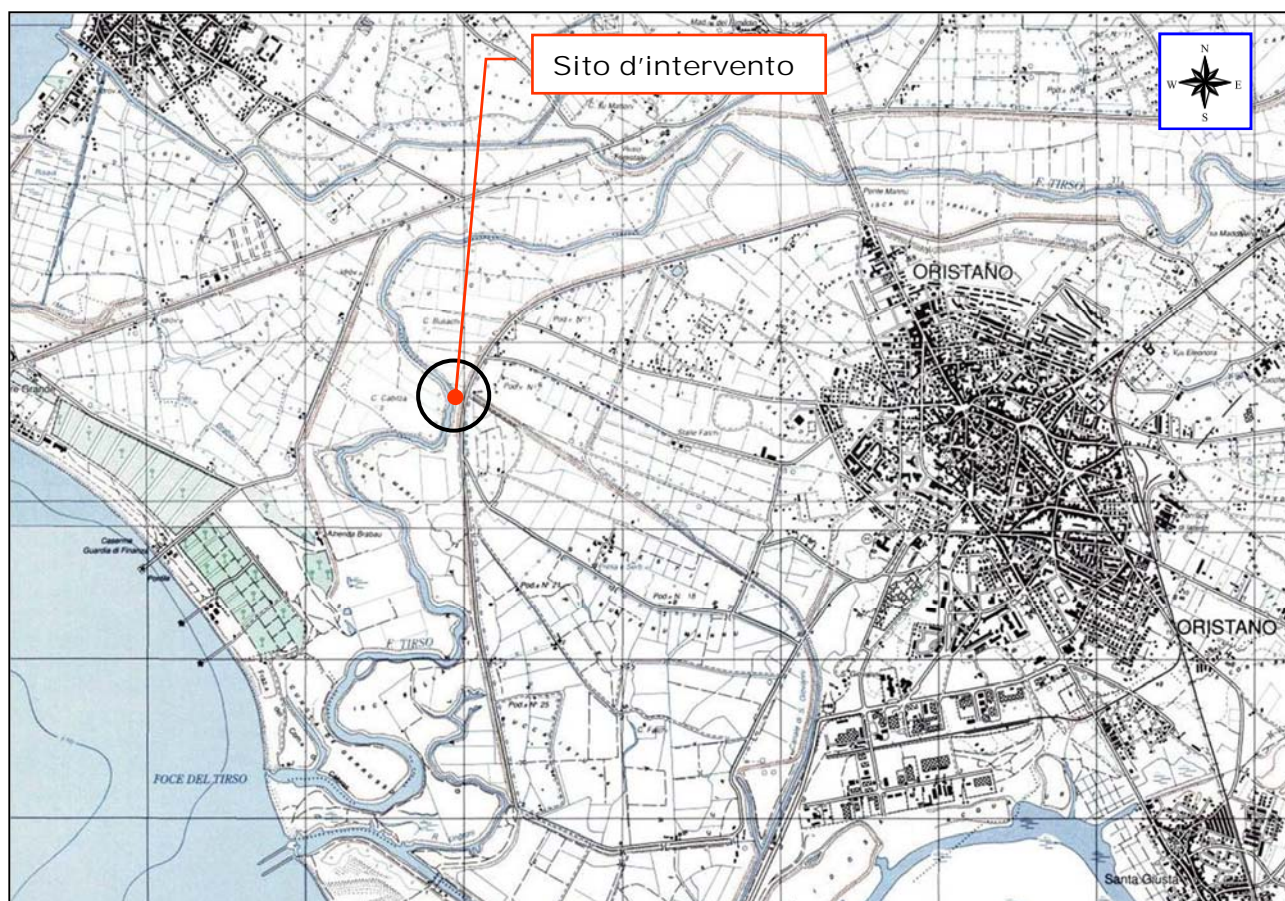


Fig. 2 - Stralcio della cartografia IGMI con ubicazione dell'area d'intervento



DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'area d'intervento riguarda una ripa di erosione spondale posta sul lato concavo di un meandro che progressivamente ha portato all'arretramento della fascia golenale coltivata.

La ripa, alta circa 2-3 metri e lunga circa 200 metri, si presenta in uno *stadio evolutivo avanzato* con volumi di materiali coinvolti che tendono progressivamente ad aumentare.

Per stabilizzare e proteggere la sponda sinistra del fiume *Tirso*, rispetto all'azione erosiva e di trascinamento, si prevede di realizzare una lunga scogliera di circa 210 metri, costituita da massi lapidei, ben collocati, ancorati e avente una pezzatura idonea a evitarne il trascinamento da parte della corrente fluviale. Per tale motivo il pietrame avrà una forma la più possibile poliedrica, in modo da consentire la massima superficie d'appoggio e il miglior incastro. I blocchi, provenienti da cava, saranno di materiale lapideo non gelivo, compatto e molto resistente all'abrasione.

La parte emersa della scogliera sarà realizzata collocando a incastrando in modo regolare blocchi lapidei con pezzatura media non inferiore a 0,6 mc e peso superiore a 10-20 quintali.

Lo strato sommerso o di fondazione sarà realizzato invece, previa soglia di consolidamento con massi di grosse dimensioni, con pietrame naturale di terza categoria, del peso compreso tra 1.5 e 3.0 tonnellate.

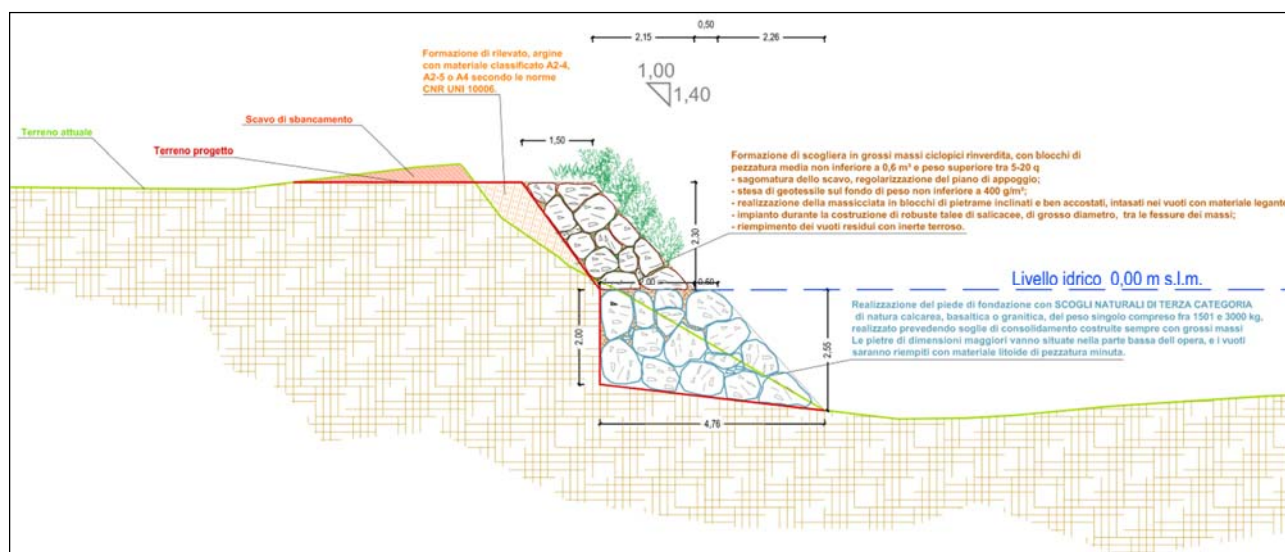


Fig. 3 - Sezione tipo dell'opera di protezione

I vuoti tra i massi saranno riempiti da pietre più piccole o opportunamente colmati con terriccio in modo da consentire un impianto verde o una rapida colonizzazione vegetale e dunque una mitigazione sull'impatto visivo dell'opera. La scogliera, oltre a garantire una buona stabilizzazione della scarpata fluviale, consentirà, grazie alla sua permeabilità, un buon drenaggio idrico del terreno a tergo e dunque la diminuzione delle sovrappressioni idrauliche. Questo processo indotto necessiterà, come previsto in progetto, dell'accorgimento di separare il terreno spondale dalla scogliera, mediante un filtro, generalmente un geotessile, per evitare fenomeni di sifonamento.

La realizzazione della scogliera sarà preceduta da scavi di sagomatura e di regolazione del piano di appoggio. Il materiale movimentato in cantiere sarà gestito in ottemperanza alle normative vigenti, D.lgs 152/2006, D.M. n. 161/12, Legge n. 98 del 9 Agosto 2013 e s.m.i.



AMMISSIBILITÀ DELL'OPERA CON IL PAI

L'opera di protezione spondale, secondo lo studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica eseguita ai sensi dell'art. 8, comma 2 delle NTA del P.A.I. per tutto il territorio comunale di Oristano (adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.2 del 03.07.2018), ricade in una fascia fluviale classificata con un grado di pericolosità molto elevata Hg4.

Secondo la disciplina in materia di patrimonio pubblico l'opera prevista nel progetto nell'area di pericolosità suddetta, rientra nella categoria d'interventi ammessa dalle NTA el PAI. In modo specifico l'opera di protezione spondale può essere compresa secondo le NTA del PAI - salvo diversa disposizione dello Stoior- nell'art. 31, comma 1 lett. a) - *le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi, di manutenzione e consolidamento dei versanti, di tutela dei suoli.*



ASSETTO GEOLITOLOGICO GENERALE

La successione del sottosuolo dell'entroterra del Golfo di Oristano è nota fin dagli anni 60' grazie all'interpretazione delle stratigrafie dei pozzi eseguiti per la ricerca d'idrocarburi e denominati *Oristano 1* ed *Oristano 2*. Il primo, della profondità di 1802 metri, è stato realizzato nel 1961 presso *Casse Sassu*, fra lo stagno *S'Ena Arrubia* e l'ex stagno di *Sassu*; l'altro, della profondità di 1700 metri, è stato realizzato nel 1962 presso l'abitato di *Riola*.

Nel Campidano di Oristano si sviluppa la parte terminale del fiume Tirso e dei suoi affluenti; corsi d'acqua che hanno avuto grande importanza, con la loro azione erosiva, di trasporto e di sedimentazione nella formazione della piana e nel suo successivo modellamento. La piana di Oristano, come tutte le pianure alluvionali, è formata in superficie da ghiaie, sabbie, limi e argille sedimentati a più riprese dalle acque fluviali e torrentizie, che durante il Quaternario, scendevano dai rilievi dell'interno verso una vasta area in lento abbassamento, chiusa verso il mare dai due promontori di *Capo Frasca* e di *Capo San Marco*. In modo specifico, da un punto di vista tettonico e strutturale, la piana di Oristano si è evoluta su una fossa tettonica terziaria ("*rift sardo*") che si è progressivamente colmata di sedimenti alluvionali trasportati dal sistema idrografico del fiume *Tirso*, e dai reticoli idrici minori adiacenti alimentati dal complesso vulcanico del *M.te Arci*.

Oltre ai terreni alluvionali in s.s., nella piana si riconoscono, tuttavia, altre unità deposizionali connesse con le note oscillazioni climatiche e relative regressioni e trasgressioni marine, che hanno dato luogo a processi deposizionali di potenti coltri sedimentarie in ambiente marino, marino-litorale e fluvio-deltizio. Appaiono dunque di altra origine i depositi di spiaggia caratterizzanti la zona litorale e retro-litorale, e i depositi lacustri e palustri rinvenibili per tutta l'estensione delle zone umide dell'oristanese.

In modo schematico, come evidenziato nella Carta Geologica D'Italia (fig. 3), nella piana di Oristano è possibile distinguere tre sub-zone a differente affinità geo-litologica:

- Nella zona ovest sono presenti:
 - depositi di spiaggia costituiti da sabbie di origine eolica, originatesi in seguito allo spianamento delle dune eoliche di età Würmiana (Pleistocene), impostatesi sui sottostanti sedimenti palustri;
 - sedimenti lacustri e palustri originatisi durante l'Olocene, che si sono sedimentati a causa della conformazione geomorfologica della zona che ha consentito il profilarsi di cordoni litoranei che hanno favorito la "chiusura" degli specchi d'acqua.
- Nella zona centrale sono presenti:
 - depositi alluvionali eterogenei caratterizzati dalla notevole estensione areale dei depositi più recenti, che giacenti sulle alluvioni pleistoceniche, hanno contribuito a colmare la fossa tettonica terziaria.
- Nella zona orientale sono presenti:
 - le vulcaniti acide e basiche di età plio-pleistocenica del sistema vulcanico del *M.te Arci*.

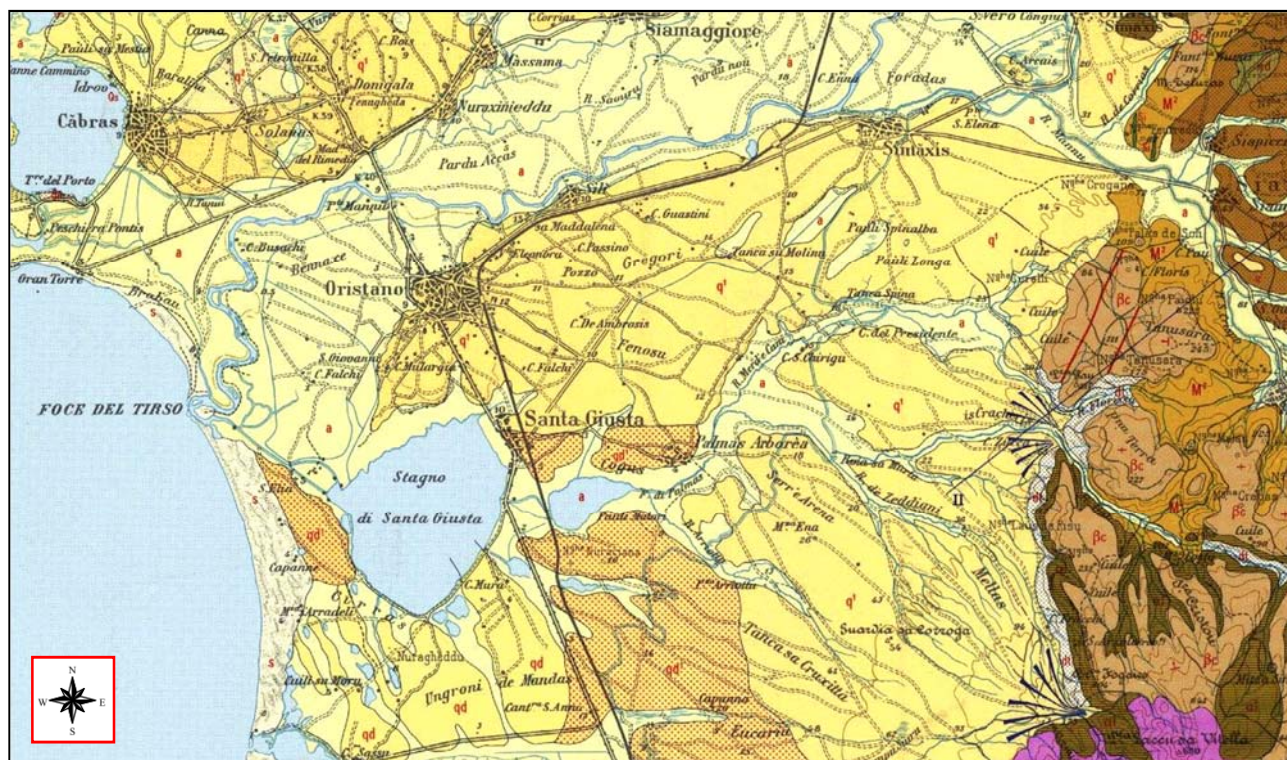


Fig. 3 - Stralcio della Carta Geologica D'Italia 217 "Oristano"



SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE

Il fiume *Tirso* è delimitato da argini artificiali. Nell'area golenale i sedimenti sono costituiti da depositi alluvionali olocenici. Questi sono rappresentati essenzialmente da sabbie e limi bruni, con rare intercalazioni di ghiaie fini e scarsa matrice (**b_b**).

Lungo l'area golenale sono inoltre presenti barre costituite da ghiaie sub arrotondate (**b_a**), ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti terziarie. Soprattutto alla destra idraulica sono presenti depositi limi-argillosi (**b_c**), che si raccordano alle aree palustri. Lo spessore dei depositi olocenici osservati o noto in sondaggio è molto variabile e comunque normalmente non supera i 5 metri.

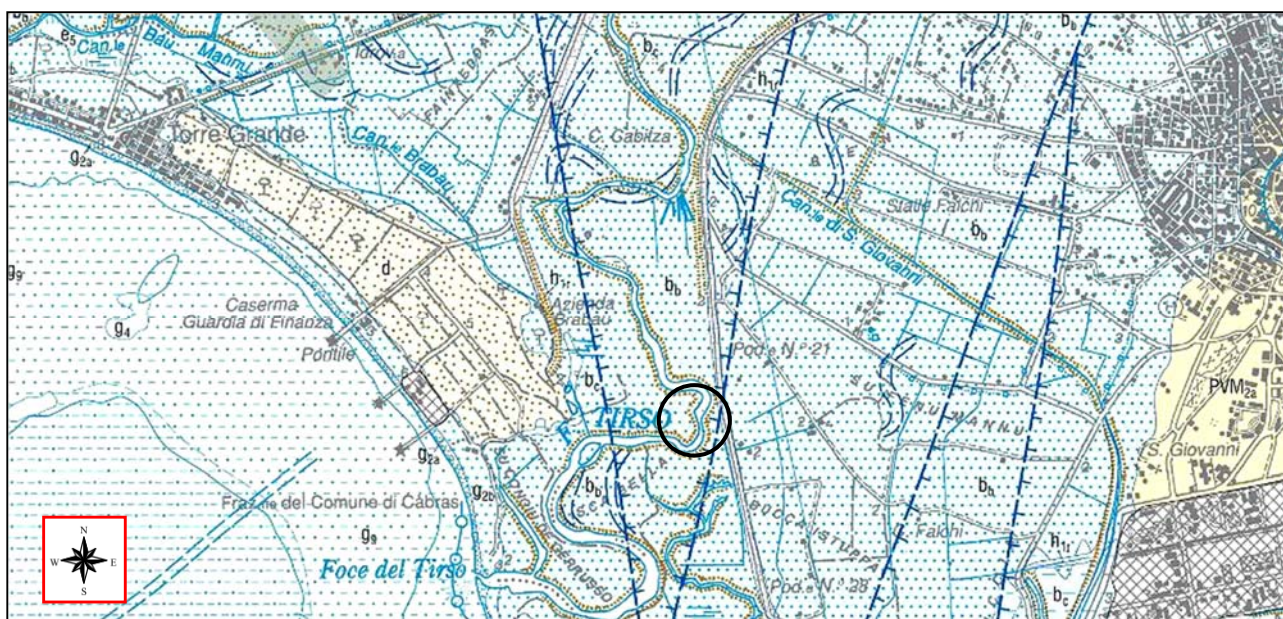
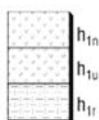


Fig. 4 - Stralcio della Carta Geologica D'Italia 528 "Oristano"

== Paleo alveo sepolto

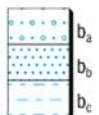
DEPOSITI OLOCENICI



Depositi antropici

Discariche per inerti (**h_{1n}**); discariche per rifiuti solidi urbani (**h_{1u}**); materiali di riporto e aree bonificate, talvolta con frammenti di materiale archeologico (resti di pasto, ceramiche, manufatti litici) (**h_{1r}**). Lo spessore massimo è pari a 5 m.

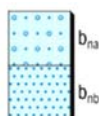
OLOCENE



Depositi alluvionali

Ghiaie ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti terziarie (**b₃**); sabbie quarzose e limi (**b₀**); limi alluvionali (**b₂**). Lo spessore è fino a 5 m.

OLOCENE



Depositi alluvionali terrazzati

Ghiaie medio-fini ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti terziarie (**b_{na}**); sabbie quarzose alternate a limi sabbiosi (**b_{nb}**). Lo spessore massimo è circa 5 m.

OLOCENE



Depositi di spiaggia

Sabbie e ghiaie litorali (g_{2a}). Sabbie dei cordoni litorali subattuali con resti di molluschi (*Glycymeris* sp.) (g_{2b}). Lo spessore in affioramento è fino a 3 m, in sondaggio è pari a 12 m.

OLOCENE



Depositi eolici

Sabbie di dune costiere attuali e subattuali. Costituiscono campi dunari spianati per le opere di bonifica agraria (Cirras, Sassu). Lo spessore è compreso tra 2 e 10 m.

OLOCENE

DEPOSITI PLEISTOCENICI

SINTEMA DI PORTOVESME

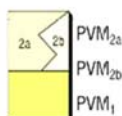
Subsistema di Portoscuso

Ghiaie e sabbie alluvionali terrazzate (PVM_{2a}). Lo spessore massimo raggiunge 35 m. Arenarie eoliche con resti ossei di vertebrati (*Mammuthus lamarmorae*) e molluschi polmonati, intercalazioni di detriti rimaneggiati, colluvi e paleosuoli (PVM_{2b}). Lo spessore massimo raggiunge 20 m.

Subsistema di Calamosca ("Panchina tirreniana" Auct.)

Conglomerati e arenarie litorali, calcareniti e limi lagunari con resti fossili di molluschi (*Cerastoderma edulis*, *Ostrea ostrea edulis*), coralli e alghe; limi e argille sabbiosi di facies lagunare, con resti fossili di molluschi (*Mytilus galloprovincialis*, *Cerastoderma edulis*, *Conus* sp., etc.) (PVM_1). Lo spessore massimo in affioramento è circa 6 m.

PLEISTOCENE SUP.





GEOMORFOLOGIA E PROCESSI IN ATTO

Il *Tirso* è il fiume più importante della Sardegna, per lunghezza e ampiezza del bacino idrografico.

Il tratto terminale del fiume *Tirso*, dalla *Dighetta di Santa Vittoria* in agro di Ollastra, negli anni 40' è stato regimato con la realizzazione di arginature che lo accompagnano sino alla foce nel golfo di Oristano.

Le arginature hanno avuto il fondamentale ruolo di proteggere le aree agricole e urbane, che un tempo erano spesso interessate dagli straripamenti del fiume e da piene di notevole entità.

Il settore a ovest dell'abitato di Oristano è rappresentato da una piana alluvionale. Questa è caratterizzata da una superficie pianeggiante, a tratti terrazzata, localmente depressa, sul quale si snoda il percorso finale del fiume *Tirso*, che si caratterizza per le sue ampie anse che si alternano a brevi tratti sub-rettilinei o a debole curvatura. Presso la foce il corso d'acqua assume in generale una conformazione a meandri che si accompagna a un sistema di lanche e alvei abbandonati.

Gli studi condotti, in termini di analisi morfoevolutiva, hanno evidenziato che tale tratto fluviale presenta localmente una particolare propensione all'erosione spondale e alla divagazione planimetrica, dovuta verosimilmente alla costante e naturale tendenza del corso d'acqua di modificare o recuperare un precedente assetto geomorfologico dei meandri.

Il fenomeno erosivo, nei meandri in spostamento, avviene a spese della sponda esterna della curva fluviale, dove tendenzialmente si concentrano le massime velocità della corrente. A livello di singolo meandro, alla dinamica erosiva della sponda esterna si contrappone un fenomeno di sedimentazione sulla sponda interna, dove le velocità sono invece minime. L'alveo nel suo insieme subisce così continui spostamenti laterali.

L'area d'intervento riguarda una ripa di erosione spondale di 2,00 ÷ 2,50 metri di altezza rispetto al livello idrico, posta sul lato concavo del meandro (sinistra idraulica), dove la forte tendenza erosiva ha portato al progressivo arretramento di circa 45 metri, negli ultimi cinquanta anni, della fascia golenale, attualmente delimitata dall'argine sinistro.



Foto 1- Scarpata fluviale in erosione

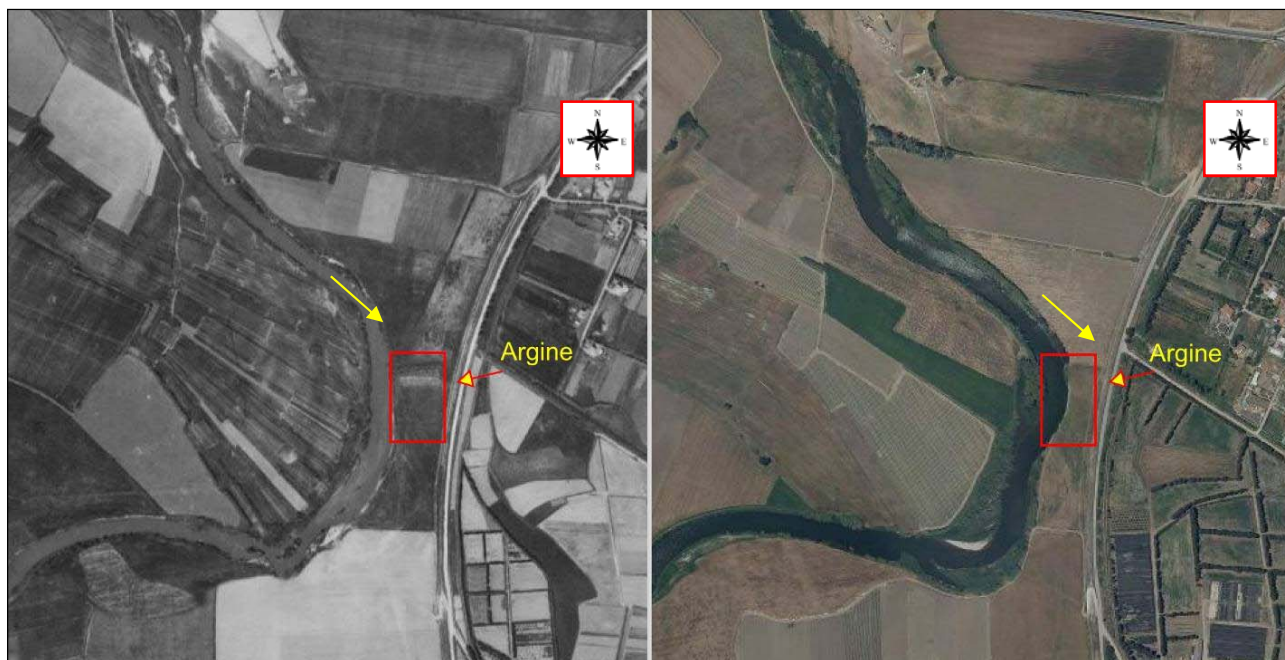


Fig. 5 - Fiume Tirsu - Area d'intervento nel 1968 e nel 2013

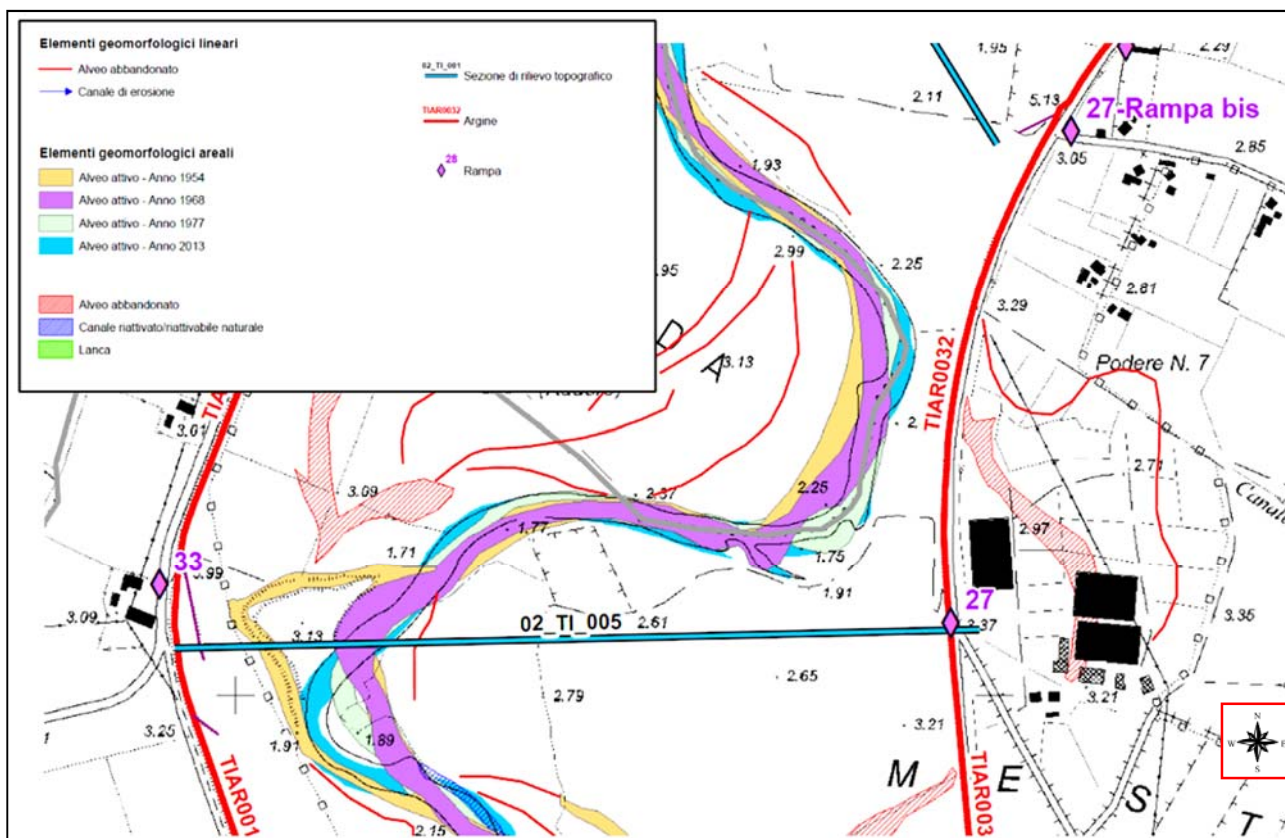


Fig. 6 - Evoluzione planimetrica dei meandri del fiume Tirsu.



Foto 2-3 - Particolare della riva in erosione



Foto 4 - Bocchetta di presa irrigua scardinata

Oltre all'azione della corrente del fiume *Tirso*, nell'arretramento del terrazzo alluvionale, contribuiscono il decadimento idromeccanico dei materiali spondali, da parte degli eventi meteo-climatici, e l'azione erosiva delle acque dei canali di scolo che intersecano l'arcata fluviale.

Il progressivo arretramento della riva è inoltre testimoniato dallo scardinamento della bocchetta di presa irrigua del Consorzio di Bonifica dell'Oristanese, appartenente a un sistema idraulico che negli anni 90' era stato installato ben distante dal corso d'acqua.



I rilievi plano-batimetrici, che hanno permesso l'elaborazione di un modello digitale del terreno, estrapolato da oltre 200 punti rilevati, ha evidenziato partendo dalla sponda sinistra la configurazione morfologica e le differenti profondità della fascia sotto spondale.



Fig. 7 - Configurazione plano-batimetrica (in blu le curve di livello)

L'elaborazione ha evidenziato che nel tratto medio -vallivo dell'ansa sono presenti delle fasce sommerse di sedimenti, larghe circa 5 metri delimitate da piccole berme, la cui morfologia tende a variare in base all'idrodinamica fluviale. Il rilievo, da cui sono state estrapolate differenti sezioni a intervalli di 5 metri, ha mostrato un andamento più o meno costante della riva in erosione, una fascia sotto spondale sommersa, longitudinalmente ondulata, con profondità e inclinazioni trasversali differenti (le profondità di $\approx 3,00 - 3,50$ m sono state misurate nella parte centrale dell'ansa).



Fig. 8 - Modello tridimensionale del tratto studiato

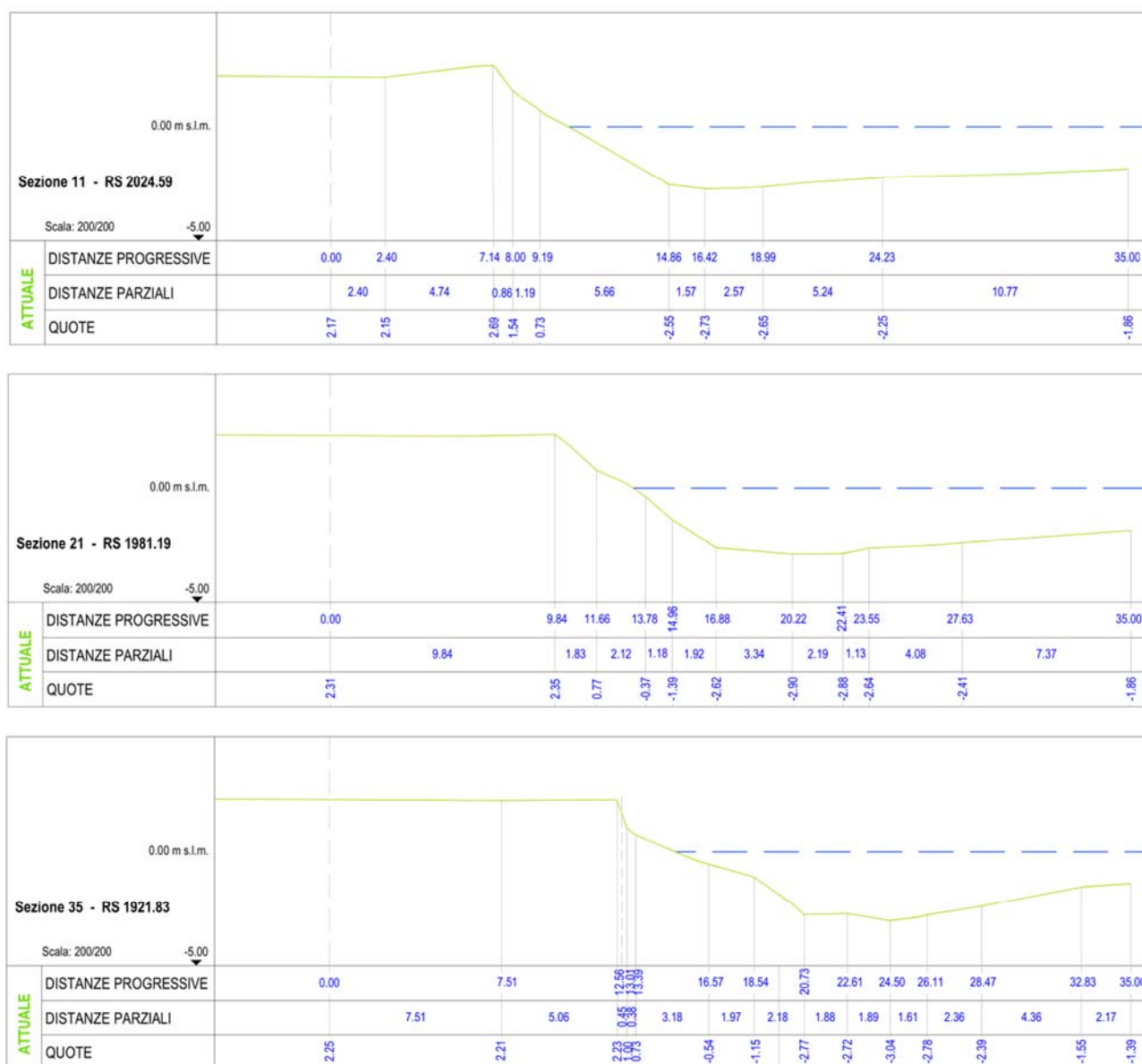


Fig. 9-10-11 - Sezione di monte, mediana e di valle dell'ansa fluviale in erosione



In termini idraulici l'area d'intervento rientra all'interno della golenia del fiume *Tirso* soggetta all'allagamento per piene ordinarie.

Nella cartografia del *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico* (approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006) l'area si trova, in un settore del sub-bacino n° 2 "*Tirso*" (codice Tc B2TC006) classificato con un grado di pericolosità idraulica molto elevata Hi4 (Aree inondabili, con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 50 anni).

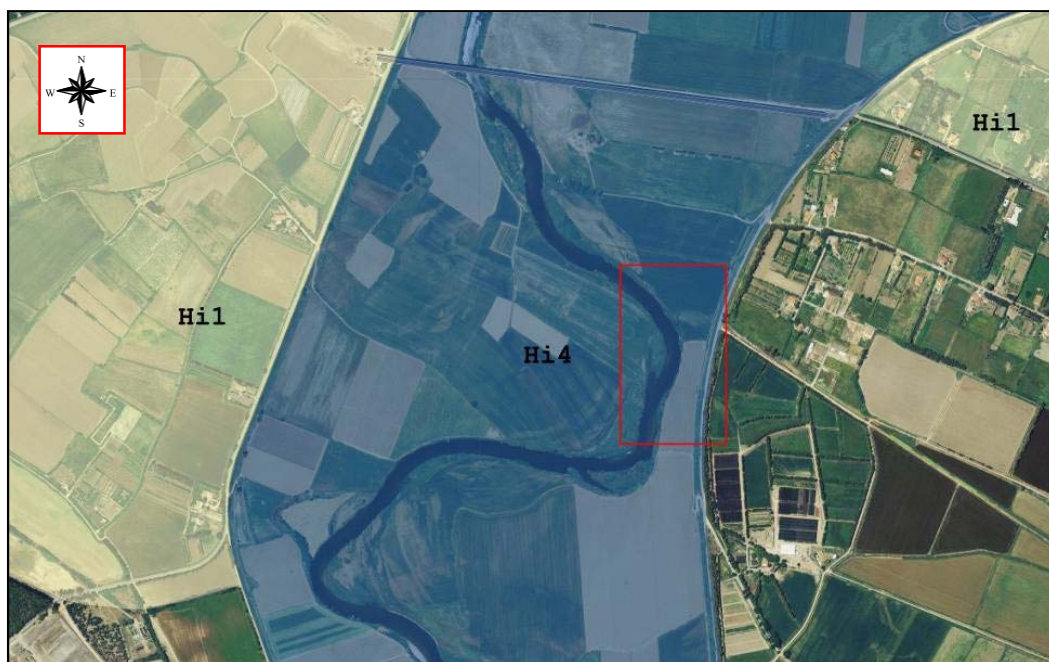


Fig. 12 - Aree con pericolosità idraulica – Sardegna Mappe

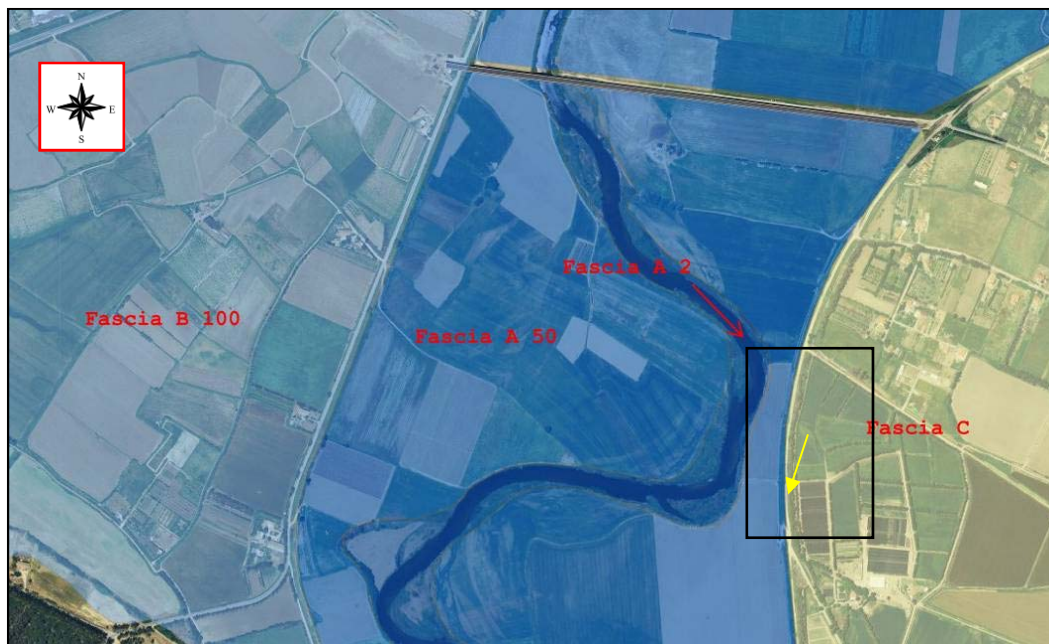


Fig. 13 - Piano Stralcio delle fasce fluviali – Sardegna Mappe

Secondo il PAI e PSFF, le aree esterne all'argine sono potenzialmente allagabili in caso di eventi eccezionali con tempi di ritorno superiori a TR500 anni. Alle stesse condizioni, il grado di pericolosità idraulica è confermato nello studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica eseguita ai sensi dell'art. 8, comma



2 delle NTA del P.A.I. per tutto il territorio comunale di Oristano (adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.2 del 03.07.2018). Secondo questo studio la ripa di erosione fluviale su cui ricade il progetto è classificata con un grado di pericolosità molto elevato Hg4.

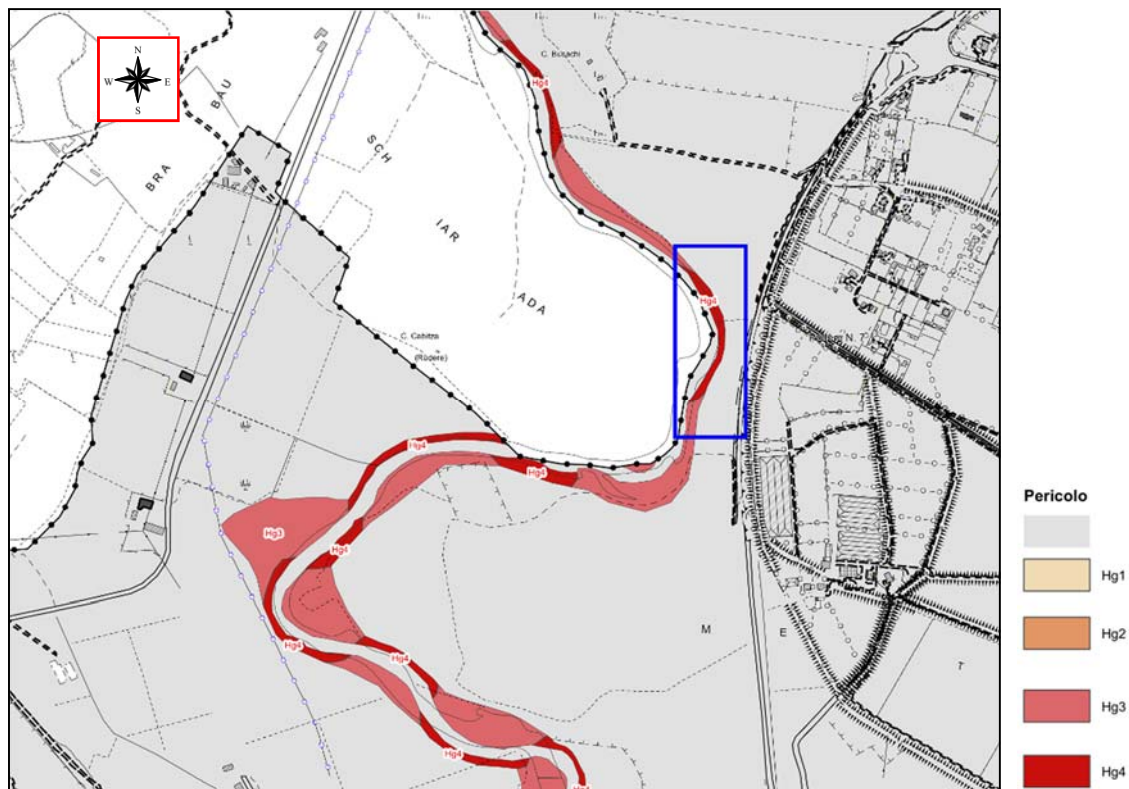


Fig. 14 - Stralcio della pericolosità da frana – Art. 8 comma 2 delle NTA del PAI - Comune di Oristano



MODELLO GEOLOGICO

La ripa di erosione, interessata dal continuo processo erosivo, è costituita da materiale granulare composito, mediamente consolidato, scarsamente compressibili, coerente o pseudo coerente, da poco a mediamente plastico, friabile, costituito essenzialmente da banchi di limi, limi sabbiosi con argilla e da intercalazioni di sabbie, sabbie ghiaiose fini.

Allo stato attuale le scarpate, alte circa 2,50 su un fronte erosivo di 200 metri, si presentano in uno *stadio evolutivo avanzato*, con volumi di materiali coinvolti che tendono progressivamente ad aumentare.

Anche se riguarda solo porzioni superficiali di terreno, i processi accertati si hanno indifferentemente su tutta la ripa d'erosione. L'analisi dei cinematismi ha evidenziato che la ripa di erosione è costituita per la maggior parte da materiali coesivi in equilibrio limite, che tendono a collassare, specialmente se vengono nella loro verticalità a contatto con l'acqua.

I processi di erosione nella ripa tendono ad accelerare in occasione delle piene ad alto tasso di trasporto solido e durante gli eventi meteorici: lo stile dei cinematismi è caratterizzato da molteplici collassi di zolle terrose individuali o in massa, che una volta a contatto con l'acqua tendono ad assumere un aspetto pastoso o sciolto. Quest'ultimo aspetto è presente sotto il livello dell'acqua fluviale, dove i sedimenti saturi si presentano prevalentemente sabbiosi a causa del processo di risciacquo della componente granulometrica più fine.



Foto 5 - Frattura di trazione sull'orlo della scarpata fluviale



Foto 6 - Livello sabbioso intercalato nei banchi di limi sabbio-argillosi



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In mancanza di analisi granulometriche di laboratorio, le indagini osservative hanno evidenziato che la maggior parte delle alluvioni oloceniche, che costituiscono la ripa di erosione fluviale da stabilizzare, possono essere considerate terre limo-sabbiose o sabbio-limose, argillose, con locali livelli o lenti di sabbie medio-grossolane.

I livelli limosi o limo sabbiosi si presentano mediamente addensati con una resistenza a secco (alla disgregazione) da media ad alta e consistenza media; la parte argillosa inorganica è caratterizzata da una plasticità da bassa a media. Con le consuete variazioni laterali, dovute all'eterogeneità intrinseca dei materiali, sono da considerarsi come terreni mediamente consistenti e di scarsa comprimibilità. Questi materiali, che costituiscono la maggior parte delle scarpate, presentano uno stato di aggregazione, che va da coerente a pseudocoerente, che gli consente l'autosostegno su sezioni verticali.

I livelli sabbiosi, classificabili come *terreni granulari*, possono essere definiti come sabbie con ghiaia fine, con frazione fine non plastica costituita da limi inorganici, sabbie fini, sabbie fini limose o argilla con leggera plasticità. Si presentano come livelli discontinui poco addensati, con resistenza a secco nulla o debole e tenacità nulla.

Secondo la classificazione CNR-UNI 10006 le terre che costituiscono la lunga ripa fluviale in erosione, con le dovute differenziazioni granulometriche, possono ricadere tra il gruppo A2 (sottogruppo A-2-5; A-2-6; A-2-7) e il gruppo A-4, e sono caratterizzate da proprietà di ritiro o rigonfiamento minimo o nullo.

Queste terre in genere possono essere considerati idonee, da un punto di vista geotecnico, per la realizzazione di sottofondi (ma non di un intero terrapieno o rilevato), e possono essere utilizzate per i rinfilanchi e colmamenti previsti in progetto.



Foto 7-8 - Ripa di erosione - Scarpata verticale con banco limo sabbio-argilloso e scarpata degradata con livello sabbioso intercalato.

I vari materiali rilevati, in base ai dati tecnici rilevati e in base ai dati di letteratura (*Geoingegneria* a cura Luis I. e Gonzales de Vallejo – *Geotecnica* a cura di Renato Lancellotta), possono essere associati a terre che presentano i seguenti parametri geotecnici.

Unità	Litologia	Unità geotecniche	Coesione (Kg/cm ²)	Angolo di Attrito (°)	Peso di Volume γ (kg/m ³)	Peso di Volume γ_s (kg/m ³)
1	Sedimenti limo-sabbio-argillosi o sabbio limo-argillosi	Terre fini granulari mediamente addensate	0,05-0,1	≤ 28	1.650 - 1750	1.750 -1.850
2	Sabbie, sabbie limose	Terre granulari poco addensate	0,00 -0,05	26-30	1.700- 1.800	1.800 - 1900

I valori geotecnici su evidenziati, sulla base dell'esperienza acquisita, possono accettabilmente appartenere a un modello geotecnico cautelativo.

Si evidenzia che parte della scogliera di protezione sarà impostata lungo una fascia sotto sponale sommersa, dove i sedimenti sabbiosi variamente limosi costituiscono uno strato sciolto e inconsistente, che ricopre i terreni di subalveo che verosimilmente tendono ad addensarsi con la profondità.

Dall'analisi geologico-tecnica si evince che le operazioni di scavo previsti nel progetto riguarderanno terreni agevolmente scavabili, anche a sezione obbligata, mediante l'uso dei classici mezzi per la movimentazione delle terre.



VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA SCOGLIERA

In fase progettuale è stata eseguita la verifica del dimensionamento dei massi da impiegare nella costruzione della scogliera. L'analisi della stabilità all'erosione e trascinamento del materiale utilizzato per le opera di difesa idraulica, in condizioni di progetto, è stata elaborata attraverso la seguente procedura:

- definizione dei parametri idraulici di interesse;
- caratterizzazione del materiale e verifica della sua stabilità nella situazione di progetto.

I risultati della verifica sono esposti nella *Relazione e idrologica e idraulica* (All.C1)



PIANO DI MANUTENZIONE

In base alla tipologia ed entità delle opere, per le quali è stato eseguito lo studio di compatibilità geologica e geotecnica, si prevede di mettere in atto un piano di manutenzione associato alle comuni operazioni di verifica delle condizioni generali di una opera di protezione sponale longitudinale realizzato a scogliera e periodicamente sollecitata dalla naturale dinamica fluviale (Vedi all. N – *Piano di manutenzione*).



CONCLUSIONI E COMPATIBILITÀ DEGLI INTERVENTI

Nel mese di ottobre 2018 è stato eseguito lo *Studio di Compatibilità Geologica e Geotecnica* (art. 25 delle Norme di attuazione del P.A.I.) a supporto del progetto riguardante l'intervento di difesa spondale da realizzazione alla sinistra idraulica dell'ansa del fiume *Tirso*, che si trova a valle del ponte *Brabau* in località *Cabitzza*.

Lo studio, elaborato secondo l'allegato F delle norme di attuazione PAI, ha permesso di evidenziare quanto segue.

L'intervento, previsto nel progetto generale di manutenzione del fiume Tirso, è volto alla protezione di un tratto del fiume *Tirso*, caratterizzato da un'attiva erosione spondale che con il tempo ha modificato il tracciato del corso d'acqua, e interessato l'area coltivata che si trova nel terrazzo golenale adiacente.

La ripa di erosione, alta circa 2-3 metri e lunga circa 200 metri, si presenta in uno *stadio evolutivo avanzato* con volumi di materiali coinvolti che tendono progressivamente ad aumentare.

L'analisi dei cinematismi ha evidenziato che la ripa è costituita per la maggior parte da materiali coesivi, che sono suscettibili d'instabilità morfologica, specialmente se vengono nella loro verticalità a contatto con l'acqua. Gli elementi geologici e geotecnici rilevati denotano su tutta l'area di progetto la presenza di materiali alluvionali attuali e recenti, costituiti da banchi di limi, limi sabbio-argillosi con intercalazioni sabbie ghiaiose fini.

L'opera proposta nel progetto è considerarsi geologicamente realizzabile e necessaria per stabilizzare e proteggere rispetto all'azione di erosiva e di trascinamento la sponda sinistra del fiume *Tirso*. Per stabilizzare e proteggere la sponda sinistra del fiume *Tirso*, rispetto all'azione erosiva e di trascinamento, si prevede di realizzare una lunga scogliera di circa 210 metri, costituita da massi lapidei, ben collocati, ancorati e avente una pezzatura idonea a evitarne il trascinamento da parte della corrente fluviale.

Alla luce dei risultati dello studio geologico, nell'area di progetto, non sono state riscontrate limitazioni alla fattibilità dell'intervento o particolari limiti geologici e/o geotecnici che potrebbero compromettere o rendere impossibile la realizzazione dell'opera programmata. Questo non esclude la necessità, da parte di un tecnico geologo di eseguire opportune verifiche, durante la fase di esecuzione delle opere, al fine di adeguare tempestivamente le modalità d'intervento, ad eventuali situazioni impreviste che dovessero riscontrarsi durante la fase dei lavori.

L'opera prevista, in base alle NTA del PAI, risulta ammissibile (salvo diversa indicazione dello STOIR) con la tipologia d'interventi di interesse pubblico, che si possono realizzare nelle aree di pericolosità molto elevata Hg4.

In conformità con le previsioni del P.A.I., il futuro intervento, agendo sulla vulnerabilità dei luoghi, avrà il ruolo di contribuire ad abbassare il livello di rischio esistente nell'area e non determineranno un aumento del rischio al di fuori di essa.

L'opera prevista sarà realizzata in un ambiente geologico e morfologico, dove non si rilevano fattori geomorfologici d'imminente evoluzione, che siano d'impedimento ai lavori previsti o che condizionino le soluzioni progettuali o i procedimenti costruttivi del progetto.

In rapporto al grado di pericolosità esistente, l'opera prevista, in base ai principi del comma 9 dell'art. 23 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI, è stata progettata allo scopo di impedire l'aggravarsi delle



situazioni di pericolosità e di rischio esistenti nelle aree di intervento. Pertanto l'opera è stata concepita tenendo conto delle seguenti condizioni: .

L'opera sarà realizzata allo scopo di migliorare le condizioni d'equilibrio geotecnico di un tratto di sponda fluviale e di stabilità dei suoli e non andrà a interferire sulla stabilità e sulla funzionalità delle opere di sistemazione idraulica già esistenti.

La protezione della sponda, attraverso la scogliera, non andrà a condizionare o ad aggravare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del fiume *Tirso*, e non inciderà sul grado di rischio d'inondazione a valle (vedi studio di compatibilità idraulica)

Durante l'apertura del cantiere saranno garantite tutte le condizioni di sicurezza e sarà assicurato che le lavorazioni avvengano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente.

L'opera di protezione spondale non andrà a influire negativamente sul grado di pericolosità e non inciderà sul normale trend evolutivo della fascia spondale, incrementando le condizioni di rischio di frana.

Lo studio di compatibilità geologica e geotecnica evidenzia, inoltre, che l'opera sarà realizzata rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente nell'ambito dell'area golenale del fiume *tirso* - fatto salvo quello eventuale intrinsecamente connesso all'intervento ammissibile - e che non precluderanno la possibilità di eliminare o ridurre le cause della pericolosità e le condizioni di rischio dalle aree limitrofe, così come indicato nell'art. 23 comma 6 e nell'art. 25 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I.

Ottobre 2018

Il Tecnico

Geol. Orlando Antonio Mereu

