

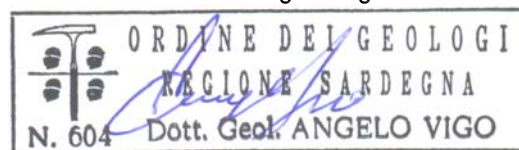


"Interventi di riqualificazione della città di Alghero ed interconnessione acquedotto Coghinas"
(CUP I29E11001080006 - CIG Z1902378FA).
PO FESR 2007 - 2013, Asse IV - Linea di Attività 4.1.5.b.

RELAZIONE GEOLOGICA

Il Progettista
Ing. Alessandro Bachis

Il Geologo
Dott. Angelo Vigo



Revisioni:	Scala:	ALLEGATO. n.: GA1
	Data: 4 OTTOBRE 2013	
	Prot:	

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	3
3.1	<i>Sintesi del progetto.....</i>	4
4	ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO A SCALA DI BACINO.....	7
4.1	<i>Assetto geomorfologico ed idrografia del bacino.....</i>	9
5	ASSETTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO	12
6	CARATTERI METEOCLIMATICI DELL'AREA DI INTERVENTO	14
6.1	<i>Acquisizione ed analisi dei dati locali.....</i>	15
6.1.1	<i>Analisi della distribuzione delle temperature medie diurne</i>	18
6.1.2	<i>Elaborazione umbrotermica di Walter e Lieth.....</i>	19
7	MODELLO GEOLOGICO A SCALA D'INTERVENTO	20
7.1	<i>Caratteri litostratigrafici e geomorfologici dell'area.....</i>	20
7.1.1	<i>Profilo litostratigrafico del sito di intervento.....</i>	23
7.2	<i>Assetto idrogeologico locale.....</i>	23
7.3	<i>Idrografia locale</i>	24
7.4	<i>Pericolosità idraulica</i>	25
8	ZONAZIONE SISMICA	28
9	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE, PRESCRIZIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI	29
9.1	<i>Demolizione dell'attraversamento attuale e sistemazione in sponda destra.....</i>	30

1 PREMESSA

L'Ente Acque per la Sardegna (di seguito Stazione Appaltante) con Determinazione del Servizio Gestione Nord n.1373 del 05/12/2011, ha affidato al sottoscritto, dott. geol. Angelo Vigo¹, l'incarico per lo studio geologico in ordine al progetto "Interventi di riqualificazione della città Alghero ed interconnessione acquedotto Coghinas" – P.O. F.E.S.R. 2007-2013 – Asse IV.

Il presente elaborato ed i relativi allegati, sono stati redatti, in conformità alla normativa vigente, a corredo del Progetto summenzionato, del quale costituiscono parte integrante e non diversamente utilizzabile per scopi ed interventi differenti da quelli di destinazione. I risultati di indagini e prove, le elaborazioni dei dati e tutti i contenuti della presente relazione sono basati su indicazioni ed elementi progettuali forniti dalla Stazione Appaltante, e riferibili solo ad essi. Scopo del presente studio è quello di fornire il modello geologico dell'area d'intervento, con specifico approfondimento delle tematiche elencate di seguito:

Inquadramento geologico a scala di bacino, con identificazione delle formazioni prevalenti e descrizione dell'assetto strutturale, e a scala di intervento con la definizione dei caratteri dei litotipi in affioramento e di quelli profondi, mediante indagini in situ, e ai loro rapporti stratigrafici;

Inquadramento geomorfologico a scala di bacino e a scala di intervento, con individuazione delle forme prevalenti, del loro grado di evoluzione e delle possibili problematiche a carico del territorio;

Inquadramento idrogeologico con definizione delle unità idrogeologiche principali, del grado di trasmissività e della geometria e profondità degli acquiferi a scala di intervento;

Pericolosità geologica in rapporto alla pericolosità intrinseca del territorio ed agli effetti dell'inserimento dell'opera.

Lo studio è stato articolato come segue

1. reperimento delle fonti bibliografiche cui attingere per la definizione del contesto geologico-geomorfologico a scala locale e di bacino;
2. analisi cartografica e fotointerpretazione;
3. rilevamento in situ a scala locale, con verifica e mappatura delle litologie in affioramento e prime ipotesi sui rapporti crono-stratigrafici;
4. direzione delle indagini in situ;
5. definizione dell'assetto litostratigrafico locale mediante correlazione dei litotipi prevalenti;

La campagna di indagini è stata concordata con la Stazione Appaltante in funzione delle esigenze del progetto iniziale (ripristino attraversamento pensile) e dell'accessibilità dei luoghi. Di seguito si riporta il piano di indagine:

- ☐ realizzazione di n.1 sondaggio geognostico cc ($\varnothing=101$ mm) con sonda cingolata;
- ☐ esecuzione di n.6 prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio;
- ☐ esecuzione di due pozzetti geognostici mediante terna gommata;
- ☐ campionamento semi-disturbato dei litotipi in situ.

¹ n.604 Ordine dei Geologi della Sardegna

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo scrivente ha redatto il presente studio ai sensi alle seguenti disposizioni di legge:

- ❑ DM 14 gennaio 2008, pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008 contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa Circolare 2 febbraio 2009, n. 617.
- ❑ D.M. 11/03/1988 (G.U. 1-6-1988, n. 127 suppl.) - "*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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*", e relativa Circolare di applicazione LL.PP. 24-09-1988 n. 30483 (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale) "*Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, sulla 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*".
- ❑ Delib.G.R. 30 marzo 2004, n. 15/31, pubblicata nel B.U. Sardegna 21 agosto 2004, n. 23 Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- ❑ Legge 2 febbraio 1964 n. 74 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (art. 1).
- ❑ D.M. LL.PP. 12/12/1985 – Norme Tecniche per le Tubazioni
- ❑ Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.
- ❑ D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 – Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni.
- ❑ Legge 28 febbraio 2008, n. 31, art. 20.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area oggetto di intervento è ubicata nel Comune di Porto Torres (SS), in località *Maccia Appaltada*, ricadente entro un'ampia golena, delimitata da scarpate calcaree, sul tratto prefocivo del Rio Mannu, in corrispondenza di un'ansa a ridosso della sponda rocciosa in sinistra idrografica. L'opera si inserisce in un contesto agricolo ai margini dell'area industriale (Fig.1), con presenza di frutteti e coltivazioni orticole in sinistra e coltivazioni a cereali in destra.

Nella Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R.) in scala 1:10.000 essa ricade nel foglio *441130 – Porto Torres*. Nell'inquadramento topografico, oltre al piano quotato fornito dalla Committenza, lo scrivente si è avvalso del DTM con maglia 1 m della RAS, ottenuto dal mosaico delle sezioni 09-10-14-15 del foglio 441130.



Figura 1. Vista aerea (RAS 2008) dell'area di intervento, cerchiata in rosso.

3.1 Sintesi del progetto

Il progetto è finalizzato alla riqualificazione dell'attraversamento pensile sulla linea Porto Torres - Truncu Reale. Esso si è reso necessario in seguito ai danni causati da un primo cedimento del blocco che ha innescato una copiosa perdita d'acqua (Fig.2) in corrispondenza dell'innesto sul blocco di ancoraggio in destra idrografica: tale perdita ha provocato il rapido arretramento della sponda sino ad intaccare il terreno alla base del blocco il quale, privato di una parte consistente del substrato di fondazione, ha subito un vistoso basculamento verso l'alveo (Fig.3).



Figura 2. Vista aerea (02/2007) dell'attraversamento pensile: in rosso è evidenziata la perdita che ha eroso la sponda.



Figura 3. Stato attuale del blocco in dx idraulica: evidente il basculamento e la nicchia di erosione (in rosso) alla base della fondazione.

Tale evento ha gravemente compromesso la statica dell'opera, con il blocco che tende inesorabilmente a scivolare verso l'alveo, ostacolato solo dal residuo incastro sul terreno e dall'azione antagonista della tubazione metallica (che nel frattempo è stata risanata dalla perdita). L'ampio solco di erosione generato dall'acqua in pressione fuoriuscita dalla condotta, inoltre, costituisce un pericoloso varco che espone la scarpata in arretramento ai flussi turbolenti del fiume nei periodi di piena e favorisce, quindi, il progredire dell'erosione a carico della sponda su cui giace il blocco.

Il progetto prevede la realizzazione dell'intero attraversamento in trincea, con blocchi completamente interrati e una briglia di ancoraggio a zavorra del tratto in attraversamento sub-alveo (Fig.4).

Rispetto alla quota del p.c. attuale, la profondità massima raggiunta, alla base della briglia, sarà di circa 9,40 metri, con un franco minimo da fondo alveo di 1,50 metri; i blocchi di ancoraggio verranno completamente interrati per una profondità pari alla loro altezza (circa 4,00 metri) e sposterà soltanto il chiusino d'ispezione. La differenza di quota tra blocchi e briglia è pari a circa 6,00 metri.

Il corso d'acqua sarà deviato mediante ture per consentire la realizzazione delle trincee in alveo, la posa della tubazione e l'incamiciatura in cemento a formare la briglia.

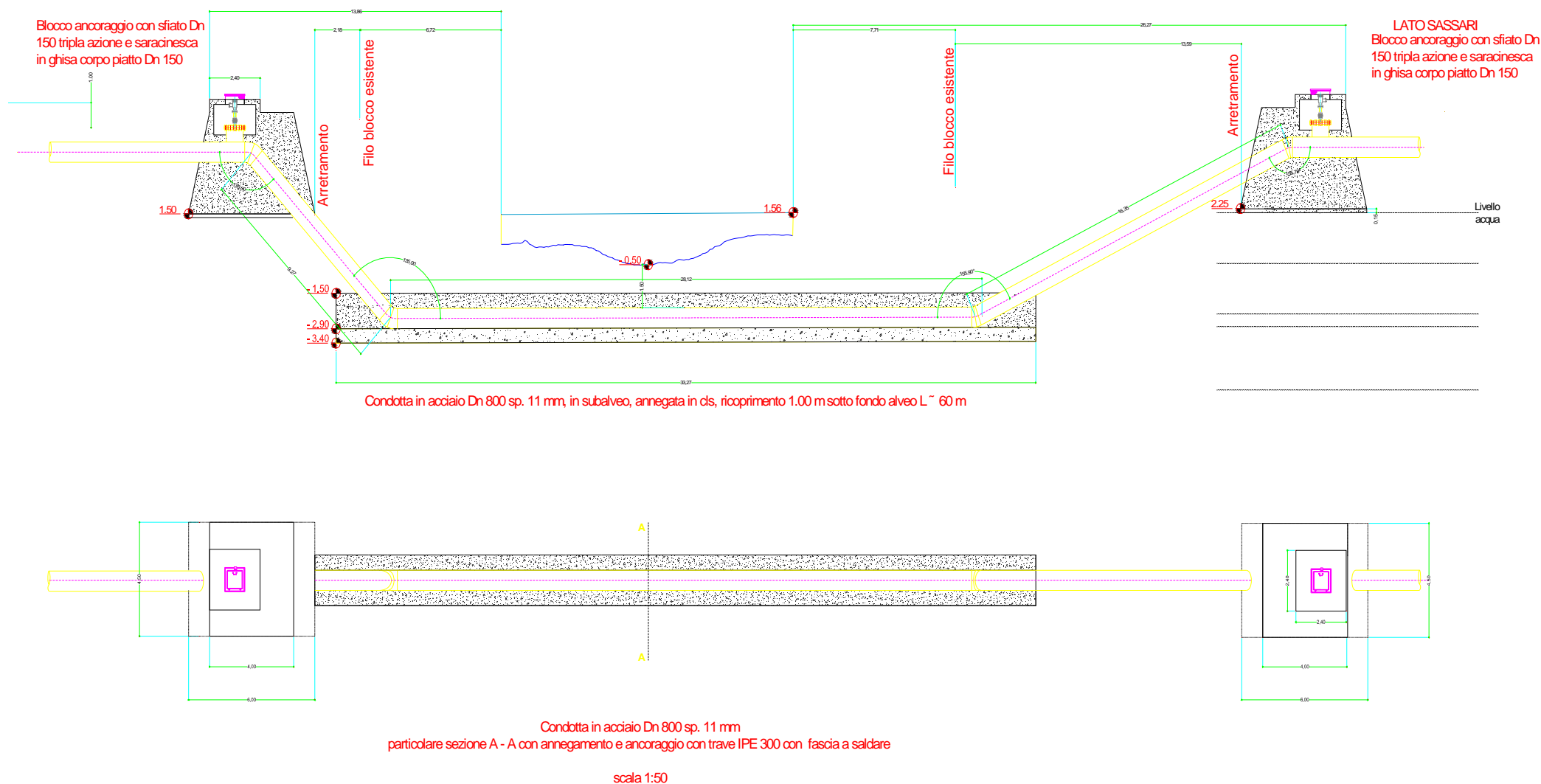


Figura 4. Schema di massima, non in scala, del progetto di ripristino dell'attraversamento pensile. Per i particolari si rimanda alle tavole di progetto.

4 ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO A SCALA DI BACINO

L'intervento ricade sull'ampia piana che costituisce il tratto prefocivo del Riu Mannu di Porto Torres, il cui bacino idrografico, allungato da SE a NW, per un'area complessiva di circa 666.8 km² cinge in prevalenza i litotipi terziari della Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese. Essi sono riconducibili alla colmata del bacino di sedimentazione (Fig.5), costituito dal graben con andamento meridiano che unisce il Golfo di Cagliari con quello dell'Asinara ("Fossa Sarda" Auct.), formatosi durante la deriva e rotazione del blocco Sardo-Corso verso SE nella fase di apertura del Bacino Balearico (Burdigaliano inf.).

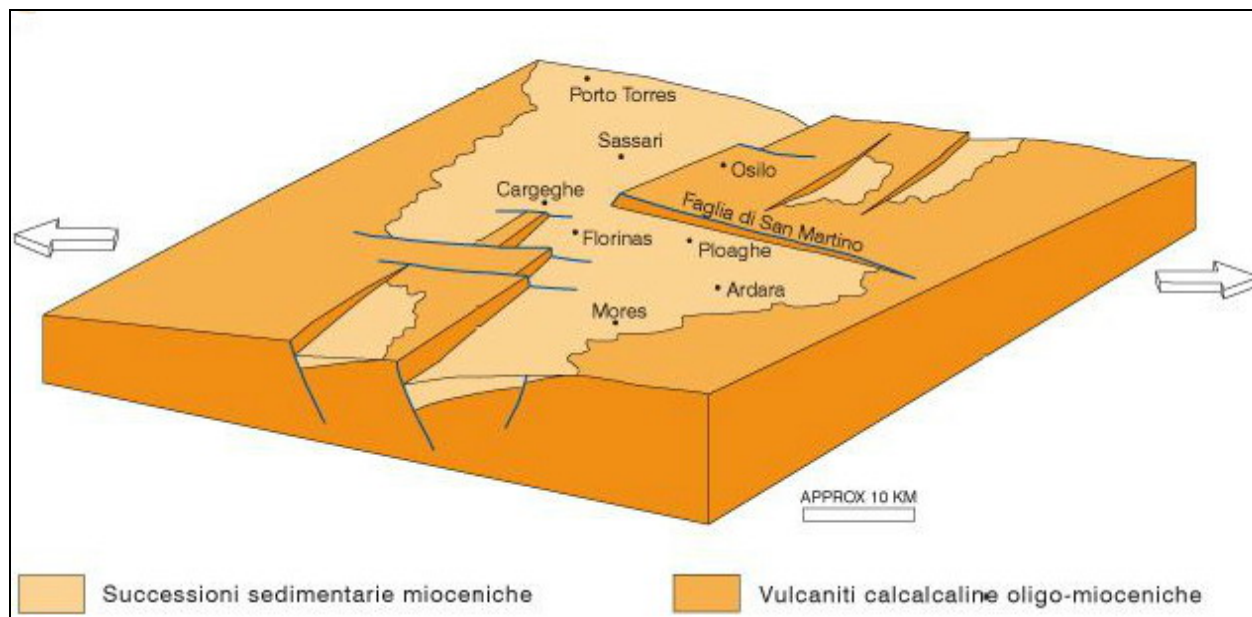


Figura 5. Rappresentazione schematica del semi-graben del Logudoro (da Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 - Fg.459-Sassari, in pubblicazione. Modificato.).

Le unità litostratigrafiche del Logudoro (*"Inquadramento cronobiostratigrafico ed evoluzione del bacino di sedimentazione del territorio compreso fra Bonorva e Codrongianus 'Sardegna settentrionale'"*, Barca, Spano et Alii, 2000), sulle quali ricade l'estremità nord-occidentale dei territori di Porto Torres e Sassari, sono riconducibili a due cicli sedimentari marini miocenici (Mazzei e Oggiano, 1990) che giacciono sulle vulcaniti calco-alcaline oligo-mioceniche intercalate ai depositi continentali Eocenici e Oligocenici, affioranti esclusivamente alle estremità settentrionale e meridionale del settore orientale del bacino (Distretti vulcanici di Osilo-Castelsardo a N, e di Capo Marargiu a S).

Il bacino sedimentario è stato fortemente condizionato dalle oscillazioni eustatiche e dall'instabilità tettonica connessa all'ambiente geodinamico terziario, e si caratterizza, a partire dal Burdigaliano superiore, per un episodio trasgressivo (in parte sui depositi delle sabbie e dei conglomerati continentali dell'*Unità di Biddisari*) col passaggio dal contesto continentale ad uno schiettamente marino (*Unità di Monte Arana Auct.*), caratterizzato da paleobatimetrie oscillanti tra i 15 e i 20 metri.

A tale unità (Fig.6) sono assimilabili i *Calcarei Inferiori Auct.*, facies della Formazione di Mores, composta da biocalcareni detritico-organogene, da biohermali a biostromali, di colore biancastro, a tratti compatte e massive, passanti in profondità a strati più schiettamente calcarenitici, giallo-ocra, friabili e meno competenti, con livelli basali conglomeratici ricchi in clasti di quarzo e vulcaniti. Si presentano in bancate

di dimensioni talora metriche e con una giacitura prevalentemente sub-orizzontale. Tra i fossili, particolarmente presenti sono le Alghe calcaree «Lithothamnium», con un ambiente deposizionale di piattaforma medio esterna. Il secondo ciclo sedimentario, nell'area studiata, si chiude in concomitanza con la deposizione di ambiente fluviale dell'Unità di Florinas del Langhiano sup. - (?) Serravalliano medio-superiore.

Tra il Burdigaliano superiore ed il Langhiano inferiore, si registra un netto incremento delle batimetrie, con profondità comprese tra 100 e 150 metri, alle quali si depositano, in ambiente circolitorale-epibatiale, le marne siltoso-arenacee dell'Unità di Monte Lachesos, cui appartengono le Marne di Borutta (Funedda, Oggiano & Pasci, 2000) che affiorano estesamente su tutto il settore centro-orientale del bacino in studio. Si tratta di sedimenti da marnoso-arenacei a marnosi, massivi e ben cementati, di colore grigio giallastro con livelli riccamente fossiliferi ad Echinidi Spatangoidi.

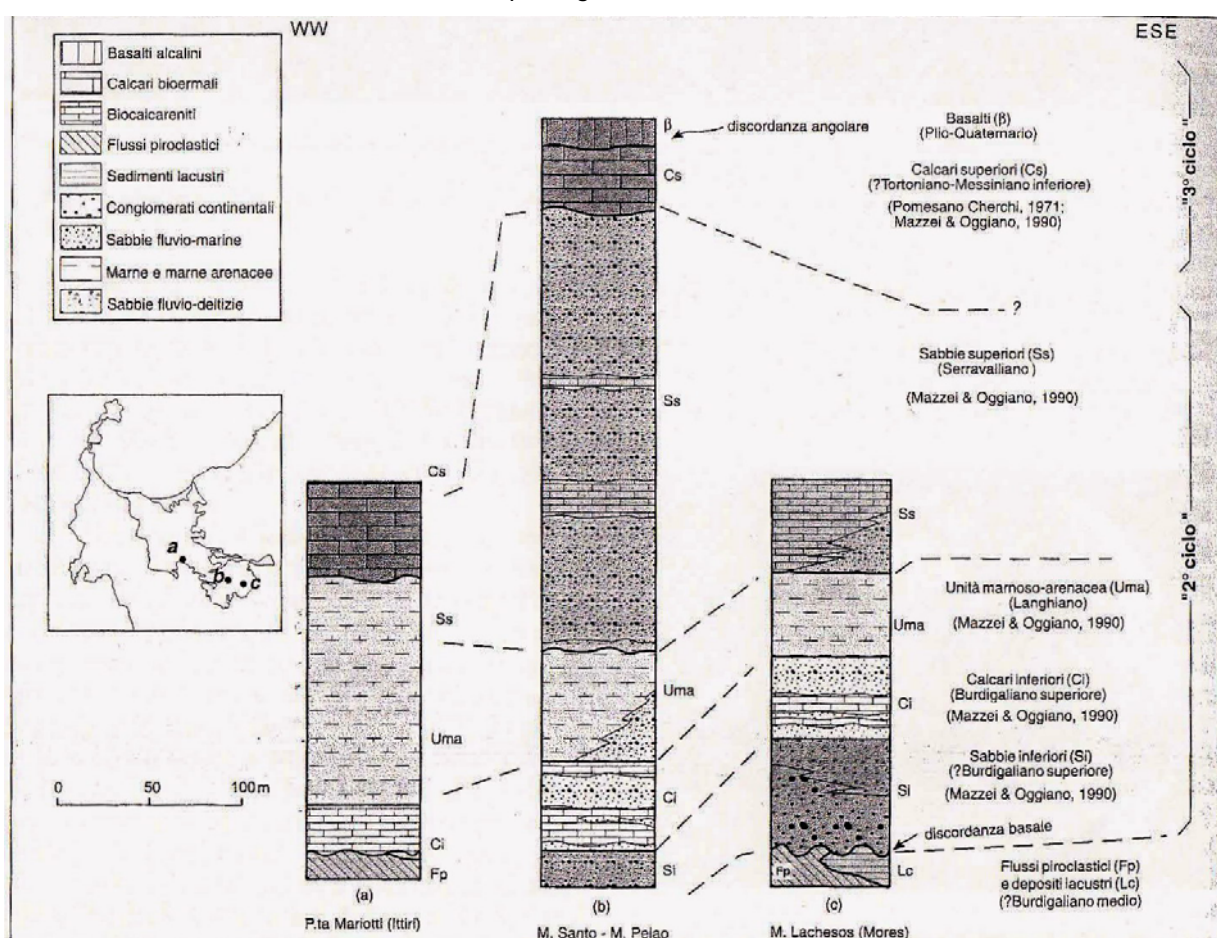


Figura 6. Correlazioni stratigrafiche delle successioni oligo-mioceniche del 2° e 3° ciclo sedimentario affioranti nel Logudoro (da Funedda et Alii, 2000. Modificato).

All'estremo nord-occidentale del bacino affiora una porzione della Successione Mesozoica della Sardegna settentrionale, pilastro tettonico di Monte Nurra, costituito dall'omonima successione carbonatica mesozoica, comprendente calcari, calcari oolitici e calcari marnosi, alternati a dolomie (Giura), sino a livelli evaporitici del Trias.

Dopo una fase di stasi, il passaggio al Pliocene si caratterizza per la riattivazione dei sistemi tettonici terziari durante l'Orogenesi Alpina, con la messa in posto di vasti espandimenti basaltici entro le paleovalle che incidevano i sedimenti oligo-miocenici. Data la maggiore erodibilità di questi ultimi rispetto al basalto,

si è realizzata nel tempo una netta inversione di pendio, cui si deve il tipico paesaggio tabulare dei Plateau (o Giare) che spiccano in rilievo sui penepiani circostanti, cinti dal detrito di falda che si genera per il progressivo arretramento e crollo delle cornici rocciose. Tali forme sono spesso assai suggestive e tra esse si distingue, nel territorio di Ploaghe-Codrongianos, quella di *Su Coloru* (*Il serpente*, Fig.7), così denominata per la morfologia stretta e sinuosa del tabulato basaltico che indica chiaramente una colata avvenuta all'interno di un canyon, o comunque di una valle molto incisa, le cui sponde sono state successivamente smantellate dall'erosione con conseguente inversione di rilievo.

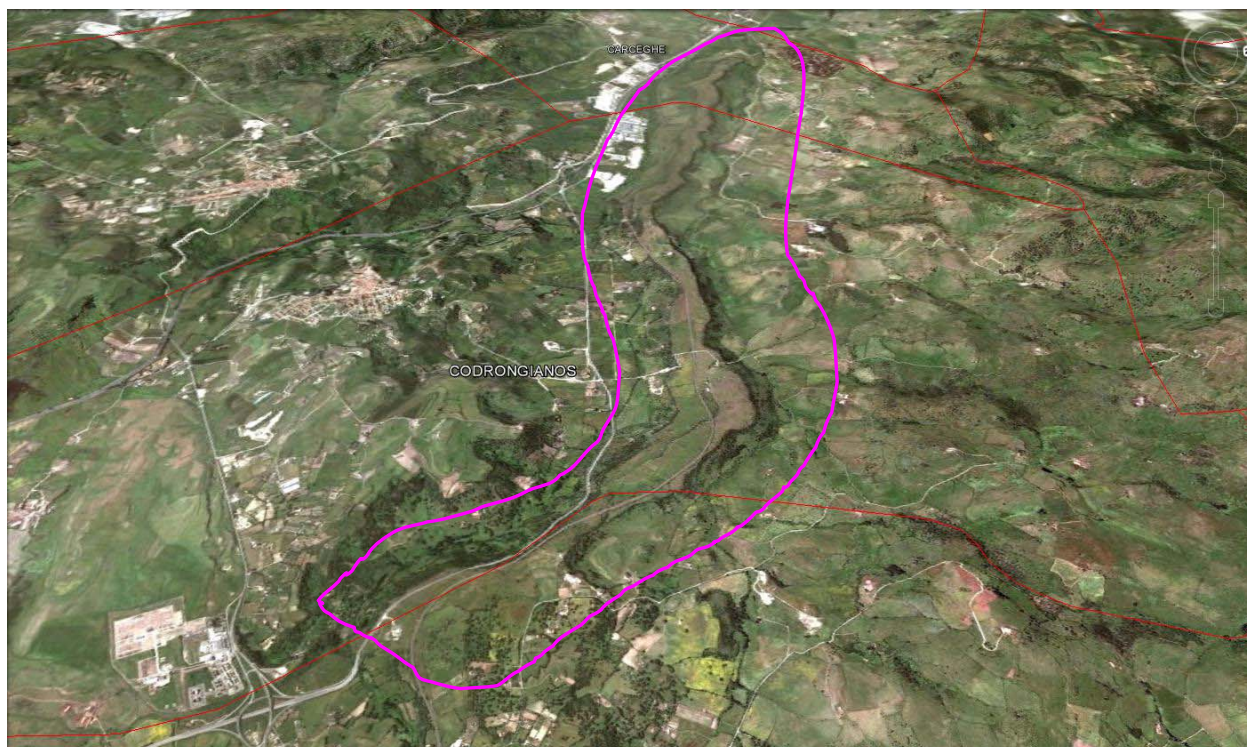


Figura 7. Vista 3D (da Google Earth) della colata basaltica di Su Coloru.

La notevole elevazione rispetto alle aree circostanti, evidenzia il complessivo ringiovanimento Plio-Quaternario dei rilievi, testimoniato dalla presenza di alvei incastrati e dislivelli tra paleo-fondovalle e valli attuali anche di 400 metri.

I depositi alluvionali olocenici circoscritti ai tributari minori del Rio Mannu, abbondano in elementi grossolani, con rare intercalazioni sabbiose, a conferma del regime prevalentemente torrentizio ad elevata energia. Nelle aree golenali che segnano i tratti pianeggianti del Mannu e degli affluenti principali (Mascari e Bidighinzu), prevalgono i sedimenti sabbioso-limosi, più argillosi verso foce, in corrispondenza dell'area di intervento, come si descriverà in seguito.

4.1 Assetto geomorfologico ed idrografia del bacino

Come evidenziato in Fig.8 l'area del bacino sottesa al Rio Mannu consta fondamentalmente di due unità di paesaggio, la cui origine è strettamente connessa ai caratteri litologici e tettonici del territorio:

1. la prima unità occupa il settore centro-meridionale e si caratterizza per la più netta definizione del bacino sedimentario terziario, delimitato, a nord e a sud, dai distretti vulcanici ignimbrici, con il settore centrale della colmata sedimentaria, più depresso ed eroso;
2. la seconda unità, sub-pianeggiante o debolmente ondulata, copre l'intero settore nord-

occidentale del bacino, dalla sezione di chiusura sino all'ideale confine che unisce i comuni di Uri, Usini, Tissi e Sassari.

La prima unità, come detto, è modellata sui litotipi terziari del distretto vulcanico del Logudoro e sulla colmata sedimentaria prevalentemente carbonatica. Tale area si caratterizza per la presenza di un paesaggio che rivela il generale ringiovanimento dovuto al sollevamento plio-quadernario, con alvei in approfondimento, valli fortemente incise (Scala di Giocca) e paleo fondovalle a quote superiori di alcune centinaia di metri sugli attuali.

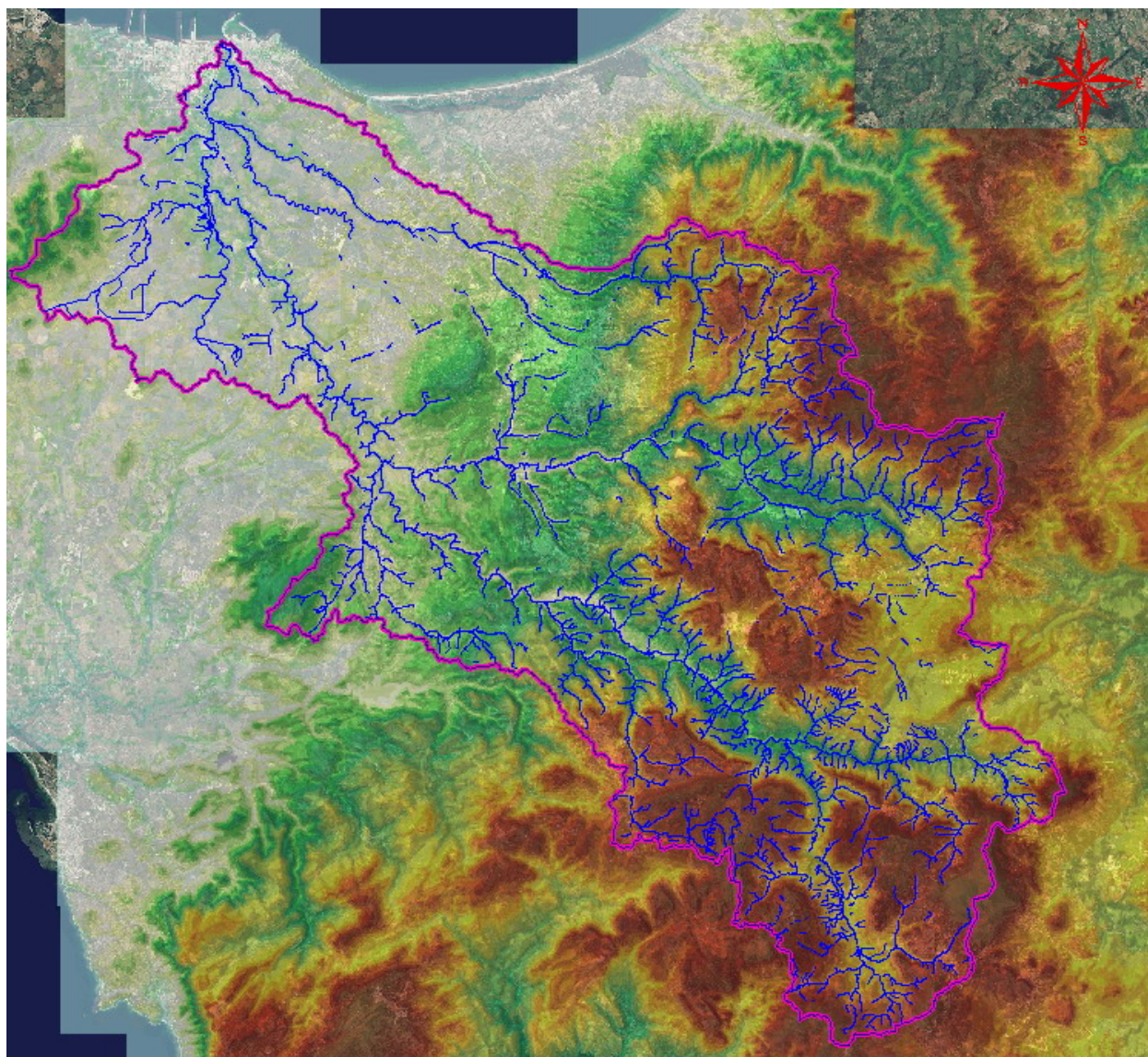


Figura 8. Modello fisico dell'area racchiusa dal bacino sotteso al Rio Mannu.

Spicca, in particolare, il sub-bacino del Riu Mascari, a nord dell'asta principale, che si caratterizza per una valle ampia, a fondo piatto, con ignimbriti in sponda destra e calcareniti in sinistra, segnata al centro dalla colata di Su Coloru che funge da spartiacque per i due tributari principali, Riu Montes e Riu Murrone: in entrambi i sub-bacini si ritrovano forme tipiche di un paesaggio in erosione con vistosi arretramenti delle cornici dei rilievi tabulari, sia ignimbritici che calcareo-marnosi.

Il reticolo idrografico si caratterizza, in questo settore del bacino, per un pattern prevalentemente dendritico, sebbene le aste a quote più elevate tendano ad assumere la classica geometria a *pettine* che

caratterizza le valli fortemente incise sui calcari e sulle ignimbriti, con collettori rettilinei e tributari ortogonali a causa dell'azione prevalente della pendenza. Si ritrovano, inoltre, alcuni allineamenti fortemente legati alla componente litologica che governa le direzioni di deflusso in forza della diversa erodibilità dei litotipi, come nel caso, citato in precedenza, della valle di Su Coloru.

La seconda unità è circoscritta quasi interamente al tavolato carbonatico delle Litofacies dei Calcari di Mores, che si prolunga sino alla costa. Anche in questo settore si ritrovano chiari i segni di un paesaggio ringiovanito, con aste fluviali profondamente incassate in canyon o valli a V molto stretta, con pareti sub-verticali che offrono la vista di sezioni stratigrafiche assai suggestive (SS131 - *Scala di Giocca*), ancorché notevolmente critiche sotto il profilo della pericolosità da frana.

In tale contesto il reticolo idrografico assume una geometria più raccolta, con una minore densità di drenaggio, in parte influenzata dalla ridotta pendenza media e dalla più intensa antropizzazione dell'area. Le aste fluviali principali, ed in particolare il Riu Mannu, scorrono entro alvei relativamente stabili, con la caratteristica morfologia sinuosa conferita dai frequenti meandri incassati.

Sino al limitare della piana costiera, su cui sorge il centro abitato di Porto Torres, i depositi continentali olocenici, grossolani e sciolti, sono circoscritti perlopiù all'alveo dei tributari minori o ad aree golenali recenti e di modeste dimensioni, rappresentate dalle colmate contenute entro le paleo valli calcaree.

5 ASSETTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO

In riferimento alla Carta dei suoli della Sardegna in scala 1:250.000 (Tav.Gt2) il bacino in oggetto è caratterizzato dalle seguenti unità cartografiche e dai relativi suoli (Tabella 1):

Tabella 1. Principali suoli ricadenti nel bacino del Rio Mannu.

UNITA' DI PAESAGGIO E SUBSTRATI		UNITA' CARTOGRAFICHE	DESCRIZIONE DEI SUOLI	CLASSIFICAZIONE U.S.D.A. SOIL TAXONOMY 1998
A	Paesaggi su calcari, dolomie e calcari dolomitici del Mesozoico e relativi depositi di versante.	1	Roccia affiorante e suoli a profondità variabile nelle anfrattuosità della roccia, con profili A-R e A-Bt-R, argillosi, poco permeabili , neutri, saturi.	Rock outcrop Lithic Xerorthents
		2	Profili A-R, A-Bt-R, A-Bw-R e roccia affiorante, da poco profondi a profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili , neutri, saturi.	Lithic e Typic Xerorthents Lithic e Typic Rhodoxeralfs Lithic e Typic Xerochrept Rock outcrop
D	Paesaggi su rocce effusive acide e intermedie del Cenozoico e loro depositi di versante, colluvi.	13	Roccia affiorante e suoli a profilo A-C e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco argillosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili , neutri, saturi.	Rock outcrop Lithic Xerorthents
		14	Profili A-Bw-C, A-C, e A-Bk-C, da profondi a mediamente profondi, da argilloso sabbiosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili , neutri, saturi.	Vertic e Typic Xerochrept Typic Xerorthents Calcixerollic Xerochrept
		15	Roccia affiorante e suoli a profilo A-C, A-R e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili , neutri, saturi.	Rock outcrop Lithic Xerorthents
		16	Profili A-Bw-C, A-C e subordinatamente roccia affiorante, da profondi a poco profondi, da franco sabbiosi ad argilloso sabbiosi, da permeabili a mediamente permeabili , neutri, saturi.	Typic, Vertic e Lithic Xerochrept Typic e Lithic Xerorthents
E	Paesaggi su rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e del Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali.	18	Roccia affiorante e suoli a profilo A-R e subordinatamente A-Bw-R, poco profondi, franco argillosi, permeabili , neutri, saturi.	Rock outcrop Lithic e Xerorthents
F	Paesaggi su calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene.	20	Roccia affiorante, suoli a profilo A-C, A-Bt-C, da poco a mediamente profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, permeabili , neutri saturi.	Rock outcrop Lithic e Typic Xerorthents Lithic e Typic Rhodoxeralfs
		21	Profili A-C, A-Bw-C, A-Bt-C e subordinatamente roccia affiorante, da mediamente a poco profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, permeabili , neutri, saturi.	Typic e Lithic Xerorthents Typic e Lithic Xerochrept Typic Rhodoxeralfs
G	Paesaggi su marne, arenarie e calcari marnosi del Miocene e relativi depositi colluviali.	22	Profili A-C, roccia affiorante e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, permeabili , subcalcalini, saturi	Lithic Xerorthents Rock outcrop
		23	Profili A-Bw-C, A-Bk-C e A-C, da mediamente profondi a profondi, da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi, da permeabili a mediamente permeabili , subcalcalini, saturi	Typic e Vertic Xerochrept Calcixerollic Xerochrept Typic Xerorthents
		24	Profili A-C, profondi, argillosi, poco permeabili, subcalcalini, saturi	Typic Pelloxerents Entic pelloxerents
I	Paesaggi su alluvioni e su arenarie eoliche cementate del Pleistocene.	26	Suoli A-Bt-C, ABtg-Cg e subordinatamente A-C, profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi in profondità, da permeabili a poco permeabili , da neutri a subcalcalini, saturi	Typic, Aquic ed Ultic Palexeralfs
		27	Profili A-Bt-Ck, A-Btk-Ckm, A-Bt-Bkm-Ckm e subordinatamente A-C, profondi, da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi in superficie, da argilloso sabbiosi ad argillosi in profondità, da permeabili a poco permeabili , da neutri a subcalcalini, saturi	Calcic e Petrocalcic Palexeralfs
L	Paesaggi su alluvioni e su conglomerati, arenarie eoliche e crostoni calcarei dell'Olocene.	29	Profili A-C e subordinatamente A-Bw-C, profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a poco permeabili , neutri, saturi	Typic, Vertic, Aquic e Mollic Xerofluvents
I	Paesaggi urbanizzati	35	Aree urbanizzate e principali infrastrutture. Impermeabili	
Acque		36	Lago del Bidighinzu	

Di seguito si riporta una sintesi delle caratteristiche pedologiche dei suoli individuati e, in riferimento alla Carta dell'Uso del Suolo della RAS in scala 1:25.000 (Tav.Gt3), il loro principale utilizzo nel bacino idrografico considerato:

- A:** affioranti in corrispondenza del margine nord occidentale del bacino, con morfologie da aspre a sub-pianeggianti, favoriscono la genesi di suoli mediamente poco permeabili da poco profondi a profondi e con tessitura variabile da franco-sabbioso-argillosa ad argillosa. L'attuale destinazione, funzione della profondità e del contenuto in sostanza organica, è di tipo agricolo, con seminativi semplici e colture orticole a pieno campo, sulle aree pianeggianti ed ondulate (Unità n.2), mentre prevale la macchia mediterranea e piccole estensioni di boschi di latifoglie in corrispondenza delle forme più aspre (Unità n.1);
- D:** presenti in corrispondenza del margine nord e sud orientale, e solo sporadicamente nel quadrante occidentale, si contraddistinguono per la formazione di suoli da poco profondi (Unità nn.13-15) a profondi (Unità nn.14-16), e da mediamente a poco permeabili (Unità nn.13-14) fino a permeabili (Unità nn.15-16). Caratterizzati da una frazione organica da scarsa (Unità n.13) a media (Unità nn.14-15) fino ad elevata (Unità n.16), hanno complessivamente una tessitura prevalentemente fine ed un drenaggio lento, talora favorito da un eccesso in carbonati. Frequentemente con una rocciosità e pietrosità elevate, sono sfruttati principalmente con seminativi in aree non irrigue e parti artificiali e con seminativi semplici e colture orticole a pieno campo (Unità nn.15-16) solo in corrispondenza delle morfologie più dolci a quote comprese tra 0-700 m s.l.m.m.. Subordinatamente si estendono i boschi di latifoglie e le aree a pascolo naturale il quale, attuato storicamente in modo intensivo, e associato alle tipiche pratiche di disboscamento ed agli incendi, ha innescato un processo degenerativo con conseguente depauperamento dei suoli tutt'oggi in atto;
- E:** individuabili presso il margine più orientale del bacino, caratterizzano le morfologie da ondulate a sub-pianeggianti a quote comprese tra 0-1000 m s.l.m.m., definendo un paesaggio in cui si alternano frequenti affioramenti rocciosi e suoli poco profondi con tessitura franco argillosa, la cui elevata permeabilità si riduce in corrispondenza del substrato roccioso. Il contenuto in sostanza organica, variabile da scarso a medio, li rende talora idonei allo sfruttamento agricolo con seminativi in aree non irrigue ed al pascolo, spesso eccessivamente praticato;
- F:** caratterizzanti la gran parte del bacino idrografico, originano suoli da poco a mediamente profondi con tessitura da franco-sabbioso-argillosa ad argillosa. La permeabilità è normalmente elevata ed il contenuto in sostanza organica varia da medio, in corrispondenza delle forme aspre e sub-pianeggianti (Unità n.20), ad elevato sulle morfologie dolci ed ondulate (Unità n.21). Localmente ricchi in scheletro, sono diffusamente sfruttati con seminativi in aree non irrigue, mentre i seminativi semplici e le colture orticole a pieno campo si concentrano in corrispondenza del margine nord occidentale, gli oliveti nella zona centrale del bacino e le aree a pascolo naturale nelle aree più meridionali;

- G:** dalla sommità delle piccole colline oligo-mioceniche verso le superfici di fondovalle si originano suoli da poco profondi (Unità n.22) a mediamente profondi e profondi (Unità nn.23-24), con sostanza organica da media (Unità n.24) a scarsa (Unità nn.22-23) ed una frazione carbonatica costantemente elevata il cui accumulo, prevalente nelle aree depresse, conferisce al suolo un drenaggio lento e difficoltoso che contribuisce alla formazione di orizzonti idromorfi. Nonostante le caratteristiche estremamente variabili tali suoli si contraddistinguono per una prevalente utilizzazione agricola, soprattutto in corrispondenza delle fasce pedemontane, che localmente, a quote più elevate, passa ad una copertura a cespuglieti ed arbusteti e boschi di latifoglie;
- I:** poco diffusi, caratterizzano le morfologie da sub-pianeggianti a pianeggianti comprese entro i 300 m s.l.m.m. ed originano suoli mediamente evoluti, progressivamente più argillosi con la profondità e con valori in permeabilità estremamente variabili da poco permeabili a permeabili. Hanno un contenuto in sostanza organica da medio a scarso e, talora, un eccesso in carbonati che precipitando conferiscono al suolo un elevato grado di cementazione che ostacola ulteriormente il drenaggio (Unità n.27). Uno sfruttamento con seminativi semplici e colture orticole a pieno campo, esteso presso le aree nord occidentali, lascia il passo ai seminativi in aree non irrigue procedendo verso il margine più meridionale;
- L:** affioranti lungo le fasce fluviali genera suoli profondi con tessitura da sabbioso-franca a franco-argillosa, da permeabili a poco permeabili. Localmente ricchi in scheletro e con spiccata idromorfia temporanea nelle aree depresse, in corrispondenza del settore centro settentrionale del bacino sono coltivati con seminativi semplici e colture orticole a pieno campo, mentre nel settore centro meridionale prevalgono i seminativi in aree non irrigue. In subordine si individuano aree sfruttate a pascolo naturale e piccoli oliveti;
- O:** vi ricadono la città di Sassari e parte del centro urbano e dell'agglomerato industriale di Porto Torres.

6 CARATTERI METEOCLIMATICI DELL'AREA DI INTERVENTO

La posizione geografica, il carattere di insularità e l'orografia della Sardegna costituiscono i principali fattori che ne condizionano il clima (M. Pinna, 1954): occupando il centro del bacino occidentale del mediterraneo, essa è esposta al dominio dei venti occidentali e delle masse d'aria calda tropicale.

Nella classificazione di Köppen (1936) il clima regionale ricade nel novero di quelli temperati, corrispondente al tipo *C* – *Climi temperati delle medie latitudini* caratterizzato dal mese più freddo con temperature medie inferiori a 18°C ma superiore a -3°C e da almeno un mese avente temperatura media pari ad almeno 10°C. Si tratta quindi di un clima che esprime sia una stagione estiva che una invernale, ed è genericamente definito come clima Mediterraneo.

In ambito regionale la quasi totalità del territorio, ad eccezione delle zone interne e montuose, ricade nel sottotipo *Csa* della classificazione di Köppen, che si caratterizza per una temperatura media, nel mese più caldo, superiore ai 22°C e precipitazioni, nel mese più secco del semestre arido, inferiore a un terzo di quello del mese invernale più piovoso, e comunque non superiore a 30 mm.

Tale classificazione è stata ulteriormente dettagliata da Pinna nella Carta Climatica d'Italia (Fig.9) dove sono distinti quattro sottotipi del tipo C: *subtropicale* lungo tutta la costa meridionale e per un breve tratto della costa orientale (Siniscola-Orosei); *temperato caldo* nelle restanti zone costiere, in particolare quelle occidentali, e per tutto il Campidano e Logudoro-Marghine; le aree interne e montuose sono

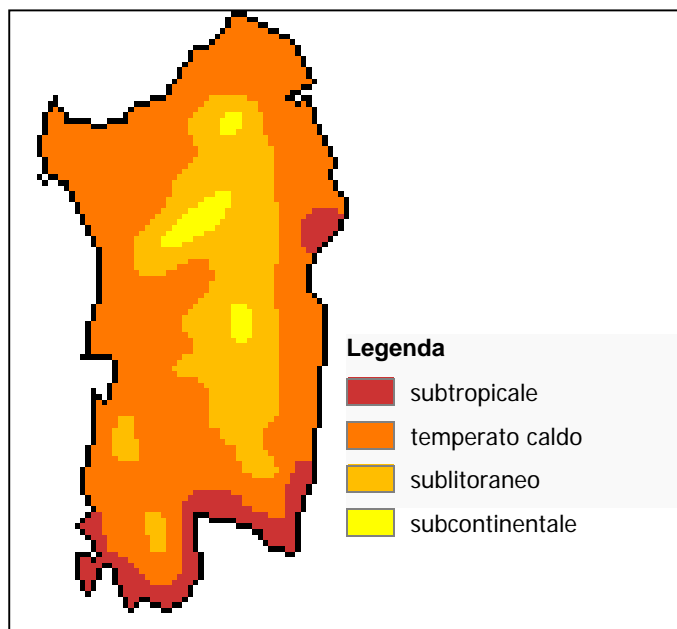


Figura 9. Climi temperati (tipo C di Köppen) caratteristici della Sardegna nella classificazione di Pinna (da Carta Climatica d'Italia - Modificata).

interessate prevalentemente dai climi *sublitoraneo* e, limitatamente ai rilievi più pronunciati, *subcontinentale*. Il comune di Porto Torres ricade nel primo sottotipo.

La peculiare differenziazione delle stagioni deriva principalmente dalla migrazione del limite settentrionale delle celle di alta pressione che insistono nelle fasce subtropicali (Peixoto, 1992). Lo spostamento dell'alta pressione (*Anticiclone delle Azzorre*) raggiunge l'arco alpino nei mesi estivi, determinando un regime stabile talvolta tipico di climi subtropicali aridi, con temperature elevate e precipitazioni scarse o assenti lungo le coste.

A partire dall'autunno l'alta pressione rimane confinata al margine Nordafricano, favorendo la circolazione di aria umida atlantica che, scontrandosi con le masse d'aria calda ancora stazionanti sul mediterraneo, dà vita alla *ciclogenesi*² che interessa la Sardegna (Pinna, 1954) generando le perturbazioni cui si deve il più elevato apporto in termini di precipitazioni, seguito dal meno abbondante massimo primaverile.

6.1 Acquisizione ed analisi dei dati locali

La base dati di riferimento è stata ricavata dal nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (SISS) pubblicato nel 1998 per conto della R.A.S. dall'Ente Autonomo del Flumendosa (oggi ENAS), nel quale si considera un modulo di riferimento che va dal 1922 al 1992 per le pluviometrie e dal 1924 al 1992 per le termometrie. Dette misure sono state completate con i dati resi disponibili dal *Servizio tutela e gestione delle risorse idriche* della RAS sul sito istituzionale: il modulo pluviometrico è stato esteso sino al 2007, per un totale di 86 anni, mentre quello delle temperature riporta le misure sino al 2002 per un totale di 79 anni. I riferimenti per le misure sono stati individuati nelle stazioni di Porto Torres e San Giovanni Coghinas: la prima è ubicata nel centro abitato di Porto Torres ad una quota di circa 2 m s.l.m., mentre la seconda è ubicata in agro di Castelsardo, ad una quota di 210 m s.l.m. Quest'ultima è stata considerata per le sole temperature in quanto la stazione di Porto Torres per tale parametro non sono

² La regione mediterranea presenta la più alta frequenza e concentrazione di ciclogenesi del mondo (Landsberg, 1988).

presenti serie complete utilizzabili.

La stazione di Porto Torres è ubicata a meno di 2 km dal sito di intervento (Fig.10), per cui è garantita la rappresentatività del dato, mentre la stazione termometrica di S.G. Coghinas dista oltre 30 km dal sito, ma è stata comunque utilizzata in ragione della minore variabilità areale delle temperature.

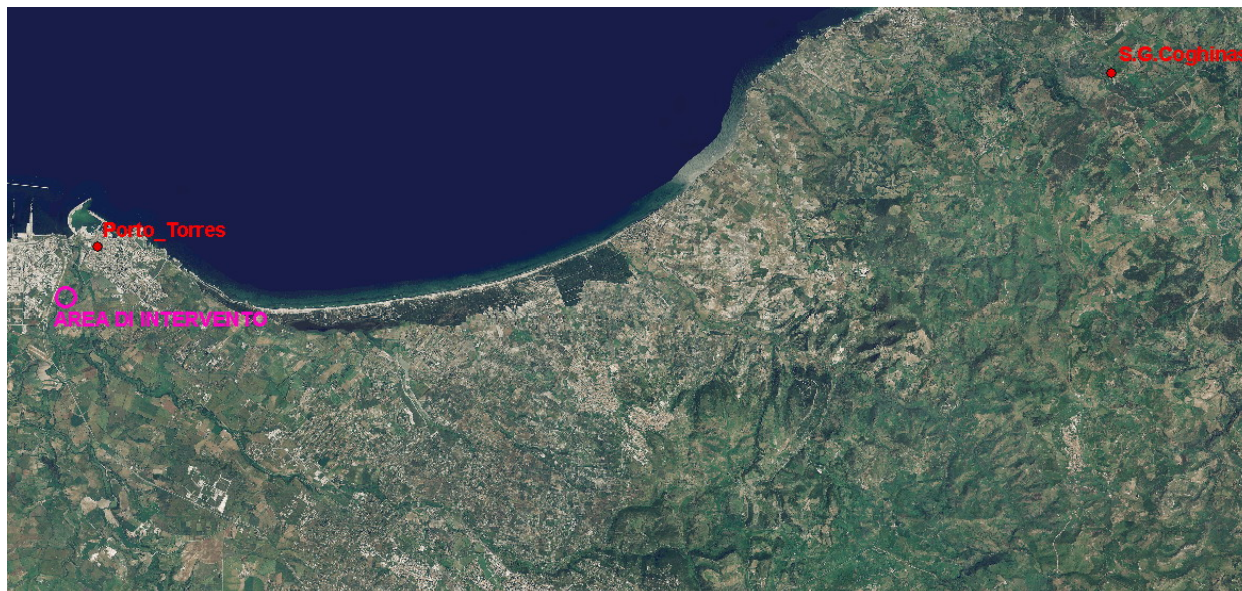


Figura 10. Ubicazione delle stazioni termo-pluviometriche rispetto all'area di intervento.

Di seguito (Tabella 2) si riportano le medie delle precipitazioni e delle temperature medie diurne mensili rispetto al modulo considerato:

Tabella 2. Medie termo-pluviometriche dell'area di intervento.

MESE	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
MEDIA PLUV. (mm)	49,2	45,9	45,6	38,2	29,6	13,6	3,7	10,8	40,1	75,7	83,6	72,8
MEDIA TEMP. (°C)	8,9	9,1	10,9	13,1	16,8	20,7	23,4	23,6	21,1	17,3	13,2	10,1

I dati pluviometrici rivelano l'andamento che caratterizza il settore costiero, con una evidente prevalenza delle precipitazioni nel periodo autunnale ed un minimo altrettanto netto nel periodo estivo.

Il trimestre autunnale ottobre-dicembre, in particolare, fa registrare un cumulo medio pari a circa 232 mm, contro i 141 mm del trimestre invernale e gli 81 mm di quello primaverile. Come accade per le zone costiere della Sardegna, dove la norma è costituita da estati aride con scarsissime precipitazioni, nell'area in studio nel trimestre luglio-settembre si registra un'altezza media di pioggia pari a circa 54,5 mm, che si concentrano in gran parte nel mese di settembre.

La distribuzione delle precipitazioni, quindi, ricalca tipicamente la media dei climi mediterranei costieri, con un massimo, non particolarmente abbondante, in novembre (83,6 mm) ed un minimo in luglio, con soli 3,8 mm.

I dati pluviometrici sono stati inseriti in un diagramma a barre (Fig.11) dal quale si può agevolmente rilevare il trend idrometeorico dell'area descritto in precedenza.

Per quanto attiene la durata e l'intensità delle piogge, esse sono rappresentate a scala regionale nello studio "Il clima in Sardegna" predisposto a cura di P.A. Chessa e A. Delitala per il Dipartimento Specialistico Regionale Idrometeorologico dell'ARPA Sardegna (<http://www.sar.sardegna.it>).

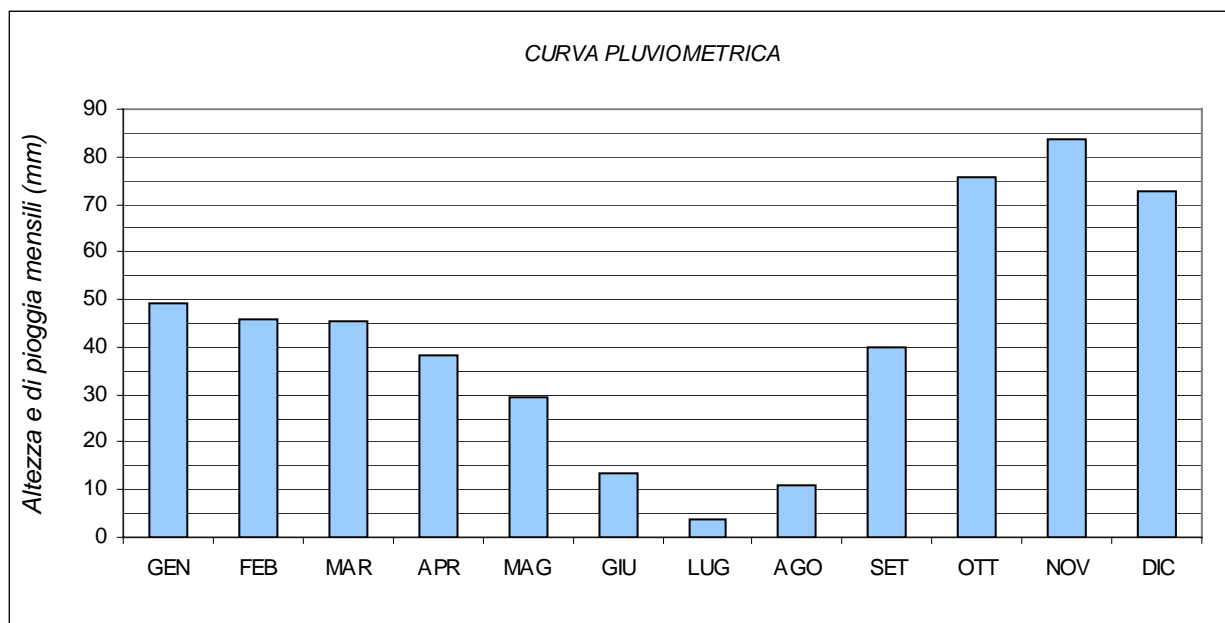


Figura 11. Diagramma delle pluviometrie medie mensili ed annue, su un modulo di 86 anni.

Tale studio è stato realizzato su dati circoscritti al periodo 1951-1980 per temperature e precipitazioni, e al 1951-1993 per i restanti parametri. Nella fattispecie, è di notevole interesse la distribuzione del numero di giorni piovosi sul territorio regionale (Fig.12), che evidenzia un massimo di oltre 80 giorni in corrispondenza dell'altipiano di Campeda, e dei massicci del Gennargentu e del Limbara. Il comune di Porto Torres ricade tra quelle a minore piovosità, con valori medi annui compresi tra 50 e 60 giorni.

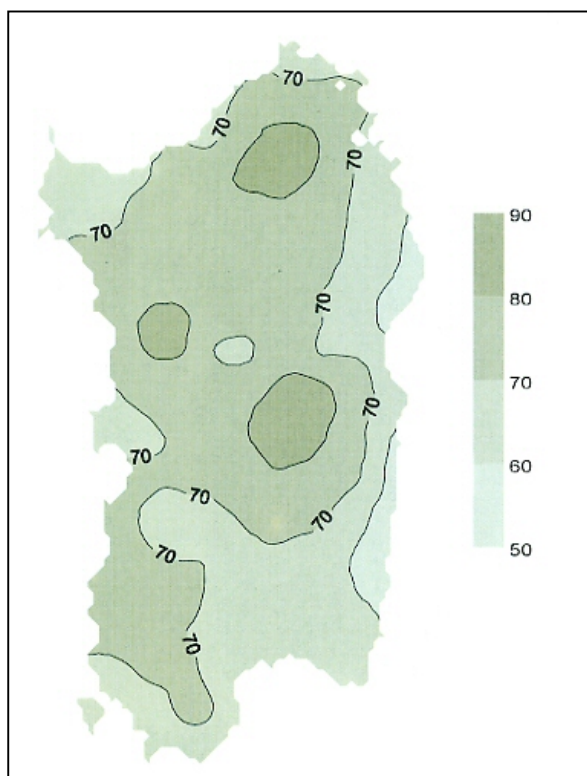


Figura 12. Distribuzione del numero medio annuo dei giorni piovosi.

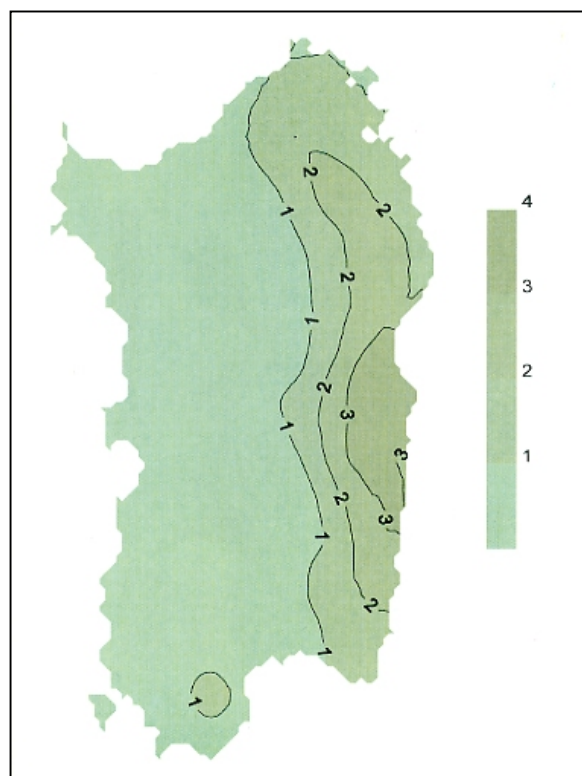


Figura 13. Distribuzione del numero medio annuo dei giorni con altezze di pioggia superiori a 50 mm.

In termini di intensità giornaliera, espresse in numero medio di giorni per altezza di pioggia, è

significativa la carta regionale del numero di giorni con valore di precipitazioni superiore a 50 mm (Fig.13), nella quale si evidenzia un netto gradiente W-E con oltre 3 giorni piovosi in corrispondenza dell'Ogliastra: i rovesci violenti ed intensi sono quindi nettamente localizzati lungo il settore orientale dell'isola, benché il numero dei giorni piovosi sia tra i più bassi, contrariamente a quanto accade nel settore in studio dove al valore non elevato dei giorni piovosi corrisponde comunque una distribuzione più uniforme delle precipitazioni.

6.1.1 Analisi della distribuzione delle temperature medie diurne

La temperatura è un parametro geograficamente più stabile e meno soggetto a variazioni locali rispetto alle precipitazioni, per cui è oggettivamente arduo, e talora artificioso, stabilire correlazioni a scala così ridotta. Con i dati riferiti alla Tabella 2 è stato elaborato il grafico (Fig.14) della distribuzione delle medie diurne mensili.

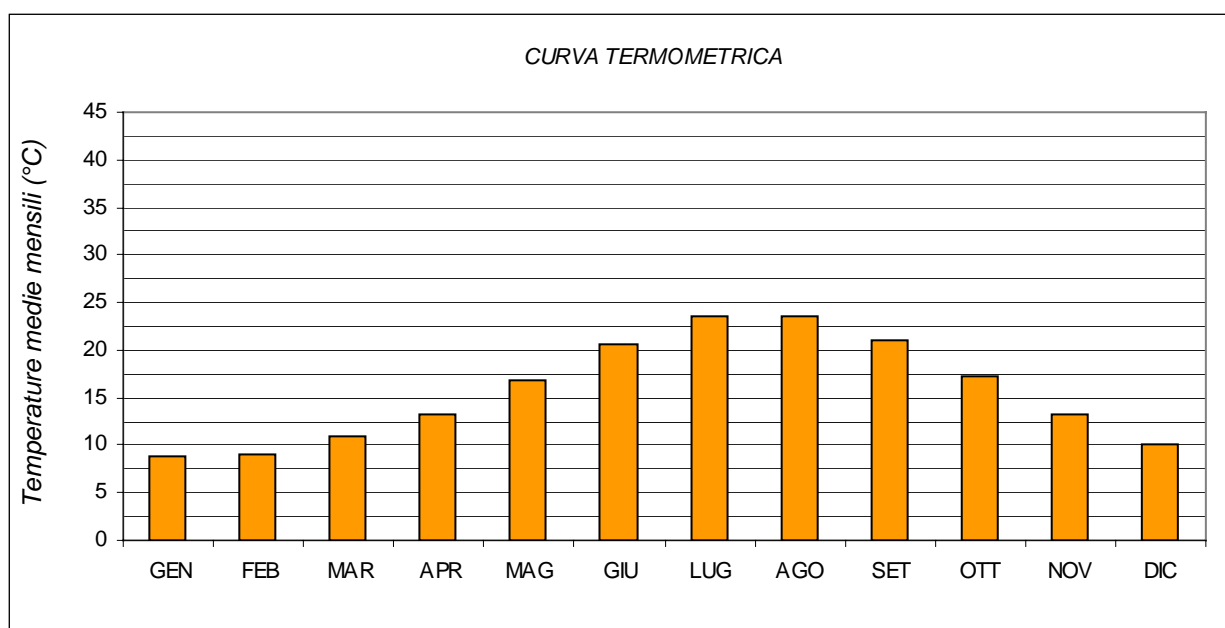


Figura 14. Trend annuo delle temperature medie mensili.

La stazione di riferimento descrive un clima costiero mite con una media annua pari a 17,3°C, con un trend delle temperature che presenta il picco estivo nei mesi di luglio ed agosto, con medie praticamente coincidenti (rispettivamente 23,4 e 23,6°C), che sono piuttosto comuni nella costa, di norma entro l'isoterma dei 24°C (P.A. Chessa, A. Delitala, 1997). Anche la stagione invernale rientra pienamente nei canoni descritti per il sottotipo climatico, con un minimo di 8,9°C collocato nel mese di gennaio, seguito da 9,1°C in febbraio.

Tali valori sono tipici di un inverno mite che si accompagna ad una ridotta escursione termica annua, con un valore medio di 14,7°C, pari alla media assunta per le aree costiere, ricadente entro l'isodiafora dei 15°C che segna il limite minimo ubicato nella costa meridionale (Pinna, 1954).

6.1.2 Elaborazione umbrotermica di Walter e Lieth

Nella definizione del regime microclimatico è di notevole utilità la correlazione tra la curva termometrica e quella pluviometrica, ottenuta mediante la costruzione del diagramma di Walter e Lieth (Fig.15) sulle medie dell'intero comune.

Il diagramma confronta in modo diretto l'andamento stagionale dei due parametri, posti convenzionalmente su scale fisse, con quella delle precipitazioni doppia rispetto a quella delle temperature, evidenziandone il trend stagionale e le reciproche interazioni nel corso dell'anno.

Nel caso in oggetto, si osserva la caratteristica "sfasatura" tra le due curve, tipica del clima mediterraneo: la curva delle temperature subisce un netto incremento nella stagione estiva, con un massimo in luglio-agosto, mentre contemporaneamente le precipitazioni calano ai minimi annui; nella stagione autunno-invernale il processo si inverte, con una progressiva diminuzione delle temperature con un minimo tra dicembre e gennaio a fronte di un rapido incremento delle precipitazioni che culmina nei mesi di novembre-dicembre.

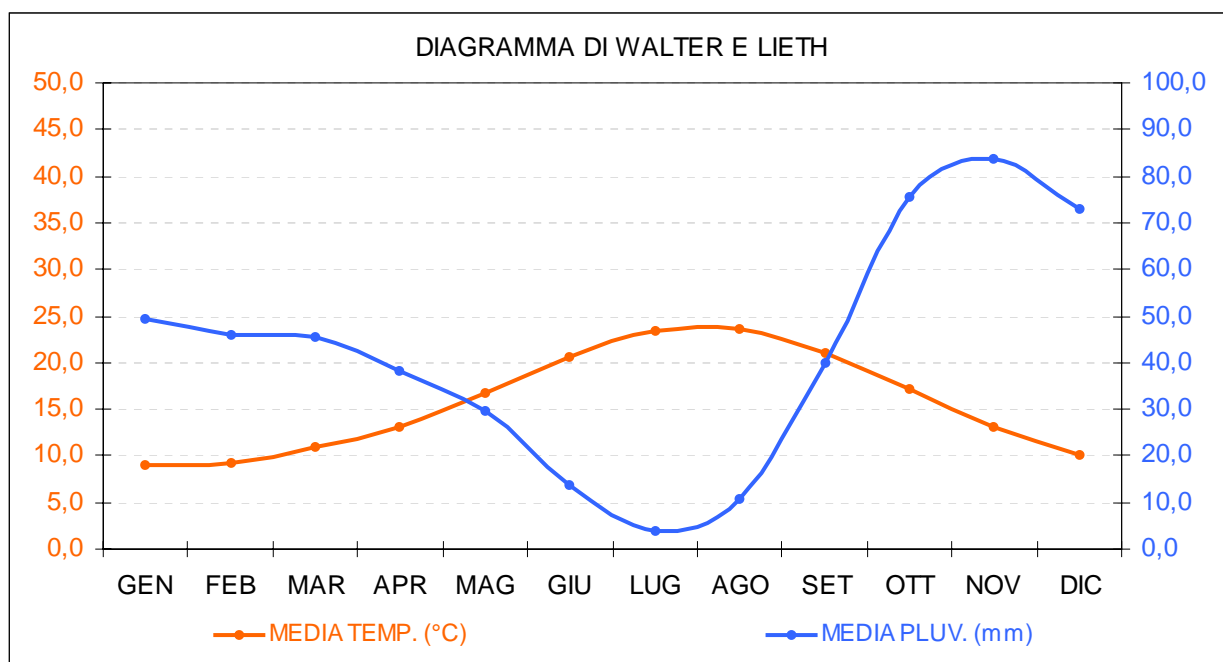


Figura 15. Diagramma umbrotermico di Walter-Lieth riferito alle medie dell'area di intervento.

Si registrano quindi due punti di intersezione delle curve che delimitano sulle ascisse l'intervallo di aridità cui corrisponde un periodo di deficit idrico: esso è compreso, in questo caso, tra maggio e settembre, come di norma accade nelle coste della Sardegna e si caratterizza per un tasso elevato di evapotraspirazione e una piovosità ridotta.

L'alternanza così netta di stagioni secche e stagioni umide riveste notevole importanza nella gestione del territorio sia sotto il profilo idrogeologico ed idraulico, con apprezzabili oscillazioni delle portate dei corsi d'acqua principali e delle aste secondarie.

7 MODELLO GEOLOGICO A SCALA D'INTERVENTO

Nella definizione dei principali caratteri geologici e geomorfologici dell'area, lo scrivente si è avvalso sia del rilevamento di superficie sia delle stratigrafie ottenute dalle indagini geognostiche.

Nel primo caso è stata considerata un'area (Tav.Gt4) che comprendesse il contatto tra la colmata alluvionale e le sponde calcarenitiche in affioramento; nel secondo, trattandosi di indagini finalizzate soprattutto alla definizione del modello geotecnico, le informazioni desumibili dai log stratigrafici, ancorché approfondite e rappresentative, sono necessariamente confinate al perimetro dell'opera.

7.1 Caratteri litostratigrafici e geomorfologici dell'area

L'attraversamento pensile ricade in corrispondenza del versante in sinistra della paleovalle incisa sulle calcareniti terziarie e, successivamente, colmata con i sedimenti alluvionali olocenici fini. Le prime sono riferibili, come anticipato, alla Litofacies della Formazione di Mores



Figura 16. Sponda sx: in primo piano fossile di echinide incastonato nella litofacies calcarenitica dei Calcari di Mores.

ostreidi (Fig.17).

Lungo tutta la suddetta scarpata sono evidenti, inoltre, i tipici fenomeni di erosione differenziale che caratterizzano i litotipi calcarei della zona: la minore competenza dei livelli più arenacei, infatti, ne favorisce il disfacimento per azione degli agenti esogeni, mentre a tetto le bancate calcaree, più cementate e tenaci, permangono inalterate dando vita a cornici e mensole aggettanti (Fig.18).



Figura 17. Sponda sx: litofacies bioclastica con gasteropodi e ostreidi ben cementati nella matrice carbonatica.

Da queste ultime si originano frequentemente piccoli crolli che, almeno nell'immediato intorno dell'area di intervento, non danno luogo a dissesti di rilievo, sia per le dimensioni ridotte dei blocchi, sia per il contenuto sviluppo verticale delle pareti. Tale fattispecie andrà, invece, considerata con molta attenzione nella scelta dei metodi di scavo delle trincee in roccia in sponda sinistra.



Figura 18. Effetti dell'erosione selettiva al contatto tra bancate bioclastiche ben cementate (a tetto) e calcareniti friabili (a letto), su affioramento poco a monte della sponda sx del Riu Mannu.

Nel tratto in studio, infatti, il *talweg* del Rio Mannu lambisce detta sponda a più riprese per poi andare repentinamente a ripiegare su quella destra, con un tracciato sinuoso e meandriforme che denuncia il generale profilo di equilibrio raggiunto dal fiume nel tratto prefocivo, costretto entro la golena dall'incastro nel substrato calcarenitico.

Per quanto attiene le formazioni alluvionali, la definizione del contesto litostratigrafico è stata in gran parte ricavata dalla campagna di indagini geognostiche consistite nella realizzazione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo e di due pozzetti geognostici (P1 e P2) mediante terna gommata, dei quali il P2 eseguito sulle calcareniti in sponda sinistra (Tav.Gt4).

Tabella 3. Consuntivo di indagine

SONDAGGIO/ POZZETTO	PROFONDITA' DA P.C. (m)	QUOTA BOCCAFORO (m s.l.m.)	SPT (n)	CAMPIONI	PROFONDITA' PRELIEVO (m)
S1	16.50	6.40	6	S1-C4	7.50 – 7.80
P1	5.50	6.80	-	P1-C1/C2	2.00 – 5.50
P2	1.10	5.70	-	P2-C5	Da affioramento

Il sondaggio ha consentito di indagare in profondità i litotipi alluvionali che, in quel tratto del Rio Mannu, costituiscono la sponda destra: su tutta la verticale (All.Ga4) è stata verificata una netta prevalenza di sedimenti da sabbioso-limosi ad argillosi. In particolare, nei primi 5,50 metri le stratigrafie del sondaggio S1 e quella del pozzetto P1 sono pressoché coincidenti e rivelano la presenza di sabbie argilloso-limose, bruno-nocciola, mediamente addensate, che nei primi decimetri (P1, Fig.19) sono state riportate da valle

con funzione di rilevato arginale.

Nei primi 1,50-2,00 metri, inoltre, il litotipo appare il medesimo ma, evidentemente, riportato dalle aree limitrofe per creare una sorta di arginello a difesa delle colture, poste in posizione assai più depressa.



Figura 19. Particolare della sezione di scavo del pozzetto P1: si osservano i primi decimetri sciolti e rimaneggiati dall'attività agricola e, in parte, riportati a creare un argine in destra idraulica.

Esse coprono tutta la verticale del P1 (5,50 metri) spingendosi, come rivela il log del sondaggio, sino a circa 7,60 metri di profondità, dove si individua il contatto con un banco di argilla consistente, nerastro ed



Figura 20. S1: limi sabbioso-argillosi rinvenuti oltre i 10 metri di profondità

anossico. Sia nel P1 che nel S1, all'aumentare della profondità, il litotipo sabbioso fa quindi registrare un progressivo incremento della matrice argillosa, mediamente plastica, con frazioni variabili, ma comunque minoritarie, di limo e sabbia, talora in livelletti decimetrici, con presenza di rari clasti calcarei spigolosi.

Esso si presenta compatto e consistente, del colore nerastro tipico di ambienti asfittici a bassa energia, cui si possono riferire anche i frequenti microframmenti di gusci carbonatici, rinvenuti in particolare oltre i 10,40 metri di profondità, in una facies (Fig.20) costituita di limi sabbioso-argillosi inconsistenti, anch'essi tipicamente associabili a sedimentazioni in contesti di bassa energia quali stagni o lagune.

Solo alla base del sondaggio S1, oltre i 16 metri di profondità, si ripresenta un litotipo sabbioso, fine, con presenza di elementi quarzoso-feldaspatici, derivanti probabilmente dallo smantellamento degli apparati vulcanoclastici della parte alta del bacino.

Rimane, invece, scarsamente definito il contenuto sedimentario in alveo, dati i limiti di accessibilità per un

rilevamento diretto o con strumenti di indagine ordinari: le indicazioni tratte da quanto visibile in affioramento e dalla morfologia della sezione ricavata dei rilievi correntometrici, lasciano intuire la presenza di barre detritiche longitudinali, sabbioso-ghiaiose, con qualche trovante proveniente da distacchi in sponda rocciosa.

L'area di intervento non è interessata da dissesti di tipo gravitativo a carico delle scarpate naturali in roccia, che presentano soltanto modesti distacchi dalle cornici calcaree distribuiti perlopiù a monte della sponda sinistra. La sponda destra, oltre al già descritto dissesto del blocco di ancoraggio, non manifesta indizi di instabilità potenziale o in atto, ma è comunque da considerarsi potenzialmente a rischio di dissesto, con formazione di piccoli rilasci in alveo, soprattutto in occasione di piene abbondanti che ne dilavino il piede.

7.1.1 Profilo litostratigrafico del sito di intervento

Come si osserva nella Tav.Gt4, il profilo litostratigrafico evidenzia la notevole preponderanza, rispetto al sedime, dei litotipi alluvionali olocenici che colmano la paleovalle calcarea, disposti in strati sub-orizzontali ma con frequenti interdigitazioni in eteropia di facies.

In corrispondenza del blocco in destra, né il rilievo di superficie né le indagini geognostiche hanno consentito di raggiungere il contatto delle formazioni alluvionali sul sottostante litotipo calcarenitico, confermando, anche in profondità, la ripidezza del versante calcareo. L'inclinazione rappresentata nel profilo, quindi, è frutto di un'ipotesi basata sull'assetto geomorfologico di superficie, così come accade per la profondità del contatto con le alluvioni.

Ciò riveste un'importanza determinante nella stima dei volumi di scavo in roccia e in terra, i quali non possono che essere largamente approssimativi nel tratto in alveo.

7.2 Assetto idrogeologico locale

La falda è stata individuata a circa 5,30 metri di profondità e la quota piezometrica, pari a circa 1,50 m s.l.m., coincide, com'era lecito attendersi, con la quota del pelo libero del corso d'acqua. La misura della piezometrica nel sondaggio è stata invece trascurata, in quanto irrimediabilmente alterata dall'acqua riversata in foro durante le manovre di rivestimento, i cui tempi di dispersione sono rallentati dalla scarsa conducibilità idraulica dei litotipi incontrati.

L'acquifero sabbioso, con conducibilità da medio-bassa a bassa, ospita la suddetta falda ed è accreditabile di un'ampia oscillazione stagionale correlata al regime di alimentazione derivante dal fiume e dall'infiltrazione superficiale entro la golena, con una trasmissività contenuta. Detta falda scorre sullo strato argilloso alla base delle sabbie (7,80-10,40), sebbene la sua probabile conformazione lentiforme non garantisca una separazione continua dai sottostanti limi sabbiosi, che costituiscono un acquifero scarsamente permeabile, probabilmente in continuità col primo.

Va inoltre considerato l'apporto derivante dall'unità idrogeologica della facies calcarenitica, ampiamente documentata in letteratura: l'ampio divario di permeabilità tra le due formazioni, con le calcareniti più conduttive dei termini alluvionali, non consente di classificarle entro una singola unità, ma è indiscutibile che vi sia un collegamento tra i due acquiferi.

7.3 Idrografia locale

Il contesto idraulico dell'area è quello tipicamente ascrivibile ad un'asta fluviale che sottende un bacino a carattere regionale come quello del Rio Mannu: essa può essere letta sia sotto l'aspetto geomorfologico, relativo agli effetti sull'assetto del territorio e sul suo grado di equilibrio, sia in chiave di modellazione idraulica rigorosa, volta a determinarne la pericolosità in termini di aree inondabili.

In questa sede ci si limiterà a considerare il primo aspetto mentre per il secondo, ad eccezione della vigente pianificazione idraulica dell'area che verrà trattata di seguito, si rimanda alla relazione di compatibilità idraulica a corredo del progetto.

Come anticipato in precedenza, sulla piana in cui ricade l'intervento, a valle della confluenza con il Riu d'Ottava, il tracciato del corso d'acqua assume una morfologia sinuosa e tendenzialmente meandriforme (Fig.21), con pochi tributari minori, spesso pesantemente modificati da opere destinate alla regimazione di canali di bonifica e al recapito delle acque bianche.

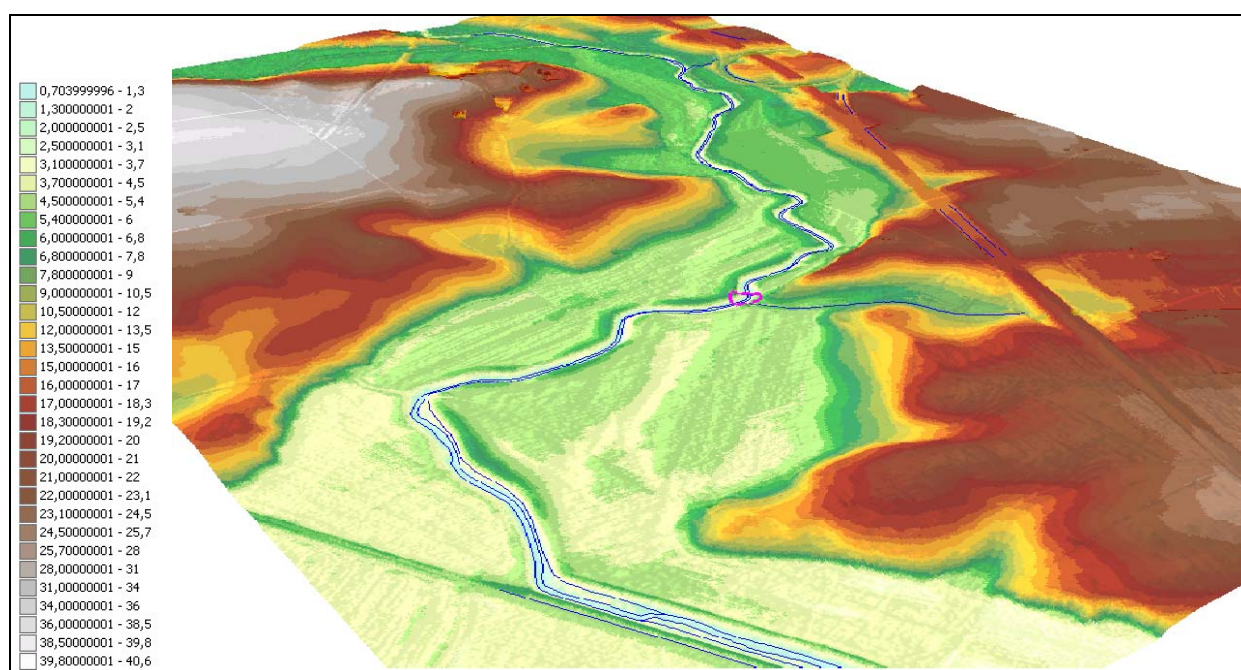


Figura 21. Modello fisico 3D del bacino nel tratto di intervento, visto dalla foce: evidente la depressione tra gli alti calcarei nella quale si sono raccolti i sedimenti alluvionali che costituiscono la gola. La circonferenza in magenta individua l'attuale attraversamento pensile.

Il *talweg* presenta una sezione profondamente incisa e piuttosto stretta, con sponde sub-verticali prive di difese artificiali, che mostrano un moderato grado di erosione con tendenza all'arretramento nelle anse più pronunciate, nelle quali si localizzano infatti modeste barre sabbiose, che diventano assai più evidenti nel tratto focivo a ridosso del centro abitato. Nel modello fisico sono inoltre evidenti (in corrispondenza delle sponde in verde più intenso in Fig.21) i rilevati arginali che sono stati realizzati nel tempo abbancando materiale di riporto, probabilmente ricavato in parte da valle ed in parte dalla periodica pulizia dell'alveo.

In corrispondenza dell'attuale attraversamento pensile, come descritto in precedenza, si ravvisano segni evidenti dell'arretramento della sponda in destra, e una limitata erosione in quella rocciosa in sinistra: per la prima, a conclusione dell'intervento, dovrà quindi prevedersi il ripristino del profilo spondale originario, che andrà ricostituito mediante idoneo intervento che verrà descritto in seguito.

In corrispondenza dell'attraversamento in progetto, sono state eseguite misure della sezione dell'alveo e della velocità della corrente, con stima delle portate di deflusso. Il profilo è rappresentato in Figura 22, con scala delle altezze amplificata, dove si evidenzia una certa irregolarità trasversale soprattutto al contatto con la sponda dx. Le velocità della corrente variano da 0,02 m/s (aree in magenta-blu) ad oltre 1,0 m/s (aree in giallo-rosso), con portate stimate in circa 2,0 mc/s.

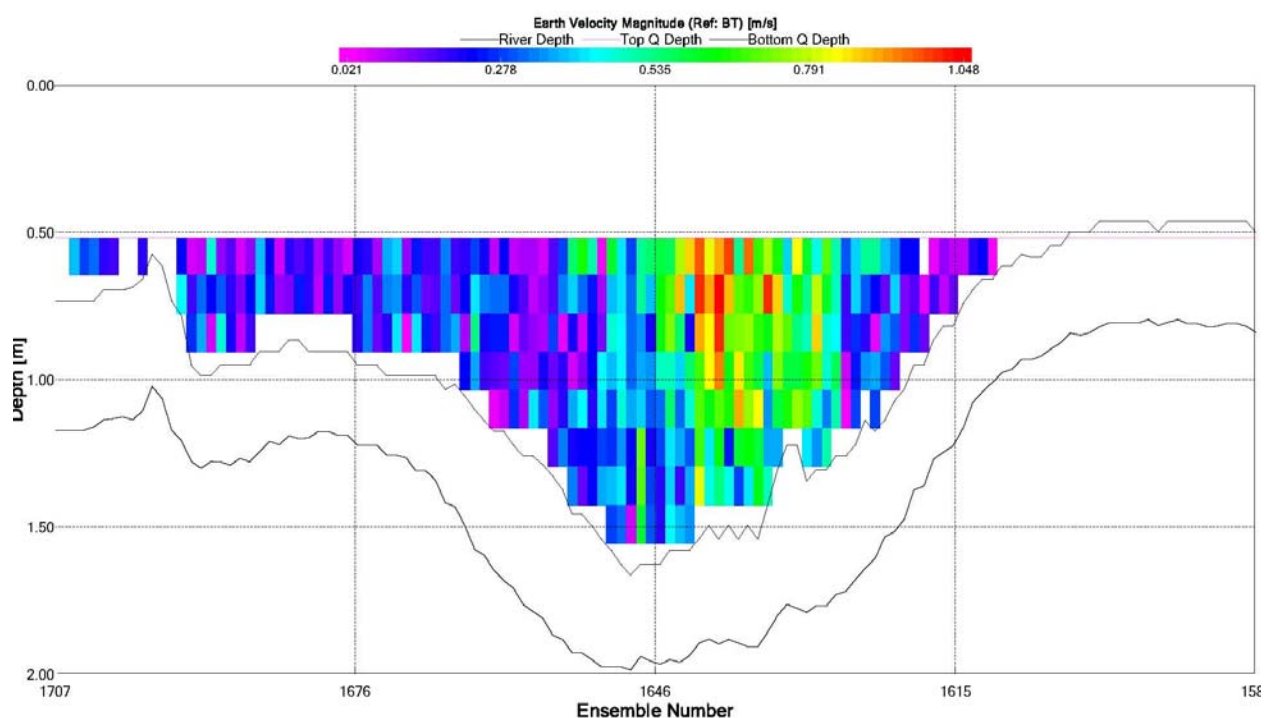


Figura 22. Sezione dell'alveo nel tratto in attraversamento.

7.4 Pericolosità idraulica

Il tratto del Mannu che va dalla golena di Maccia Appaltada alla foce, è stato inserito tra i tronchi critici per la pericolosità idraulica sia nell'ambito del Piano stralcio dell'Assetto Idrogeologico (PAI - 2007) sia nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF - 2011). Ciò non stupisce, poiché si tratta chiaramente di un'area la cui stessa dinamica sedimentaria, che sta alla base del suo assetto geomorfologico recente ed attuale, è strettamente legata alle piene cicliche che inondano la golena: come accade spesso, quindi, se da un lato ciò può essere inteso come un pericolo derivante dalla generica "insufficienza" idraulica dell'asta principale, dall'altro essa rappresenta semplicemente la naturale evoluzione del paesaggio fluviale, nel quale il corso d'acqua deve considerarsi esteso all'intera area raggiunta dalle piene ricorrenti.

Sotto questo profilo, la golena di Maccia Appaltada rappresenta una sorta di cassa di espansione naturale in grado, almeno parzialmente, di laminare le piene. La pericolosità, in tal senso, sembra assumere rilievo solo quando si traduce in rischio, ossia quando vi è interazione diretta con elementi antropici, talvolta non altrimenti dislocabili.

Ciò è particolarmente evidente nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto ai sensi della Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6, ter D.L. 180/98, nel quale l'area di intervento è inquadrata all'interno del *Sub Bacino 3 Coghinas, Mannu, Temo* - tronco critico B3MPTC001 (Fig.23).

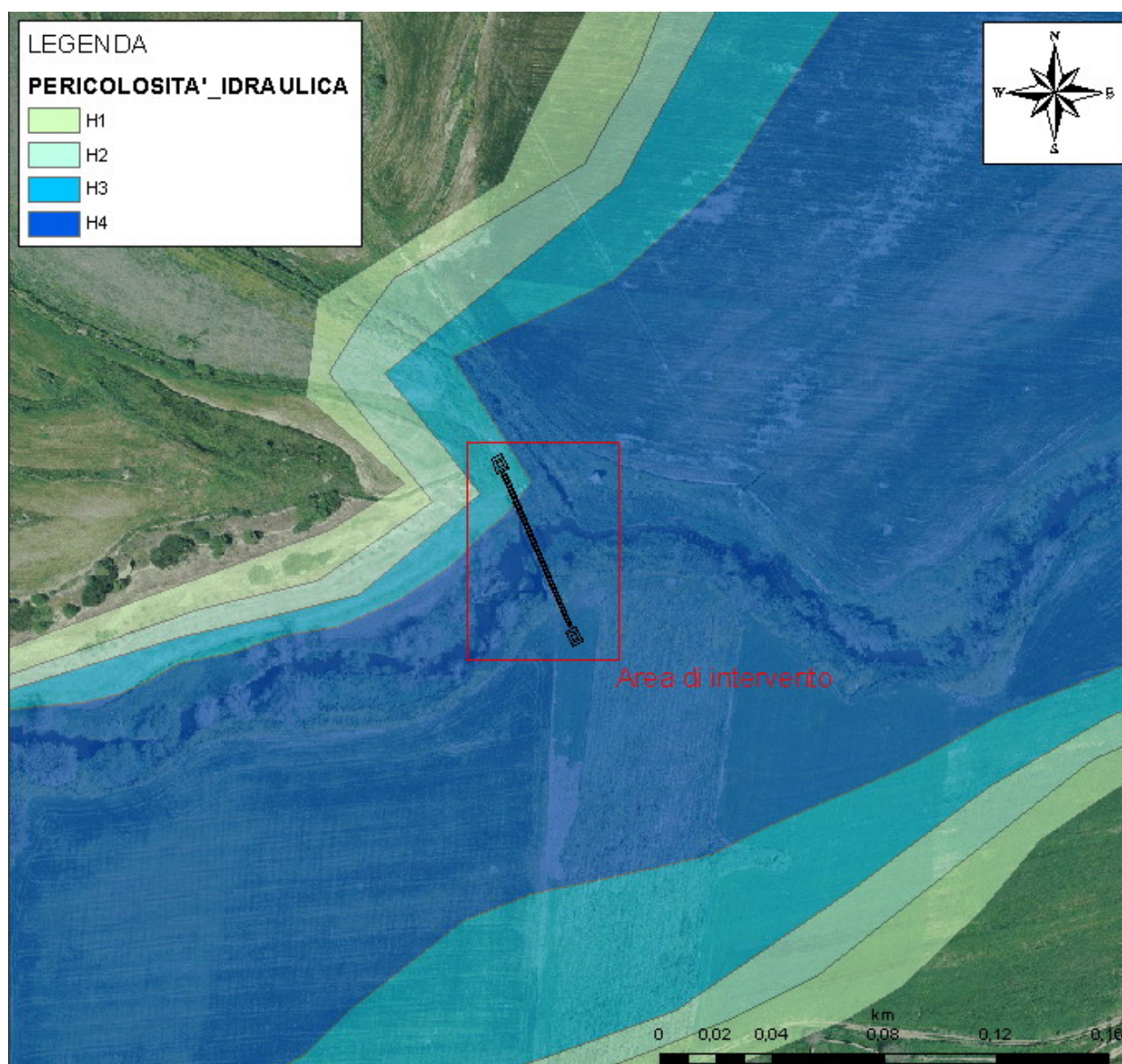


Figura 23. Sovrapposizione su Ortofoto RAS 2008 delle aree inondabili tratte dallo stralcio del tronco critico B3MPTC001 del PAI. L'attraversamento in progetto ricade quasi interamente in Hi4, ad eccezione dell'estremità settentrionale, in Hi3.

Come si osserva in Figura 23, il sedime ricade quasi per intero su un'area a pericolosità idraulica molto elevata (Hi4) per le quali, in riferimento all'intervento in oggetto, è richiesta la redazione dello studio di compatibilità idraulica, così come indicato all'Art.27 delle N.A. del PAI. Si rimanda, quindi, a detto elaborato, che costituisce allegato di progetto, per ogni considerazione sulla compatibilità idraulica dell'opera.

La medesima asta fluviale, inoltre, è stata studiata nell'ambito del Piano Stralcio per le Fasce Fluviali di seguito denominato PSFF (Tav.3_07_MA001_2_1_0), adottato con Delibera n.1 del 31.03.2011 del Comitato Istituzionale della regione Sardegna; l'adozione è stata successivamente revocata con Delibera n.1 del 23.06.2011. Alla data di redazione del presente studio, il PSFF risulta nuovamente adottato in via preliminare con Delibera n.1 del 03.09.2012.

Tale studio coincide, in parte, con quanto determinato nell'ambito del PAI: la zonazione prodotta (Fig.24), è simile a quella del PAI, ma differisce per il numero di classi di pericolosità idraulica, per i tempi di

ritorno e per la metodologia di perimetrazione delle aree inondabili con piene cinquecentennali.

Nell'ambito del PSFF, infatti, vengono perimetrate 5 classi (Fasce) di pericolosità:

- ❑ Fascia A2 *aree inondabili per tempi di ritorno di 2 anni;*
- ❑ Fascia A50 *aree inondabili con tempi di ritorno di 50 anni;*
- ❑ Fascia B100 *aree inondabili con tempi di ritorno di 100 anni;*
- ❑ Fascia B200 *aree inondabili con tempi di ritorno di 200 anni;*
- ❑ Fascia C *aree inondabili con tempi di ritorno di 500 anni comprendenti, se più estese, aree storicamente inondabili o stimate su basi geomorfologiche.*

Mentre le prime quattro fasce sono state determinate soltanto mediante studio idraulico, la quinta viene perimetrata anche con l'ausilio di metodi basati sulla ricostruzione storica delle inondazioni e su analisi geomorfologiche.

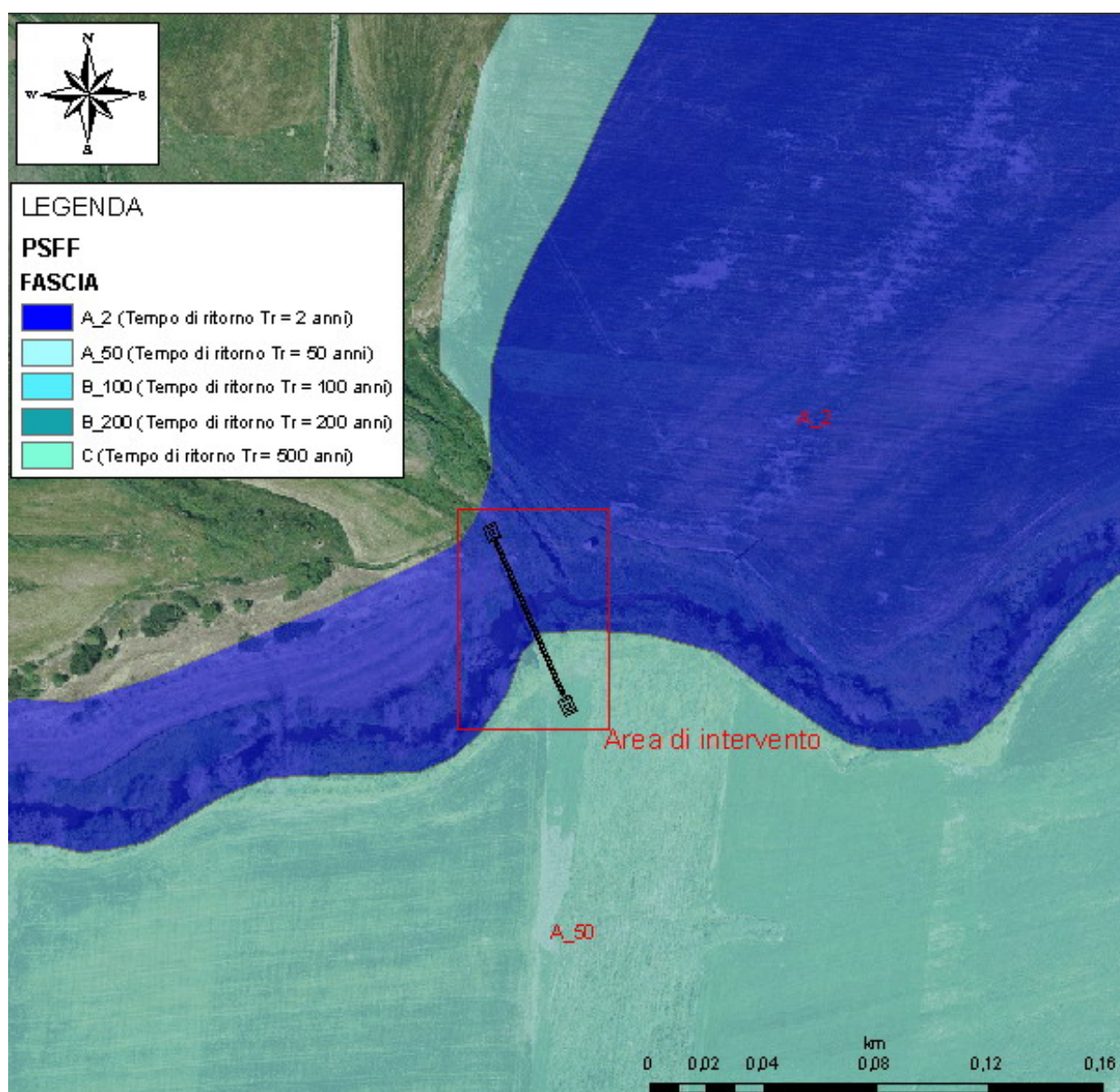


Figura 24. Sovrapposizione su Ortofoto RAS 2008 delle aree inondabili tratte dallo stralcio della Tav.7_04_FM029_2_1_1 del PSFF. L'attraversamento in progetto ricade quasi interamente in fascia A2, con Tr pari a soli 2 anni, ad eccezione dell'estremità meridionale, ricadente in fascia A50.

Nella fattispecie, l'area in studio ricade nelle fasce A2 e A50, ossia potenzialmente inondabili con un tempo di ritorno, rispettivamente, di soli 2 e 50 anni: se si considera, inoltre, l'ampiezza di tali aree ed il battente da pluridecimetrico a metrico ad esse associato, si delinea un quadro di pericolosità assai più rilevante rispetto a quello, già piuttosto grave, prospettato dagli studi del PAI.

Data la recente adozione non sono state ancora approntate specifiche norme attuative del PSFF, per il quale vige, in termini di prescrizioni e compatibilità degli interventi, la medesima disciplina prevista all'art.27 delle Norme di Attuazione del PAI, equiparando, nella fattispecie, entrambe le fasce alle aree in classe di pericolosità idraulica Hi4.

8 ZONAZIONE SISMICA

Come sancito dai contenuti dell'allegato A dell'O.P.C.M. n.3274/2003, tutti i comuni della Regione

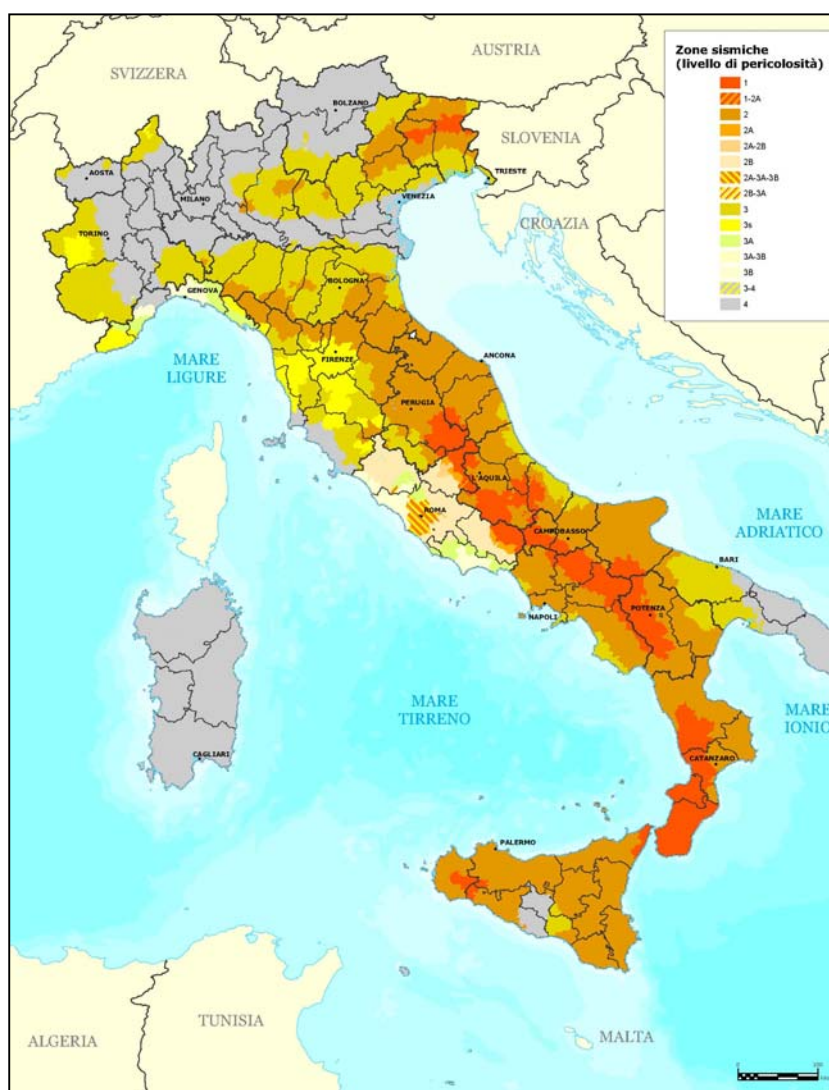


Figura 25. Zonazione della pericolosità sismica ai sensi dell' O.P.C.M. 3274/2003. Aggiornamento a scala provinciale del 2012. la Sardegna ricade in Zona 4 (area grigia).

stata valutata empiricamente comparando il profilo stratigrafico del sito, entro i primi 30 metri dal piano di fondazione, con le tipologie standard riportate nel medesimo dispositivo, elencate di seguito:

Sardegna sono classificati in Zona 4 (Fig.25) la quale, nella zonazione sismica del territorio italiano, rappresenta quella a rischio sismico molto basso. In tutto il territorio regionale, pertanto, l'azione sismica di riferimento, ossia accelerazione orizzontale massima attesa " a_g " cui corrisponde la probabilità di eccedenza del 10% in un periodo di 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) su suolo rigido di tipo A, è pari a 0,05g.

L'intervento in progetto inciderà sia su *bedrock* rigido che su coperture alluvionali che possono determinare una sensibile variazione dell'ampiezza, durata e contenuto in frequenza dando luogo alla cosiddetta "*risposta sismica locale*".

In accordo con le prescrizioni della O.P.C.M. n.3274, l'incidenza della risposta locale sulla V_{S30} è

SUOLO A. *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri.

SUOLO B. *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).

SUOLO C. *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)

SUOLO D. *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $c_u < 70$ kPa).

SUOLO E. *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 metri, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Sono inoltre previste due ulteriori categorie, S1 e S2, che definiscono terreni molto compressibili e plastici o altre categorie non classificabili ai precedenti punti.

In riferimento al modello geologico descritto in precedenza, quindi, occorre distinguere l'area in sponda destra, ricadente su litotipi alluvionali inquadrabili come terreni di **tipo D**, e quella in sponda sinistra, ricadente sulle calcareniti, inquadrabili nel **tipo A**.

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE, PRESCRIZIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI

L'intervento prevede la realizzazione di sbancamenti e trincee sia sui litotipi alluvionali fini che si ritrovano in sponda destra, sia su quelli calcarenitici e non particolarmente tenaci che costituiscono la sponda sinistra. Nel primo caso si tratta di litotipi sabbioso argillosi in superficie, con un'intercalazione argillosa di modesto spessore seguita da limi sabbioso-argillosi scarsamente consistenti: la deposizione è sicuramente recente, in ambienti fluviali e lagunari, pertanto sono da considerarsi normalconsolidati o, al più, debolmente sovraconsolidati (Cfr. Relazione Geotecnica), con conducibilità idraulica da medio-bassa a bassa, ed elevata igroscopicità, anche in quelli più superficiali e rimaneggiati. Tali terreni, soprattutto sotto falda, sono accreditati di insufficiente autosostegno e richiedono, pertanto, idonee opere di contenimento per la cui trattazione si rimanda alla Relazione Geotecnica.

La presenza accertata di una falda superficiale ospitata dall'acquifero sabbioso, con soggiacenza di circa 5,30 metri, e la probabile presenza di falde profonde sia entro i limi sabbiosi che nelle calcareniti, rende necessarie adeguate misure di aggotamento e drenaggio degli scavi ricorrendo, laddove si rendesse necessario, alla preventiva depressione della piezometrica mediante pozzi drenanti o sistemi *well-point*. Per lo stesso motivo è assolutamente raccomandabile l'impianto cantiere, almeno nei tratti in trincea ed in alveo, nel semestre più secco dell'anno, da metà primavera a fine estate nella stagione estiva così da intercettare la falda al minimo stagionale e, per quanto riguarda le lavorazioni in alveo, poter contare sulla riduzione della portata del Riu Mannu.

Quest'ultimo, infatti, presenta un'elevata pericolosità idraulica sancita sia dagli studi afferenti al PAI sia da quelli, adottati di recente, relativi al PSFF: in particolare, in entrambi l'area di intervento ricade nella classe di maggiore pericolosità (Hi4 del PAI e Fascia A2 del PSFF), con forte probabilità di inondazione dell'intera area golenale con battenti idrici superiori al metro.

Il potenziale erosivo del corso d'acqua, inoltre, consiglia il posizionamento del tratto di condotta sub-alveo ad una profondità di almeno 1,00 metri dal fondo, così da porla al riparo dall'eventuale denudamento per eventi di piena eccezionali.

9.1 Demolizione dell'attraversamento attuale e sistemazione in sponda destra

Il progetto prevede la dismissione dell'attuale attraversamento pensile, con demolizione in situ dei blocchi in cls: per entrambi i blocchi, ed in particolare per quello in destra idraulica, ospitato nella nicchia in sponda ormai erosa, dovrà porsi la massima cura affinché i materiali di demolizione non raggiungano l'alveo.

La nicchia in destra, nella quale è ospitato il blocco in dissesto, interrompe ed altera la continuità della sponda in corrispondenza dell'ansa, generando turbolenze dalle quali potrebbero innescarsi ulteriori fenomeni erosivi ed arretramenti al piede. Tra i possibili interventi, che garantiscano il ripristino dell'originaria morfologia e funzionalità senza alterare la naturalità dell'alveo, lo scrivente suggerisce la risagomatura a gradoni della sponda in dissesto e la realizzazione di una protezione spondale mediante scogliera in massi ciclopici alla base e due o più ordini di gabbioni disposti a gradinata entro la nicchia liberata dal blocco, a ricostituire il coronamento della sponda (Fig.26).



Figura 26. Fotoinserimento della possibile soluzione di risistemazione e protezione della sponda dx su cui era alloggiato il blocco in dissesto. l'intervento è rappresentato senza l'inerbimento conclusivo.

A conclusione dell'intervento sia i gabbioni che la scogliera sarebbero intasati con terreno vegetale ed inerbiti con essenze locali che ne agevolino l'inserimento in un contesto di rinaturazione della sponda in dissesto.

Quanto sopra è stato redatto sulla base della normativa vigente: il modello geologico descritto nella presente relazione è frutto di indagini puntuali che, per quanto approfondite, incorporano per loro stessa natura approssimazioni ed errori difficilmente quantificabili. La definizione del suddetto modello, pertanto, andrà continuamente affinata in corso d'opera adottando, se necessario, correttivi e varianti al progetto che possano concorrere a migliorarne l'efficacia e l'aderenza al contesto che si andrà a rilevare a cantiere aperto.

Cagliari, 04/10/2013

Il geologo

dott. Angelo Vigo

